

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS



**CAROLINE DOS SANTOS DE MENEZES**

**TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZA PARA  
AMPLIAÇÃO DE ÁREAS VERDES**

Campo Grande

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**CAROLINE DOS SANTOS DE MENEZES**

**TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZA PARA  
AMPLIAÇÃO DE ÁREAS VERDES**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

**ORIENTADORA: Prof. Dra. Paula Loureiro Paulo**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dra. Paula Loureiro Paulo  
Orientadora - UFMS

Dra. Cláudia Gonçalves Vianna Bacchi  
UFMS

Prof. Dra. Liana Baptista de Lima Correa da Costa  
CCBS/Laboratório de Botânica/UFMS

Campo Grande - MS

2013

## DEDICATÓRIA

*A todos que acreditaram em mim.*

## **AGRADECIMENTOS**

A professora Dra. Paula Loureiro Paulo pela orientação, ensinamentos, paciência e compreensão ao longo dessa caminhada.

A professora Dra. Liana Lima pela colaboração na realização de um dos trabalhos.

A todos os colegas e professores do PGTA pela troca de experiências e apoio constante.

A Edinéia Lazarotto pela amizade, dedicação e incentivo nos momentos de angústia e dificuldades, a quem serei eternamente grata pelo grande auxílio na realização deste trabalho.

A Thaís Colman, Mayara Serejo e Larissa Prado pela amizade e companheirismo ao longo desse período.

A todos os estagiários do LabE, em especial: Felipe Arima, Fernanda Lima, Érika Rezende, Rafael Dornelas, Ahmad Nantala, Vanessa Lopes, Mirian Niz e Laís Fernanda.

A Márcia, Sérgio e Júlia pela paciência que sempre demonstraram em nos acolher em sua residência, mesmo com todo o incômodo causado pela montagem e monitoramento do experimento.

A todos que colaboram para a produção de água cinza, que não foi pouca.

Aos meus pais, por terem me incentivado e apoiado nesta etapa da minha vida e por terem tido paciência de esperar que essa tarefa chegasse ao final.

Ao meu namorado, Vanderley, pelo amor, carinho e compreensão que vem me dedicando.

As minhas amigas Thayane Lima e Larissa Munhoz pela paciência e amizade em todos os momentos.

A Ana Lúcia Almeida, Camila Marques e Jacqueline Vilalva pela amizade e por compreenderem os momentos de ausência.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigada.

*“Pouco conhecimento faz com que as criaturas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe!”*

*Leonardo da Vinci*

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. OBJETIVOS .....	15
1.1.1. Objetivo .....	15
1.1.2. Objetivos específicos .....	16
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Saneamento.....	17
2.2. Saneamento focado em recursos.....	17
2.2.1. Água cinza .....	18
2.2.2. Tratamento de águas cinza.....	19
2.3. <i>Wetlands</i> construídos .....	21
2.3.1. <i>Wetlands</i> construídos para tratamento de águas cinza.....	23
2.3.2. Substratos .....	23
2.3.3. Vegetação .....	24
2.4. Áreas Verdes.....	26
2.5. Referências bibliográficas .....	27
3. Desenvolvimento e adaptabilidade da planta <i>Canna x generalis</i> irrigada com água cinza..	31
RESUMO .....	31
ABSTRACT .....	31
3.1. Introdução .....	32
3.2. Material e Métodos .....	33
3.3. Resultados e Discussão.....	35

## SUMÁRIO (Continuação)

3.3.1. Águas de irrigação .....	35
3.3.2. Parâmetros de crescimento .....	37
3.3.3. Evapotranspiração .....	39
3.3.4. Análise de nutrientes das folhas .....	40
3.3.5. Produção de biomassa.....	42
3.3.6. Análise química dos solos.....	44
3.4. Conclusões .....	45
3.5. Referências Bibliográficas .....	46
4. Sistema combinado de evapotranspiração e <i>wetland</i> para o reúso direto de água cinza .....	49
RESUMO .....	49
ABSTRACT .....	49
4.1. INTRODUÇÃO .....	50
4.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	51
4.2.1. Diagnóstico quantitativo e qualitativo de águas cinza.....	51
4.2.2. Critérios de projeto e dimensionamento dos sistemas de tratamento .....	51
4.2.3. Sistema experimental.....	52
4.2.4. Sistema residencial .....	53
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	55
4.3.1. Caracterização quantitativa.....	55
4.3.2. Caracterização qualitativa.....	56
4.3.3. Sistemas EvapAC .....	58
4.3.4. Monitoramento dos sistemas EvapAC .....	58
4.4. CONCLUSÕES .....	61
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Fluxograma do delineamento experimental. ....	34
<b>Figura 3.2.</b> Evapotranspiração medida em ambas as fases no (A) substrato 1 e (B) substrato 2. ....	39
<b>Figura 3.3.</b> (A) Folha de planta cultivada com solução nutritiva; (B) e (C) Folha de planta irrigada com ACc, com sintomas de deficiência de nitrogênio e fósforo, respectivamente. ....	42
<b>Figura 3.4.</b> Efeito dos tipos de água na massa seca da parte aérea e subterrânea, aos 80 dias, para os dois tipos de substratos: substrato 1 (brita n° 2 e solo) e substrato 2 (pedrisco). ....	42
<b>Figura 4.1.</b> A) Sistema EvapAC em escala experimental; B) detalhe da saída do <i>wetland</i> . ...	52
<b>Figura 4.2.</b> Sistema EvapAC em escala residencial. ....	54



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b> Formulação química do composto Hidrogood Fert e nitrato de cálcio.....	35
<b>Tabela 3.2.</b> Parâmetros físico-químicos das águas de irrigação nas diferentes fases do experimento e nos diferentes substratos aplicados. ....	36
<b>Tabela 3.3.</b> Efeito dos tipos de água e substratos nos parâmetros de análise de crescimento das plantas, aos 80 dias após o plantio. ....	38
<b>Tabela 3.4.</b> Efeito dos tipos de água e substratos nos parâmetros de análise de crescimento das plantas irrigadas com água cinza clara. ....	38
<b>Tabela 3.5.</b> Teores de macro e micronutrientes nas folhas de <i>Canna x generalis</i> .....	40
<b>Tabela 3.6.</b> Análise química dos solos utilizados no substrato 1 nas duas fases do experimento.. ....	44
<b>Tabela 4.1.</b> Produção <i>per capita</i> diária de águas residuárias.....	55
<b>Tabela 4.2.</b> Produções de águas cinza por unidade hidrossanitária encontradas na literatura. ....	56
<b>Tabela 4.3.</b> Caracterização da água cinza clara em uma residência com três habitantes.....	56
<b>Tabela 4.4.</b> Parâmetros de projeto e operação dos sistemas EvapAC experimental e residencial.....	58
<b>Tabela 4.5.</b> Valores médios de concentração e eficiência de remoção do sistema experimental. ....	59
<b>Tabela 4.6.</b> Valores médios de concentração do sistema residencial. ....	61

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Água cinza
ACc	Água cinza clara
ACc+N	Água cinza + nutrientes
ACce	Água cinza clara parcela externa
ACci	Água cinza clara parcela interna
Al+H	Acidez potencial
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de Variância
AP	Água potável
AP+N	Água potável + nutrientes
APe	Água potável parcela externa
APHA	<i>American Public Health Association</i>
APi	Água potável parcela interna
B	Boro
Ca	Cálcio
CDig	Câmara de Digestão
CE	Condutividade Elétrica
CEvap	Câmara de Evapotranspiração
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de Variação
CW	<i>Constructed Wetland ou Wetland</i> Construído
CW-FHS	<i>Wetland</i> Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial
CW-FVS	<i>Wetland</i> Construído de Fluxo Vertical Subsuperficial
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Entrada
EcoSan	<i>Ecological Sanitation</i> ou Saneamento Ecológico
ES	Espírito Santo
ETAC	Estação de Tratamento de Águas Cinza
EvapAC	Evapotranspiração de Águas Cinza
FBAS	Filtro Biológico Aerado Submerso
Fe	Ferro
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS (Continuação)

GO	Goiás
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MO	Matéria Orgânica
MS	Mato Grosso do Sul
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio Total
Obs.	Observação
P	Fósforo
PGTA	Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais
pH	Potencial hidrogeniônico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PPMSA	Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental
PVC	Policloreto de Vinila
RAC	Reator Anaeróbico Compartimentado
S	Enxofre
S1	Substrato 1
S2	Substrato 2
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SI	Solo Inicial
SP	São Paulo
SS1	Saída do Substrato 1
SS2	Saída do Substrato 2
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TEvap	Tanque de Evapotranspiração
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> ou Reator Anaeróbico de Manta de Lodo
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UV	Ultravioleta
V	Saturação de bases
Zn	Zinco

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm	centímetro
$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$	centimol de carga por decímetro cúbico
$\text{dS}.\text{m}^{-1}$	decisiemens por metro
g	grama
$\text{g}.\text{dm}^{-3}$	grama por decímetro cúbico
$\text{gDQO}.\text{m}^2.\text{dia}^{-1}$	grama de DQO por metro quadrado por dia
$\text{g}.\text{kg}^{-1}$	grama por quilo
$\text{K}_2\text{O}$	óxido de potássio
L	litros
$\text{L}.\text{(hab.dia)}^{-1}$	litros por habitante por dia
m	metro
$\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$	metro cúbico por metro quadrado por dia
$\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$	miligrama de carbonato de cálcio por litro
$\text{mg}.\text{dm}^{-3}$	miligrama por decímetro cúbico
$\text{mg}.\text{kg}^{-1}$	miligrama por quilo
$\text{mg}.\text{L}^{-1}$	miligrama por litro
mm	milímetro
$\text{NMP}.\text{100mL}^{-1}$	Número Mais Provável por 100 mililitros
$\text{P}_2\text{O}_5$	pentóxido de fósforo
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
°	grau
°C	grau Celsius
®	marca registrada
'	minuto
"	polegadas
%	porcentagem
‰	permilagem ou por mil

## RESUMO

MENEZES, C.S. (2013). *Tratamento e reúso de águas cinza para ampliação de áreas verdes. Campo Grande, 2013. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Soluções sustentáveis são requeridas para se reduzir o consumo de água nas edificações, e, dentre estas se destacam a utilização de fontes alternativas de suprimento de água, através do reúso planejado. O trabalho realizado visou apresentar um sistema domiciliar para reúso direto de águas cinza claras provenientes de chuveiros, lavatórios, máquina de lavar roupas e tanque, implantado em uma residência unifamiliar no município de Campo Grande - MS. Para esse fim, realizou-se i) a caracterização quantitativa e qualitativa das águas cinza produzidas na residência de interesse, ii) estudos em escala experimental do modelo e iii) dimensionamento, implementação e monitoramento da qualidade da água nos primeiros seis meses. O sistema EvapAC, constituído de uma câmara de evapotranspiração (CEvap) seguida do *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS), foi plantado com espécies ornamentais (*Heliconia psittacorum*, *Hedychium coronarium*, *Caladium x hortulanum* e *Canna x generalis*). Além disso, houve um estudo paralelo, conduzido em uma casa de vegetação, sobre a irrigação com água cinza de plantas da espécie ornamental *Canna x generalis*. Observou-se que dentro da casa de vegetação as plantas estiveram susceptíveis a estresses, principalmente nutricional, que podem ter colaborado para o efeito deletério no crescimento da planta em altura, número de folhas e diâmetro do caule, e nos sintomas de carência de nutrientes. O EvapAC, que foi monitorado por 142 dias, período considerado de partida e adaptação, possibilitou o desenvolvimento das espécies ornamentais, que além de colaborarem para a harmonia paisagística do local, podem ter ajudado a evitar a colmatação do mesmo, não requerendo, por isso, rotina de manutenção. Nenhum problema de aceitação e alteração de rotina foi notado. Tais fatos confirmam a aplicabilidade desse tipo de projeto.

**Palavras-chave:** Saneamento ecológico, tecnologia ambiental, plantas ornamentais, paisagismo.

## ABSTRACT

MENEZES, C.S. (2013). *Treatment and reuse of greywater for expansion of green areas. Campo Grande, 2013. 68p. Master Dissertation - Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

Sustainable solutions are required to reduce water consumption in buildings, among these, we highlight the use of alternative water supply sources through a reuse plan. The goal of work is to present a home system for direct reuse of household light greywater from showers, sinks, washing machine and laundry sinks, to be installed in single family residence within the city of Campo Grande - MS. To this end, we carried out i) the qualitative and quantitative characterization of greywater produced at the residence of interest, ii) studies in experimental scale model and iii) design, implementation and monitoring of water quality in the first six months. The EvapAC system, consisting of an evapotranspiration chamber (CEvap) followed by the horizontal subsurface flow constructed wetland (HSF-CW), was planted with ornamental species (*Heliconia psittacorum*, *Hedychium coronarium*, *Caladium x hortulanum* e *Canna x generalis*). In addition, there was a parallel study, conducted in a greenhouse, irrigation specific about the species ornamental *Canna x generalis* with greywater. It was observed that in the greenhouse plants were susceptible to stress, particularly nutritional, which may have contributed to the deleterious effect on plant growth in height, number of leaves and stem diameter and symptoms of nutrient deficiency. The EvapAC, which was monitored for 142 days, a period considered starting and adaptation, enabled the development of species of ornamental plants, which in addition to collaborate with local landscaping, may have helped to prevent clogging of the same, not requiring so, routine maintenance. No problem of acceptance and change in routine was noticed. These facts only confirm the applicability of this type of project.

**Key words:** Ecological sanitation, environmental technology, ornamental plants, landscaping.

## 1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população urbana e o desenvolvimento industrial têm aumentado substancialmente a demanda por água e o volume de esgoto produzido, principalmente nos grandes centros. O descarte inadequado desses efluentes tem colaborado para a degradação acelerada das reservas de água presentes no Brasil (Silva *et al.*, 2006).

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de alimentos, sabão, detergentes e águas de lavagem (FUNASA, 2006).

As águas residuárias provenientes das atividades domésticas podem ser divididas em dois grupos principais: as águas negras e as águas cinza. A água negra, oriunda do vaso sanitário, apresenta concentração mais elevada de microrganismos e matéria orgânica (Ottoson & Stenström, 2003). Já o termo água cinza é utilizado, em geral, para água servida originada em residências (ou também escolas, escritórios ou edifícios públicos), que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários (Eriksson *et al.*, 2002). É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (Jefferson *et al.*, 1999).

Para se reduzir o consumo de água nas residências podem-se utilizar fontes alternativas de suprimento, como a captação da água de chuva e o reúso de águas servidas (águas cinza) para, por exemplo: lavagem de veículos, rega de jardins e descarga de vasos sanitários. Assim, a possibilidade de substituição de parte da água potável de uma edificação, por uma de qualidade inferior para fins menos nobres reduz a demanda sobre os mananciais de água (Fiori *et al.*, 2006).

Uma nova tendência para o saneamento é o conceito do Saneamento focado em recursos, que se apresenta como uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencionais. De acordo com Winblad & Simpson-Hébert (2004), o princípio se baseia no reaproveitamento local dos nutrientes e da água contidos no esgoto doméstico, através da separação na fonte e do tratamento e reúso descentralizados.

Sistemas de saneamento sustentável como os *wetlands* construídos, podem trazer benefícios, podendo-se destacar: conservação de água e energia, minimização da poluição em

cursos d'água e lençol freático, melhoria de microclima e possibilidade de geração de emprego e renda (Esrey *et al.*, 1998).

Segundo Winblad & Simpson-Hérbert (2004), a concepção e a operação dos sistemas técnicos para gerenciamento da água cinza dependem de uma série de fatores: clima, padrão de uso da terra, existência de sistemas de drenagem e carga de poluição. O melhor sistema deve, portanto, ponderar as condições locais e os potenciais riscos das opções alternativas.

Considerando a necessidade de desenvolvimento de tecnologia brasileira para sistemas de reúso, aspectos referentes às características quali-quantitativas de águas cinza e ao desenvolvimento de novos processos de tratamento constituem-se em importantes objetos de pesquisa.

Diante disso, esta dissertação visa apresentar a configuração de um sistema que proporcione tratamento para reúso indireto ou direto de águas cinza para o desenvolvimento de áreas verdes, pela combinação de uma câmara de evapotranspiração (CEvap) seguida de uma unidade de *wetland* construído de fluxo subsuperficial (CW-FHS). A configuração utilizada dependerá do uso final da água. Nesse sistema, parte do efluente é evapotranspirada e parte tratada ao longo da segunda unidade. A tecnologia baseia-se no uso de sistemas naturais, e é totalmente integrada ao jardim e adaptada ao projeto de paisagismo, aumentando assim as áreas verdes em zonas urbanas, contribuindo para a melhoria do microclima e consequentemente, proporcionando maior conforto ambiental. O conjunto desenvolvido será denominado EvapAC (Evapotranspiração de Águas Cinza).

Para completar o estudo, também há a necessidade de identificação de espécies de plantas ornamentais que possam ser utilizadas em sistemas de tratamento de águas visando reúso não potável, visto que essas colaboram nos processos de tratamento e proporcionam ganhos estéticos no local.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo**

Desenvolver e implementar o sistema EvapAC em escala real, baseado em caracterização qualitativa, quantitativa e hábitos de uma residência unidomiciliar, bem como avaliar o desenvolvimento e adaptabilidade da *Canna x generalis* irrigada com água cinza clara, utilizando-se brita nº 2 e solo como substrato em comparação com pedrisco, visando



identificar espécies ornamentais que possam ser utilizadas em sistemas de tratamento e reúso de água cinza.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar quantitativa e qualitativamente as águas cinza geradas em uma residência;
- b) Verificar o desenvolvimento da espécie *Canna x generalis* irrigada com água cinza clara, quanto à adaptabilidade, estado nutricional e produção das plantas, bem como analisar as propriedades e mudanças ocorridas após a irrigação nos dois diferentes tipos de substratos utilizados no cultivo da espécie;
- c) Estudar questões técnicas do sistema como manutenção, aceitabilidade, operação, funcionamento e adaptabilidade.

## 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada com a seguinte estrutura acadêmica:

- **Capítulo 1 - Introdução:** é o presente capítulo, que define a visão geral do estudo, e seus objetivos.
- **Capítulo 2 - Revisão bibliográfica:** apresenta os conceitos fundamentais teóricos para o entendimento e desenvolvimento da pesquisa, obtidos por meio de revisão da literatura.
- **Capítulo 3 - Artigo 1:** Desenvolvimento da planta *Canna x generalis* irrigada com água cinza.
- **Capítulo 4 - Artigo 2:** Sistema combinado de evapotranspiração e *wetland* para o reúso direto de água cinza.
- **Capítulo 5 - Considerações finais:** nas considerações finais é realizado o fechamento do estudo, demonstrando-se as constatações obtidas e cujas informações podem ser usadas em estudos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Saneamento**

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2006), saneamento ambiental é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural.

O quadro sanitário da maioria da população da América Latina e do Caribe ainda é muito precário em virtude da carência de recursos para investimento e da deficiência ou da ausência de políticas públicas de saneamento ambiental, o que pode contribuir para a proliferação de uma série de enfermidades (Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental - PPMSA, 2005).

No Brasil, onde o saneamento e, principalmente, o esgotamento sanitário ainda são privilégios de poucos, a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) revelou que 55,2% dos municípios brasileiros possuíam serviço de esgotamento sanitário por rede coletora e apenas 28,5% faziam tratamento de seu esgoto. No Estado de Mato Grosso do Sul, 44,9% dos municípios apresentavam rede coletora de esgoto e 43,6% tratavam o esgoto. É importante ressaltar que a estatística de acesso à rede coletora de esgoto refere-se apenas à existência do serviço no município, independente da extensão da rede, número de ligações ou de economias esgotadas, ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado.

Segundo dados da Águas Guariroba (2013), concessionária responsável pelos serviços de água e coleta e tratamento de esgoto de Campo Grande, o índice de acesso à rede de esgoto no município, em 2013, é de 64%, com previsão de 100% de atendimento para 2025.

### **2.2. Saneamento focado em recursos**

O saneamento focado em recursos, também conhecido como saneamento ecológico (EcoSan), apresenta-se como uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto

convencionais, trazendo uma nova perspectiva em soluções para saneamento, tendo como enfoque principal o aumento da disponibilidade hídrica pela economia e reúso de água.

De acordo com Winblad & Simpson-Hébert (2004) o saneamento ecológico baseia-se no reaproveitamento local de nutrientes e água contidos no esgoto doméstico através da separação na fonte e do tratamento e reúso no local (descentralizados).

Na perspectiva do EcoSan as águas residuárias provenientes das atividades domésticas podem ser divididas em dois grupos principais: águas negras e águas cinza (Esrey *et al.*, 1998). Para caracterização de tais águas, Otterpohl (2001), descreve que as águas cinza podem ser segregadas em função da contribuição ou não de águas provenientes da pia da cozinha (águas cinza escuras e águas cinza claras, respectivamente), como também as águas negras podem ser separadas devido à presença de urina (águas amarelas) e fezes (águas marrons).

### **2.2.1. Água cinza**

O termo água cinza é utilizado, em geral, para água servida originada em residências, correspondendo ao efluente produzido na higiene pessoal e na limpeza domiciliar. Trata-se, portanto, da água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (Eriksson *et al.*, 2002; Ottoson & Stenström, 2003; Jefferson *et al.*, 2004).

De acordo com Hernandez Leal *et al.* (2011) estima-se que as águas cinza compõem uma fração de 75% do volume total do efluente gerado em uma residência, e devido aos baixos níveis de contaminação por patógenos e nitrogênio o seu reúso e reciclo está recebendo cada vez mais atenção (Li *et al.*, 2009). Em geral, a água cinza gerada representa cerca de 69% do consumo de água total (Jamrah *et al.*, 2011).

As características da água cinza gerada dependem do número de ocupantes da residência e dos seus hábitos sociais e culturais. A água de banho contém resíduos de sabonetes, *shampoos*, pasta de dentes, além de pelos, cabelos e vestígios de urina e fezes (Noah, 2002). Já a água proveniente da lavanderia contém altas concentrações de produtos químicos devido ao uso de sabão em pó (como sódio, fósforo, surfactantes e nitrogênio), branqueadores e solventes e, apresenta também, fibras não biodegradáveis de roupas (Morel & Diener, 2006).

No trabalho de Nirenberg & Reis (2010) em uma residência em Goiânia - GO, foram encontrados valores médios de concentração na água cinza clara, em termos de matéria orgânica, de 352,7 mg.L<sup>-1</sup> para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 186,6 mg.L<sup>-1</sup> para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Em termos de nutrientes, de 8,9 mg.L<sup>-1</sup> de nitrogênio total e 1,3 mg.L<sup>-1</sup> de fósforo. Para parâmetros como sólidos totais, sólidos em suspensão e turbidez, a faixa de concentração é de 580 mg.L<sup>-1</sup>, 85,8 mg.L<sup>-1</sup> a 103,1 UNT, respectivamente. Ghunmi *et al.* (2011) descreve em seu trabalho sobre a biodegradabilidade da água cinza clara (lavanderia, lavatório e chuveiro), que esta, possui frações de matéria orgânica em suspensão, coloidal e dissolvida de, respectivamente, 28, 32 e 40%.

As águas cinza devidamente tratadas podem ser utilizadas para diversos fins, como em descargas de vasos sanitários, lavagem de ruas e calçadas, irrigação de jardins, construção civil (compactação do solo, controle de poeira, lavagem de agregados), limpeza de tubulações, sistemas decorativos tais como espelhos d'água, chafarizes, fontes luminosas, entre outros (May, 2009). Como visto, existem várias utilizações possíveis para águas cinza, porém, o tipo de tratamento aplicado e o uso final são fatores determinantes para o uso apropriado (Eriksson *et al.*, 2002).

### **2.2.2. Tratamento de águas cinza**

Diversos estudos têm sido realizados sobre o tratamento de águas cinza com diferentes tecnologias, as quais podem variar em complexidade e desempenho (Li *et al.*, 2009). A escolha da tecnologia mais adequada depende de alguns fatores, como o uso final da água, hábitos e costumes regionais (Jefferson *et al.*, 2004).

Segundo Winblad & Simpson-Hérbert (2004), a concepção e a operação dos sistemas técnicos para gerenciamento da água cinza dependem de uma série de fatores, como: clima, padrão de uso da terra, existência de sistemas de drenagem e carga de poluição. O melhor sistema deve, portanto, ser encontrado ponderando as condições locais e os potenciais riscos das opções alternativas.

De acordo com Ghaitidak & Yadav (2013), tecnologias aplicadas para tratamento de água cinza incluem processos físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos de tratamento referem-se, por exemplo, a filtração em areia grossa e solo, filtração com membrana, osmose reversa e ultrafiltração. Como exemplo de processos químicos citam-se a

coagulação, oxidação por foto-catálise, troca iônica e carvão ativado granular. Os processos biológicos são geralmente classificados como aeróbios e anaeróbios. Os métodos aeróbios são divididos em crescimento disperso (por exemplo, lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas de estabilização, etc.) e crescimento aderido (biodiscos, *wetlands* construídos, etc.). Como exemplo de tratamento anaeróbio, pode-se citar o reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB).

Uma tecnologia para tratamento de águas cinza, desenvolvida por Gonçalves *et al.* (2010), vem sendo implantada em algumas edificações em Vitória - ES. Os edifícios são aparelhados com uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC), composta por pré-tratamento, um reator anaeróbio compartimentado (RAC), um filtro biológico aerado submerso (FBAS), um filtro terciário e um clorador, capaz de atingir eficiência de remoção de matéria orgânica superior a 90%. Com isso, o sistema mostrou-se compatível com as exigências arquitetônicas e construtivas das edificações e capaz de produzir efluentes tratados para usos não potáveis *in loco*. Ainda de acordo com Gonçalves *et al.* (2010), a inserção de uma etapa anaeróbia no fluxograma de tratamento aumentou sensivelmente a viabilidade do sistema de reúso, por permitir a remoção de 50% da matéria orgânica da água cinza sem a necessidade de aeração.

Em estudo conduzido por Pidou *et al.* (2008) usando um *jar test*, para estudar técnicas de coagulação/floculação, utilizando sulfato férrico ou sulfato de alumínio, para tratar água cinza proveniente de chuveiros, foi constatado que o tratamento atingiu níveis suficientes de remoção para compostos orgânicos (85-89% para DBO e 64% para DQO) e coliformes (> 99%), mas não teve tanta eficiência na remoção de nitrogênio total (cerca de 13%).

Santos *et al.* (2012) propuseram em Portugal um sistema experimental para tratamento de águas cinza claras, composto por um tanque para recebimento das águas seguido de um sistema de filtração e uma unidade de desinfecção UV. O estudo mostrou bons resultados de tratamento principalmente pela desinfecção, porém houve uma remoção inferior à esperada para sólidos suspensos e DBO, não sendo suficiente para alcançar os limites estabelecidos em legislações existentes, o que poderia reduzir ainda mais a aceitação pública do sistema.

Segundo Ghaitidak & Yadav (2013), os *wetlands* construídos são considerados como a tecnologia mais ambientalmente correta e eficiente para o tratamento de águas cinza. Baycan-Levent *et al.* (2002) citam que entre as vantagens da utilização de sistemas naturais plantados para tratamento de água cinza estão: baixo capital, custo de manutenção e consumo de

energia, manutenção mínima, tolerância à variabilidade de carga, harmonia paisagística, disponibilidade de área verde e aplicação comunitária ou residencial.

### **2.3. *Wetlands* construídos**

Os *wetlands* construídos (CW) são sistemas de engenharia projetados para imitar, de forma controlada e monitorada, processos naturais que ocorrem em áreas alagadas naturais como pântanos e brejos. Os sistemas de *wetlands* são considerados uma alternativa ecológica de tratamento de esgotos sanitários. Estes sistemas definem uma tecnologia de tratamento biológico de efluentes e despoluição de águas, onde são plantadas macrófitas aquáticas vasculares, embora em alguns casos não sejam estabelecidas plantas no sistema. As raízes dessas plantas, junto com o substrato e toda uma comunidade microbiótica que se desenvolve no meio, modificam a qualidade da água através de processos físicos, químicos e biológicos (Toniato, 2005).

Os *wetlands* construídos são sistemas de tratamento de fácil operação, baixo custo de construção e manutenção e são ambientalmente adequados (Kadlec & Wallace, 2008). O sistema necessita de manutenção regular e limpeza da estrutura para não apresentar baixo desempenho. As medidas necessárias para evitar a obstrução do leito filtrante incluem verificação periódica da eficácia do processo de pré-tratamento, características da carga afluente e distribuição sobre o leito filtrante (Hoffmann *et al.*, 2011).

Existem vários tipos de *wetlands*, os quais diferem principalmente nas características construtivas e nos processos responsáveis pela eliminação da poluição. Sua classificação é baseada no regime de fluxo da água: fluxo superficial, fluxo subsuperficial horizontal ou fluxo vertical (Vymazal, 2005).

O *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS) apresenta uma camada de pedras para filtração e é plantado com vegetação. Vymazal (2010) descreve que o efluente entra nesse sistema e flui através do meio poroso sob a superfície do leito em um caminho mais ou menos horizontal, até atingir a zona de saída, onde é recolhido e descarregado. Nos leitos de filtração, os contaminantes do esgoto são removidos pela degradação microbiana e pelos processos químicos e físicos. Nessa configuração, há remoção de sólidos suspensos, nitrogênio (pela desnitrificação) e fósforo em torno de 75%, 43% e 50%, respectivamente (Vymazal, 2007; Vymazal, 2010).

No *wetland* construído de fluxo vertical subsuperficial (CW-FVS) a água percola no leito filtrante em fluxo descendente e, para permitir a difusão de oxigênio dentro do sistema, é recomendável que a vazão afluyente não seja muito alta. Com isso, esses sistemas são muito mais aeróbios que os de fluxo horizontal, proporcionando condições adequadas para a nitrificação e são também muito eficazes na redução de orgânicos e sólidos suspensos, chegando a 90% e 89%, respectivamente (Vymazal, 2010).

Existem ainda os sistemas híbridos de *wetlands* que combinam o *wetland* vertical e o horizontal a fim de aumentar a eficiência de tratamento. São usados principalmente quando uma remoção de amônia e nitrogênio total é requerida (Vymazal, 2010).

As primeiras tentativas sobre a possibilidade de tratamento de águas residuárias com *wetlands* vegetados foram conduzidas pelo cientista alemão Dr. Käthe Seidel em 1952, no Instituto Max Planck, na Alemanha (Vymazal, 2010; Hoffmann *et al.*, 2011). O primeiro *wetland* de fluxo superficial, em grande escala, foi construído na Holanda para tratar águas residuárias de um *camping* durante o período de 1967-1969. Já o modelo que acabou popularizando-se na Europa, o *wetland* de fluxo subsuperficial teve seu protótipo real construído no ano de 1974 em Othfresen, na Alemanha.

Entre os anos de 1970 e 1980, *wetlands* foram construídos quase que exclusivamente para o tratamento de esgoto doméstico ou municipal. Um grande aumento no número de *wetlands* construídos ocorreu na década de 90 com a aplicação ampliada para tratar diferentes tipos de águas residuárias, como efluentes industriais e águas pluviais (Hoffmann *et al.*, 2011).

De acordo com Paulo *et al.* (2009), os *wetlands* apresentam-se como os sistemas de tratamento de águas cinza mais comumente utilizados em residências ou pequenas comunidades. Segundo Morel & Diener (2006), eles são usados com sucesso para o tratamento de águas residuárias e de águas cinza em países de baixa e média renda, incluindo Quênia, Nepal, Costa Rica, Peru e outros. O uso de *wetlands* construídos também é muito comum em países desenvolvidos, como a Alemanha, Reino Unido, França, Dinamarca, Áustria, Polônia, Itália e Espanha (Hoffmann *et al.*, 2011).

### **2.3.1. *Wetlands* construídos para tratamento de águas cinza**

Há muitos registros na literatura de estudos e experiências de utilização de *wetlands* naturais ou construídos na remoção de nutrientes e contaminantes de esgotos urbanos e industriais. Os resultados desses trabalhos são bastante variáveis em função, basicamente, dos tipos de substâncias químicas presentes nesses efluentes, da carga orgânica dos mesmos e do tipo de *wetland* utilizado (Salatti, 2003).

Os *wetlands* (horizontais ou de fluxo vertical) estão tornando-se cada vez mais populares em todo o mundo para o tratamento de águas residuárias domésticas (incluindo águas cinza), quando o mesmo está localizado na segunda etapa do processo de tratamento (Morel & Diener, 2006).

Há diferença na concepção de *wetlands* construídos (CW) para o tratamento de águas cinza em relação ao tratamento das demais águas residuárias. Com a ausência de urina e fezes na água cinza, a concentração de nitrogênio e fósforo é baixa e a presença de patógenos também é menor, fazendo com o que a remoção desses no tratamento aconteça de forma mais simples (Hoffmann *et al.*, 2011). Ainda de acordo com os mesmos autores, um pré-tratamento é extremamente importante para evitar o entupimento do fluxo do *wetland* subsuperficial, visto que esta etapa pode remover até 60% dos sólidos suspensos presentes em águas residuárias, evitando possíveis obstruções e consequente entupimento.

Conforme Vicznevski & Silva (2003), a remoção dos poluentes nos CW abrange uma complexa variedade de processos físicos, químicos e bioquímicos que são promovidos pelos elementos constituintes do meio, como solo, microrganismos e plantas. O material filtrante está diretamente relacionado a alguns destes processos: filtração, adsorção e degradação microbológica. Desta forma, é de fundamental importância o conhecimento das características dos materiais filtrantes a serem empregados nos *wetlands* (Olijnyk, 2008).

### **2.3.2. Substratos**

A escolha do meio suporte ou substrato para utilização em *wetlands* é baseada, principalmente, nos custos desse material, no regime hidráulico escolhido, na vegetação empregada, no tipo de água residuária e nas necessidades de tratamento (Hammer, 1989). Os



substratos utilizados em *wetlands* servem de suporte para a vegetação e proporcionam locais para transformações químicas e bioquímicas.

Os substratos incluem solos minerais (por exemplo, argila, silte, areia e cascalho) e solos orgânicos (por exemplo, adubo e resíduo vegetal em decomposição). O material do solo afeta substancialmente o movimento da água através do *wetland* (condutividade hidráulica). O solo fornece uma enorme área superficial para fixação de microrganismos e biomassa vegetal e atua como filtro e meio de adsorção de poluentes tais como sólidos em suspensão (Heers, 2006).

A seleção de um substrato adequado em relação à carga hidráulica e orgânica é o parâmetro mais crítico para a concepção do CW de fluxo subsuperficial (Hoffmann *et al.*; 2011). A escolha depende de fatores como o tipo de água residuária a ser tratada, do regime hidráulico escolhido e do principal parâmetro a ser removido. O substrato afeta o movimento do fluxo retendo sólidos em suspensão por mecanismos de filtração e sedimentação. A diminuição da porosidade do meio com o acúmulo de sólidos do esgoto ou dos resíduos das plantas obstrui o fluxo, e pode ocasionar transbordamento ou a formação de canais preferenciais de escoamento não desejados (Toniato, 2005).

### **2.3.3. Vegetação**

A vegetação utilizada em *wetlands* construídos desempenham um papel importante na degradação e remoção de nutrientes e outros poluentes. As plantas utilizadas nesses sistemas incluem plantas flutuantes, plantas emergentes e plantas submersas. O princípio para seleção de uma espécie de planta adequada para utilização depende do tipo do *wetland* (superficial ou subsuperficial, fluxo vertical ou horizontal), do modo de operação (contínua, em batelada ou fluxo intermitente) e da taxa de carga e das características de efluentes (Cui *et al.*, 2010).

A vegetação utilizada em *wetlands* para tratamento de águas residuárias deve apresentar tolerância a áreas constantemente saturadas ou submersas e ao fluxo contínuo de poluentes dos mais diversos tipos e concentrações. Para o tratamento de esgotos, várias espécies vegetais podem ser empregadas nos *wetlands*, como as macrófitas ou plantas de interesse ornamental. As espécies de macrófitas mais utilizadas em projetos têm sido a *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., a *Typha latifolia* L. e a *Scirpus lacustris* L. (Salatti, 2003).

As macrófitas podem contribuir direta ou indiretamente no processo de tratamento em *wetlands* construídos. Os efeitos mais importantes das macrófitas em relação ao processo de tratamento são os efeitos físicos (Brix, 1997; Kadlec *et al.*, 2000). Elas proporcionam condições benéficas para a purificação de águas residuárias, como filtração ou fornecendo uma área superficial para fixação dos microrganismos através das raízes, que devido ao seu crescimento mantém as propriedades hidráulicas do substrato (Langergraber, 2005).

O propósito de se utilizar plantas ornamentais no sistema de tratamento é a possibilidade de uso da biomassa agrícola gerada. Dependendo da espécie utilizada, várias atividades podem ser criadas em torno do cultivo e manipulação das espécies, como venda de flores de corte, confecção de papel artesanal, cestaria e artesanato com fibras (Zanella, 2008). Ainda de acordo com Zanella (2008), qualquer que seja a configuração empregada para o *wetland*, o fator estético proporcionado pela presença de vegetação é um dos principais benefícios, pois colabora para a aceitação pública do sistema.

A utilização de *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial vegetados, com suporte de brita nº 1 e bambu, como sistemas de pós-tratamento de esgotos domésticos advindos de reatores anaeróbios foi estudada por Zanella (2008) utilizando espécies de interesse ornamental como o Copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica* L. Spreng.), Papiro (*Cyperus papyrus* L.), Alpínia (*Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum.), Beri (*Canna x generalis* L.H. Bailey), Mini-papiro (*Cyperus isocladius* Kunth) e Helicônia papagaio (*Heliconia psittacorum* L.f.). Dentre as espécies avaliadas, apresentaram o melhor desenvolvimento e adaptação o Papiro, Mini-papiro e Beri. A Alpínia e Helicônia apresentaram crescimento abaixo do esperado, e o Copo-de-Leite não se mostrou indicado para cultivo em monocultura. O emprego de brita nº 1 mostrou-se mais viável em termos de eficiência do sistema quando comparado aos anéis de bambu utilizados.

Já em estudo realizado por Paulo *et al.*, 2009, foram utilizadas as espécies Helicônia papagaio, Mini-papiro, Beri, Orquídea bambu (*Arundina bambusifolia* Lindl.) e Alpínia para tratamento domiciliar de águas cinza em um sistema híbrido de *wetlands* construídos. As plantas escolhidas foram resistentes às condições aplicadas, apresentando melhor tolerância as que utilizaram o substrato areia ao invés de pedrisco.

## 2.4. Áreas Verdes

A qualidade de vida da população de grandes cidades do país está cada vez mais relacionada com a quantidade de espaços públicos destinados ao lazer, ao descanso e ao contato com a natureza. Tendo em vista esses aspectos, as áreas verdes têm a função de proporcionar distração, conforto e prazer à população, além das finalidades estéticas. As áreas verdes são também importantes para o equilíbrio ambiental, em virtude de seus benefícios para o microclima e para o conforto térmico, acústico e visual (Moreira & Silva, 2012).

A provisão, projeto, gerenciamento e proteção de espaços verdes urbanos estão no topo da agenda de sustentabilidade e habitabilidade de cidades para a melhoria da qualidade ambiental local, sendo um fator chave para fazer as cidades mais atrativas e os espaços mais viáveis para se viver (Baycan-Levent *et al.*, 2002).

Os espaços verdes em áreas urbanas também têm um papel importante em relação ao aquecimento global e mudanças climáticas, principalmente quando se é esperado um aumento nas temperaturas e queda da umidade relativa do ar, sendo encontrados diversos trabalhos na literatura que estudam vários aspectos de sua efetividade. No estudo de Spangenberg *et al.* (2008), foram realizadas medições sobre as condições microclimáticas existentes em um parque, uma praça aberta e um *canyon* urbano na cidade de São Paulo - SP, onde os resultados indicaram que o parque apresentou temperaturas do ar até 2°C mais baixas do que os demais lugares. Simulando uma maior quantidade de árvores no *canyon* houve um efeito de resfriamento da temperatura do ar em até 1,1°C, além da diminuição da velocidade do vento em até 45%.

Shinzato (2009) em seu estudo sobre os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas, verificou que o efeito da vegetação é local e não ocorre uma influência significativa muito além dos limites das áreas verdes, contudo, pode ser uma estratégia para amenizar o efeito de ilha de calor nas metrópoles, pois evita o aquecimento de materiais como asfalto e concreto. Ng *et al.* (2012) também descrevem que áreas vegetadas melhoram significativamente o microclima urbano e reduzem a temperatura do ar.

O uso de água cinza para o desenvolvimento de áreas verdes é bastante promissor em vários aspectos, a começar pela conservação da água. Contudo, até o momento não existe tecnologia ou estratégia de reúso de água cinza de baixo custo que possa ser aplicada às habitações populares com segurança e aceitação. Sistemas de saneamento sustentável, se

considerados, podem trazer benefícios, podendo-se destacar: conservação de água e energia, minimização da poluição em cursos d'água e lençol freático, melhoria de microclima e possibilidade de geração de emprego e renda (Esrey *et al.*, 1998).

## 2.5. Referências bibliográficas

ÁGUAS GUARIROBA. **Programa Esgoto 100%**. Disponível em: <<http://www.aguasguariroba.com.br/programa-esgoto-100>>. Acesso em: 15 março 2013.

BAYCAN-LEVENT, T.; VAN LEEUWEN, E.; RODENBURG, C.; NIJKAMP, P. 2002. Development and management of green spaces in european cities: a comparative analysis. VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics. In: 38<sup>th</sup> INTERNATIONAL PLANNING CONGRESS, 2002, Athens.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology**, v.35, n.5, p.11-17, 1997.

CUI, L.; OUYANG, Y.; LOU, Q.; YANG, F.; CHEN, Y.; ZHU, W.; LUO, S. Removal of nutrients from wastewater with *Canna indica* L. under different vertical-flow constructed wetland conditions. **Ecological Engineering**, v.36, p.1083-1088, 2010.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v.4, p.85-104, 2002.

ESREY, S. et al. **Ecological sanitation**. Stockholm: Sida, 1998.

FIORI, S.; FERNANDES, V.M.C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações. **Ambiente Construído**, v.6, n.1, p.19-30, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de Saneamento**. 4 ed. Brasília: rev. Brasil, 2006.

GHAITIDAK, D.M.; YADAV, K.D. Characteristics and treatment of greywater - a review. **Environ Sci Pollut Res**, v.20, p.2795-2809, 2013.

GHUNMI, L.A.; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M.; VAN LIER; J.B. Grey water biodegradability. **Biodegradation**, v.22, p.163-174, 2011.

GONÇALVES, R.F.; SIMÕES, G.M.S.; WANKE, R. Reúso de águas cinzas em edificações urbanas - estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v.3, n.1, p.120-131, 2010.

HAMMER, D.A. 1989. **Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural**. Chelsea: Lewis Publishers, 1989.

HEERS, M. 2006. **Constructed wetlands under different geographic conditions: Evaluation of the suitability and criteria for the choice of plants including productive species.** Germany, 2006. Master thesis - Faculty of Life Sciences, Hamburg University of Applied Sciences.

HERNANDEZ LEAL, L.; TEMMINK, H.; ZEEMAN, G.; BUISMAN, C.J.N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. **Desalination**, v.270, p.111-115, 2011.

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; WINKER, M.; VON MUENCH, E. **Technology review of constructed wetlands** - subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn: Sustainable sanitation - Ecosan, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2010.

JAMRAH, A.; AL OMARI, A.; AL QASEM, L.; ABDEL GHANI, N. Assessment of availability and characteristics of greywater in Amman. **Water Int.**, v.31, n.2, p.210-220, 2011.

JEFFERSON, B.; PALMER, A.; JEFFREY, P.; STUETZ, R.; JUDD, S. Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. **Water Science and Technology**, v.50, n.2, p.157-164, 2004.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L.; VYMAZAL, J.; BRIX, H.; COOPER, P.; HABERL, R. **Constructed wetlands for pollution control** - processes performance, design and operation. London: **IWA Scientific and Technical Report n°8**, IWA Publishing, 2000.

KADLEC, R.H.; WALLACE, S. **Treatment wetlands.** 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.

LANGERGRABER, G. The role of plant uptake on the removal of organic matter and nutrients in subsurface flow constructed wetlands: a simulation study. **Water Science and Technology**, v.51, n.9, p.213-223, 2005.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, v.407, p.3439-3449, 2009.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** São Paulo, 2009. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MOREIRA, J.F.R.; SILVA, C.A. Paisagem urbana e áreas verdes: contexto dos parques urbanos de Goiânia. **B.goiano.geogr.**, v.32, n.2, p.239-254, 2012.

MOREL, A.; DIENER S. **Greywater management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2006.

NG, E.; CHEN, L.; WANG, Y.; YUAN, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**, v.47, p.256-271, 2012.

NIRENBERG, L.P.; REIS, R.P.A. Avaliação do desempenho de sistema de reúso de água de uma edificação unifamiliar em Goiânia-GO. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.1, n.1, p.1-10, 2010.

NOAH, M. Greywater use still a gray area. **J. Environ. Health**, v.64, n.10, p.22-25, 2002.

OLIJNYK, D.P.; SEZERINO, P.H.; SOARES, A.S.; PHILIPPI, L.S.; LAPOLLI, F.R. Análise da viabilidade de nitrificação e desnitrificação em sistemas híbridos de filtros plantados com macrófitas (wetlands). In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007, Belo Horizonte.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey - the new colors of sanitation. **Water** **21**, October, p.37-41, 2001.

OTTOSON, J.; STENSTRÖM, T.A. Faecal Contamination of Greywater and Associated Microbial Risk. **Water Research**, v.37, n.3, p.645-655, 2003.

PAULO, P.L.; BEGOSSO, L.; PANSONATO, N.; SHRESTHA, R.R.; BONCZ, M.A. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. **Water Science and Technology**, v.60, n.8, p.2001-2007, 2009.

PIDOU, M.; AVERY, L.; STEPHENSON, T.; JEFFERY, P.; PARSONS, S.A.; LIU, S.; MEMON, F.A.; JEFFERSON, B. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**, v.71, p.147-155, 2008.

POLÍTICA E PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (PPMSA): Experiências e Recomendações. 2005. Brasília: Organização Panamericana da Saúde (OPAS); Ministério das Cidades, Programa de Modernização do Setor de Saneamento, 2005.

SALATTI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico**, v.65, n.1/2, p.113-116, 2003.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F.; CHENG, C.Y.; LEITE, D. Development of an experimental system for greywater reuse. **Desalination**, v.285, p.301-305, 2012.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. São Paulo, 2009. 173p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo.

SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C.V.; BOEIRA, R.C.; DYNIA, J.F. Dinâmica de metais pesados em latossolo adubado com lodo de esgoto e em

plantas de milho. In: **Lodo de esgoto: Impacto ambiental na agricultura**. São Paulo: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, cap. 4, 350 p.

SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the City of Sao Paulo. **Rev. SBAU**, v.3, n.2, p.1-19, 2008.

TONIATO, J. V. **Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos** - estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro, 2005. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Nacional de Saúde Pública - Fundação Oswaldo Cruz.

VICZNEVSKI, Í.S.; SILVA, C.G. Tratamento biológico de esgoto com zona de raízes: experiência da Prefeitura Municipal de Joinville. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment. Editorial. **Ecological Engineering**, v.25, p.475-477, 2005.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Sci. Tot. Environ.**, v.380, p.48-65, 2007.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment. **Water**, v.2, p.530-549, 2010.

ZANELLA, L., 2008. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Campinas, 2008. 219p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

WINBLAD, U.; SIMPSON-HÉBERT, M. **Ecological Sanitation**. 2nd ed. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2004.

## Capítulo 3

### 3. Desenvolvimento da planta *Canna x generalis* irrigada com água cinza<sup>1</sup>

#### RESUMO

O estudo foi realizado com o intuito de averiguar a possibilidade de utilização de água cinza domiciliar na irrigação de uma espécie ornamental, visando o reúso não potável da água para reduzir seu desperdício. Para isso, utilizou-se a espécie *Canna x generalis* cultivada em casa de vegetação, com delineamento experimental em esquema fatorial e duas fases, totalizando dez tratamentos - dois tipos de substratos (brita nº 2 e solo e, pedrisco) e cinco tipos de água (água cinza clara, água potável, água cinza clara e água potável adubadas com nutrientes, água cinza clara com repetição externa à casa de vegetação), avaliando-se semanalmente a altura total das plantas, número, largura e comprimento das folhas e diâmetros dos caules. Ao final do experimento, as plantas foram subdivididas em parte aérea e subterrânea e levadas à estufa até peso constante. A irrigação com água cinza clara (ACc) apresentou efeito deletério no crescimento das plantas em altura, número de folhas e diâmetro do caule, em ambas as fases, quando comparada aos demais tratamentos. Os efeitos da carência de nutrientes também foram observados na redução da matéria seca da parte aérea e na alocação de biomassa nas raízes. As plantas irrigadas com solução nutritiva apresentaram desenvolvimento completo, fato principalmente evidenciado pelo florescimento.

**Palavras-chave:** Reúso, plantas ornamentais, estado nutricional, áreas verdes, evapotranspiração.

#### ABSTRACT

The study was conducted in order to investigate the possibility of using household greywater to irrigate ornamental species, with the goal of reusing non potable water to reduce waste. For this study, we used the species *Canna x generalis*, grown in a greenhouse, in a randomized factorial design and two phases, totaling ten treatments - two substrate types (gravel and soil, and fine gravel) and five water types (light greywater, potable water, light greywater and potable water fertilized with nutrients, light greywater with repetition outside the greenhouse), evaluating weekly: the total plant height, number, width and length of the leaves and stem diameter. At the end of the experiment, the plants were divided into shoots and roots and put into oven to constant weight. Irrigation with light greywater (GW) had deleterious effects on plant growth, measured by height, number of leaves and stem diameter in both phases, compared to the other treatments. The effect of a lack of nutrients was also observed in the reduction of dry matter of shoots and allocation of biomass in the roots. Plants irrigated with nutrient solution showed complete development, primarily evidenced by the flourishing.

**Key words:** Reuse, ornamental plants, nutritional status, green areas, evapotranspiration.

---

<sup>1</sup> Este artigo será traduzido para o idioma inglês e submetido ao periódico *Ecological Engineering* e foi redigido de acordo com suas instruções.



### 3.1. Introdução

As águas residuárias provenientes das atividades domésticas podem ser divididas em dois grupos principais: as águas negras, que são os efluentes originados nas bacias sanitárias, e as águas cinza, que são aquelas provenientes do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (Eriksson et al., 2002; Ottoson e Stenström, 2003). A água cinza contém compostos decorrentes do uso de produtos químicos ou orgânicos para as atividades de higienização, tais como banhos, lavagem de roupas ou limpeza em geral (Jefferson et al., 1999). Estima-se que estas representam 75% do esgoto doméstico e apresentam baixos níveis de contaminação por patógenos (Li et al., 2009).

Existe uma grande tendência mundial no reúso desta fração, seja por escassez hídrica ou consciência ambiental. O reúso de água cinza busca, principalmente, reduzir o consumo de água potável em edificações, reservando-a para atividades que exijam sua potabilidade. A água cinza pode ser utilizada sem tratamento, por exemplo, para lavagem de pisos (Fiori et al., 2006). As águas cinza devidamente tratadas podem ser utilizadas para descargas de vasos sanitários, lavagem de veículos, ruas e calçadas, irrigação de jardins, construção civil (compactação do solo, produção de concreto, lavagem de agregados), usos ornamentais como em espelhos d'água, chafarizes, fontes luminosas, entre outros (May & Hespanhol, 2008).

Para o tratamento de água cinza existem diversas tecnologias que podem variar em complexidade e desempenho (Li et al., 2009). A escolha da tecnologia mais adequada depende de alguns fatores, como o uso final da água, hábitos e costumes regionais (Jefferson et al., 2004). Como sistema biológico de tratamento, podem-se citar os *wetlands* construídos, que são inspirados em ecossistemas naturais como brejos e pântanos, sendo largamente utilizados para tratamento de água cinza ou como tratamento secundário para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos (Begosso, 2009). Apresentam como vantagens: fácil operação, baixo custo de construção e manutenção e são ambientalmente adequados (Kadlec & Wallace, 2008).

O desenvolvimento de tecnologias e estratégias que proporcionem o uso seguro da água cinza para o desenvolvimento de áreas verdes é bastante promissor em vários aspectos, a começar pela conservação da água. Uma alternativa é a utilização de sistemas naturais plantados, que são integrados ao jardim e ao projeto de paisagismo, aumentando assim as áreas verdes em zonas urbanas.

Frente a isso, para viabilizar a aplicação desses sistemas, há a necessidade de estudos sobre tipos de substratos e identificação de espécies de plantas que possuem capacidade de se adaptar e colaborar no processo de tratamento, proporcionando também, ganhos estéticos no local.

A vegetação utilizada em *wetlands* construídos deve apresentar tolerância a áreas constantemente saturadas ou submersas e ao fluxo contínuo de poluentes dos mais diversos tipos e concentrações. Para o tratamento de esgotos, várias espécies vegetais podem ser empregadas, como as macrófitas ou plantas de interesse ornamental. Conforme Zanella (2008), o aproveitamento da água residuária para fins agrícolas permite, além do tratamento dos efluentes, ganhos econômicos pela adubação das culturas por meio dos nutrientes incorporados nas águas residuárias.

Alguns estudos já foram realizados sobre o uso de plantas ornamentais em *wetlands* construídos, como a helicônia (*Heliconia psittacorum*) e o beri (*Canna x generalis*) (Zanella, 2008; Konnerup et al., 2009; Paulo et al., 2009), o copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) e o papiro (*Cyperus papyrus*) (Zanella, 2008), o mini-papiro (*Cyperus isocladius*) e a alpínia (*Alpinia purpurata*) (Zanella, 2008; Paulo et al., 2009), e a orquídea bambu (*Arundina*

*bambusifolia*) (Paulo et al., 2009). No estudo de Paulo et al. (2009), as espécies foram utilizadas em um sistema híbrido de *wetlands* construídos para tratamento domiciliar de águas cinza, os quais utilizavam dois tipos de substratos (areia e pedrisco). As plantas escolhidas foram resistentes às condições aplicadas, apresentando melhor tolerância as que utilizaram o substrato areia ao invés de pedrisco. Zanella (2008) utilizou *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial vegetados, com suporte de brita nº 1 e bambu, como sistemas de pós-tratamento de esgotos domésticos advindos de reatores anaeróbios. Dentre as espécies avaliadas, apresentaram o melhor desenvolvimento e adaptação o papiro, mini-papiro e beri. A alpínia e helicônia apresentaram crescimento abaixo do esperado, e o copo-de-leite não se mostrou indicado para cultivo em monocultura. O emprego de brita nº 1 mostrou-se mais viável em termos de eficiência do sistema quando comparado aos anéis de bambu utilizados. No estudo conduzido por Konnerup et al. (2009) utilizou-se *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial vegetados, com pedrisco, brita nº 2 e brita nº 3 como substrato, para tratamento de efluentes domésticos. Ambas as espécies escolhidas apresentaram altas taxas de crescimento, com vantagem para a *Canna* que proporcionou também maior remoção de nitrogênio total que a *Heliconia*.

A planta ornamental, *Canna x generalis*, foi selecionada com base no trabalho realizado por Paulo et al. (2009), que observaram visualmente o crescimento dessa espécie em sistema de tratamento de águas cinza, independente do substrato utilizado (areia ou pedrisco). A partir dessa observação, buscaram-se informações mais detalhadas que permitam a aplicação desta espécie, como a influência da concentração de nutrientes, resistência à salinidade e encharcamento, tolerância a sombreamento e sobre os tipos de substratos que podem ser utilizados.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de água cinza domiciliar no desenvolvimento da planta *Canna x generalis* (beri), quanto à adaptabilidade, estado nutricional e produção da cultura, com a utilização de dois tipos de substratos: combinação em camadas de brita nº 2 e solo, e pedrisco.

### 3.2. Material e Métodos

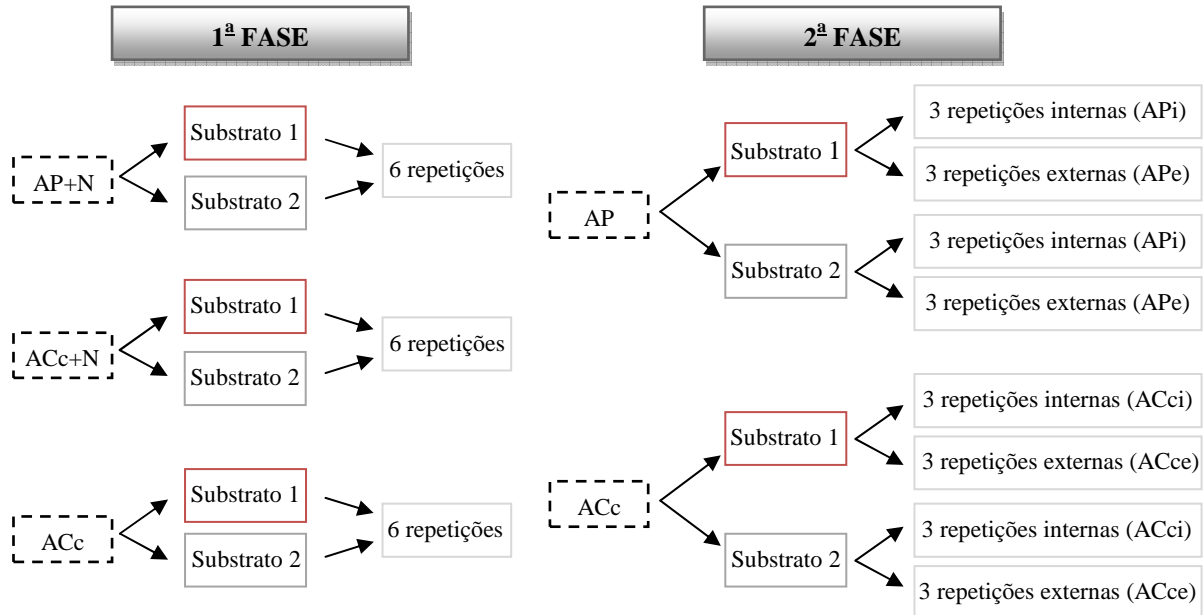
O experimento foi conduzido em casa de vegetação (6,00 x 6,00 m) situada no *campus* da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizado no Município de Campo Grande - MS, definido pelas coordenadas geográficas: 20°26' de latitude Sul e 54°38' de longitude Oeste, com altitude variando entre as cotas 500 e 675 m.

O estudo foi realizado em baldes com o objetivo de simular um sistema natural plantado para o tratamento de água cinza clara. Para averiguar o efeito dos materiais do leito filtrante no crescimento vegetal, este estudo teve a intenção de reproduzir os substratos utilizados no sistema supracitado, verificando a capacidade destes em servir como meio suporte a vegetação.

O experimento foi dividido em duas fases, ambas de 80 dias, totalizando dez tratamentos. O substrato 1 (S1) foi uma combinação em camadas de brita nº 2 e solo e o substrato 2 (S2), pedrisco. As águas de irrigação foram: água potável (AP), água potável + nutrientes (AP+N), água cinza clara (ACc) e água cinza clara + nutrientes (ACc+N).

O delineamento experimental utilizado na 1ª fase do experimento foi em esquema fatorial 2 x 3, com seis repetições, sendo os fatores referentes aos dois tipos de substratos (S1 e S2) e aos três tipos de água (AP+N, ACc+N e ACc). Na 2ª fase do estudo também se utilizou esquema fatorial, porém com quatro tratamentos e seis repetições: dois tipos de substratos (S1 e S2) e dois tipos de água (AP e ACc). Nessa fase, três repetições de cada tratamento foram

alocadas do lado externo da casa de vegetação para avaliação em condições reais (água cinza clara parcela interna (ACci) e água cinza clara parcela externa (ACce)). Um fluxograma representativo das fases está demonstrado a seguir (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Fluxograma do delineamento experimental.

Para compor as três repetições internas da 2ª fase, irrigadas com ACc e de ambos os substratos, foram utilizadas 3 das 6 repetições desse tratamento na 1ª fase, ou seja, 3 parcelas permaneceram durante todo o experimento (208 dias). A 1ª fase do estudo compreendeu um período quente e seco (setembro a novembro de 2012) e a 2ª, um período chuvoso (janeiro a março de 2013).

A espécie escolhida foi a *Canna x generalis* cujos propágulos foram plantados em recipientes de plantio contendo areia e permaneceram durante 65 dias para brotação, crescimento e aclimação. Na instalação do experimento, as mudas saudáveis e uniformes foram selecionadas, sendo retiradas dos potes e submetidas a uma limpeza para remoção do excesso de areia. O plantio foi realizado em baldes transparentes com capacidade de 13,5 L, nos quais foram adaptadas mangueiras na parte inferior para escoamento da água. Os baldes que representavam S1, foram preenchidos com 11,0 cm de brita nº 2 e 14,0 cm de solo. Nos que representavam o S2 colocou-se uma camada de 25,0 cm de pedrisco. As parcelas experimentais foram alocadas sobre as bancadas da casa de vegetação.

Para a irrigação das parcelas experimentais, utilizou-se tubos de PVC (policloreto de vinila) com diâmetro de 20,0 mm (3/4"), enterrados a 20,0 cm de profundidade, situando-se abaixo da superfície do substrato, por onde era aplicada a água de irrigação, que posteriormente atingia a região radicular por ascensão capilar.

A irrigação era realizada de forma manual, na 1ª e 2ª fases a cada 5 e 7 dias, respectivamente, com o uso de proveta volumétrica, proporcionando a mesma lâmina de água para os dois substratos. A cada irrigação, realizava-se o escoamento da água dos baldes e aplicava-se novamente um volume conhecido nas parcelas. A água retirada de cada balde era medida para a obtenção da evapotranspiração.

Na 1ª fase do experimento, utilizou-se para adubação o produto Hidrogood Fert (Hidrogood®) que foi desenvolvido especificamente para uso na Hidroponia. O produto

adquirido constitui-se em um composto de nutrientes para um total de 1000,0 L de água conforme apresentado na Tabela 3.1. O nitrato de cálcio foi dissolvido separadamente, pois forma compostos insolúveis com fosfatos e sulfatos. Para aplicação nas parcelas experimentais (a cada 5 dias) o composto era pesado em quantidade proporcional ao volume de água que seria utilizado naquela alimentação, tanto para mistura em água potável (AP+N) quanto para água cinza (ACc+N).

**Tabela 3.1.** Formulação química do composto Hidrogood Fert e nitrato de cálcio.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S	B	Cu	Mo	Mn	Zn	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
(%)										
10	9	28	3,3	4,3	0,06	0,01	0,07	0,05	0,02	45,19

Obs.: Porcentagens referentes a mil litros de água.

A água cinza clara, de origem domiciliar, empregada nas duas fases do experimento, foi produzida para simular a rotina diária de uma família. Essa água não foi submetida a nenhum tipo de tratamento ou retirada de materiais grosseiros antes da utilização nos experimentos.

A cada batelada de ACc produzida para irrigação da cultura, a caracterização qualitativa era realizada por meio da análise dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, salinidade, turbidez, DQO, nitrogênio total, fosfato e surfactantes. As coletas e análises foram realizadas de acordo com o preconizado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21<sup>st</sup> ed. (APHA et al., 2005).

A caracterização das plantas foi realizada semanalmente através de medidas não-destrutivas (altura total da planta, número de folhas, largura e comprimento das folhas e diâmetro do caule). Para as medidas destrutivas (massa seca final da parte aérea e da raiz e, macro e micronutrientes) as plantas foram cortadas ao final de cada fase, e divididas em parte aérea (caule e folhas) e subterrânea (raízes), e levadas à estufa a 60°C até peso constante. Uma amostra inicial e amostras das plantas ao final do experimento foram levadas para análise foliar.

O solo utilizado no S1, na 1<sup>a</sup> fase, obteve na análise granulométrica 610, 230 e 160 g.kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente. Já o solo utilizado na 2<sup>a</sup> fase, resultou em 810, 80 e 110 g.kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, na sequência. As análises de solo e análises foliares foram realizadas por laboratório especializado, localizado em Campo Grande - MS.

Os dados referentes ao crescimento das plantas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). Para analisar a normalidade das distribuições, usou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. As análises estatísticas foram feitas utilizando o programa Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

### 3.3. Resultados e Discussão

#### 3.3.1. Águas de irrigação

Para a caracterização qualitativa das águas empregadas na irrigação da cultura, e destas após passar pelos substratos, procedeu-se com a análise de diversas amostras durante o período de estudo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2.** Parâmetros físico-químicos das águas de irrigação nas diferentes fases do experimento e nos diferentes substratos aplicados.

Fase	Tipo de Água	Ponto	Parâmetros								
			pH	Turbidez (NTU)	Condut. (dS.m <sup>-1</sup> )	TDS	DQO	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fosfato	Surfactantes	
1 <sup>a</sup> n=16	AP+N	E	6,6	1,1	1,6	1039,1	49,8	141,9	67,8	9,4	
		SS1	6,9	1,6	1,4	922,2	49,6	94,3	28,1	7,8	
		SS2	7,2	1,5	2,6	1689,7	47,5	134,0	12,9	10,5	
	ACc+N	E	7,3	213,5	2,2	1420,0	590,2	132,2	80,5	43,9	
		SS1	8,0	5,7	1,7	1074,7	94,5	22,7	12,0	7,6	
		SS2	7,8	6,1	2,2	1409,4	129,5	27,6	16,9	15,4	
	ACc	E	9,0	177,5	0,9	591,5	639,1	7,1	4,5	61,6	
		SS1	7,7	27,0	0,9	566,5	146,5	2,3	2,0	28,2	
		SS2	7,4	34,5	0,8	522,3	208,4	2,3	3,4	39,3	
	2 <sup>a</sup> n=11	AP	E	6,8	0,6	0,1	95,8	22,6	1,9	3,6	7,3
		ACc	E	9,0	222,7	1,7	1087,5	828,5	13,9	4,2	112,8
		ACci	SS1	7,9	52,1	1,6	1032,4	433,7	3,6	1,5	62,6
SS2			7,8	61,4	1,3	849,7	494,9	5,8	1,6	79,6	
ACce		SS1	7,2	40,0	1,2	758,8	227,5	1,6	1,1	54,4	
		SS2	7,6	35,8	1,0	623,8	292,9	2,8	1,1	61,6	

AP+N: água potável + nutrientes; ACc+N: água cinza clara + nutrientes; ACc: água cinza clara; AP: água potável; ACci: água cinza clara parcela interna; ACce: água cinza clara parcela externa; E: Entrada; SS1: saída substrato 1; SS2: saída substrato 2; TDS: sais dissolvidos totais; DQO: Demanda Química de Oxigênio; NT: Nitrogênio Total; n: número de amostras analisadas.

Nota-se na irrigação utilizando AP+N, que essa mistura ao passar pelo S2, eleva seu pH, condutividade e TDS. As plantas poderiam ter sais acumulados nas raízes das plantas e com a irrigação e posterior escoamento, esses sais retidos podem ter sido eliminados (Farias, 2008). A ACc utilizada no estudo sempre apresentou pH alcalino e ao misturá-la com nutrientes apresentou valores próximos a neutralidade. Ao se utilizar ACc+N, houve um aumento no pH após os dois substratos, ao contrário do tratamento com ACc que reduziu o pH. Esse fato pode ser explicado pela maior redução de DQO do tratamento ACc+N, pois de acordo com von Sperling (2005), a oxidação da matéria orgânica pode ocasionar um aumento no pH.

Quanto à concentração de nitrogênio e fosfato, em todos os tratamentos houve uma diminuição na concentração destes ao passar pelos substratos, indicando que foram absorvidos pelas plantas. Ao se utilizar ACc+N e ACc, houve uma considerável redução na turbidez, DQO e surfactantes após passarem pelos substratos, visto que os tratamentos funcionaram como um filtro.

De acordo com Paganini (2003) que cita 5 classes de salinidade para águas de irrigação, as águas desse estudo se enquadraram na classe de salinidade alta (TDS de 500-1500 mg.L<sup>-1</sup>), exceto a AP que possui salinidade baixa (TDS de 0-175 mg.L<sup>-1</sup>). A salinidade alta pode causar danos à vegetação pelo simples contato direto, ou os sais podem se acumular no solo, dentro dos limites do sistema radicular das plantas, inibindo sua germinação e seu desenvolvimento.

Na solução nutritiva empregada no estudo, a condutividade elétrica (CE) variou entre 1,6 a 2,2 dS.m<sup>-1</sup>, valores que se encontram dentro da faixa ideal de condutividade sugerida por Furlani et al. (1999), faixa esta variando de 1,5 a 4,0 dS.m<sup>-1</sup>. Ainda segundo os autores, valores acima dessa faixa são prejudiciais à planta, e valores inferiores indicam a deficiência de algum elemento. Quanto ao pH, o valor adequado fica entre 5,5 a 6,5, para que as plantas

tenham o seu desenvolvimento máximo. Nesse caso, o pH situou-se acima da faixa recomendada, e apesar disso, não prejudicou o desenvolvimento da espécie para os tratamentos com adubação artificial.

No estudo de Beckmann-Cavalcante et al. (2010) que objetivou avaliar o crescimento do crisântemo cv. Miramar em vaso, em função da condutividade elétrica da solução nutritiva, observou-se que solução com CE de  $2,1 \text{ dS.m}^{-1}$  possibilitou a produção do crisântemo dentro de padrões qualitativos de comercialização. Ainda no mesmo estudo, a CE interferiu no crescimento em altura, tornando-se mais deletéria à medida que aumenta a idade das plantas. Já Maciel et al. (2012) concluíram que, para produção de girassol ornamental, o aumento da condutividade da água ( $1,51$  a  $6,19 \text{ dS.m}^{-1}$ ) ocasionou redução sobre a altura das plantas, do diâmetro do caule e da massa de matéria seca da parte aérea.

No presente trabalho, os incrementos de condutividade e TDS foram mais expressivos apenas para o S2 irrigado com AP+N, mas apesar disso o valor obtido está dentro da faixa recomendada e abaixo dos valores citados na literatura, ou seja, não apresentou efeitos sobre o desenvolvimento das plantas.

### 3.3.2. Parâmetros de crescimento

Os resultados referentes aos testes de média para os parâmetros de crescimento da planta em função do tipo de água e dos substratos, como indicadores de desenvolvimento, encontram-se nas Tabelas 3.3 e 3.4.

Em relação ao desenvolvimento das plantas, o estudo das médias indica que houve diferença na comparação entre os tratamentos. As plantas irrigadas com AP+N e ACc+N, em ambos os substratos, apresentaram maior crescimento do caule, altura e quantidade de folhas.

Em ambiente natural a altura média da *Canna x generalis* situa-se na faixa de 0,5-1,5 m (Lorenzi & Souza, 2001). Observa-se com os resultados que houve diferença significativa entre a altura das plantas irrigadas com solução nutritiva para os demais tratamentos, com vantagem para as primeiras. As plantas irrigadas com AP, tanto as internas quanto as externas, apresentaram altura inferior à metade do valor do tratamento AP+N, contudo situaram-se dentro da faixa encontrada na literatura. A irrigação com ACc, nas duas fases, propiciou crescimento em altura abaixo da faixa descrita.

Para as variáveis estudadas, os tratamentos com AP+N e ACc+N apresentaram-se estatisticamente iguais. É provável que isto se deva ao fato de que o produto adicionado na irrigação apresentava concentrações específicas de nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo) que proporcionou condições para maior crescimento da cultura. Com isso, verifica-se que a água cinza adubada artificialmente não prejudicou o desenvolvimento da espécie e, quando utilizada sem adubação (ACc), apresentou crescimento inferior em três parâmetros (número de folhas, altura da planta e diâmetro do caule) e alguns sintomas de carência nutricional, possivelmente por possuir baixos níveis de nutrientes.

O número de folhas por planta em todos os tratamentos foi crescente no decorrer de todo o ciclo, contudo a irrigação com ACc propiciou uma quantidade menor de folhas e com a perda de folhas senescentes (que ocorreu em todos os tratamentos), reduziu-se ainda mais esse valor. As primeiras folhas das plantas não duraram o período completo da fase (80 dias).

**Tabela 3.3.** Efeito dos tipos de água e substratos nos parâmetros de análise de crescimento das plantas, aos 80 dias após o plantio.

Substrato	Fase	Tipo de Água	Nº Folhas	Altura	Diâmetro Caule	Comprimento 2ª Folha	Largura 2ª Folha	Comprimento 3ª Folha	Largura 3ª Folha
S1	1ª	AP+N	8,0 a	109,8 ab	3,9 b	16,3 c	5,8 cd	22,6 d	6,7 e
		ACc+N	8,0 a	98,9 b	3,6 bc	16,3 c	6,1 bcd	23,1 d	6,3 e
		ACc	3,8 def	39,2 de	2,3 de	19,8 bc	6,3 bcd	25,5 cd	7,4 cde
	2ª	APi	5,3 cd	58,4 c	3,0 bcd	32,2 a	8,2 a	26,2 cd	8,8 abcd
		APe	5,0 cde	48,4 cd	3,7 b	23,2 bc	7,3 abc	38,8 a	10,5 a
		ACce	3,0 f	28,8 e	2,5 cde	23,0 bc	7,6 abc	36,2 ab	7,6 bcde
S2	1ª	AP+N	7,7 ab	114,7 a	4,1 ab	17,8 c	6,4 bcd	22,3 d	6,4 e
		ACc+N	8,7 a	104,8 ab	5,1 a	17,7 c	6,8 abc	21,9 d	7,3 de
		ACc	2,2 fg	27,4 e	1,4 ef	20,0 bc	7,3 abc	25,0 cd	9,0 abcd
	2ª	APi	3,3 ef	37,0 de	2,3 de	27,5 ab	7,6 ab	30,0 bcd	7,9 bcde
		APe	6,0 bc	46,6 cd	3,9 b	17,2 c	4,9 d	37,8 ab	9,3 abc
		ACce	1,0 g	36,5 de	0,6 f	-	-	32,3 abc	9,5 ab
CV (%)			17,61	10,86	19,77	20,28	14,13	15,02	12,68

AP+N: água potável + nutrientes; ACc+N: água cinza clara + nutrientes; ACc: água cinza clara; APi: água potável parcela interna; APe: água potável parcela externa; ACce: água cinza clara parcela externa; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Como dito anteriormente, na 2ª fase também houve irrigação com ACc, porém com repetições internas e externas à casa de vegetação. Para compor as três repetições internas (ACci) de ambos os substratos, foram utilizadas 3 das 6 repetições desse tratamento na 1ª fase, ou seja, 3 parcelas permaneceram durante todo o experimento (208 dias). Com isso, a comparação desse tratamento com os demais ficou prejudicada, visto que as plantas não apresentavam a mesma idade no mesmo período. Na Tabela 3.4 encontram-se os testes de médias referentes somente aos tratamentos com ACc. Nota-se que com o passar do tempo, as plantas do tratamento ACc foram perdendo suas folhas e reduzindo os diâmetros de seus caules (comparando-se com o tratamento ACci). O tratamento ACce não apresentou diferença estatística ao tratamento ACc da 1ª fase em relação ao número de folhas. Para o S1 houve diferença significativa entre esses tratamentos para a altura, e no S2 para o diâmetro do caule.

**Tabela 3.4.** Efeito dos tipos de água e substratos nos parâmetros de análise de crescimento das plantas irrigadas com água cinza clara.

Substrato	Fase	Tipo de Água	Nº Folhas	Altura	Diâmetro Caule	Comprimento 2ª Folha	Largura 2ª Folha	Comprimento 3ª Folha	Largura 3ª Folha
S1	1ª	ACc	3,8 a	39,2 a	2,3 a	19,8 b	6,3 b	25,5 c	7,4 c
	2ª	ACci	1,3 bc	41,1 a	1,1 bc	-	-	-	-
		ACce	3,0 a	28,8 b	2,5 a	23,0 a	7,6 a	36,2 a	7,6 bc
S2	1ª	ACc	2,2 ab	27,4 b	1,4 b	20,0 ab	7,3 a	25,0 c	9,0 ab
	2ª	ACci	0,3 c	32,3 ab	0,8 bc	-	-	-	-
		ACce	1,0 bc	36,5 ab	0,6 c	-	-	32,3 b	9,5 a
CV (%)			45,52	15,30	29,53	17,47	12,29	7,22	14,43

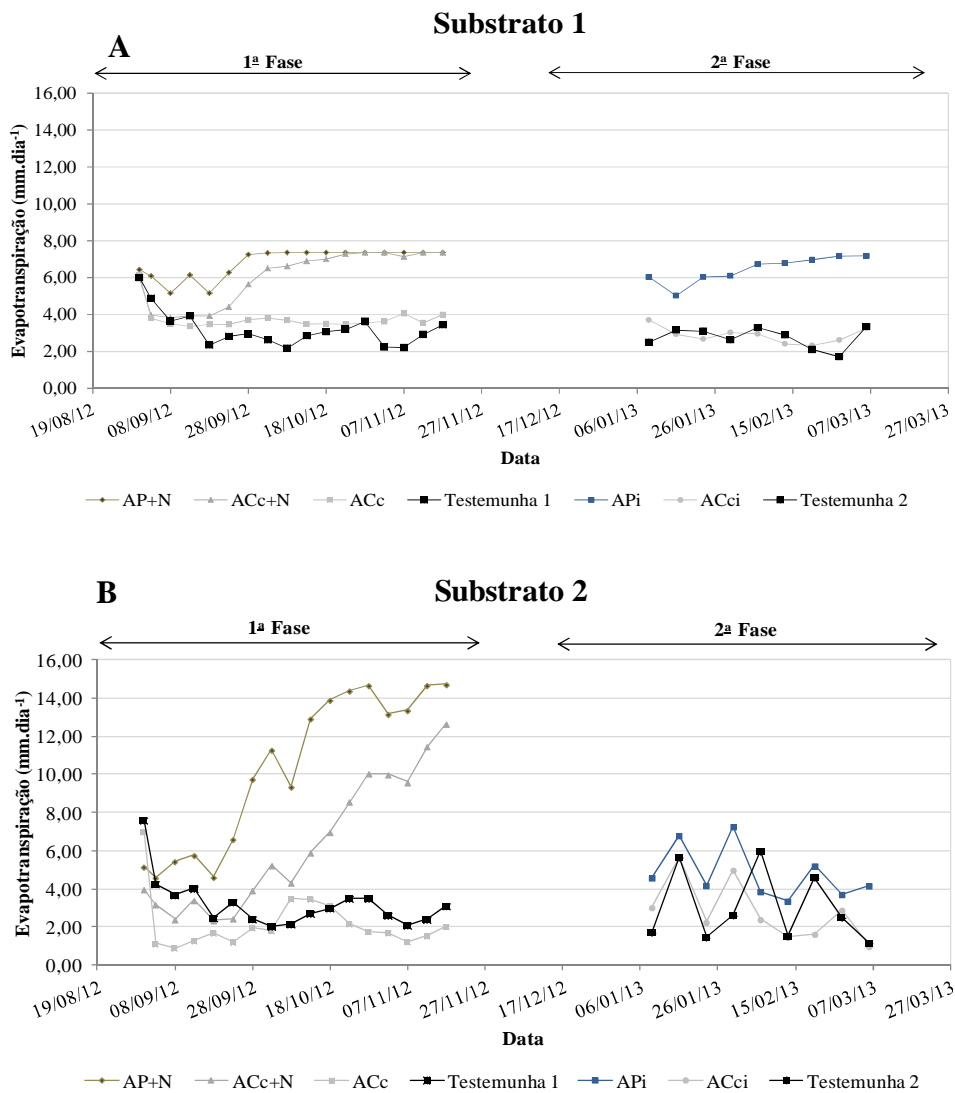
ACc: água cinza clara; ACci: água cinza clara parcela interna; ACce: água cinza clara parcela externa; CV: coeficiente de variação. ACc e ACce aos 80 dias; ACci aos 208 dias. Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Em estudo realizado por Cerqueira et al. (2008) para avaliar o desenvolvimento da *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* quando irrigadas com águas residuárias tratadas (esgoto doméstico) e água de riacho, não houve diferença significativa entre os tipos de água havendo, contudo, altura maior para as plantas irrigadas com esgoto doméstico, o que

contraria o resultado obtido neste trabalho. Isso pode estar relacionado à utilização de esgoto doméstico tratado que, mesmo quando bruto, apresenta-se mais diluído e homogêneo que a água cinza. Além disso, a composição físico-química da ACc, que apresenta baixa concentração de nutrientes, pode apresentar um efeito prejudicial ao desenvolvimento das plantas.

### 3.3.3. Evapotranspiração

Na Figura 3.2 são apresentados os valores de evapotranspiração encontrados durante o experimento. Os baldes testemunhas não foram plantados, portanto, apresentaram apenas os substratos e foram irrigados com AP.



**Figura 3.2.** Evapotranspiração medida em ambas as fases no (A) substrato 1 e (B) substrato 2.

Os valores de evapotranspiração para os diferentes tratamentos de irrigação mostraram a ocorrência de variação expressiva ao longo do ciclo vital para os tipos de tratamentos. A partir dos dados obtidos, observa-se que na 1ª fase a evapotranspiração foi aumentando ao longo dos 80 dias para os tratamentos com AP+N e ACc+N, principalmente no S2, o que pode ser devido ao crescimento das plantas no sistema, visto que o consumo hídrico da espécie está



relacionado com o estágio de desenvolvimento e as condições atmosféricas as quais a cultura esta exposta. Confirmando o fato, verificou-se que nas parcelas irrigadas com solução nutritiva as plantas apresentaram maior crescimento.

A evapotranspiração observada no tratamento com ACc foi menor que nos demais, o que também pode estar relacionado com o menor crescimento das plantas nesse tratamento. A diminuição da capacidade de evapotranspiração no S1, na 2ª fase, pode ser devida ao efeito de salinização do solo, que diminui a capacidade das plantas em absorver água (Glenn et al., 1995).

O S1 obteve taxas de evapotranspiração maiores que o S2 em todos os tratamentos com água cinza (ACc+N, ACc e ACci). Este estudo simulou um sistema natural plantado para o tratamento de ACc, no qual parte do efluente será evapotranspirada (na unidade que possui como substrato uma combinação em camadas de brita nº 2 e solo) e parte será tratada ao longo da segunda unidade (substrato pedrisco). Portanto, o S1 se confirmou como melhor opção para a unidade de evapotranspiração do sistema.

Os tratamentos realizados na parte externa da casa de vegetação (APe e ACce), apresentaram valores negativos de evapotranspiração, pois estiveram sujeitos às precipitações ocorridas durante o período de estudo.

A questão do aumento da condutividade no S2 irrigado com AP+N, visualizado na Tabela 3.2, pode ser resultado da maior evapotranspiração deste, que diminui o volume de água, aumentando a concentração de sais e, conseqüentemente, a condutividade.

### 3.3.4. Análise de nutrientes das folhas

Os resultados dos teores de macro e micronutrientes correspondentes a cada tratamento são apresentados na Tabela 3.5. Não foram encontrados na literatura, para comparação, trabalhos sobre os níveis ótimos de macro e micronutrientes para a espécie *Canna x generalis*.

**Tabela 3.5.** Teores de macro e micronutrientes nas folhas de *Canna x generalis*.

Fase	Substrato	Tipo de Água	Macronutrientes						Micronutrientes				
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
			(g.kg <sup>-1</sup> )						(mg.kg <sup>-1</sup> )				
1ª	-	M	30,5	2,0	30,3	1,7	4,2	2,8	182,6	238,7	26,1	18,9	10,8
	S1	AP+N	28,7	1,4	58,8	8,3	11,2	1,5	447,7	426,1	19,0	7,1	76,0
		ACc+N	27,3	2,4	61,3	9,8	4,3	1,8	410,7	120,3	22,2	6,5	90,1
		ACc	11,5	1,1	31,8	7,1	4,1	1,8	320,8	682,3	19,5	5,9	36,5
	S2	AP+N	30,0	3,6	58,8	10,5	5,0	1,4	320,8	800,0	22,4	10,0	106,0
		ACc+N	28,3	2,4	66,3	6,0	4,4	1,7	205,8	630,1	24,3	10,6	71,2
ACc		13,2	1,0	12,8	9,5	5,0	2,9	416,0	198,4	18,9	2,4	31,3	
2ª	-	M	*	3,1	53,5	7,9	7,3	4,4	356,9	395,0	41,0	26,0	*
	S1	APi	10,8	1,1	23,8	9,7	7,3	0,8	195,6	213,6	18,3	4,8	31,7
		APe	10,3	3,1	31,5	10,8	4,7	0,9	82,1	440,6	24,6	81,0	*
		ACci	11,0	1,0	24,2	7,0	3,6	2,5	161,8	253,2	17,0	8,9	45,3
		ACce	*	2,6	27,0	6,6	4,2	1,7	195,3	2451,0	22,8	6,7	*
	S2	APi	*	0,5	38,0	8,6	3,7	0,6	136,8	78,1	13,4	6,2	*
		APe	11,7	0,8	34,2	11,9	7,0	1,0	74,1	197,7	18,8	11,6	*
		ACci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ACce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

M: muda inicial da planta utilizada na fase; AP+N: água potável + nutrientes; ACc+N: água cinza clara + nutrientes; ACc: água cinza clara; APi: água potável parcela interna; APe: água potável parcela externa; ACci: água cinza clara parcela interna; ACce: água cinza clara parcela externa; (\*) não foi possível medição deste nutriente; (-) sem amostra.

Na 1ª fase, houve aumento nos teores de Ca (352-615%), Mg (103-267%), Fe (113-245%) e B (290-982%) para os tratamentos, em comparação com a muda da planta antes do experimento. Houve redução mais significativa para o nitrogênio (38-98%), cobre (13-56%) e enxofre (50-63%), e para os demais algumas variações entre os tipos de água de irrigação e substratos. As plantas cultivadas no S2 apresentaram concentração um pouco mais elevada de N e P nas suas folhas em relação ao S1, independente do tipo de água utilizada para irrigação.

O uso de ACc resultou em acréscimos de macro (Ca) e micronutrientes (Fe, Mn e B) nas folhas. No estudo conduzido por Santos et al. (2012) sobre o desenvolvimento e o estado nutricional de helicônias irrigadas com água residuária tratada de origem doméstica associada a fertilizantes químicos, concluiu-se que o uso da água residuária resultou em acréscimo de teores de micronutrientes nas folhas, principalmente Fe e Mn, com 127,97 e 561,58 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

O nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), presente no nitrato de cálcio, componente da solução nutritiva utilizada no estudo, movimenta-se livremente com a água de irrigação, porque não é adsorvido pelos colóides do solo. A manutenção dos teores de nitrogênio nas plantas irrigadas com solução nutritiva pode ser explicada pelo fato desses fertilizantes terem a vantagem de, imediatamente, disponibilizar o N para a absorção pelas plantas (Vieira & Ramos, 1999).

A ACc empregada como água de irrigação apresentou pH médio de 9,0 para as duas fases, e de acordo com Martinez (1999) pH superior a 7,0 causa grande restrição na disponibilidade de micronutrientes e de fósforo. Os valores resultantes da análise foliar confirmaram que isso pode ter ocorrido nessas parcelas.

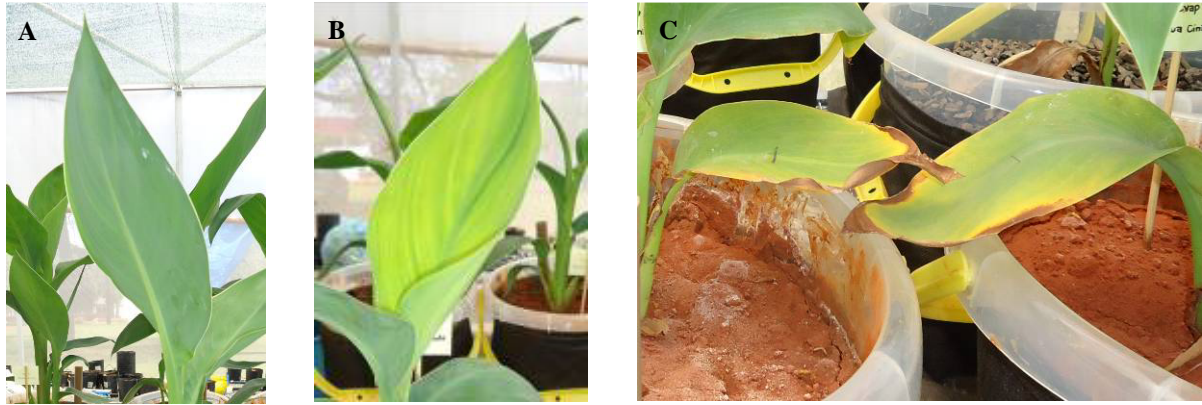
Na 2ª fase, as plantas do S2 irrigadas com ACc não conseguiram se manter até o final do experimento, não sendo possível obter amostras foliares para análise de macro e micronutrientes. Em algumas amostras não foi possível a medição de todos os nutrientes devido a pequena quantidade de material obtida para análise.

Em estudo feito por Zhang et al. (2008) para investigar os efeitos interativos de N e P no crescimento da *Canna indica*, os resultados indicaram que essa espécie pode acumular altas concentrações de N e P nas folhas e caules, em condições de oferta abundante. Essa capacidade juntamente com sua elevada taxa de crescimento são características desejáveis para plantas utilizadas em *wetlands* construídos para o tratamento de águas residuárias. Ainda no mesmo estudo, os autores encontraram como maiores concentrações de nutrientes nas folhas, 30,8 e 4,9 g.kg<sup>-1</sup> de N e P, respectivamente. No presente estudo os maiores níveis encontrados foram de 30 g.kg<sup>-1</sup> de N e 3,6 g.kg<sup>-1</sup> de P, o que corrobora com a faixa encontrada na literatura.

Ao se analisar a Tabela 3.2 na qual se encontram os resultados das características das águas de irrigação, observa-se que os níveis de nitrogênio total e fosfato eram bastante inferiores na ACc para a 1ª fase. Na 2ª fase, a ACc, mesmo com valores abaixo da faixa nutricional, apresentou maior concentração desses nutrientes quando comparada a AP, porém na análise foliar a diferença foi pequena. Com isso, pode-se concluir que as plantas irrigadas com ACc apresentaram limitação de absorção de nutrientes devido a composição química da própria água cinza.

Os macronutrientes e micronutrientes exercem funções específicas no desenvolvimento da planta e a deficiência ou excesso destes provoca sintomas de carência ou de toxidez, característicos. Alguns sintomas puderam ser notados nos tratamentos (Figura 3.3). Os tratamentos com mistura de solução nutritiva não apresentaram sintomas de deficiência ou toxidez nutricional, pois ao longo do experimento as folhas se mantiveram com cores de verde intenso, indicando bom desenvolvimento das plantas. O tratamento com ACc, mesmo mostrando concentrações maiores de nitrogênio na 2ª fase, apresentou sintomas de carência de

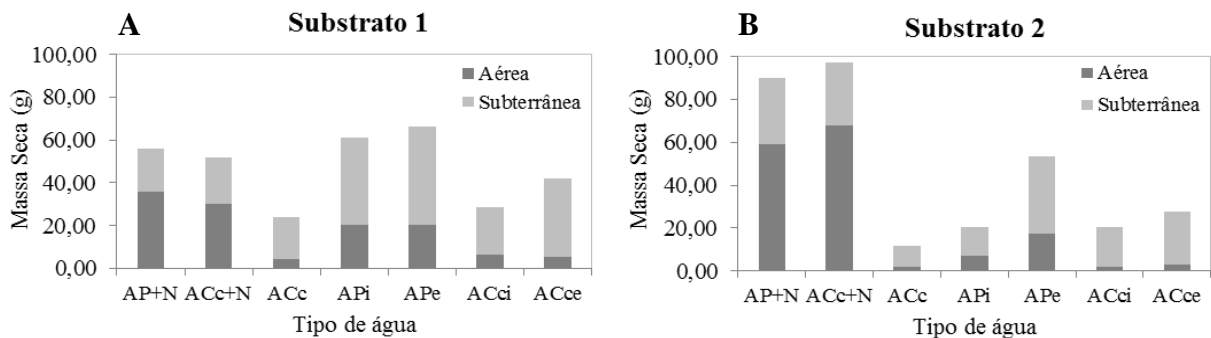
nitrogênio nas duas fases, que leva a coloração verde-amarela pálida das folhas (Borges & Oliveira, 2006). Também foi observada deficiência de fósforo, que apresenta clorose e, posteriormente, necrose nas bordas das folhas e no centro. Estes sintomas ocorreram nas folhas mais velhas e, com o decorrer do tempo, se distribuiu para as folhas mais novas. Ambos os sintomas também foram percebidos no tratamento com AP, da 2ª fase.



**Figura 3.3.** (A) Folha de planta cultivada com solução nutritiva; (B) e (C) Folha de planta irrigada com ACc, com sintomas de deficiência de nitrogênio e fósforo, respectivamente.

### 3.3.5. Produção de biomassa

A produção de matéria seca da parte aérea e subterrânea das plantas submetidas aos diferentes tratamentos, após o término de cada fase (80 dias), é apresentada na Figura 3.4. De maneira geral, observam-se maiores médias de produção da parte aérea nos tratamentos com adubação (Figura 3.4A) e maior desenvolvimento das raízes nas plantas irrigadas com ACc e AP (Figura 3.4B). Observa-se que o S1 proporcionou melhor crescimento das plantas quando irrigado com ACc e AP, e o S2 quando irrigado com AP+N e ACc+N.



**Figura 3.4.** Efeito dos tipos de água na massa seca da parte aérea e subterrânea, aos 80 dias, para os dois tipos de substratos: substrato 1 (brita nº 2 e solo) e substrato 2 (pedrisco).

Quando elementos minerais são escassos, as plantas muitas vezes podem alocar uma maior proporção da sua biomassa no sistema radicular. Quantidades deficientes de macronutrientes essenciais (N, P, K e Mg) resultam em um acúmulo de carboidratos nas folhas e raízes, e podem modificar a proporção de biomassa da parte aérea e raiz (Hermans et al., 2006). No presente estudo, a alocação da biomassa nas raízes diminuiu com o aumento da disponibilidade de nutrientes (plantas irrigadas com AP+N e ACc+N) e aumentou quando utilizada apenas AP e ACc, visto que a oferta de nutrientes era menor. Além disso, o fato da

maior massa seca da parte aérea ser das plantas irrigadas artificialmente com nutrientes, pode ser justificado pela maior produção de folhas, diâmetro do caule e altura final alcançada. No experimento de Zhang et al. (2008) com a *C. indica* também houve alteração da alocação de biomassa pela disponibilidade de nutrientes, tal qual ocorreu neste estudo.

Silva & Mongelo (2008), em estudo sobre a adubação do Beri, comprovaram que a adubação com nitrogênio proporcionou maior produtividade da massa de rizomas, ao contrário da aplicação de fósforo e potássio que não afetou a produção. O composto aplicado no presente estudo apresentava vários nutrientes em sua formulação, não sendo possível fazer a mesma comparação. No trabalho conduzido por Azevedo & Oliveira (2005) para avaliar a aplicação de esgoto doméstico tratado na cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.), houve um aumento, da ordem de 40,7%, na produção das plantas irrigadas com o efluente.

Observando o comportamento das parcelas alocadas do lado externo da casa de vegetação, nota-se que para AP houve variação no crescimento aéreo e subterrâneo somente para o S2. Para a ACc, a repetição externa (ACce) apresentou maior produção de biomassa subterrânea, em ambos os substratos, em relação a ACci, fato que pode ser devido à exposição às chuvas, pois os tratamentos externos apresentaram maior lixiviação, e no caso da água cinza, diluição. Ao ser diluída, a baixa concentração de nutrientes dessa água torna-se ainda menor, e o que houve foi um aumento no crescimento radicular, mesmo efeito descrito anteriormente sobre a alocação de biomassa. Com isso, observou-se que as plantas irrigadas com ACc apresentaram distinção quanto à produção subterrânea, quando colocadas em ambiente aberto simulando condições reais de plantio. Outras diferenças verificadas entre as repetições internas e externas (ACci e ACce), diz respeito a menor evapotranspiração e a redução de DQO, turbidez e surfactantes nas parcelas externas, devido a maior lixiviação e/ou transbordamento ao receberem águas pluviais.

Como observado anteriormente, as parcelas irrigadas com solução nutritiva apresentaram maior evapotranspiração (especialmente o S2), ao passo que as plantas de ACc ficavam em contato com a água por um período de tempo maior, devido a menor evapotranspiração diária. Manter o substrato muito úmido por irrigações frequentes pode inibir o desenvolvimento das raízes e aumentar a incidência de fungos e bactérias. O excesso de água pode provocar o apodrecimento das raízes e temperaturas muito elevadas também podem ser prejudiciais a elas. Em ambas as fases do estudo, mas principalmente na 1ª fase, o tratamento com ACc no S2, apresentou sintomas de podridão das raízes o que pode ter contribuído para o transporte ineficiente de nutrientes para as plantas, ocasionando menor crescimento.

Em condições naturais e agricultáveis, as plantas são expostas a estresses ambientais. Estresse é qualquer fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta, induzindo mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, podendo ser reversíveis ou permanentes (Larcher, 2000). A estratégia de sobrevivência das plantas em habitats estressantes não é aumentar a produtividade, mas sim equilibrar o rendimento com a sobrevivência (Salamoni, 2008). Neste estudo, nota-se que todas as plantas estiveram susceptíveis a estresses hídrico, térmico e salino e, além disso, as plantas irrigadas somente com ACc, sujeitas a estresse nutricional. As temperaturas dentro da casa de vegetação eram diferentes ao longo do dia, variando de 46 °C ao meio dia a 20 °C a meia noite, por exemplo, o que pode ter ocasionado danos aos tecidos das plantas pela prolongada exposição ao calor durante o período de estudo. Quanto a questão hídrica, observou-se que o consumo de água pelas plantas e a evapotranspiração podem ter conduzido os tratamentos a um déficit hídrico, podendo também, afetar os processos vitais. Já a salinidade é um dos fatores que mais limita o crescimento e a nutrição mineral de plantas, pois reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta.

A interação entre salinidade e nutrição mineral se torna mais complexa em virtude das diferentes concentrações e composição iônica dos meios salinos (água e solo) aos quais as plantas são submetidas, e das diferentes respostas das plantas, tanto em relação à salinidade como em relação à eficiência na aquisição de minerais do solo (Lacerda, 2005). O estresse nutricional, que pode prejudicar a produção de uma cultura, pode ser ocasionado pelos níveis anormais de um nutriente, visto que estes exercem funções específicas no metabolismo vegetal, influenciando no seu crescimento e sua produção (Deon, 2007). Segundo Lima (2009), um elemento é capaz de exercer influência sobre o outro, resultando nas possíveis interações que podem ocorrer na composição mineral das folhas. Malavolta (2006) afirma que há diferentes tipos de interações entre os nutrientes, são eles: antagonismo, onde a presença de um elemento diminui a absorção de outro; inibição, que consiste na diminuição de um nutriente provocada pela presença de outro íon; e o sinergismo, onde a presença de um dado elemento aumenta a absorção de outro.

Paulo et al. (2009) observaram visualmente que a *Canna x generalis* apresentou lento crescimento ao ser irrigada com água cinza. Entretanto, o sistema estudado continuou em operação até 2012 e foi capaz de proporcionar o desenvolvimento completo das plantas, inclusive propiciando a obtenção de mudas para a realização do presente estudo. Com isso, percebe-se que a espécie é capaz de ser cultivada irrigando-a com água cinza, pois esta não apresentou sinais de toxidez às plantas, apenas apresentou limitação nutricional em sua composição. Desta forma, recomendam-se que estudos mais prolongados e detalhados sejam realizados sobre as características nutricionais da água cinza e sobre o tempo de aclimação necessário para diferentes espécies quando irrigadas com esse tipo de água.

Ao término de cada fase do experimento na casa de vegetação, as plantas se encontravam com 80 dias, período no qual floresceram apenas as que foram irrigadas com AP+N (57 dias) e ACc+N (64 dias). Nota-se, portanto, que houve florescimento nesses dois tratamentos devido à oferta abundante de nutrientes.

### 3.3.6. Análise química dos solos

No início e final da pesquisa, coletaram-se amostras de solo do S1 para análise química de nutrientes. Os resultados dessas análises estão na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6.** Análise química dos solos utilizados no substrato 1 nas duas fases do experimento..

Fase	Tipo de Água	pH (água)	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	MO (g.dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	Al+H	CTC	v (%)	Micronutrientes (mg.dm <sup>-3</sup> )				
											Fe	Mn	Zn	Cu	B
1 <sup>a</sup>	SI	6,46	4,06	13,38	0,24	2,80	0,95	1,70	5,69	70,12	39,49	67,22	1,32	5,79	0,12
	AP+N	6,61	4,63	9,91	0,05	3,65	1,10	1,55	6,35	75,59	61,28	56,04	1,14	4,84	0,45
	ACc+N	6,97	5,15	7,83	0,14	2,75	1,00	0,96	4,85	80,21	60,21	59,04	1,08	4,84	0,44
	ACc	7,40	3,90	5,96	0,03	1,55	0,95	0,44	2,97	85,19	102,77	51,01	1,29	3,09	0,15
2 <sup>a</sup>	SI	6,91	53,63	4,17	0,20	1,40	0,70	0,44	2,74	83,94	32,50	16,97	3,61	0,61	0,11
	APi	7,80	50,69	7,09	0,04	1,75	1,00	0,00	2,79	100,0	44,80	28,10	4,33	0,75	0,33
	APe	7,36	48,20	6,54	0,04	1,45	0,75	0,37	2,61	85,82	47,42	26,95	4,60	0,90	0,11
	ACci	7,00	5,60	9,41	0,09	1,35	0,80	0,74	2,98	75,17	30,08	47,57	1,57	3,51	0,24
	ACce	6,89	26,41	6,00	0,03	1,25	0,75	0,44	2,47	82,19	180,65	32,87	8,42	1,48	0,09

SI: solo inicial; AP+N: água potável + nutrientes; ACc+N: água cinza clara + nutrientes; ACc: água cinza clara; APi: água potável parcela interna; APe: água potável parcela externa; ACci: água cinza clara parcela interna; ACce: água cinza clara parcela externa; MO: matéria orgânica; Al+H: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases.

Os solos utilizados nas duas fases do estudo foram adquiridos em épocas diferentes e por isso apresentaram algumas características distintas entre si. A principal delas foi o maior teor

de fósforo no solo utilizado na 2ª fase. Vale lembrar que a repetição interna do tratamento com ACc foi uma continuação da 1ª fase, ou seja, o solo apresentava baixa concentração de P.

Em estudo sobre a fertilidade dos solos do estado de Minas Gerais, Alvarez V. et al. (1999) propuseram vários níveis de classificação com base nas análises laboratoriais. De acordo com os níveis propostos, neste trabalho os solos iniciais e os irrigados com AP+N e ACc+N, ACce apresentaram uma acidez fraca; os irrigados com ACc, APe APi apresentaram alcalinidade fraca e o irrigado com ACci foi classificado como neutro. Todos foram considerados inadequados pela classificação agrônômica (classe alta e muito alta de pH). De acordo com o teor de argila do solo, a disponibilidade de fósforo foi considerada muito baixa para todos os solos analisados na 1ª fase, inclusive para a repetição interna da 2ª fase (ACci). Na 2ª fase, a disponibilidade de fósforo foi considerada média para ACce e muito boa para as demais. A disponibilidade de potássio foi considerada muito baixa para os solos irrigados com ACc.

A fertilidade dos solos irrigados com ACc com base no teor de matéria orgânica foi classificada como muito baixa (ACc e ACce) e baixa (ACci). A fertilidade em relação ao cálcio foi classificada como média. Em relação ao magnésio, como média (ACci e ACce) e boa (ACc). A CTC foi baixa para todos. Quanto a saturação de bases, boa (ACci) e muito boa (ACc e ACce).

Os teores de micronutrientes após o tratamento com ACc, na 1ª fase, foram considerados altos para Fe, Mn e Cu; bons para Zn e muito baixos para B. O tratamento com ACc, repetição interna, na 2ª fase obteve teores médios para Fe; altos para Mn e Cu; bons para Zn; baixos para B. A repetição externa, apresentou teores altos para Fe, Mn e Zn; bons para Cu; muito baixos para B. A repetição interna (ACci) elucida que com o passar do tempo, a concentração de Fe nas folhas diminui e há um aumento na proporção de Boro.

Observa-se que a irrigação com água cinza alterou o pH do solo, diminuiu o teor de matéria orgânica, diminuiu a concentração de potássio, cálcio e acetato, reduzindo consequentemente a capacidade de troca catiônica, e aumentou a saturação de bases.

Constatou-se, ao fim da pesquisa, que valores mais elevados de certos parâmetros, podem ter influenciado para o aumento de produtividade da cultura. Dentre os fatores, destacam-se o P e CTC no solo avaliado e N, P, K nas águas de irrigação. Da mesma forma Azevedo & Oliveira (2005) constataram que valores mais elevados dessas variáveis também influenciaram nos resultados de produção média total por planta na cultura de pepino. Nos solos arenosos a CTC é mais reduzida, e os nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio, tem maior predisposição para lixiviação, o que pode ter ocorrido nos solos irrigados com AP e ACc, colaborando para diminuição da produção nesse tratamento.

### 3.4. Conclusões

1. A irrigação com água cinza clara não apresentou sinais de toxidez às plantas.
2. A composição da água cinza clara apresentou limitação nutricional, produzindo alterações morfológicas nas plantas traduzidas como sintomas característicos de deficiência nutricional e influenciou de forma deletéria no desenvolvimento das plantas, como no número de folhas, altura da planta e diâmetro do caule.
3. A irrigação com água cinza clara proporcionou maior produção de biomassa radicular nas plantas devido à escassez de nutrientes.
4. Não houve diferenciação entre os substratos para os parâmetros de crescimento, no cultivo de *Canna x generalis* irrigada com água cinza.

5. A aplicação de solução nutritiva juntamente com a água cinza clara possibilitou o desenvolvimento completo da espécie *Canna x generalis*, evidenciado pelo florescimento.

### 3.5. Referências Bibliográficas

- Alvarez V., V.H., Novais, R.F., Barros, N.F., Cantarutti, R.B., Lopes, A.S., 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 30-35.
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, American Water Work Association and Water Environment Federation, Washington, DC.
- Azevedo, L.P., Oliveira, E.L., 2005. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. Eng. Agríc. 25 (1), 253-263.
- Beckmann-Cavalcante, M.Z., Pivetta, K.F.L., Cavalcante, Í.H.L., Cavalcante, L.F., Bellingieri, P.A., Campos, M.C.C., 2010. Condutividade elétrica da solução nutritiva para o cultivo do crisântemo em vaso. R. Bras. Ci Solo 34, 747-756.
- Begosso, L. 2009. Configuração e dimensionamento de sistema híbrido de wetlands construídos para o tratamento de água cinza. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Campo Grande, MS. 53p.
- Borges, A.L., Oliveira, A.M.G., 2006. Avaliação do estado nutricional da bananeira - diagnose visual. Comunicado Técnico, Embrapa, Cruz das Almas, BA.
- Cerqueira, L.L., Fadigas, F.S., Pereira, F.A., Gloaguen, T.V., Costa, J.A., 2008. Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* irrigados com águas residuárias tratadas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental 12, 606-613.
- Deon, M.D. 2007. Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. 72 p.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. Urban Water 4, 85-104.
- Farias, S.G.G. 2008. Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral da *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* Jacq. Walp). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, Brasil.
- Ferreira, D.F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia (UFLA) 35 (6), 1039-1042.
- Fiori, S., Fernandes, V.M.C., Pizzo, H. 2006. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações. Ambiente Construído 6 (1), 19-30.
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquim, V. 1999. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo. 52p.
- Glenn, E., Lewis Thompson, T., Frye, R., Riley, J., Baumgartner, D. 1995. Effects of salinity on growth and evapotranspiration of *Typha domingensis* Pers. Aquatic Botany 52, 75-91.
- Hermans, C., Hammond, J.P., White, P.J., Verbruggen, N., 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. Review, Trends in Plant Science 11 (12), 610-617.

- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stepherson, T., Judd, S., 1999. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water* 1, 285-292.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S., 2004. Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Sci. Technol.* 50 (2), 157-164.
- Kadlec, R.H., Wallace, S., 2008. *Treatment wetlands*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, USA. 1016 p.
- Konnerup, D., Koottatep, T., Brix, H., 2009. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. *Ecological Engineering*, Amsterdam 35 (2), 248–257.
- Lacerda, C.F. 2005. Interação salinidade x nutrição mineral. In: Nogueira, R.J.C., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U. (ed.). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, 127-137.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. 2009. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* 407, 3439-3449.
- Lima, S.S. 2009. Crescimento, composição mineral e sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em plantas de *Zingiber Spectabilis Griff.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. 84 p.
- Lorenzi, H., Souza, H.M. 2001. *Plantas ornamentais no Brasil: Arbustivas, herbáceas e trepadeiras*, 3ª ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP.
- Maciel, M.P., Soares, T.M., Gheyi, H.R., Rezende, E.P.L., Oliveira, G.X.S., 2012. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 16 (2), 165-172.
- Malavolta, E. 2006. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Ceres, 638 p.
- Martinez, H.E.P., 1999. Hidroponia. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 116-125.
- May, S., Hespanhol, I. 2008. Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações. *REGA* 5 (2), 15-24.
- Ottoson, J., Stenström, T.A., 2003. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. *Water Research* 37 (3), 645-655.
- Paganini, W.S., 2003. Reúso de água na agricultura. In: Mancuso, P.C.S. & Santos, H.F., *Reúso de água*. Editora Manole, Barueri, SP. Cap.10, 339-401.
- Paulo, P.L., Begosso, L., Pansonato, N., Shrestha, R.R., Boncz, M.A., 2009. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Sci. Technol.* 60 (8), 2001-2007.
- Salamoni, A.T. 2008. *Apostila de aulas teóricas de Fisiologia Vegetal*. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria. sem.2.
- Santos, O.S.N., Paz, V.P.S, Gloaguen, T.V., Teixeira, M.B., Fadigas, F.S., Costa, J.A. 2012. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 16 (8), 820-827.
- Silva, T.R.B., Mongelo, A.I., 2008. Adubação de plantio na cultura do Biri (*Canna edulis* Kerr-Gawler). *Agrarian* 1 (1), 37-42.
- Vieira, R.F, Ramos, M.M., 1999. Fertirrigação. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 100-115.



- von Sperling, M. 2005. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 3ª ed., v.1. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 452p.
- Zanella, L., 2008. Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. 219p.
- Zhang, Z., Rengel, Z., Meney, K., 2008. Interactive effects of N and P on growth but not on resource allocation of *Canna indica* in wetland microcosms. *Aquat. Bot.* 89, 317-323.

## Capítulo 4

### 4. Sistema combinado de evapotranspiração e *wetland* para o reúso direto de água cinza<sup>2</sup>

#### RESUMO

Existe uma grande tendência mundial para o reúso de águas cinza, seja por escassez hídrica ou consciência ambiental. O objetivo deste trabalho, foi apresentar uma tecnologia baseada em sistemas naturais, para o reaproveitamento local da água cinza clara (ACc) produzida em uma unidade residencial. Para esse fim, realizou-se i) a caracterização quantitativa e qualitativa das águas cinza produzidas na residência de interesse, ii) estudos em escala experimental do modelo e iii) dimensionamento, implementação e monitoramento da qualidade da água nos primeiros seis meses. Para a quantificação da ACc foram aplicados questionários e realizadas medições *in loco* das vazões dos aparelhos sanitários. Após, houve a coleta das ACc (lavatórios, chuveiros, máquina de lavar roupas e tanque) para caracterização qualitativa. De maneira geral, a produção média de águas servidas da residência e os resultados qualitativos apresentaram variações em relação aos valores encontrados na literatura. A outra etapa deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema combinado de evapotranspiração e *wetland* para reúso direto de ACc, com a finalidade de colaborar no paisagismo local. Primeiramente o sistema foi concebido em escala de bancada, o EvapAC experimental, de forma a possibilitar a obtenção de dados. Os resultados preliminares mostraram que o sistema experimental se comportou como um filtro, apresentando remoção de carga orgânica (55-68%) e turbidez (82-89%). O sistema em escala real que foi monitorado por 142 dias, período considerado de partida e adaptação, possibilitou o desenvolvimento de espécies de plantas ornamentais, atendendo ao propósito de sua criação. Houve aceitação do sistema pelos moradores da residência e não foram notadas alterações na rotina da família.

**Palavras-chave:** Caracterização, dimensionamento, plantas ornamentais, áreas verdes, paisagismo.

#### ABSTRACT

There is a major global trend for the reuse of greywater, either because of water scarcity or environmental awareness. The goal of work is to present a technology based on natural systems for on-site reuse light greywater produced in a residential unit. To this end, we carried out i) the qualitative and quantitative characterization of greywater produced at the residence of interest, ii) studies in experimental scale model and iii) design, implementation and monitoring of water quality in the first six months. For quantification of greywater were applied questionnaires and on-site measurements of the flow of sanitary appliances were conducted. After this, there was light greywater collection (sinks, showers, laundry sink and washing machine) for qualitative characterization. In general, the average production of wastewater by the residence and the qualitative results showed variations in relation to the values found in the literature. The other part of this work was the development of a combined system of evapotranspiration and wetland for direct reuse of household light greywater, for collaboration with local landscaping. First, the system was designed lab-scale, the experimental EvapAC, in order to enable data acquisition and hydraulic parameters. Preliminary results showed that the experimental system behaved as a filter, with significant organic load removal (55-68%) and turbidity (82-89%). The pilot-scale system which was monitored for 142 days, a period considered starting and adaptation, enabled the development of species of ornamental plants, according to the purpose of the study. The residents accepted the system and did not notice any change the family routine.

**Key words:** Characterization, design, ornamental plants, green areas, landscaping.

<sup>2</sup> Este artigo será traduzido para o idioma inglês e submetido ao periódico *Water Science & Technology* e foi redigido de acordo com suas instruções.

## 4.1. INTRODUÇÃO

As águas residuárias provenientes das atividades domésticas podem ser divididas em dois grupos principais: as águas negras, que são os efluentes originados nas bacias sanitárias (que apresentam concentração mais elevada de microrganismos e matéria orgânica), e as águas cinza, que são aquelas provenientes do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (Eriksson et al., 2002; Ottoson e Stenström, 2003). A água cinza contém compostos decorrentes do uso de produtos químicos ou orgânicos para as atividades de higienização, tais como banhos, lavagem de roupas ou limpeza em geral (Jefferson et al., 1999). Estima-se que estas representam 75% do volume total do esgoto doméstico e apresentam baixos níveis de contaminação por patógenos (Li et al., 2009).

O gerenciamento convencional para tratamento de esgotos implica em altos custos e elevado consumo de água, o qual não é apropriado como solução sustentável para países em desenvolvimento. Assim, as buscas por alternativas aos sistemas convencionais tornam-se cada vez mais indispensáveis por razões ecológicas, econômicas e sociais. Essas novas alternativas devem considerar o reúso da água, bem como a reciclagem dos nutrientes (Sasse, 2005). Assim, a possibilidade de substituição de parte da água potável de edificações por uma de qualidade inferior para fins menos nobres, reduz a demanda sobre os mananciais de água (Fiori et al., 2006).

Sistemas de saneamento sustentável, se considerados, podem trazer inúmeros benefícios, dentre eles o desenvolvimento de áreas verdes. A utilização de sistemas plantados para tratamento de esgotos já é comum em diversas partes do mundo, sendo utilizada tanto para águas negras como para águas cinza. Para o reúso domiciliar, aspectos referentes às características quali-quantitativas das águas e o desenvolvimento de tecnologias e estratégias que proporcionem o uso seguro da água cinza unido ao benefício de melhorar o ambiente da habitação constituem-se em importantes objetos de pesquisa.

Diante disso, será descrita a tecnologia EvapAC, que é um sistema natural que pode ser implementado com o objetivo de tratar a água cinza para produção de água de reúso, ou para o aproveitamento direto da água cinza e nutrientes contidos nesta. A configuração escolhida depende do enfoque do projeto, qualidade requerida da água e a necessidade de água de reúso ou não. O sistema em si, independente do objetivo final, integra-se ao jardim, colaborando para harmonia paisagística e ampliação de áreas verdes e, conseqüentemente, para melhoria do ambiente da habitação.

O sistema é constituído pela combinação de uma câmara de evapotranspiração (CEvap), utilizada como pré-tratamento, composta por uma mini-câmara de digestão anaeróbia (CDig) disposta horizontalmente, ao longo da CEvap, que vai acumular e digerir os sólidos substituindo um tanque de sedimentação ou caixa de gordura, seguida do *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS). Esse sistema visa eliminar a fossa séptica (tanque séptico) ou o tanque de sedimentação, que causam o problema de odor e a necessidade de constante manutenção, o que diminui a aceitação dos usuários em nível residencial. No EvapAC, parte do efluente será evapotranspirado e o restante passa para a unidade de *wetland*, que atua principalmente como um filtro.

O presente trabalho apresenta os critérios de projeto e dimensionamento do EvapAC, baseados na caracterização das águas cinza claras em uma residência e a sua implementação em escala real, considerando questões relativas a operação, manutenção e aceitação do mesmo.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Diagnóstico quantitativo e qualitativo de águas cinza

A caracterização quantitativa foi realizada em uma residência localizada no município de Campo Grande - MS (20°31' S e 54°39' W). A residência contém 13 cômodos, dentre eles, três banheiros e área de serviço (fontes geradoras de águas cinza). O lote possui 480,00 m<sup>2</sup>, sendo 204,05 m<sup>2</sup> de área construída. A residência é habitada por uma família de 3 pessoas, sendo 2 adultos e 1 criança.

Para a quantificação das águas cinza geradas, procurou-se conhecer a rotina dos moradores através de aplicação de questionários durante 3 semanas (21 dias). Essa metodologia é semelhante à aplicada por Antonopoulou et al. (2013), onde os questionários eram compostos de planilhas de anotação para cada ponto de geração de águas residuárias: como o chuveiro, o lavatório, a descarga, a pia da cozinha, o tanque e a máquina de lavar roupas; Eram anotadas também a frequência e a duração de uso. Para saber a vazão de cada aparelho sanitário foram consultados dados dos fabricantes e realizadas medidas de volume e tempo *in loco* utilizando provetas graduadas. Para as águas negras, a quantidade de água utilizada para descarga da bacia sanitária foi considerada como sendo de 15,0 L a cada acionamento, considerando o tempo médio em que a válvula fica pressionada.

Para a caracterização qualitativa das águas cinza claras (ACc), foi simulada durante 1 dia a rotina dos moradores, coletando amostras provenientes de chuveiros, lavatórios, máquina de lavar roupas e tanque. Foi analisada também uma amostra composta, misturando frações da água cinza coletada, proporcionais aos consumidos dentro da residência, gerando assim uma amostra com as características semelhantes à água que será lançada ao sistema de tratamento. As porcentagens foram estabelecidas tendo como base a produção de ACc no dia da coleta.

Além da primeira coleta, foram realizadas mais três campanhas de amostragem da água proveniente do chuveiro e lavatório, e mais uma do tanque. Devido ao curto período disponível para o levantamento de dados qualitativos da água cinza gerada na residência e a problemas na obtenção de produtos necessários para efetuar as análises físico-químicas e biológicas, não foi possível realizar um número maior de amostragens na residência.

O período de amostragem ocorreu de setembro de 2012 até fevereiro de 2013, e os parâmetros analisados foram: pH, condutividade, salinidade, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, sulfato, sulfeto, amônia, nitrogênio total, nitrito, nitrato, fosfato, surfactantes, séries de sólidos, coliformes totais e *Escherichia coli*.

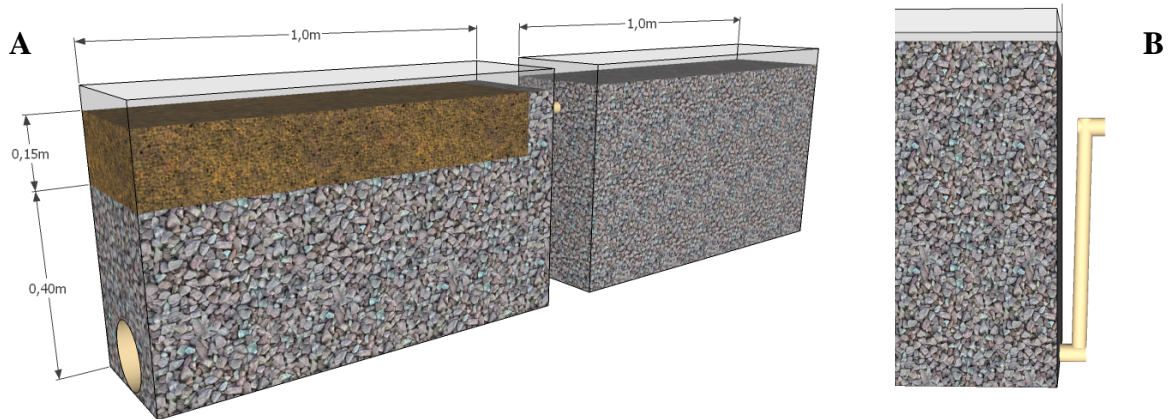
### 4.2.2. Critérios de projeto e dimensionamento dos sistemas de tratamento

Para o desenvolvimento da tecnologia foram produzidas as unidades em vidro, numa primeira etapa em escala de bancada para estudos e ensaios hidráulicos no sistema. Após estes ensaios no sistema experimental e o diagnóstico quantitativo de produção de águas cinza na residência escolhida, foi possível dimensionar o sistema real, de forma que este fosse capaz de tolerar os picos vazão que ocorrem na residência. Ambas as escalas estudadas possuíam a mesma configuração e material de preenchimento, porém apresentaram condições operacionais distintas, visto que foram reproduzidas com tamanhos e materiais de construção diferentes.

### 4.2.3. Sistema experimental

Para o desenvolvimento do sistema experimental foram produzidos em vidro, a CEvap e o CW-FHS. Ambas as unidades possuíam as seguintes dimensões: 1,0 m de comprimento, 0,3 m de largura e 0,6 m de altura. O volume total da CEvap era de 72,0 L, com uma câmara de digestão circular (CDig) de aproximadamente 18,0 L, altura de 55 cm e um meio filtrante de brita nº 2 (porosidade de 0,48 e altura de 40 cm) com uma camada superficial de solo (15 cm). Já o CW-FHS tinha um volume de 60,0 L, altura de 55 cm e pedrisco (porosidade de 0,44) como meio filtrante. O EvapAC experimental está demonstrado na Figura 4.1.

A câmara de digestão consiste em um tubo perfurado com furos de 1,0 cm de diâmetro. A disposição dos furos foi feita de forma intercalada entre uma linha e outra, de acordo com o proposto pela NBR 13.969 (ABNT, 1997). Foram feitas apenas três linhas paralelas de furos, de forma que cerca de 2/3 do diâmetro do tubo (parte inferior) proporcionasse a formação e acúmulo de lodo.



**Figura 4.1.** A) Sistema EvapAC em escala experimental; B) detalhe da saída do *wetland*.

O sistema foi instalado no *campus* da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Os testes para o sistema experimental foram realizados em duas fases, sendo a primeira em ambiente fechado, desconsiderando condições climatológicas (chuva, evaporação e variações de temperatura) e sem a presença de plantas. A segunda fase foi realizada em ambiente aberto, passando a considerar as condições climáticas reais em um sistema idêntico ao primeiro, mas com a presença de plantas ornamentais em cada unidade.

Os testes foram realizados com ACc para simular a rotina de uma família. Procurando manter o perfil de produção de água cinza das residências, foram reunidos volumes proporcionais das diferentes unidades geradoras de ACc, de acordo com levantamento realizado na residência onde foi instalado o sistema em escala real.

As plantas ornamentais utilizadas foram escolhidas com base em estudos anteriores e literatura disponível (Lorenzi & Souza, 2001; Paulo et al., 2009). Para a segunda fase do sistema experimental, realizada em ambiente aberto, optou-se por utilizar apenas 4 mudas da espécie *Canna x generalis* em cada unidade (CEvap e CW-FHS), espaçadas em 20 cm.

O EvapAC experimental foi alimentado com água cinza durante 110 dias em cada fase, com fluxo contínuo de aproximadamente 25,0 L.dia<sup>-1</sup> para simular o funcionamento em escala real, visando à formação de biofilme e o acúmulo de biomassa na CDig. Na primeira fase as unidades (CEvap e CW-FHS) foram analisadas separadamente, com coletas semanais para análise dos parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO), condutividade, salinidade, pH

e turbidez. Na segunda fase as coletas foram realizadas apenas na saída do CW-FHS, representando o tratamento do sistema EvapAC como um todo.

#### 4.2.4. Sistema residencial

O sistema residencial foi instalado na mesma residência onde foram feitas as caracterizações das ACc. O sistema foi construído no terreno, na parte frontal da residência, em alvenaria impermeabilizada, também com dois compartimentos, sendo o primeiro a CEvap e o segundo, o CW-FHS, ambos plantados com plantas ornamentais.

O dimensionamento da câmara de evapotranspiração foi feito com base na área disponível no terreno, na vazão de água cinza gerada na residência em dia de maior consumo e no tempo de detenção hidráulica desejada dentro da CDig (Equação 1). Considerando que o funcionamento da mesma era semelhante ao de um tanque séptico, o TDH mínimo a ser atingido, segundo NBR 7.229 (ABNT, 1993) para vazões inferiores a 1500,0 L, é de um dia.

$$V = N \cdot C_{\text{máx}} \cdot \text{TDH} \quad (1)$$

Onde:

V: Volume da câmara de digestão (L);

N: Número de colaboradores na residência (hab);

$C_{\text{máx}}$ : Contribuição *per capita* de efluente no dia de maior consumo (L.(hab.dia)<sup>-1</sup>);

TDH: Tempo de detenção hidráulica (dia).

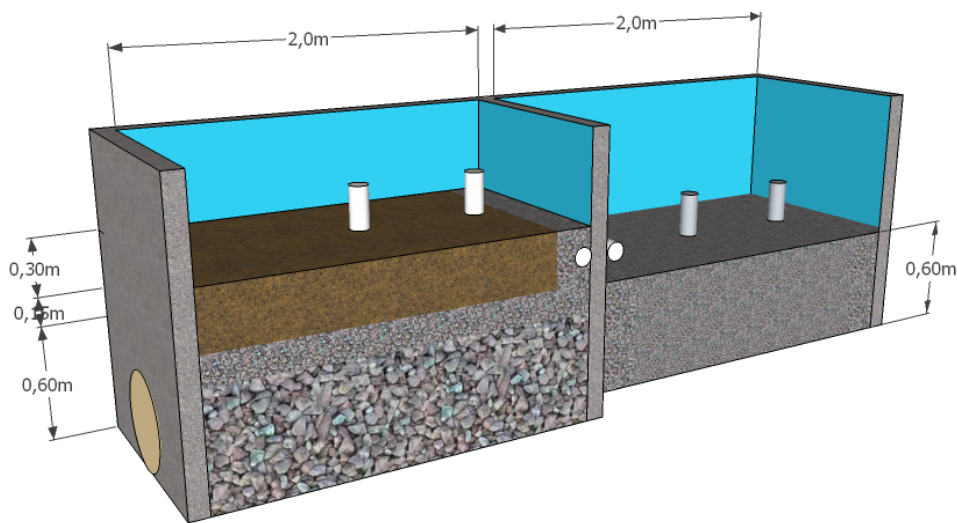
Como o volume de entrada era uma média baseada nos questionários e não previa os picos de vazão que ocorrem de forma recorrente em uma residência, para evitar extravasamento do sistema e garantir o TDH mínimo de um dia na câmara de digestão, o mesmo foi dimensionado para o dia de maior consumo. Com base nas informações passadas pelos moradores e nos dados obtidos pelo acompanhamento de suas rotinas, o dia de maior consumo ocorreu quando houve mais de um ciclo de lavagem de roupas, ocasionando uma vazão de 126,7 L.(hab.dia)<sup>-1</sup>.

Assim, pela equação 1 foi possível fazer o dimensionamento da câmara de digestão, resultando em um volume de 380,1 L. A CDig foi elaborada em tubulação de fibra de vidro de 0,5 m de diâmetro e 2,0 m de comprimento, totalizando um volume de 392,7 L. A câmara de evapotranspiração foi dimensionada de acordo com o tamanho da CDig e com o sistema de tratamento de águas negras - TEvap (Paulo et al., 2013), que tem o mesmo princípio de funcionamento. Portanto, para a CEvap foi adotado 2,0 m de comprimento, 1,0 m de largura e 1,05 m de altura. A ACc a ser tratada entra na CEvap através da CDig, que apresenta orifícios em toda sua extensão permitindo a ascensão da água cinza para o leito filtrante de brita nº 4 (porosidade de 0,50 e altura de 60 cm) e brita nº 2 (porosidade de 0,48 e altura de 15 cm) e posteriormente para o solo (camada de 30 cm), o qual serve de suporte para espécies vegetais plantadas que promovem a remoção de nutrientes do efluente e melhoram o aspecto paisagístico do sistema.

O dimensionamento de *wetlands* construídos não está contemplado em normas técnicas brasileiras, o que dificulta a obtenção de critérios para o mesmo. Segundo Hammer (1989) e Conley et al. (1991), *wetlands* construídos têm o mesmo funcionamento que um reator biológico de biofilme fixo e podem ser dimensionados com base na taxa de remoção de algum componente. Outra alternativa de dimensionamento é baseada na área necessária, e segundo Buenfil (2004) a área de 0,5 - 3,0 m<sup>2</sup> por pessoa é suficiente para escala reduzida de uso

domiciliar. No Brasil, Sezerino e Philippi (2000), utilizaram uma área de  $0,8 \text{ m}^2$  por pessoa para tratar esgoto doméstico de uma residência com 5 pessoas, sem que fosse afetado o desempenho do tratamento.

O *wetland* foi dimensionado considerando a área disponível e a área ocupada pela CEvap, totalizando uma área de  $0,67 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ . Por se tratar de um sistema em fase experimental, não contou com dados específicos para realização do dimensionamento. Assim, após a partida do sistema, com o acompanhamento dos resultados de eficiência e os dados de parâmetro de projeto, será possível realizar modelos de dimensionamento específicos para o sistema em questão. A Figura 4.2 mostra o EvapAC residencial. Para o dimensionamento do CW-FHS, também foi adotado comprimento de 2,0 m e largura de 1,0 m, porém com 0,6 m de altura. A unidade foi preenchida com pedrisco (porosidade de 0,44 e altura de 60 cm) e as zonas de entrada e saída preenchidas com brita nº 2 (com largura de 20 cm cada).



**Figura 4.2.** Sistema EvapAC em escala residencial.

Para amostragem de qualidade da água e monitoramento do nível para os estudos de evapotranspiração, foram instalados dois piezômetros no primeiro compartimento (P1 e P2) e outros dois no segundo (P3 e P4). O P1 e o P3 encontram-se bem ao centro das unidades (1,0 m de distância das entradas e saídas). O P2 e P4 situam-se nas saídas, distanciados em 20 cm das paredes.

O fluxo de entrada de água no sistema EvapAC não foi regulado a fim de se avaliar seu desempenho sob condições de alta carga e picos hidráulicos. Na entrada do sistema foi construída uma caixa destinada a abrigar os registros da tubulação de abastecimento do sistema de tratamento, bem como uma caixa com um *by-pass* para a rede coletora de esgoto caso seja necessário interromper o fluxo de entrada no sistema.

Na entrada do sistema residencial (CEvap), foram plantadas 13 mudas de Gengibre-branco (*Hedychium coronarium*), em seguida 11 mudas de Helicônia (*Heliconia psittacorum*), ambas espaçadas em 20 cm, e na porção final do sistema foram plantadas 10 mudas de Caládio (*Caladium x hortulanum*). No CW-FHS foram plantadas 10 mudas de Beri (*Canna x generalis*) a uma distância de 30 cm entre elas e os caules foram cortados a aproximadamente 15 cm acima do pedrisco. Todas as plantas ornamentais foram plantadas 1 semana antes do início de operação do sistema com ACc.

As coletas foram realizadas uma vez por semana, nos piezômetros, durante 142 dias. Os parâmetros analisados foram: DQO, DBO, sulfato, sulfeto, amônia, nitrogênio total (NT),

fosfato, surfactantes, sólidos totais, sólidos suspensos e dissolvidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli*.

As coletas e a metodologia de preservação de todas as amostras e análises foram realizadas de acordo com as técnicas preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21<sup>th</sup> ed. (APHA, 2005).

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.3.1. Caracterização quantitativa

O diagnóstico quantitativo realizado com a aplicação de questionários e acompanhamento da rotina possibilitou a caracterização do uso e geração de água cinza na residência. A Tabela 4.1 apresenta a quantidade média de águas residuárias produzidas diariamente por pessoa, bem como a composição do efluente em suas diferentes porções geradas na residência.

**Tabela 4.1.** Produção *per capita* diária de águas residuárias.

Aparelhos sanitários	Produção (L.(hab.dia) <sup>-1</sup> )	Composição do efluente (%)
Chuveiro	24,5	20,0
Lavatório	4,6	4,0
Bacia Sanitária	34,3	28,0
Pia da cozinha	17,3	14,0
Maquina de lavar	28,1	23,0
Tanque	13,3	11,0
<b>Águas Cinza Claras</b>	<b>70,5</b>	<b>58,0</b>
<b>Águas Cinza Escuras</b>	<b>87,8</b>	<b>72,0</b>
<b>Águas Negras</b>	<b>34,3</b>	<b>28,0</b>
<b>Total de Efluente</b>	<b>122,1</b>	<b>100,0</b>

Com base no histórico de consumo medido na residência e dos dados obtidos nos questionários, foi possível calcular o valor médio de produção de efluentes *per capita* durante o período do estudo, chegando ao valor de 122,1 L.(hab.dia)<sup>-1</sup>. A porção de ACc gerada corresponde a 70,5 L.(hab.dia)<sup>-1</sup>, representando cerca de 58% do efluente total gerado, totalizando 211,5 L entrando no sistema de tratamento diariamente. Antonopoulou et al. (2013) estimaram a produção de efluentes em residências gregas, obtendo um valor de 142 L.(hab.dia)<sup>-1</sup> e 83 L.(hab.dia)<sup>-1</sup> de água cinza escura (58%). Em Israel, a média é de 138 L.(hab.dia)<sup>-1</sup> de efluentes (Penn et al., 2012).

De acordo com Hernandez Leal et al. (2011) estima-se que as águas cinza compõem uma fração de 75% do volume total do efluente gerado em uma residência. A porcentagem de água cinza gerada na residência em estudo foi de 72%, o que se assemelha ao valor encontrado na literatura.

A maior produção de água cinza na residência em estudo foi proveniente da lavanderia (máquina de lavar + tanque), tendo em torno de 34% do total de águas residuárias produzidas, e cerca de 47% das AC, o que difere dos padrões de produção encontrados na literatura (Tabela 4.2).



**Tabela 4.2.** Produções de águas cinza por unidade hidrossanitária encontradas na literatura.

Unidade	Bazzarella et al. (2005)	Fiori et al. (2006)	Pansonato et al. (2007)	Penn et al. (2012)	Antonopoulou et al. (2013)	Presente Estudo
Cozinha	20%	20%	23%	26%	11%	19%
Banheiro*	50%	50%	17%	57%	41%	34%
Lavanderia	30%	30%	60%	17%	26%	47%

\*Chuveiro + Lavatório.

A partir dos dados da literatura e dos resultados desse estudo, fica claro que o perfil da produção de águas cinza apresenta variações em diferentes localidades, podendo variar em função do poder aquisitivo, da quantidade de moradores e seus hábitos. De acordo com Pansonato et al. (2007), o conhecimento das produções de água cinza por unidade hidrossanitária é de grande importância para se definir onde priorizar as ações de conservação de água e reúso no âmbito das residências.

#### 4.3.2. Caracterização qualitativa

As águas cinza foram coletadas dos chuveiros, lavatórios, máquina de lavar e tanque. As amostras foram produzidas diretamente em recipientes específicos para coleta e levadas imediatamente para as análises a fim de minimizar possíveis alterações em sua qualidade. Os resultados das análises encontram-se na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3.** Caracterização da água cinza clara em uma residência com três habitantes.

Parâmetro	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar	Tanque	Composta *
	Média ± D.P.	Média ± D.P.	Média	Média ± D.P.	Média
pH	6,58 ± 0,46 <sup>(3)</sup>	8,21 ± 0,62 <sup>(3)</sup>	7,04 <sup>(1)</sup>	8,18 ± 1,34 <sup>(2)</sup>	7,32 <sup>(1)</sup>
Condutividade (dS.m <sup>-1</sup> )	0,09 ± 0,02 <sup>(3)</sup>	0,09 ± 0,00 <sup>(3)</sup>	0,12 <sup>(1)</sup>	0,08 ± 0,04 <sup>(2)</sup>	0,12 <sup>(1)</sup>
Turbidez (UNT)	96,23 ± 25,27 <sup>(3)</sup>	109,57 ± 36,33 <sup>(3)</sup>	56,90 <sup>(1)</sup>	159,75 ± 13,79 <sup>(2)</sup>	70,75 <sup>(1)</sup>
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	57,27 ± 71,67 <sup>(3)</sup>	81,00 ± 28,90 <sup>(3)</sup>	150,00 <sup>(1)</sup>	156,50 ± 188,80 <sup>(2)</sup>	145,00 <sup>(1)</sup>
Salinidade (‰)	0,13 ± 0,12 <sup>(3)</sup>	0,13 ± 0,12 <sup>(3)</sup>	0,10 <sup>(1)</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>(2)</sup>	0,00 <sup>(1)</sup>
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	372,74 ± 87,50 <sup>(3)</sup>	173,00 ± 69,32 <sup>(3)</sup>	460,78 <sup>(1)</sup>	414,07 ± 49,87 <sup>(2)</sup>	449,47 <sup>(1)</sup>
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	237,50 ± 74,25 <sup>(2)</sup>	101,25 ± 8,84 <sup>(2)</sup>	305,00 <sup>(1)</sup>	272,50 ± 53,03 <sup>(2)</sup>	295,00 <sup>(1)</sup>
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	8,50 ± 0,71 <sup>(2)</sup>	3,50 ± 0,71 <sup>(2)</sup>	6,00 <sup>(1)</sup>	20,00 ± 11,31 <sup>(2)</sup>	5,00 <sup>(1)</sup>
Sulfeto (mg.L <sup>-1</sup> )	109,07 ± 32,40 <sup>(3)</sup>	106,40 ± 44,01 <sup>(3)</sup>	120,00 <sup>(1)</sup>	87,20 ± 74,67 <sup>(2)</sup>	140,00 <sup>(1)</sup>
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	8,70 ± 3,21 <sup>(3)</sup>	4,83 ± 0,59 <sup>(3)</sup>	8,80 <sup>(1)</sup>	2,30 ± 2,26 <sup>(2)</sup>	8,80 <sup>(1)</sup>
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,44 ± 0,50 <sup>(3)</sup>	0,29 ± 0,21 <sup>(3)</sup>	2,02 <sup>(1)</sup>	0,75 ± 1,02 <sup>(2)</sup>	1,53 <sup>(1)</sup>
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,08 ± 0,03 <sup>(3)</sup>	0,004 ± 0,001 <sup>(2)</sup>	0,04 <sup>(1)</sup>	0,06 ± 0,06 <sup>(2)</sup>	0,02 <sup>(1)</sup>
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,09 ± 0,09 <sup>(3)</sup>	0,45 ± 0,61 <sup>(3)</sup>	0,24 <sup>(1)</sup>	0,11 ± 0,13 <sup>(2)</sup>	0,22 <sup>(1)</sup>
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	6,18 ± 2,47 <sup>(3)</sup>	22,82 ± 16,85 <sup>(3)</sup>	4,30 <sup>(1)</sup>	3,50 ± 4,38 <sup>(2)</sup>	30,30 <sup>(1)</sup>
Surfactantes aniônicos (mg.L <sup>-1</sup> )	23,32 ± 9,62 <sup>(3)</sup>	11,00 ± 7,48 <sup>(3)</sup>	72,09 <sup>(1)</sup>	27,91 ± 25,17 <sup>3(2)</sup>	51,81 <sup>(1)</sup>
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	185,67 ± 45,32 <sup>(3)</sup>	251,33 ± 60,67 <sup>(3)</sup>	380,00 <sup>(1)</sup>	394,00 ± 0,00 <sup>(1)</sup>	310,00 <sup>(1)</sup>
Sólidos suspensos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	22,50 ± 4,95 <sup>(2)</sup>	80,50 ± 13,44 <sup>(2)</sup>	42,00 <sup>(1)</sup>	156,00 ± 0,00 <sup>(1)</sup>	70,00 <sup>(1)</sup>
Sólidos dissolvidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	176,50 ± 50,20 <sup>(2)</sup>	194,00 ± 50,91 <sup>(2)</sup>	338,00 <sup>(1)</sup>	238,00 ± 0,00 <sup>(1)</sup>	240,00 <sup>(1)</sup>
<i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	1,5x10 <sup>3</sup> ± 7,1x10 <sup>2(2)</sup>	nd	nd	nd	3,1x10 <sup>3(1)</sup>
Coliformes totais (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	1,1x10 <sup>4</sup> ± 3,3x10 <sup>3(2)</sup>	1,1x10 <sup>3</sup> ± 1,2x10 <sup>3(2)</sup>	3,1x10 <sup>4</sup> <sup>(1)</sup>	9,6x10 <sup>3</sup> ± 1,1x10 <sup>4(2)</sup>	3,3x10 <sup>4(1)</sup>

Número de amostras analisadas entre parênteses; nd: não detectado. \*chuveiro (14,3%) + lavatório (1,1%) + máquina de lavar (74,0%) + tanque (10,6%).

As características da água de cada unidade hidrossanitária apresentaram-se variáveis. Os valores de pH foram mais ácidos para a água do chuveiro, quase neutros para água da máquina de lavar, e mais alcalinos para as demais. A amostra que apresentou maior concentração de DQO e DBO foi da máquina de lavar. Já a amostra do lavatório foi a que apresentou menor concentração. Na literatura, os valores de DBO para águas cinza claras variam de 14,00-480,6 mg.L<sup>-1</sup>, e para DQO variam de 23,80-300,00 mg.L<sup>-1</sup> (Nirenberg & Reis, 2010; Rebêlo, 2011). Logo, os resultados deste trabalho encontraram-se dentro da faixa de variação supracitada.

A relação entre DQO e DBO é um bom indicador da biodegradabilidade do efluente, ou seja, quanto menor for a relação DQO/DBO mais facilmente biodegradável será o efluente, e maior será a eficiência de tratamento em sistemas naturais. A porção de água cinza proveniente do chuveiro foi a que apresentou menor biodegradabilidade na residência e a do lavatório a maior, com relações DQO/DBO de 1,81 e 1,33, respectivamente. Jefferson et al. (2004) encontraram razões de 2,80 e 3,60 para o chuveiro e lavatório, sugerindo baixa biodegradabilidade. A amostra composta apresentou a relação DQO/DBO de 1,52. No estudo de Nirenberg e Reis (2010) a água cinza apresentou a razão de 1,89.

A máquina de lavar foi a porção que apresentou o maior teor de surfactantes dentre todas as amostras. Esse fato pode ser explicado, provavelmente, pelo uso de sabão em pó e amaciante, que os contêm em sua composição. De acordo com Hernandez Leal et al. (2011), a água cinza apresenta em torno de 41±12 mg.L<sup>-1</sup> de surfactantes aniônicos, valor comparável ao encontrado neste estudo para a amostra composta.

Pansonato (2010) nos resultados referentes aos compostos nitrogenados para sua amostra composta obteve 14,4 mg.L<sup>-1</sup> para nitrogênio total, 3,9 mg.L<sup>-1</sup> para amônia, 0,1 mg.L<sup>-1</sup> para nitrito e 0,05 mg.L<sup>-1</sup> para nitrato.

Segundo Bazzarella (2005), embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, estes podem ser introduzidos na água cinza pela limpeza das mãos após o uso do sanitário, lavagem de roupas, alimentos contaminados, do próprio banho e da troca e lavagem de fraldas de crianças. Ainda de acordo com a mesma autora, em seu trabalho foram encontradas concentrações da ordem de 10<sup>4</sup>, para coliformes totais e *E. coli*, em amostras provenientes do chuveiro. Para a mesma porção, os resultados dos parâmetros biológicos da residência deste estudo apresentaram concentrações em torno de 10<sup>4</sup> e 10<sup>3</sup>, para coliformes totais e *E. coli*, respectivamente.

As variações encontradas nos resultados refletem os variados estilos de vida, costumes, instalações, preferência de produtos de limpeza e hábitos dos moradores. O sulfato, por exemplo, está presente na maioria dos produtos empregados para higiene e limpeza da residência (sabões, detergentes, etc.), porém a concentração deste nos resultados encontrados (maior concentração no tanque) foi relativamente baixa quando comparada aos valores disponíveis na literatura, como 554,90 mg.L<sup>-1</sup> para a mesma porção no estudo realizado por Bazzarella et al. (2005). Já o fosfato, que estava presente somente na composição da pasta de dente (dentre os produtos utilizados na residência), apresentou maior concentração para a porção de água cinza proveniente do lavatório. Já a amostra composta apresentou valor bem acima do encontrado na literatura para a mesma fração, pois segundo Hernandez Leal et al. (2011) a concentração de fosfato fica em torno de 2,36 mg.L<sup>-1</sup> para água cinza.

As composições das amostras misturadas são as que apresentam maiores diferenças entre os trabalhos de caracterização, dificultando a comparação. No presente estudo, as coletas foram realizadas simulando a rotina dos moradores para que a caracterização refletisse corretamente a realidade da residência. Com isso, a quantidade produzida em cada unidade geradora foi computada para a preparação da amostra composta, tendo como base a geração

daquele dia. As proporções utilizadas na composição da amostra composta foram: chuveiro (14,3%), lavatório (1,1%), máquina de lavar (74%) e tanque (10,6%).

Na caracterização quantitativa realizada preliminarmente na residência (Tabela 4.1), pode-se observar que as proporções obtidas nos 21 dias de estudo variaram em relação à obtida no dia da coleta que foi realizada a preparação da amostra composta, visto que essa simulação foi feita considerando o dia de maior consumo. No trabalho de Bazzarella et al. (2005), por exemplo, a composição da amostra composta foi baseada no consumo médio de residências de classe média (40% chuveiro, 15% tanque, 15% máquina de lavar, 10% lavatório, 20% cozinha).

A maior parte dos trabalhos encontrados na literatura apresenta a caracterização da água cinza escura, ou seja, incluindo a fração proveniente da pia da cozinha. Com isso, a comparação dos resultados é prejudicada. Cabe salientar que os autores Bazzarella (2005), Bazzarella et al. (2005) e Pansonato (2010) trabalharam com águas cinza escuras. Os demais utilizaram as águas cinza claras, tal qual o presente trabalho.

#### 4.3.3. Sistemas EvapAC

A Tabela 4.4 fornece alguns parâmetros de projeto e operação baseados nas características da água cinza utilizada nos experimentos. Vale ressaltar que para o cálculo desses parâmetros não foi considerada a evapotranspiração.

**Tabela 4.4.** Parâmetros de projeto e operação dos sistemas EvapAC experimental e residencial.

Parâmetros de projeto	Sistema Experimental				Sistema Residencial	
	CEvap		Wetland		CEvap	Wetland
	1ª Fase	2ª Fase	1ª Fase	2ª Fase		
<b>Carga orgânica superficial aplicada (gDQO.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>)</b>	40,50	42,00	24,58	17,25	26,21	28,35
<b>Taxa de aplicação (m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>)</b>	0,06	0,06	0,06	0,06	0,26	0,38
<b>Tempo de detenção hidráulica (dias)</b>	2,9	2,9	2,4	2,4	4,4	2,3

Considerando-se a área superficial de cada unidade do sistema experimental e a vazão aplicada diariamente de 25,0 L.dia<sup>-1</sup>, pode-se obter a carga orgânica superficial aplicada. A redução dessa carga orgânica aplicada no CW-FHS na 2ª fase do experimento pode ter sido maior devido a presença de plantas, que removem nutrientes para seu crescimento e sobrevivência e, pela interferência das chuvas que diluem essa concentração.

As duas unidades do sistema residencial apresentaram maiores vazões afluentes e áreas superficiais. Nota-se que a carga aplicada no *wetland* foi mais elevada que na entrada da CEvap, e esse fato se deve, provavelmente, pela fase de partida e adaptação na qual se encontrava o sistema.

De acordo com Hoffmann et al. (2011) a carga orgânica aplicada pela área superficial não deve exceder 16 gDQO.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, para CW-FHS, em regiões de clima frio. No presente estudo foram aplicadas cargas maiores que o recomendado em ambos os sistemas, o que pode diminuir a eficiência dos tratamentos visto que houve a aplicação de alta carga orgânica em uma pequena área superficial.

#### 4.3.4. Monitoramento dos sistemas EvapAC

Embora no contexto deste trabalho o objetivo do sistema EvapAC não seja o de tratar a água cinza para produção de água de reúso, a realização de monitoramento e observação dos

parâmetros físico-químicos ao longo do tempo é importante para compreender as interações que ocorrem no sistema. Tais resultados também são importantes para estabelecer os critérios de operação a partir de um sistema em escala experimental e real. Os resultados apresentados representam a partida de ambos os sistemas e, não indicam a eficiência de remoção de parâmetros que podem ocorrer após o equilíbrio dos sistemas.

#### 4.3.4.1. Monitoramento do EvapAC experimental

As coletas foram realizadas uma vez por mês durante os 110 dias de operação do sistema, perfazendo 4 amostras. Na Tabela 4.5 a seguir, estão descritos os resultados obtidos nas análises.

**Tabela 4.5.** Valores médios de concentração e eficiência de remoção do sistema experimental.

Fase	Parâmetro	Entrada	CEvap	Wetland	Remoção Total (%)
		Média ± D.P.	Média ± D.P.	Média ± D.P.	Média ± D.P.
1 <sup>a</sup>	pH	7,80 ± 0,50 <sup>(4)</sup>	7,30 ± 0,36 <sup>(4)</sup>	7,41 ± 0,26 <sup>(4)</sup>	-
	Condutividade (dS.m <sup>-1</sup> )	0,97 ± 0,10 <sup>(4)</sup>	0,74 ± 0,18 <sup>(4)</sup>	0,81 ± 0,22 <sup>(4)</sup>	-
	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	495,24 ± 83,15 <sup>(4)</sup>	264,35 ± 68,31 <sup>(4)</sup>	217,97 ± 53,04 <sup>(4)</sup>	55,76 ± 10,76
	Turbidez (UNT)	220,75 ± 68,26 <sup>(4)</sup>	69,03 ± 26,08 <sup>(4)</sup>	35,00 ± 13,77 <sup>(4)</sup>	82,17 ± 11,07
2 <sup>a</sup>	pH	7,78 ± 0,47 <sup>(4)</sup>	na	7,37 ± 0,10 <sup>(4)</sup>	-
	Condutividade (dS.m <sup>-1</sup> )	0,57 ± 0,27 <sup>(4)</sup>	na	1,18 ± 0,09 <sup>(4)</sup>	-
	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	522,52 ± 133,15 <sup>(4)</sup>	na	166,40 ± 51,69 <sup>(4)</sup>	68,39 ± 4,32
	Turbidez (UNT)	313,58 ± 175,56 <sup>(4)</sup>	na	28,04 ± 7,98 <sup>(4)</sup>	89,28 ± 6,35

Número de amostras analisadas entre parênteses; \* na: não analisado.

Como dito anteriormente, na 1<sup>a</sup> fase as unidades do sistema foram analisadas separadamente, visto que o estudo foi feito em ambiente de laboratório sendo possível a instalação de um ponto para coleta de amostras entre as unidades. Já na 2<sup>a</sup> fase, realizada em ambiente aberto, o sistema estava enterrado impossibilitando esse tipo de coleta.

Em estudo sobre os aspectos hidráulicos e hidrológicos dos sistemas deste estudo, Magalhães Filho (2013) utilizou o traçador cloreto de sódio (NaCl) para verificar as características dos sistemas sem e com a formação do biofilme no meio, isto é, antes e depois da partida de fluxo com águas cinza. Todas as unidades avaliadas (CEvap, CW-FHS e EvapAC) apresentaram curtos-circuitos hidráulicos e/ou zonas mortas. No teste sem a formação de biofilme, a unidade experimental CEvap apresentou regime de mistura completa ao passo que o CW-FHS apresentou regime de fluxo pistonado. Após operação de 110 dias com água (com biofilme) houve tendência de inversão dos regimes, com a CEvap e CW-FHS apresentando fluxo pistão e mistura completa, respectivamente. O EvapAC, com e sem biofilme, se aproxima de um fluxo pistonado e, o EvapAC plantado, tende ao regime de mistura completa.

Ainda no mesmo trabalho, notou-se que as plantas no sistema experimental da 2<sup>a</sup> fase auxiliaram no processo de lixiviação dos sais acumulados pelos eventos chuvosos simulados, diminuindo o processo de salinização, além de diminuir o índice de curto-circuito, promovendo melhores condições de mistura no sistema. Além disso, as plantas não causaram uma diminuição da eficiência hidráulica, o que pode ser um indicador de que as plantas podem evitar a colmatação (Brix, 1997; Philippi & Sezerino, 2004).

Ao se analisar a Tabela 4.5, observa-se que na 2ª fase houve um aumento significativo da condutividade na saída do EvapAC. Como nessa fase havia a presença de plantas no sistema, pode ter ocorrido o acúmulo de sais nas raízes das plantas e com a passagem do fluxo de águas cinza, esses sais retidos podem ter sido eliminados (Farias, 2008), aumentando assim, a condutividade na saída do sistema.

O sistema EvapAC se comportou como um filtro, apresentando boa remoção de turbidez e matéria orgânica. As diferenças de eficiência verificadas entre as fases podem estar correlacionadas, conforme dito anteriormente, pela presença de plantas e interferência das chuvas na 2ª fase.

#### 4.3.4.2. Monitoramento do EvapAC residencial

Devido à impossibilidade de instalar hidrômetros nas unidades hidrossanitárias da residência não foi possível quantificar as vazões afluentes ao sistema estudado. Com o diagnóstico quantitativo realizado, observou-se que pela rotina diferenciada da família em cada dia da semana, existe a possibilidade de variações significativas no fluxo afluente. A instabilidade de fluxo pode ocasionar um pico de carga e uma consequente redução no TDH, sendo prejudicial à eficiência do sistema. A Tabela 4.6 mostra a eficiência de remoção de vários parâmetros durante o período de 142 dias.

Com os resultados encontrados, foi calculada a eficiência do tratamento, que ficou próxima a 42% e 44% para DQO e DBO, respectivamente. Em estudo semelhante, Rebêlo (2011) obteve uma redução média de DQO de 62% e de 65,2% para DBO, após 15 meses de operação. A relação DQO/DBO média nos pontos P1 e P4 foi de  $1,9 \pm 1,2$  e  $1,7 \pm 0,8$ , respectivamente, demonstrando uma relação menor após cada unidade de tratamento.

Neste estudo, a maior remoção de DQO foi de 64% aos 60 dias de operação do sistema. Segundo Philippi & Sezerino (2004) os primeiros 60 dias de operação correspondem ao período de adaptação do sistema, onde as plantas ainda estão em fase de enraizamento e ainda há formação de biofilme. Paulo et al. (2013) utilizando um *wetland* construído de fluxo horizontal para tratar águas cinza, com TDH de 1,8 dias, obteve uma taxa de remoção de DQO de 76% após 9 meses de operação do sistema.

O parâmetro ST foi o que apresentou menor remoção. A concentração de sólidos na composição da água cinza afluente ao sistema diminuiu ao longo do tempo, contudo, o sistema manteve a mesma faixa de remoção, ocasionando perda de eficiência para esse parâmetro. Isso pode ocorrer pela capacidade do sistema em reter ou hidrolisar sólidos (Barboza, 2005). A fração não removida de SDT pode estar relacionada com as frações não biodegradáveis presentes na composição da água cinza, como substâncias inorgânicas e coloidais, componentes dos produtos de limpeza e higiene pessoal (Paulo et al., 2009).

Houve um incremento nos valores de saída do sistema para o pH, condutividade, alcalinidade e nitrato. O pH, apesar do aumento, manteve-se estável e próximo a neutralidade. Com o aumento da alcalinidade e aparente estabilidade do pH, verifica-se uma apropriada capacidade de tamponamento do sistema. Os dois parâmetros podem ter tido esse comportamento em razão da baixa remoção de SDT, que é a forma do constituinte responsável por ambos (von Sperling, 2005).

A concentração de coliformes totais e *E. coli* nas águas cinza claras é bastante elevada tornando seu uso, sem tratamento, inadequado, face ao grande risco potencial de contato humano direto (May & Hespanhol, 2008). A média da concentração de coliformes totais encontrada no ponto P1 do sistema foi de  $9,0 \times 10^6$  NMP.100mL<sup>-1</sup> e, para *E. coli*, de  $1,7 \times 10^2$  NMP.100mL<sup>-1</sup>. Apesar de o sistema apresentar média de remoção de 79,12% e 44,17% para

coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, ao final, o efluente ainda apresentava concentrações elevadas desses patógenos.

**Tabela 4.6.** Valores médios de concentração do sistema residencial.

Parâmetro	P1	P2	P3	P4
	Média ± D.P.	Média ± D.P.	Média ± D.P.	Média ± D.P.
pH	6,8 ± 0,4 <sup>(19)</sup>	6,8 ± 0,6 <sup>(19)</sup>	7,1 ± 0,3 <sup>(19)</sup>	7,2 ± 0,3 <sup>(19)</sup>
Condutividade (dS.m <sup>-1</sup> )	0,27 ± 0,18 <sup>(19)</sup>	0,30 ± 0,24 <sup>(19)</sup>	0,29 ± 0,12 <sup>(19)</sup>	0,30 ± 0,13 <sup>(19)</sup>
Turbidez (UNT)	72,2 ± 42,9 <sup>(19)</sup>	59,0 ± 26,7 <sup>(19)</sup>	31,6 ± 12,1 <sup>(19)</sup>	24,2 ± 9,5 <sup>(19)</sup>
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	60,0 ± 26,3 <sup>(19)</sup>	67,7 ± 32,9 <sup>(19)</sup>	93,6 ± 36,9 <sup>(19)</sup>	102,8 ± 35,4 <sup>(19)</sup>
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	232,7 ± 64,5 <sup>(17)</sup>	251,7 ± 80,2 <sup>(17)</sup>	155,00 ± 45,2 <sup>(17)</sup>	141,2 ± 41,4 <sup>(17)</sup>
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	124,9 ± 54,3 <sup>(17)</sup>	141,4 ± 53,7 <sup>(17)</sup>	84,0 ± 50,8 <sup>(17)</sup>	82,5 ± 51,5 <sup>(17)</sup>
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	16,9 ± 20,3 <sup>(18)</sup>	17,3 ± 20,1 <sup>(18)</sup>	16,0 ± 24,0 <sup>(18)</sup>	16,7 ± 27,9 <sup>(18)</sup>
Sulfeto (mg.L <sup>-1</sup> )	40,1 ± 114,2 <sup>(19)</sup>	16,3 ± 27,4 <sup>(19)</sup>	16,8 ± 59,9 <sup>(19)</sup>	9,8 ± 33,4 <sup>(19)</sup>
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	7,3 ± 2,4 <sup>(19)</sup>	6,4 ± 1,5 <sup>(19)</sup>	4,0 ± 2,1 <sup>(19)</sup>	3,7 ± 2,1 <sup>(19)</sup>
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	2,8 ± 2,4 <sup>(19)</sup>	2,9 ± 2,3 <sup>(19)</sup>	1,8 ± 2,0 <sup>(19)</sup>	1,4 ± 1,9 <sup>(19)</sup>
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,04 ± 0,03 <sup>(5)</sup>	0,04 ± 0,03 <sup>(5)</sup>	0,04 ± 0,01 <sup>(5)</sup>	0,04 ± 0,03 <sup>(5)</sup>
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,00 <sup>(5)</sup>	0,08 ± 0,04 <sup>(5)</sup>	0,04 ± 0,03 <sup>(5)</sup>	0,11 ± 0,15 <sup>(5)</sup>
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	3,6 ± 4,2 <sup>(11)</sup>	1,2 ± 0,8 <sup>(11)</sup>	1,3 ± 1,1 <sup>(11)</sup>	1,4 ± 1,5 <sup>(9)</sup>
Surfactantes aniônicos (mg.L <sup>-1</sup> )	21,9 ± 15,2 <sup>(19)</sup>	18,8 ± 13,7 <sup>(18)</sup>	15,9 ± 13,1 <sup>(19)</sup>	16,7 ± 14,0 <sup>(19)</sup>
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	319,9 ± 257,1 <sup>(15)</sup>	342,5 ± 327,9 <sup>(15)</sup>	270,5 ± 157,6 <sup>(15)</sup>	272,9 ± 141,6 <sup>(15)</sup>
Sólidos suspensos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	70,3 ± 50,3 <sup>(15)</sup>	50,2 ± 31,1 <sup>(15)</sup>	50,4 ± 21,2 <sup>(15)</sup>	33,6 ± 18,8 <sup>(15)</sup>
Sólidos dissolvidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	245,3 ± 225,5 <sup>(15)</sup>	292,3 ± 307,2 <sup>(15)</sup>	220,1 ± 170,2 <sup>(15)</sup>	239,7 ± 150,2 <sup>(15)</sup>
<i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	1,7x10 <sup>2</sup> ± 2,6x10 <sup>2(8)</sup>	9,9x10 <sup>1</sup> ± 1,3x10 <sup>2(9)</sup>	7,6x10 <sup>1</sup> ± 5,7x10 <sup>1(9)</sup>	9,5x10 <sup>1</sup> ± 9,7x10 <sup>1(9)</sup>
Coliformes totais (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	9,0x10 <sup>6</sup> ± 5,0x10 <sup>6(10)</sup>	9,2x10 <sup>6</sup> ± 5,9x10 <sup>6(11)</sup>	1,9x10 <sup>6</sup> ± 2,4x10 <sup>6(11)</sup>	1,9x10 <sup>6</sup> ± 2,7x10 <sup>6(11)</sup>

Número de amostras analisadas entre parênteses.

Como observado, os níveis dos parâmetros avaliados não foram satisfatórios, ou seja, o sistema de tratamento não foi eficiente na remoção dos contaminantes do efluente. Tal fato pode ser devido ao monitoramento ter ocorrido durante os primeiros seis meses de operação do sistema, período considerado de adaptação. Contudo, o sistema mostrou-se em conformidade com o propósito de sua criação, colaborando para o paisagismo local, no qual as plantas ornamentais apresentaram sinais de aclimação à ACc, com crescimento visual dentro do esperado. Foi necessário apenas o plantio de novas mudas da espécie *Canna x generalis* no CW-FHS aos 100 dias de operação, visto que não apresentaram o desenvolvimento esperado para o período. As plantas da CEvap não tiveram problemas de intolerância à água cinza e as do *wetland*, após o replantio, desenvolveram-se normalmente.

O fator estético mostrou-se de importância fundamental para a aceitação dos moradores. Além disso, o sistema não apresentou entupimento, não requerendo, portanto, procedimentos de limpeza e manutenção contínuos, e com isso não houve interferência na rotina dos moradores.

#### 4.4. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que é possível utilizar um sistema para reúso direto da água cinza clara em nível unifamiliar, com a finalidade de colaborar para o desenvolvimento de áreas

verdes e melhoria do microclima. A manutenção requerida foi mínima pelo fato de só receber água cinza clara.

As plantas ornamentais escolhidas apresentaram tendência de aclimação à água cinza. No período do estudo foi necessário, apenas, o plantio de novas mudas da espécie *Canna x generalis* no *wetland* construído. Após o replantio essa espécie apresentou crescimento visual normal assim como as demais, apresentando inclusive, florescimento.

O sistema experimental apresentou melhor desempenho que o sistema residencial. Entretanto, deve-se enfatizar que o experimento realizado em escala de bancada possui fatores favoráveis, como maior facilidade de operação e controle.

O EvapAC residencial não apresentou a eficiência desejada em termos de remoção de parâmetros físico-químicos. Ainda assim, deve-se observar que o sistema foi monitorado durante os primeiros seis meses de operação, ou seja, somente ao longo do período considerado como partida e adaptação. Contudo, a implementação do projeto escala residencial foi importante para verificar a aceitabilidade do sistema. Constatou-se, após o período de monitoramento, que o sistema não alterou a rotina dos moradores, por não requerer manutenções contínuas e não teve problemas de aceitação, devido principalmente ao fator estético conseguido.

As dimensões do sistema e o material utilizado como substrato ainda estão em fase de pesquisa. Até o presente momento, não há resultados suficientes para sugestão de ajustes a fim de melhorar a eficiência do sistema.

#### 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1993. NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. NBR 13969 - Tanques Sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.
- Antonopoulou, G., Kirkou, A., Stasinakis, A.S. 2013. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science of the Total Environment* **454-455**, 426-432.
- APHA, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, American Water Work Association and Water Environment Federation, Washington, DC.
- Barboza, M.G., Nóbrega, S.W., Rodrigues, C.C., Magnavita, D.A.P, Santos, A.D.A. 2005. Desenvolvimento de reator anaeróbio horizontal com chicanas para tratamento de esgoto sanitário. In: *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, Brasil. CD-ROM.
- Bazzarella, B.B. 2005. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brasil.
- Bazzarella, B.B., Dias, G.B., Mattos, C.A., Wigner, P.L., Gonçalves, R.F. 2005. Caracterização e tratamento de águas servidas de origem residencial (águas cinzas) com vistas para reúso. In: *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, Brasil. CD-ROM.

- Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Sci. Technol.* **35** (5), 11-17.
- Buenfil, J. 2004. *Biofiltro: La jardinera que filtran las aguas grises para reciclarlas*. "Instrumentos Educativos para el Saneamiento Ecológico" Taller de Artes y Oficios AC y Sarar Transformación SC, Tepoztlan, México.
- Conley, L.M., Dick, R.I., Liow, L.W. 1991. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Research Journal of the WPCF* **63** (3), 239-247.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* **4**, 85-104.
- Farias, S.G.G. 2008. Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral da Gliricídia (*Gliricidia sepium* Jacq. Walp). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, Brasil.
- Fiori, S., Fernandes, V.M.C., Pizzo, H. 2006. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações. *Ambiente Construído* **6** (1), 19-30.
- Hammer, D.A. 1989. *Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural*. Chelsea: Lewis Publishers. 530p.
- Hernandez Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N. 2011. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination* **270**, 111-115.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., von Muench, E. 2011. *Technology review of constructed wetlands - subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. Sustainable sanitation - Ecosan. Eschborn, Germany.
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., Judd, S. 1999. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water* **1** (4), 285-292.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S. 2004. Greywater characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Sci. Technol.* **50** (2), 157-164.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. 2009. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment* **407**, 3439-3449.
- Lorenzi, H., Souza, H.M. 2001. *Plantas ornamentais no Brasil: Arbustivas, herbáceas e trepadeiras*, 3<sup>a</sup> ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP.
- Magalhães Filho, F.J.C. 2013. Aspectos hidráulicos e hidrológicos de um sistema combinado de evapotranspiração e wetlands. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Brasil.
- May, S., Hespanhol, I. 2008. Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações. *REGA* **5** (2), 15-24.
- Nirenberg, L.P., Reis, R.P.A. 2010. Avaliação do desempenho de sistema de reúso de água de uma edificação unifamiliar em Goiânia-GO. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil* **1** (1), 1-10.
- Ottoson, J., Stenström, T.A. 2003. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. *Water Research* **37** (3), 645-655.
- Pansonato, N., Asmus, A.F.; Ribeiro, A.S., Azevedo, C., Paulo, P.L. 2007. Caracterização de água cinza em uma residência de baixa renda em Campo Grande, MS, Brasil (Greywater characterisation in low-income household in Campo Grande, MS, Brazil). In: *Proceedings of the International conference on sustainable sanitation: Food and water security for Latin America*. Fortaleza, Brasil. CD-ROM.
- Pansonato, N. 2010. Tratamento e reúso de água cinza utilizando wetlands construídos e desinfecção solar. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Brasil.



- Paulo, P.L., Begosso, L., Pansonato, N., Shrestha, R.R., Boncz, M.A., 2009. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Sci. Technol.* **60** (8), 2001-2007.
- Paulo, P.L., Azevedo, C., Begosso, L., Galbiati, A.F., Boncz, M.A. 2013. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering* **50**, 95-100.
- Penn, R., Hadari, M., Friedler, E. 2012. Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity. *Urban Water* **9**, 137-48.
- Philippi, L.S., Sezerino, P.H. 2004. *Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas* (application constructed wetlands for wastewater treatment). 1ª edição, Florianópolis. Ed. do Autor.
- Rebêlo, M.M.P.S. 2011. Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Brasil.
- Sasse, A. 2005. *Sanitation concepts for separate treatment of urine, faeces and greywater*. Task **8**, Fertilizer usage. Berlin.
- Sezerino, P.H., Philippi, L.S. 2000. Utilização de um sistema experimental por meio de wetland construída no tratamento de esgoto doméstico pós tanque séptico. In: *Anais do IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Porto Seguro, Brasil. CD-ROM.
- von Sperling, M. 2005. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 3ª ed., v.1. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 452p.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo o Brasil apresentando grande disponibilidade de recursos hídricos, verificam-se ainda grandes problemas de falta de água em muitas cidades brasileiras. A conscientização da população sobre a importância da economia e conservação de água requer uma mudança cultural ampla. Sistemas de reúso direto de água servida contribuem para a conservação da água e paisagismo local.

O desenvolvimento de tecnologias e estratégias que proporcionem o reúso direto da água cinza unido ao benefício de melhorar o ambiente da habitação, traz a possibilidade do planejamento sustentável nos planos municipais de saneamento. A tecnologia que aqui foi proposta se baseou no uso de sistemas naturais, sendo integrada ao jardim e adaptada ao projeto de paisagismo, aumentando assim as áreas verdes em zonas urbanas e proporcionando maior conforto ambiental.

Para a utilização do sistema, houve a necessidade de estudos sobre tipos de substratos e identificação de espécies de plantas que possuem capacidade de se adaptar a água cinza. O crescimento das plantas depende de variáveis do ambiente como: temperatura, intensidade de luz, disponibilidade de água e nutrientes essenciais. No estudo sobre a adaptabilidade da espécie *Canna x generalis*, conduzido em casa de vegetação, observou-se que as plantas estiveram susceptíveis a estresse hídrico, térmico, salino e nutricional. Quando submetidas a estresses, as plantas podem ter ou não capacidade de tolerar e se aclimatar às condições. O tempo para aclimação varia de espécie para espécie. Pelo que foi observado, o sistema em escala residencial permitiu a ciclagem de nutrientes, onde as plantas da espécie conseguiram se desenvolver após o plantio de novas mudas, aos 100 dias de operação do EvapAC, apresentando florescimento em apenas dois meses.

Na casa de vegetação, observou-se que a água cinza possui limitação nutricional e isso pode ter colaborado para a menor produção da espécie. Vários fatores podem ter contribuído para esse baixo crescimento da espécie dentro da casa de vegetação. No estudo, as plantas estiveram sujeitas ao estresse térmico causado pelas altas temperaturas alcançadas no interior da estufa (máxima de 46 °C ao meio dia), podendo ter ocorrido danos aos seus tecidos. A espécie esteve também sob estresse salino em ambos os estudos, tanto na casa de vegetação quanto no EvapAC residencial, porém a composição química das ACc utilizadas diferiram em termos de concentração de sais, com valores menores aplicados no sistema real. Vale ressaltar

também, que nas parcelas experimentais era aplicada ACc bruta, sem qualquer tipo de pré-tratamento, diferentemente do ocorrido no *wetland* construído que já recebia a água pré-tratada da unidade CEvap. Com isso, alguns elementos presentes na composição química da água foram reduzidos e/ou eliminados, até mesmo algum nutriente limitante, melhorando sua qualidade para irrigação.

Outro fator é que no experimento conduzido dentro dos baldes, as raízes tiveram limitação de espaço para mobilidade e crescimento. No sistema real, além das temperaturas mais amenas, as raízes puderam se desenvolver livremente, o que também pode ter colaborado para melhor tolerância às condições. Além disso, o pedrisco utilizado como meio suporte no *wetland* residencial permanece úmido durante quase todo o tempo, impedindo que as altas temperaturas o esquentem muito e conseqüentemente, as raízes, o que não ocorreu dentro da casa de vegetação.

Na casa de vegetação, o substrato S1 composto por brita nº 2 e solo apresentou maiores índices de evapotranspiração quando irrigado com águas cinza claras, mas não apresentou diferença em relação ao S2 quanto aos parâmetros de crescimento. No EvapAC residencial, não foram plantadas mudas dessa espécie no substrato composto por brita nº 2 e solo, impossibilitando a comparação desse fato. Os sintomas de deficiência nutricional das plantas irrigadas com água cinza se mostraram de forma semelhante nas plantas que receberam água potável.

O EvapAC, em sua avaliação inicial, cumpriu adequadamente seu objetivo, visto que as espécies de plantas ornamentais utilizadas não apresentaram problemas de intolerância à água cinza, colaborando para ampliação de áreas verdes e harmonia paisagística.

Para implementação de sistemas de reúso em residências é imprescindível que os moradores entendam o funcionamento e os benefícios desses sistemas. Com a implantação do sistema na residência, foi possível verificar a viabilidade do reaproveitamento local das águas cinza em um sistema plantado e avaliar a aceitabilidade dos usuários em relação a esse sistema alternativo. Neste estudo, nenhum problema de aceitação e alteração de rotina foi notado. Aliado a isso, a manutenção requerida foi mínima pelo fato de só receber água cinza clara. Tais fatos só confirmam a aplicabilidade desse tipo de projeto.

Diante dos resultados encontrados, observa-se que as plantas, além de proporcionarem ganhos estéticos, também colaboraram para o bom funcionamento do sistema, podendo inclusive, ter ajudado a evitar a colmatação do mesmo, por isso houve pouca necessidade de

manutenção. Além das espécies vegetais utilizadas nos dois experimentos (*Canna x generalis*, *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum* e *caladium x hortulanum*), existe uma variedade de outras que podem se adaptar aos sistemas naturais para tratamento e reúso de águas cinza claras, justificando a necessidade de estudos específicos para cada uma delas.

Além do dimensionamento adequado do sistema, fatores como: escolha do substrato, climatológicos e a periodicidade de manutenção, devem ser considerados. Recomendam-se estudos mais detalhados sobre materiais que possam ser utilizados como substrato, bem como estudos sobre as características nutricionais da água cinza e sobre o tempo necessário para aclimação de diferentes espécies ornamentais quando irrigadas com esse tipo de água, e sobre a capacidade de resistência destas às condições adversas.