

IV-048 - DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA *WETLAND* PARA DIFERENTES TIPOLOGIAS RESIDENCIAIS DO DISTRITO FEDERAL VOLTADO PARA AVALIAR O POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA POR MEIO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS

Lídia Batista Pereira Medeiros⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Piauí, mestranda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília, pesquisadora do Grupo de Água em Ambiente Construído, membro do LACAM-FAU-UnB.

Karla Alvares⁽²⁾

Arquiteta e urbanista pelo UniCeub, pesquisadora do Grupo de Água em Ambiente Construído, mestranda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília, membro do LACAM-FAU-UnB.

Daniel Sant'Ana⁽³⁾

Arquiteto e urbanista pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCCAMP, mestre e doutor pela Oxford Brookes University – Inglaterra, Coordenador do Grupo de Água em Ambiente Construído, professor e orientador PPG-FAU-UnB.

Endereço⁽¹⁾: ICC Norte - Gleba A - Subsolo - Asa Norte, Brasília - DF, 70904-970- Brasil - Tel: +55 (61) 3107-7440 - e-mail: lidiabatistasp@gmail.com

RESUMO

Wetlands são sistemas hidráulicos naturais que podem ser construídos e adaptados a diferentes tipologias residenciais. Seu dimensionamento requer análises criteriosas dos vários parâmetros que os envolvem, relacionando sempre a região ao qual será construído e o tipo de efluente que irá tratar. Procurando dimensionar um sistema *wetland* no Distrito Federal que pudesse ser aplicado a dois tipos diferentes de residências, propostos em estudo prévio, considerou-se dados do clima e da temperatura local, os meses chuvosos e secos, os tipos de substratos que são acessíveis no DF, assim como a granulometria e a condutividade hidráulica de cada um deles. Por fim, selecionou vegetais distribuídos geograficamente na região que foram mais citados em trabalhos pesquisados, com alto índice de eficiência no tratamento. Utilizando modelos representativos de renda alta e o de renda baixa como tipologia residencial obteve-se 8m² de área superficial para o primeiro, e 4m² para o segundo, contudo observou que o volume de água tratada no primeiro modelo não garante uma redução significativa no consumo de água potável, enquanto que no segundo modelo, o potencial de redução de consumo chegou a 62%.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso, águas cinza, *wetland*, fluxo vertical, conservação de água.

INTRODUÇÃO

Países em desenvolvimento vem enfrentando continuamente escassez de água potável para o abastecimento da população. No Brasil, a crise hídrica não é mais exclusividade das regiões áridas e semi-áridas. Desde 2014, as maiores regiões metropolitanas sofrem com a seca dos reservatórios que abastecem mais de 9 milhões de pessoas (BRASIL, 2015). Esta realidade, revela a necessidade de se intensificar o reúso, mas para isso, são necessários sistemas de tratamento que sejam eficazes, de baixo custo de implementação e operacional, que possam fornecer água para usos não-potáveis para usos menos restritivos (HESPANHOL, 2002).

Um sistema que atende a todos esses requisitos são os *wetlands*, que são sistemas hidráulicos naturais que podem ser construídos com carga hidráulica controlada, utilizando vegetais plantados sob um substrato dentro de um tanque impermeabilizado, de forma que a interação planta-substrato promova a remoção da carga carbonácea, sólidos suspensos e de coliformes dos efluentes a serem tratados (VYMAZAL, 2005).

Wetlands podem ser classificados baseados nas espécies vegetais utilizadas ou no fluxo hidráulico empregado. Adotando a segunda classificação, esses sistemas podem ser, portanto, de fluxo horizontal, vertical ou híbrido. (KADLEC e KNIGHT, 1996; VYMAZAL, 2005). Por serem aplicados sobretudo em regiões rurais onde a

disponibilidade de área é maior e os sistemas de tratamento de água são mais precários, diversos estudos propõem um dimensionamento adequado para tais regiões (SEZERINO, 2006). Em áreas urbanas onde a área disponível é limitada, a vazão dos efluentes é menor e a carga orgânica é variada, o modelo mais adequado a ser empregado em construções edilícias deve ser dimensionado de forma mais criteriosa, visto que os parâmetros utilizados para o dimensionamento não são padronizados, configurando quase que um sistema artesanal, que deve ser adaptado para cada região e clima correspondente (VALENTIM, 2003).

Até onde vai a literatura nenhum estudo avaliou a viabilidade e aplicação desse sistema em áreas urbanas no Distrito Federal. Sant'Ana (2011) utilizando-se de dados quantitativos e qualitativos compôs modelos representativos a fim de propor medidas de conservação de água que pudessem ter aplicabilidade, poupança de água e benefícios financeiros para as diferentes faixas de renda nas tipologias residenciais diversas do DF. Porém, este estudo focou apenas em sistemas de reúso de água comercialmente disponíveis, então, observando a lacuna no conhecimento no que se diz respeito ao uso de sistemas *wetlands* como medidas de conservação de água, o objetivo deste trabalho foi dimensionar um sistema *wetland* para dois modelos diferentes de residências do Distrito Federal, verificando o potencial de redução de consumo por meio do reúso de águas cinzas para fins não potáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como ponto de partida este estudo fez uso de dados de um estudo prévio realizado por Sant'Ana (2011), onde foram incorporados em uma metodologia quali-quantitativa, a coleta de dados primários referentes às características edilícias de diferentes tipologias residenciais: renda familiar, usos finais de água, área construída, área verde e consumo de água no DF. O autor apresenta como medidas de conservação de água os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e reúso de águas cinzas (RAC) para fins não potáveis em edificações. Com isso, baseado nas médias estatísticas, Sant'Ana (2011) compôs modelos representativos para avaliar uma série de tecnologias conservadoras de água comercialmente disponíveis. Estes modelos representativos foram usados para identificar as medidas de conservação de água viáveis em termos de aplicabilidade, reduções de consumo e custo-benefício. Utilizando-se apenas de dois modelos representativos, o de renda alta e o de renda baixa, denominado de MR1 e MR2, respectivamente, mensurou-se a quantidade de água cinza produzida anualmente que pudesse ser utilizada no sistema *wetland*.

Sabendo que a oferta de águas cinzas geradas por edificações residenciais podem suprir 49% da demanda doméstica de água, então como alternativa economicamente viável para tratamento de águas cinzas propõe-se os sistemas de *wetland*, visto que apresentam baixo custo operacional e de manutenção, com remoção de cerca de 90% da carga carbonácea (SEZERINO, 2006), atingindo o nível de tratamento desejado para usos finais como irrigação de jardins (ANA, 2005).

A escolha do tipo de *wetland* escolhido foi baseada na disponibilidade de área disponível para sua instalação. Uma vez que esse sistema pode compor a paisagem do local, por se utilizarem de plantas que além de suas funções fito-remediadoras também atuarão no paisagismo (ZANELLA, 2008), considerou-se o total de área verde disponíveis nos modelos representativos adotados.

Em seguida, para propor o dimensionamento de um *wetland* no DF foram considerados vários parâmetros que interferem diretamente na eficiência do tratamento. Tendo em vista os usos finais da água voltada para irrigação de jardim e lavagem de pisos, teve-se como foco a qualidade final do efluente tratado, usando-se como parâmetro a DBO com concentração de 10 mg/L, conforme é utilizado pela EPA, internacionalmente, e pela ANA, nacionalmente. Essa concentração é variável, dependendo da fonte geradora de água cinza, como verificou Gonçalves et al (2006) ao analisar as características físico-química de águas residuárias residenciais, sendo que a maior concentração de DBO encontrada foi em águas cinzas provenientes da cozinha (633 mg/L), e a menor vinda do chuveiro (165 mg/L). Até onde vai a literatura pesquisada dados de caracterização físico-química de águas cinzas residenciais no DF são ineficientes, o que revela a necessidade de análises que demonstrem esses dados mais detalhados, portanto, adotou-se a concentração de 200 mg/L utilizado por Silva (2007).

Depois, considerou-se o clima e a temperatura, por serem as principais responsáveis para determinação da área superficial de *wetlands* (GSCHLÖBL *ET AL.*, 1998; SOUSA & OLIVEIRA, 2011). No DF a temperatura máxima registrada no período de 1961 a 1990 foi de 28° C e mínima de 13°C, sendo o trimestre mais quente, abrangendo os meses de setembro, outubro e novembro (INMET, 2015). A literatura aponta que a temperatura ideal para a máxima eficiência de um de sistema *wetland* é acima de 20° C (SEZERINO, 2006; PLAZTER, 1999; SILVA, 2007). Considerando as perdas do *wetland* em climas secos com temperatura médias de 20 a 30 °C por evapotranspiração (BRAZIL E MATOS, 2008; MAGALHÃES FILHO, 2013), considerou uma diminuição de 30% para os meses mais quentes do DF, que correspondem a 9 meses no total. Nos meses chuvosos não foi considerado perda por evapotranspiração porque segundo OLIJNYK (2008), a diferença entre a perda por evapotranspiração e aumento da vazão por precipitação do sistema é em torno de 1,22%, não sendo, portanto, significativa.

Com esses dados em mãos, a seleção dos substratos baseou-se principalmente no custo de material, configuração do fluxo, na vegetação a ser empregada e nas necessidades do tratamento (HAMMER, 1989). Também considerou o tipo de efluente a ser tratado como águas cinzas residenciais e o regime hidráulico de fluxo sub-superficial (FARAHBAKSHSAZAD E MORRISON, 1998). Além disso, com as pesquisas estudadas verificou-se que a condutividade hidráulica dos substratos revela que a temperatura influencia diretamente na percolação do efluente, pois quanto maior é a temperatura, menor é a viscosidade e maior a permeabilidade que o solo irá apresentar.

Para o seu bom funcionamento o meio de suporte deve permitir a passagem do efluente de forma que o contato com os microrganismos seja máximo (COOPER, 2005), e para isso os substratos utilizados devem possuir granulometria diferenciada, partindo de uma granulometria menor para maior (MOLLE *ET AL.*, 2005). Portanto, considerando os substratos disponíveis no DF, conclui-se que os ideais para serem utilizados nos sistemas *wetland* sejam, areia fina e brita #1. A sugestão adotada é de 0,05m de brita #1 no topo, 0,60m de areia no meio e 0,10m de brita #1 no fundo, preenchendo 0,75 m do tanque a ser preenchido (SEZERINO, 2006).

Em seguida, selecionou a vegetação a ser utilizada que tolere áreas permanentemente saturadas ou submersas e o fluxo constante de poluentes dos mais diversos tipos e concentrações, embora outros critérios também devam ser levados em conta na seleção das espécies. As espécies preferidas foram nativas locais devido à maior facilidade de adaptação e crescimento nas condições climáticas existentes. Espécies exóticas podem ser utilizadas somente se já foram introduzidas na região ou se não forem suficientemente competitivas, para que não se tornem uma praga e ocorra fuga da espécie do sistema de tratamento, contaminando o ambiente circunvizinho (ZANELLA, 2008). Contudo, neste estudo, a escolha das espécies macrófitas baseou-se nas espécies citadas nos trabalhos pesquisados, procurando a distribuição geográfica das mesmas pelo site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>, ao qual estão reunidas todas as informações registradas das espécies coletadas e catalogadas nos herbários de todo o país.

Por fim, baseando-se nos dados obtidos, pôde-se calcular o volume de água cinza produzida em cada modelo, o volume de efluente tratado anualmente por cada sistema em cada modelo, considerando os meses chuvoso e quentes e as perdas que ocorrem por evapotranspiração, e baseando-se na área irrigada em cada tipo residencial, pôde-se avaliar se o sistema é ou não viável.

RESULTADOS OBTIDOS

O Distrito Federal possui cerca de 78.601 domicílios urbanos. Na Região, 80,08% dos domicílios são apartamentos e 10,38% são casas (PDAD, 2014). Sant'Ana (2011) criou modelos representativos de tipologias residenciais do DF baseando-se em dados quali-quantitativos dos usos finais de água, área construída, área verde e renda familiar, chegando a quatro classificações: i) residência de renda alta; ii) residência de renda média-alta; iii) residência de renda média-baixa; e iv) residência de renda baixa. Esses modelos foram compostos a fim de se identificar as medidas de conservação de água viáveis em termos de aplicabilidade, economia de água e benefícios financeiros. Para este estudo, considerou apenas dois modelos representativos sendo o primeiro o de renda alta e o segundo o de renda baixa, MR1 e MR2, respectivamente.

O tipo de *wetland* escolhido foi de fluxo vertical porque ele utiliza uma menor área para tratamento, cerca de 0,5 a 3 m²/hab, é mais eficiente na não ocorrência de colmatação e eficiente na percolação do meio filtrante. Podem ser instalados em diferentes tipologias residenciais, porém requerem mais manutenção por utilizarem bombas e temporizadores (GARCIA-PEREZ *ET AL.*, 2008; BUENFIL 2004, SHRESTHA *ET AL.* 2001, JENSSEN *ET AL.* 2005). É um sistema de tratamento para pequenas fontes de poluição, por isso seu uso já se espalhou por todo o mundo, sendo bastante utilizado na Áustria, Dinamarca, França Alemanha e Reino Unido (VYMAZAL, 2008).

O clima e a temperatura são as principais responsáveis para determinação da área superficial dos *wetland* (GSCHLÖBL *ET AL.*, 1998; SOUSA & OLIVEIRA, 2011). Como o clima do Distrito Federal é definido como tropical de altitude e é marcado por forte sazonalidade, com dois períodos distintos bem caracterizados, devem ser construídos levando em consideração as perdas por evapotranspiração e o clima e temperatura do local em que serão instalados. Em dias secos a evapotranspiração pode remover cerca de 50% do fluxo do efluente, o que resulta no aumento da concentração de poluentes dissolvidos chegando a ser tóxico para os vegetais plantados. (SANCHEZ-CARRILHO *ET AL.*, 2001). Para temperaturas baixas, estas aumentam a solubilidade do oxigênio na água, porém diminuem a atividade microbiana (GSCHLÖBL *ET AL.*, 1998; MELO JR, 2003).

No DF, o período entre maio e setembro é evidenciado pela baixa taxa de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação, com muito baixas umidades relativas diárias (tendo sido registrados valores inferiores a 15%), consequentemente, a evaporação aumenta nesse período. O período entre outubro e abril apresenta padrões contrastantes, sendo que os meses de dezembro a março concentram 47% da precipitação anual (INMET, 2015). Sabe-se que a temperatura do efluente dos *wetlands* é aproximadamente igual à média diária de temperatura do ar, uma vez que há um balanço entre as formas de transferência dominantes: ganhos através da energia solar e perdas através de energia evaporativa. Dentro dos *wetlands*, a concentração de oxigênio dissolvido na água é influenciada pela temperatura, sais dissolvidos presentes, atividades biológicas e meio suporte. O oxigênio residual dissolvido contido no fluxo de alimentação dos *wetlands* é suplementado pelo oxigênio transferido a partir da atmosfera, pela superfície da água e por transporte convectivo a partir de folhas e caule das plantas (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Estudos apontam que o dimensionamento de um *wetland* de fluxo vertical também depende das taxas hidráulicas e cargas orgânicas aplicadas sobre a área superficial do módulo (TREIN *ET AL.*, 2015; WU *ET AL.*, 2014; SEZERINO *ET AL.*, 2015). Platzer (1999) recomenda taxa hidráulica de 250 mm.d⁻¹ para clima quente e carregamento orgânico com cerca de 40 a 70 g DQO m⁻².d⁻¹ corresponde a aproximadamente 20 a 35 g DBO m⁻².d⁻¹, para efluentes domésticos (PLATZER *et al.*, 2007). Silva (2007) realizou um estudo de tratamento de efluentes domésticos no DF utilizando SWC de fluxo vertical e considerou uma vazão máxima de 140 L/hab.dia e uma área de 1 m² por pessoa, baseando-se em Cooper (1999).

Contudo, com a falta de padronização no dimensionamento do *wetland* em diversos estudos, então considerou-se a pesquisa realizada por Silva (2007) e obteve-se que a área requerida do *wetland* para o MR1 é de 8 m², em média, e de 4 m² para MR2, considerando um desempenho estável de um sistema compacto, com vazão controlada de entrada, e com remoção de pelo menos 70% de DBO.

A nível de comparação foram selecionadas pesquisas que utilizam esse mesmo tipo de sistema para tratamento de esgoto doméstico no Brasil (Tabela 01). Para análise do sistema foi considerado a porcentagem média obtida em todos os tanques de *wetland* das pesquisas analisadas, devido à falta de padronização de metodologia dos dados analisados de todas as pesquisas analisadas. Os parâmetros considerados válidos foram baseados naqueles que interessam para avaliação da qualidade da água para reúso não potável, conforme NBR 13969/97.

Com as pesquisas realizadas verificou-se que o sistema *wetland* é utilizado como pós-tratamento dos efluentes, sendo utilizado em sua maioria como tratamento secundário, alcançando, entretanto, um nível de tratamento desejável para reúso, sendo recomendado apenas a desinfecção após o tratamento.

Para tratamento primário o método utilizado, na grande maioria, são as fossas sépticas, que é um tipo de tratamento alternativo utilizado quando não há rede coletora de esgoto (PNSB, 2010). O sistema de esgotos do

DF é composto por 16 sistemas de coleta e tratamento de esgotos (CAESB, 2015). Em Brasília/Plano Piloto, 99,27% dos domicílios drenam seus esgotos na rede geral de coleta, da porção restante 0,6% utiliza fossas sépticas como forma de tratamento (PDAD, 2014). A forma de tratamento realizadas nas ETE's do DF são variadas, sendo em sua maioria realizado por reatores anaeróbicos de fluxo ascendente compartimentado ou lodos ativados a nível terciário. Esses sistemas, ditos convencionais, apesar de eficientes possuem um alto custo de manutenção e consumo energético.

Tabela 01 – Exemplos do uso de *wetland* para tratamento de águas residuárias

LOCAL	TRATAMENTO PRIMÁRIO	PARÂMETROS ABIÓTICOS				PARÂMETROS BIÓTICOS						SUBSTRATO	PLANTAS	REFERÊNCIA
		SST	pH	O ₂	T	DBO	DQ _O	N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P			
Piracicaba, SP	Fossa séptica	68	6,6	12	20	77	66	72	32	66	92	Areia, argila, bagacilho de cana e vermiculita	<i>Oryza sativa L</i>	NOGUEIRA, 2003
Campinas, SP	Lodos Ativados	93,85	5,42	-	-	-	74	-	57,8	-	88	Brita e areia	<i>Typha sp</i>	SANTOS, 2009
Campinas, SP	Reator Anaeróbio Compartimentado	81,4	7,26	-	23		37,09	-	-	-	30	Brita #2	<i>Typha sp.</i> e <i>Eleocharis sp</i>	MAZZOLA ET AL, 2005
Goiania, GO	Lagoa facultativa	-	-	-	-	98,3	97,1	-	98,2	-	98,4	Latossolo vermelho de textura argilosa com brita #3	<i>Guadua angustifolia</i> , <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>	QUEGUE ET AL., 2013
Brasília, DF	Decantador	90 a 98	7,29			97 a 99		88 a 94	85 a 95	2 a 116	96 a 100	Areia e Latossolo Vermelho-Amarelo	<i>Oryza sativa L</i>	SILVA, 2007
Vitória, ES	Lodo ativado	42 e 78	7,02	-	-	-	60 e 79	-	58 e 79	-	13 e 52	Areia, brita #0, Cavaco de Usinagem e Escória de aciaria elétrica	<i>Luziola peruviana</i> e <i>Typha latifolia</i>	LEAL, 2009

Campinas, SP	Reatores anaeróbios	-	9	46	26	-	29	-	18	94	74	Crostras de eletrofusão da Bauxita e britas #3	<i>Typha sp</i> , <i>Canna limbata</i> e <i>Cyperus prolifer</i>	POLI, 2012
Florianópolis/SC		94	-	-	-	80	72	-	73	-	-	Brita #1 e areia	<i>Typha domingensis</i>	SEZERINO, 2006

SST (sólido suspenso total): %; pH: do efluente; O₂ (Oxigênio acrescentado): %; T (temperatura do efluente)°C; DBO (Demanda bioquímica de O₂) %; DQO (Demanda química de O₂) %; NH₄⁺ (Nitrogênio amoniacal) %; NO₃⁻ (Nitrato) %; P (fósforo) %.

De acordo com Poli (2012), os substratos atuam como um meio suporte à espécie plantada, operam como agentes filtrantes e promovem um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos que auxiliam no processo de tratamento de efluentes, e para isso, sugere-se nesse sistema a utilização de areia fina, brita #1 e latossolo vermelho, por estarem facilmente disponíveis na região do DF e apresentarem eficiência no tratamento dos efluentes (SEZERINO, 2006; SILVA, 2007). Essa escolha também é determinada pela condutividade hidráulica dos mesmos, pois determinará uma melhor eficiência na remoção de nutrientes, pois a diferença de granulometria e porosidade ajudará na formação do biofilme, necessário na remoção de poluentes pelas raízes das plantas afixadas (SEZERINO, 2006).

Usualmente, no sistema de *wetland*, utiliza-se areia ou brita como meio suporte para o afixamento das plantas (METCALF & EDDY, 1991), entretanto, verifica-se a utilização de materiais alternativos, como pneu picado, cavaco de usinagem, escória de aciaria elétrica e crostas de eletrofusão da bauxita, combinados com areia e/ou brita tem gerado resultados significativos na remoção de fósforo e outros compostos orgânicos (SOUZA, 2003; AVELAR, 2008; LEAL, 2009; COLLAÇO, 2011; POLI, 2012). A tabela 02 resume os substratos mais testados em sistemas *wetlands* no Brasil.

Tabela 02 – substratos mais utilizados em *wetlands* no Brasil

LOCAL	TIPO E LC	SUBSTRATO	AUTOR, ANO
Campinas, SP	Fluxo sub-superficial	Brita e pneu picado	SOUZA, 2003
Campinas, SP	Fluxo sub-superficial	Brita	MELO JR, 2003
Vitória, ES	Fluxo vertical	Areia, brita #0, Cavaco de Usinagem e Escória de aciaria elétrica	LEAL, 2009
Campinas, SP	Fluxo sub-superficial	brita #2	SANDRI, 2003
Campinas, SP	Fluxo vertical	Crostras de eletrofusão da Bauxita e britas #3	POLI, 2012
Campinas, SP	Fluxo sub-superficial	Brita #3 e pneu picado	COLLAÇO, 2011
Brasília, DF	Fluxo vertical	Latossolo vermelho amarelo misturado com areia média	SILVA, 2007
Vitória, ES	Fluxo sub-superficial	Escória de aciaria, areia e brita	AVELAR, 2008
Campinas, SP	Fluxo sub-superficial	Bambu e brita	ZANELLA, 2008
Florianópolis/SC	Fluxo vertical	Areia, saibro e brita	SEZERINO, 2006

Quanto aos vegetais escolhidos para serem plantadas nesse sistema foram: *Cyperus sp*, *Elocharis sp*, *Typha domingensis*, *Canna indica* e *Heliconia hirsuta*, por ocorrerem naturalmente na região do DF e possuírem elevado potencial de redução dos poluentes (WU ET AL., 2015). Geralmente as plantas são dispostas no *wetland* a 0,50 m de distância uma da outra e plantadas em monocultura. Para essa proposta ser aplicável em uma construção edilícia, a ideal é dispor as plantas formando um paisagismo adequando o sistema à paisagem do local (ZANELLA, 2008).

Como o foco de estudo é o Distrito Federal, reuniu-se na tabela 03 as principais informações das espécies que tiveram ocorrência confirmadas na região.

Tabela 03 – Características das espécies de vegetais macrófitos emergentes que tiveram ocorrência confirmada no Distrito Federal.

ESPÉCIE	ENDEMISMO	FORMA DE VIDA	SUBSTRATO	ORIGEM	DOMÍNIOS FITOGEOGRÁFICOS
<i>Canna indica</i> L.	Não	Erva	Terrícola	Nativa	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Heliconia hirsuta</i> L. F.	Não	Erva	Terrícola	Nativa	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Cyperus</i> L.	Não	Erva	Aquática, Rupícola, Terrícola	Nativa	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
<i>Eleocharis</i> R. Br.	Não	Erva	Aquática, Terrícola	Nativa	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
<i>Typha</i> L.	Não	Erva	Aquática, Terrícola	Nativa	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal

Fonte: ALVES *ET AL.*, 2015; BOVE, 2015; MAAS, *ET AL.*, 2015; BRAGA, 2015

A espécie comumente utilizada em sistemas de *wetland* em todo o mundo é a *Typha* sp., popularmente conhecida como taboa. O gênero *Typha* é representado no Brasil por três espécies: *Typha angustifolia* L., *Typha domingensis* Pers. e *Typha latifolia* L. Destas, somente a *Typha domingensis* Pers. ocorre naturalmente no Distrito Federal (BOVE, 2015). Esteves e Suzuki (2013) relatam a eficiência de reabsorção de nitrogênio e fósforo por *T. domingensis*, em uma lagoa costeira tropical durante diferentes estações do ano, mostrando que a planta retira fósforo do sistema, mesmo já possuindo a substância em seus tecidos. Pelissari *ET AL.*, (2014) avaliou a transformação de nitrogênio desta espécie em sistemas híbridos de fluxo vertical e fluxo horizontal, e verificou que os sistemas de fluxo vertical foram mais eficientes que os de fluxo horizontal na remoção de amônia, obtendo uma eficiência de 80%, enquanto que o fluxo horizontal obteve apenas 58%.

Por fim, feito o dimensionamento do sistema *wetland* melhor adaptado aos modelos representativos, verificou-se que a quantidade de água produzida por dia, no MR1 é de 5.650 L e 2.950 L, gerado no MR2. Com base em todos os dados detalhados anteriormente, obteve-se o volume anual de água tratada com o sistema *wetland* no MR1 de aproximadamente 199 m³, e de 103m³ no MR2, que pode ser utilizado para diversos usos finais. Os dados referentes ao volume de água consumida e tratada estão na tabela 04.

TABELA 04: Potencial de redução de consumo de água potável para irrigação de jardim usando tratamento de água cinza por meio de *wetland* de fluxo vertical.

VAZÃO DE ÁGUA (m³)	MR1	MR2
Vol. Água cinza produzida (m³/ano)	262,8	136,8
Volume de água consumida na irrigação do jardim (m³/m²/ano)	9.722,6	167,8
Volume de água tratada por <i>wetland</i> (m³/ano)	199,7	103,9

Para essa análises, foram consideradas, o consumo de água no jardim 2,2 L/m²/dia no MR1; 0,7 L/m²/dia no MR2; o volume de água cinza produzida 146 L/p/dia no MR1 e 76 L/p/dia no MR2; a perda por evapotranspiração 32% nos meses chuvosos, contando-se apenas 3 meses.

Se a água tratada for empregada somente em irrigação de jardim, em MR1 obtemos cerca de 2% de economia de consumo, comparando-se apenas a quantidade de água consumida na irrigação, não sendo, portanto, uma economia significativa. No MR2, a quantidade de água tratada garante uma economia de 62%, considerando apenas o consumo de água gasto na irrigação, logo, a economia neste tipo residencial é satisfatória.

CONCLUSÕES

Para o dimensionamento de um sistema de *wetland* de fluxo vertical em residências é necessário considerar o clima e a temperatura média da região em que se pretende instalar o sistema, e como a temperatura ideal para seu funcionamento é superior a 20 °C, conclui-se que um sistema *wetland* de fluxo vertical instalado no DF teria um resultado satisfatório.

Os substratos mais adequados para compor esse *wetland* são areia fina, brita #1 e latossolo vermelho, por serem facilmente encontrados no DF e possuírem resultados superiores a 90% na remoção de poluentes.

Para adequar o sistema a paisagem as espécies vegetais escolhidas para o sistema são *Cyperus sp*, *Elocharis sp*, *Typha domingensis*, *Canna indica* e *Heliconia hirsuta*.

O sistema *wetland* de fluxo vertical pode ser considerado eficaz como medida de conservação de água em residências de baixa renda, reduzindo satisfatoriamente o consumo de água em 62%, enquanto que no modelo representativo de renda alta não demonstrou economia significativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.; HEFLER, S.M.; TREVISAN, R.; SILVA FILHO, P.J.S.; RIBEIRO, A.R.O. *Cyperaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB7194>>. Acesso em: 04 Dez. 2015.
- ANA. Conservação e reúso da água em edificações. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2005.
- AVELAR, J. C. Avaliação da escória de aciaria (ld) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluente de reator UASB compartimentado. Dissertação (Mestrado) – Vitória: Universidade Federal Do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 2008.153 p.
- BOVE, C.P. *Typhaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB76464>>. Acesso em: 04 Dez. 2015.
- BRAGA, J.M.A. *Heliconiaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB7959>>. Acesso em: 05 Dez. 2015.
- BRASIL, M. DA S. E MATOS, A. T. DE. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. Eng. sanit. ambient. Vol.13 - Nº 3 - jul/set 2008, 323-328.
- BRASIL. Instrumentos de gestão das águas. Câmara dos Deputados. Consultoria Legislativa, Centro de Estudos e Debates Estratégicos; relator: Félix Mendonça Júnior; Mauricio Boratto Viana, Alberto Pinheiro – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015.

8. CAESB (2015). Estações de tratamento de esgoto. Disponível in: <<https://www.caesb.df.gov.br/esgoto/conheca-as-unidades.html>> Acesso in: 04, dez de 2015.
9. COLLAÇO, A. B. Uso de pneu “picado” como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário oriundo de uma E.T.E. Convencional. Dissertação (Mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, 2001. 65p.
10. COOPER, P. (1999). “A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems”. Water Science e Technology, 40(3), 1-9.
11. ESTEVES, B. dos S. e SUZUKI, M. S. Nitrogen and phosphorus resorption efficiency, and N: P ratios in natural populations of *Typha domingensis* Pers. in a coastal tropical lagoon. Acta Limnologica Brasiliensia ,2013, vol. 25, no. 2, p. 124-130
12. FARAHBAKSHSHAZAD, N.; MORRISON, G.M. Subsurface macrophyte systems in wastewater treatment. Vatten, v.54, p.41-51, 1998.
13. GARCIA-PEREZ, A., JONES, D., GRANT, W., HARRISON, M. Recirculating Vertical Flow Constructed Wetlands for Treating Residential Wastewater. Pardue Extension. Rural wastewater, RW -4-w, 2008.
14. GONCALVES, R. F. ; REBOUÇAS, T. C. ; MIRAVAL, D. O. ; BIANCHI, G. ; BAZZARELLA, B. B. . Caracterização e Tratamento de Diferentes Tipos de Águas Residuárias de Origem Residencial após Segregação. In: XXX Congreso Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta del Este. XXX Congreso Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006.
15. GSCHLÖBL, T., STEINMANN, C., SCHLEYPEN, P., MELZER A. Constructed Wetlands for Effluent Polishing of Lagoons. Wat. Res. Vol. 32, No. 9, pp. 2639±2645, 1998.
16. HAMMER, D.A., (Ed.) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural Chelsea. MI: Lewis Publishers, 1989.
17. HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez, 75-95. 2002.
18. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mesTempo>. Acesso em dezembro de 2015.
19. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mesTempo>. Acesso em dezembro de 2015.
20. KADLEC, R.H. AND KNIGHT, R.L. Treatment Wetlands. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 1996.
21. KADLEC, R.H. AND KNIGHT, R.L. Treatment Wetlands. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 1996.
22. LEAL, F. K. Estudo comparativo de leitos percoladores e banhados construídos de fluxo vertical aplicados à remoção de fósforo em esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado) – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2009. 102 p.
23. MAAS, H.; MAAS, P.; DÓREA, M.C.; OLIVEIRA, R.P. *Cannaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB110628>>. Acesso em: 04 Dez. 2015
24. 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. Centro de Ciências Exatas e tecnologia.
25. MAZZOLA, M., DENIS, M. R.; VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.276-283, 2005.
26. MELO JÚNIOR, A. da S. Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp* - Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2003. 295 p.
27. METCALF E EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3 ed. New York, USA: Metcalf & Eddy, Inc. 1334 p.

28. MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of French systems. *Wat. Sci. Tech.* 2005, 51, 11-21.
29. NOGUEIRA, S. F. Balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto. Piracicaba, 2003. 137p. : il. Dissertação (mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2003.
30. OLIJNYK, D. P. Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos. Débora Parcias Olijnyk – Florianópolis, 2008.
31. PDAD (2014). *PDAD 2014: Pesquisa Distrital por amostra de domicílios*. Subsecretaria de Estatística e Informações. Brasília: SEPLAN
32. PELISSARI, C., SEZERINO, P. H., DECEZARO, S. T., WOLFF, D. B., BENTO, A. P., JUNIOR, O. DE C., P., L. S. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. *Ecological Engineering* 73 (2014) 307–310.
33. PLATZER, C. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science Technology*, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.
34. PLATZER, C., SENF, C., HOFFMAN, H., CARDIA, W., RIBEIRO DA COSTA, R. H., (2007). DIMENSIONAMENTO DE WETLAND DE FLUXO VERTICAL COM NITRIFICAÇÃO – ADAPTAÇÃO DE MODEL O EUROPEU PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO BRASIL. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
35. PNSB (2010) – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Ministério do Planejamento, 2010. Orçamento e Gestão. Instituto de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Pesquisa. Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro.
36. POLI, D. M. Leitos cultivados utilizando crostas de eletrofusão da bauxita. Dissertação (Mestrado) - Campinas: Instituto de Geociências, UNICAMP, 2012. 164 p.
37. QUEGE, K. E., ALMEIDA, R. DE A., UCKER, F. E. UTILIZAÇÃO DE PLANTAS DE BAMBU NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO PELO SISTEMA DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS. v(10), nº 10, p. 2069-2080, JAN-ABR, 2013.
38. SANCHEZ - CARRILLO, S.; ÁLVAREZ - COBELAS, M. BENITEZ, M. A simple method for estimating water loss by transpiration in wetlands. *Hydrological Sciences Journal des Hydrologiques*. V.46, n.4, p. 537-552. August/2001.
39. SANDRI, D. (2003). IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA ALFACE COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA COM LEITOS CULTIVADOS COM MACRÓFITA. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.
40. SANT'ANA, D. R. A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings. (doctoral thesis). Oxford Brookes University: Oxford, 2011.
41. SANTOS, R. M. F. dos. Pós-tratamento de esgoto: sistema sequencial de leitos cultivados (constructed wetlands) vertical e horizontal. - Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2009. 156 p.
42. SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macráfitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Tese (Doutorado) – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Ambiental, 2006. 170p. 2006.
43. SILVA, S. C. (2007) “Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
44. SILVA, S. C. (2007) “Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
45. SOUSA, P. R.; OLIVEIRA, R. M. S. de PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE LEITOS CULTIVADOS (WETLANDS) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 4, p. 242-256, out./dez.. 2011
46. SOUSA, P. R.; OLIVEIRA, R. M. S. de PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE LEITOS CULTIVADOS (WETLANDS) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 4, p. 242-256, out./dez.. 2011



47. TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367, out./dez. 2015.
48. VALENTIM, M.A.A. (2003) – Desempenho de Leitos Cultivados (*constructed wetland*) para Tratamento de Esgoto: Contribuições para Concepção e Operação. Tese de Doutorado, 210 p. Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP. Campinas/SP.
49. VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. Sengupta, M. and Dalwani, R. (Editors). 2008.
50. VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, v. 25, p.478-490, 2005.
51. WU, H., ZHANG, J., NGO, H. H., GUO, W., HU, Z., LIANG, S., FAN, J., LIU, H. Review: A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology* 175 (2015) 594–601.
52. ZANELLA, L. Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. Tese (Doutorado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2008. 189 p.