

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**SISTEMA LEITO CULTIVADO PARA TRATAMENTO DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS VOLTADO PARA O REÚSO NÃO POTÁVEL
EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES DO DISTRITO FEDERAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LÍDIA BATISTA PEREIRA MEDEIROS



**BRASÍLIA - DF
2018**

**SISTEMA LEITO CULTIVADO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS VOLTADO PARA O REÚSO NÃO POTÁVEL EM RESIDÊNCIAS
UNIFAMILIARES DO DISTRITO FEDERAL**

LÍDIA BATISTA PEREIRA MEDEIROS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração em Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, da Universidade de Brasília (UnB, DF), como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^o. Dr. Daniel Sant'Ana

BRASÍLIA - DF

2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

SISTEMA LEITO CULTIVADO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS VOLTADO PARA O REÚSO NÃO POTÁVEL EM RESIDÊNCIAS
UNIFAMILIARES DO DISTRITO FEDERAL

Elaborada por:

Lídia Batista Pereira Medeiros

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. PhD. Daniel Richard Sant'Ana
(Presidente Banca)

Profª Dra. Raquel Blumenschein
(Membro interno)

Prof. PhD. Marco Antonio Almeida Souza
(MEMBRO externo)

Prof. Márcio Buzar
(Suplente)

Brasília, 24 de julho de 2018

*“Nada no mundo é mais dócil e frágil que a água,
entretanto, nada a supera para afetar o que é rígido e forte
e ninguém pode igualar-se à água em persistência.”*

Lao Tsé

À minha mãe, Jesus Medeiros e a meus pequenos gigantes, Cecília e Heitor Medeiros.

Dedico

Agradecimentos

Qual a importância de uma pós-graduação?

Para alguns a possibilidade de continuar na vida acadêmica. Para outra realização pessoal. Para mim sempre foi interesse profissional. Quando muitos questionavam o porquê de uma bióloga fazer mestrado em arquitetura, eu sempre respondia que era porque era paisagista.

Ao pesquisar um tema da engenharia sanitária, vivenciei a importância da interdisciplinariedade na vida acadêmica e também profissional. A grande verdade é que eu sou uma pesquisadora e por ter o espírito empreendedor aflorado transformei minha pesquisa em um negócio.

A Briwet Consultoria surgiu a partir de muita pesquisa, ou melhor, muita revisão bibliográfica. Contudo, o desenvolvimento desta pesquisa não seria possível sem o auxílio de algumas pessoas e instituições chaves, portanto vamos em ordem de importância.

Inicialmente agradeço ao Supremo Deus Jeová, criador e provisor de todas as coisas, por ter atendido o meu pedido naquela noite escura e desesperançosa, quando em oração eu desejei fazer meu mestrado. Depois agradeço a minha mãe, Maria de Jesus S. P. Medeiros, por ter me dado todo o apoio e suporte desde a tomada de decisão em sair de São Paulo e recomeçar, de novo, em Brasília. Sobretudo por cuidar de meus filhos, pois sem essa ajuda esta pesquisa não teria existido.

Agradeço ainda a meu pai, Batista Medeiros, minha irmã, Denise Medeiros e novamente minha mãe por todas as vezes dizerem: “Você vai conseguir, vai dar tudo certo!”. À minhas dadas, Cecília Medeiros e Heitor Medeiros, simplesmente por existirem, seus sorrisos foram o combustível para eu levantar todos os dias e perseverar. Ao meu avô, Manuel Medeiros, por sempre me lembrar que eu sou a neta preferida dele, logo decepcioná-lo não seria opção.

Ao meu namorado Flávio Brah, minha outra dádiva. Por seu apoio, companheirismo, incentivo, carinho e segurança de todos os dias, desde o dia em que nos conhecemos.

A minha colega de faculdade Jamilli Miranda e sua mãe, por terem me acolhido em Brasília e facilitado minha vinda.

Ao professor Dr. Daniel Sant'Ana, por todas as oportunidades concedidas no Grupo de Pesquisa Água e Ambiente Construído.

À ADASA pela bolsa de mestrado concedida para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Programa de pós-graduação da faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Aos colegas de mestrado e membros do Grupo Água e Ambiente Construído, pelos momentos de descontração e discursões acadêmicas.

A meus colegas e colaboradores, consultores e tutores, em especial aos coordenadores gerais de minha empresa, Luiz Buosi e Natália Lá-Badié, por todo o empenho e dedicação no dia a dia das atividades que desenvolvemos.

A todos os meus amigos mais próximos, Clara, Michelle, Neilton, Paulo, Higor, Luís Melo, Guilherme, Wellington, Paula, Diego, Nana, Danilo e Gabriel por tornarem esse período mais leve e divertido.

Gratidão!

RESUMO

A falta de água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola das cidades. O reúso de águas em edificações possui um grande potencial para conservação dos recursos hídricos, quando são considerados os usos não potáveis, pois o custo de tratamento para água não potável é menor, quando se considera altos padrões de qualidade que precisam ser atingidos para obter água potável. Ao considerar uma tecnologia alternativa para tratamento de águas residuárias e produção de água de reúso para usos não potáveis, esta pesquisa analisou o potencial de redução de consumo de água utilizando sistemas leitos cultivados (SLC) em residências unifamiliares de diferentes regiões administrativas (RA), simulando a demanda em dois cenários para usos não potáveis e compondo modelos representativos (MRs) dessas edificações considerando: i) renda familiar; ii) tipologia residencial; iii) presença de área de jardim; e iv) consumo *per capita* de água. Os MRs compostos foram classificados em MR1: renda alta; MR2: renda média alta; e MR3: renda baixa. O sistema foi composto por fossa séptica para realização do tratamento primário, com remoção de 42% de DBO, leito cultivado de fluxo vertical, com remoção de 43% de DBO e leito cultivado de leito horizontal, com remoção de DBO de 87%. O sistema prevê alcançar concentração de DBO de 30 a 20 mg/L para os usos finais de irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária, em cada um dos cenários. O dimensionamento obtido do SLC obteve a maior área de 10,00 m² para o MR1 no cenário 2 e 6,15 m² para o MR3, no cenário 1. O cenário 2 promoveu maior economia na redução do consumo, chegando a 28%, enquanto que no cenário 1 a maior economia foi de 16%. Através deste estudo pôde-se comprovar que os SLC são uma tecnologia de tratamento de águas residuárias possíveis para serem instalados em residências unifamiliares do DF em 19 regiões administrativas.

ABSTRACT

The lack of water is a limiting factor for the urban, industrial and agricultural development of cities. The reuse of water in buildings has a great potential for the conservation of water resources, when the non-potable uses are considered, because the cost of treatment for non-potable water is less, when it considers high standards of quality that need to be get clean water. When considering an alternative technology for wastewater treatment and reuse water production for non-potable uses, the present study analyzed the potential of reducing water consumption using wetland constructed (WC) in single family dwellings in different administrative regions (RA), simulating the demand in two scenarios for end-uses non-potable and composing representative models (MRs) of these buildings considering: i) family income; ii) residential typology; iii) presence of garden area; and iv) per capita water consumption. The composite MRs were classified in MR1: high income; MR2: high average income; and MR3: low income. The system was composed of septic tank for primary treatment, with 42% removal of BOD, bed vertical flow bed, with 43% removal of BOD and horizontal bed, with BOD removal of 87%. The system predicts a BOD concentration of 30 to 20 mg/L for the end-uses of irrigation, floor washing and sanitary discharge in each scenario. The SLC obtained the largest area of 10.00 m² for MR1 in scenario 2 and 6.15 m² for MR3, in scenario 1. Scenario 2 promoted a greater saving in consumption, reaching 28%, while that in scenario 1 the largest economy was 16%. Through this study it was possible to prove that the SLC are a technology of wastewater treatment possible to be installed in single-family residences of the DF in 19 administrative regions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões Administrativas do DF	29
Figura 2: Leitos cultivados de fluxo horizontal.....	45
Figura 3: Leito cultivado de fluxo vertical	46
Figura 4: Esquema simplificado de um SLC construído para reúso de água isolado à edificação.....	48
Figura 5: Esquema simplificado de SLC construído para reúso de forma integrada à edificação.....	49
Figura 6: Desenho esquemático dos MRs das edificações residenciais do Distrito Federal.	73
Figura 7: Sistema leito cultivado híbrido	77
Figura 8: Sistema de tratamento de águas residuárias por meio de leitos cultivados.....	79
Figura 9: Desenho esquemático mostrando uma residência de renda alta com o sistema instalado à edificação.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Usos finais do consumo interno por faixa de renda.....	28
Tabela 2: Relação de domicílios do Distrito Federal	30
Tabela 3: Concentração de poluentes presentes em águas residuárias	38
Tabela 4: Parâmetros de qualidade segundo normas internacionais de acordo com o uso final.....	41
Tabela 5: Características dos meios de suportes que podem ser utilizados em SLC subsuperficiais de modo geral	55
Tabela 6: Descrição das pesquisas nacionais que utilizaram SLC para tratamento de esgoto doméstico	58
Tabela 7: Relação entre os tipos de meios de suportes e vegetais utilizados na remoção de poluentes.....	67
Tabela 8: Relação das regiões administrativas com maior predominância de residências unifamiliares	71
Tabela 9: Características dos modelos representativos segundo Sant’Ana (2011)	75
Tabela 10: Informações socioeconômicas das RAs organizadas por MR.....	84
Tabela 11: Número de edificações residenciais unifamiliares, média das áreas construídas e de jardim e quantidade de fossas sépticas nas regiões administrativas do DF	85
Tabela 12: Oferta de águas residuárias em cada modelo representativo (L/dia).....	87
Tabela 13: Valor total da demanda de água de reúso em cada cenário por modelo representativo.....	88
Tabela 14: Informações climáticas do DF utilizadas no dimensionamento	88
Tabela 15: Critérios de qualidade	89
Tabela 16: Dimensões calculada do SLC por cenário em cada modelo representativo .	89

Tabela 17: Dimensões estabelecidas para SLC em cada cenário para cada modelo representativo.....	90
Tabela 18: Características das macrófitas emergentes que tiveram ocorrência confirmada no DF	90
Tabela 19: Análise do índice de redução dos Mrs em cada cenário analisado.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos níveis de riscos.....	42
Quadro 2: Níveis de risco por uso final.....	43
Quadro 3: Classificação de leitos cultivados para tratamento de efluentes domésticos.....	44
Quadro 4: Fatores que afetam o dimensionamento do SLC.....	50
Quadro 1: Mecanismos de remoção de poluentes de efluentes domésticos.....	52

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Col. Totais: Coliformes totais

Col. Fecais: Coliformes fecais

DBO₅: Demanda bioquímica de oxigênio

DQO: Demanda química de oxigênio

E. coli: Bactéria fecal termotolerante

LC: Leito cultivado

MP: Metais Pesados

NH₃: Amoníaco

NH₄: Amônia cátion

NMP: Número mais provável

NO₂: Nitrito

NT: Nitrogênio total

NTK: Nitrogênio total Kjeldhal (orgânico)

NTU: Unidade de turbidez nefelométrica

OD: Oxigênio dissolvido

OMS: Organização mundial de saúde

pH: Potencial hidrogeniônico

PO₄: Fosfato

POR: Partículas orgânicas refratárias

PT: Fósforo total

RAs: Regiões administrativas

SC: Sólidos coloidais

SS: Sólidos suspensos

SST: Sólido suspenso total

UFC/100 ml: Unidades formadoras de colônias por 100 ml

uT: Unidade de turbidez

Φ: Fator de correção

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE QUADROS	13
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Contextualização	17
1.2. Justificativa.....	22
1.3. Objetivos.....	24
1.4. Estrutura da Dissertação	25
2. REÚSO DE ÁGUA	27
2.1. O potencial do reúso de água no Distrito Federal	29
2.2. Princípios de tratamento	35
2.3. Características dos efluentes domésticos.....	36
2.4. Qualidade da água não potável	39
3. SISTEMAS LEITOS CULTIVADOS	43
3.1. Tipos de Leitos Cultivados	44
3.2. Sistemas de tratamento adaptados às edificações.....	47
3.3. Mecanismos de remoção de poluentes em Sistemas Leitos Cultivados.....	49
3.4. Critérios para dimensionamento de Sistemas Leitos Cultivados.....	59
3.5. Meios de suporte.....	65
3.6. Vegetação	69
4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	71
4.1. Área de estudo	71
4.2. Composição dos Modelos Representativos e cenários	72
a) Modelos Representativos.....	72

b)	Cenários	74
c)	Indicadores de Consumo	75
4.3.	Escolha do sistema leito cultivado.....	76
a)	A interferência do clima	78
b)	Carga orgânica e taxa hidráulica	78
c)	Composição dos sistemas de tratamento	80
4.4.	Potencial de redução de consumo.....	82
5.	RESULTADOS	84
5.1.	Composição dos modelos representativos.....	84
5.2.	Oferta e demanda de água para os cenários propostos	87
5.3.	Dimensionamento do sistema leito cultivado.....	88
5.4.	Índice de redução de consumo de água	92
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	95
6.1.	Recomendações	95
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com estimativa de aumento em 30% até 2030. A evolução dos usos da água está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país. Atualmente, em termos de quantidade, o setor que mais utiliza água no país é a agricultura, com 67,2% (ANA, 2017).

No Brasil, o abastecimento urbano demanda 8,8% (ANA, 2017). No Distrito Federal, a maior demanda de água é no setor residencial (ADASA, 2018). Para atender a demanda para o abastecimento urbano, a disponibilidade hídrica é reforçada por obras e por transferências de vazões de bacias hidrográficas vizinhas, o que exige uma operação complexa de infraestrutura para a garantia da oferta de água (ANA, 2017).

A disponibilidade de água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola das cidades (HESPANHOL, 2002). O aumento desenfreado da população em regiões urbanas contribui para a poluição dos mananciais, além de demandar cada vez mais água para necessidades básicas, como dessedentação, higiene, saneamento, produção de alimentos, entre outros (COSTA, 2007). WHO (2015) afirma que, em 2015, cerca de 663 milhões de pessoas ainda careciam de fontes de água para suas atividades básicas, não obstante, 2,6 bilhões de pessoas tenham obtido acesso a uma fonte melhorada de água a partir de 1990.

Atualmente, o maior causador de poluição das bacias hidrográficas é o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento. Por conta disso, a disponibilidade de água com qualidade para abastecimento está ameaçada (BRASIL, 2017).

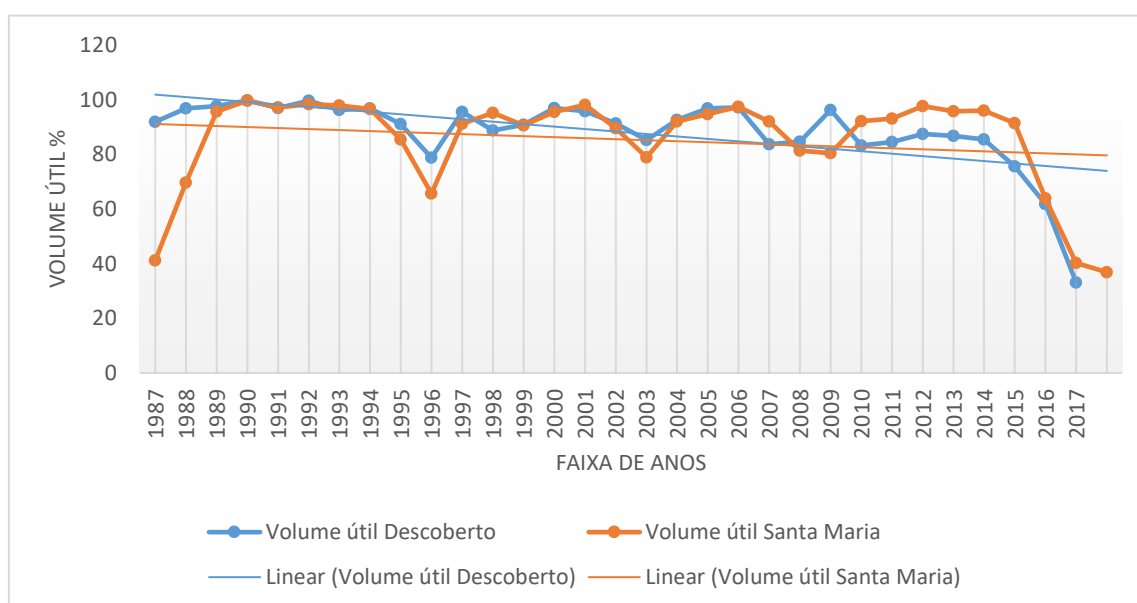
A má distribuição dos recursos hídricos em relação à concentração populacional é, também, outra grande dificuldade no abastecimento (COSTA, 2007). Esse problema é facilmente observado no Brasil, cuja extensão territorial (8,5 milhões de km²) apresenta grande variabilidade climática com ecossistemas bem distintos (ANA, 2010a). Em 2014, o Sistema Cantareira, que abastece mais de 9 milhões de pessoas na Região Sudeste, apresentou queda de 56% na produção de água – de 33 m³/s no início da crise para 14 m³/s, em março de 2015 (BRASIL, 2015). Devido a isso, a Sabesp adotou uma série de

medidas estratégicas que resultaram na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo (71 m³/s em janeiro de 2014 e 50 m³/s em fevereiro de 2015) (SABESP, 2015).

No Distrito Federal, em 2016, reservatórios do Descoberto e de Santa Maria – fontes de abastecimento de 81,7% da população do DF – atingiram a menor capacidade de armazenamento, 22,42% para o Descoberto e 42,6% para Santa Maria. Por conta disso, a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), passando a atuar por meio de resoluções, tomou providências quanto a situação de escassez hídrica, como: i) adoção da tarifa de contingência; ii) redução da pressão nos dutos de abastecimento; iii) adoção de limites para irrigantes; e iv) estabelecimento de resoluções para eventual racionamento (ADASA, 2018).

A ADASA informa diariamente os níveis dos reservatórios desde 1987, nesses 30 anos de monitoramento, nunca se verificou níveis tão baixos em ambos os reservatórios do DF. Em 2017, obteve-se o registro mais crítico no Descoberto (5,3%), no Torto/Santa Maria o menor nível o menor registro foi de 21,6%. Em 25 de abril de 2018, o reservatório do Descoberto apresentava um volume útil de 89,2% e o reservatório da Torto/Santa Maria 54,9%. O Gráfico 1, apresenta um panorama das médias anuais registradas, do volume útil de 1987 até 2017 em ambos os reservatórios (ADASA, 2018).

Gráfico 1: Percentual das médias anuais do nível dos reservatórios Rio Descoberto e Torto/Santa Maria registrado de 1987 até 2017.



Em 24 de janeiro de 2017 o Decreto 37.976 declarou situação de emergência e determinou restrições para o uso da água no DF pelo período de 180 dias, devido a redução do volume de água nos reservatórios Descoberto e Torto/Santa Maria, em razão da estiagem (CAESB, 2018).

Dentre as ações emergenciais adotadas pelo Governo do DF para enfrentar a crise, por meio da ADASA, foram suspensas às permissões para perfuração de poços artesianos e cisternas, captação de água por caminhões-pipa e, após redução da pressão na rede de distribuição, foi implantado racionamento de água em sistema de rodízio, visando a reduzir o consumo. Também foi adotada uma tarifa de contingência e elaborado um plano emergencial de captação de água do Lago Paranoá, incluindo a construção de uma ETA provisória e a interligação dos sistemas Santa Maria-Torto e Descoberto para reforçar o abastecimento nas regiões atendidas pelo Descoberto. O início da operação da ETA ocorreu em outubro de 2017 (ANA, 2010b).

Em 2018, após o reservatório do Descoberto atingir os 90% de sua capacidade e Torto/Santa Maria 57,1%, em 04 de maio de 2018, a ADASA anunciou o fim do racionamento para a partir de 15 de junho, prevendo o equilíbrio para a segurança hídrica e minimização dos problemas causados (ADASA, 2018).

De um modo geral, a crescente pressão sobre os mananciais, as limitações da disponibilidade hídrica e os problemas de gestão dos mananciais subterrâneos são os principais fatores que motivam a busca de novas fontes hídricas, sendo necessária a busca por novos mananciais, que geralmente são distantes, exigindo uma infraestrutura hídrica complexa (KUBLER e FORTIN e MOLLETA, 2015; SABESP, 2015). Nesse contexto, fica ressaltada a necessidade de intensificar a gestão sobre a demanda, incentivando o uso mais racional da água e o controle das perdas físicas nos sistemas de água (ANA, 2017).

Com a demanda crescente por água para abastecimento urbano, as águas residuárias vêm ganhando importância como fonte alternativa confiável, alterando, no Brasil, o paradigma antigo da gestão sobre os recursos hídricos de “tratamento e eliminação” para “tratamento e reúso” (ANA, 2017).

O reúso de água possui inúmeras classificações, baseando-se na forma como ocorre e na finalidade a qual se destina. Rodrigues (2005) classifica o reúso de água conforme o descarte ou não nos corpos hídricos, podendo ser direto ou indireto e segundo a intenção em realizá-lo, podendo ser intencional ou não intencional, planejado ou não planejado. Já a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES classifica o reúso como potável e não potável (MORELLI, 2005).

A grande vantagem da água de reúso é a preservação da água potável, que pode ser reservada exclusivamente para usos mais nobres e que exijam a potabilidade. A qualidade da água de reúso dependerá do uso final pretendido, o que vai estabelecer o nível de tratamento a ser utilizado, os critérios de segurança a serem adotados, dos custos capitais, operação e manutenção que estarão associados (FERNANDES, 2018).

No setor residencial, os benefícios ligados à conservação de água são facilmente entendidos pelo consumidor quando são convertidos em economia financeira. Incentivos econômicos diretos através da cobrança sempre resultam em bons resultados em relação à conservação de água, principalmente em edificações residenciais (SANT'ANA, MEDEIROS e ALVARES., 2017), por isso, quantificar o volume de água destinado para fins não potáveis é necessário para prever o potencial de redução do consumo e propor soluções que atuam na conservação do recurso (PROENC et al., 2011).

A Lei Federal de Saneamento Básico nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, inclui princípios básicos que reforçam a necessidade de sistemas simplificados e descentralizados, dentre esses princípios destacamos: i) eficiência e sustentabilidade econômica; ii) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas; e iii) adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água. A partir desses princípios, esta pesquisa teve como objeto de estudo, sistemas de leitos cultivados (SLC), que atendem a todos esses requisitos e cujo dimensionamento pode ser adaptado à oferta e demanda das edificações residenciais.

O Sistema Leitos cultivados (SLC) é uma tecnologia de tratamento de águas residuárias caracterizado por leitos impermeabilizados preenchidos por um meio de suporte que fica

permanentemente saturados fazendo a depuração do efluente com interação de vegetais macrófitos (EPA, 1995; KADLEC et al., 2006; VYMAZAL, 2010). Esse sistema foi desenvolvido por Käthe Seidel do Instituto Max Planck em meados de 1950 na Alemanha (KADLEC e KNIGHT, 1996). No Brasil, os primeiros estudos foram desenvolvidos no início de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues (SALATI e RODRIGUES, 1982; SALATI, 1984). Sezerino et al. (2015) afirmam que as experiências brasileiras se intensificaram a partir do ano 2000 para o tratamento de diferentes águas residuárias em todo o território nacional, sob diferentes formas e arranjos, com diferentes materiais filtrantes e macrófitas empregadas.

O dimensionamento de um sistema de tratamento deve ser realizado considerando o clima da região e a vazão disponível. O fluxo hidráulico deve ser controlado (PAING et al., 2015), de forma que imite os processos naturais nos quais a interação entre as plantas, o meio filtrante bem como seus microrganismos irá remover de forma mais eficiente os poluentes do efluente (EPA, 1995; KADLEC et al., 2006; VYMAZAL, 2010).

A remoção dos poluentes é realizada por processos físicos, bioquímicos e biológicos, sendo que a eficiência é influenciada por fatores bióticos e abióticos (VALENTIM, 2003).

Adequações ao SLC podem ser realizadas de acordo com o uso final pretendido das águas residuárias tratadas, ou seja de acordo com o tipo de reúso, dentre essas adequações está a escolha das espécies vegetais e o tipo de meio filtrante, assim a água de reúso apresentará os padrões de qualidade exigidos (VYMAZAL, 2010). Em residências unifamiliares, a água de reúso não potável pode ser destinada para vaso sanitário, torneira de uso geral e torneira fria de máquina de lavar (CARVALHO et al., 2014).

Sistemas de reúso de água para unidades residenciais é chamado de “*Household On-Site*”. Esses são amplamente pesquisados e comercializados como estações compactas anaeróbicas/aeróbicas, possuindo características técnicas que garantem alta eficiência de remoção dos poluentes, somados à baixa produção de lodo e a custos reduzidos de implantação, operação e manutenção (IVERY, 1996; USEPA, 2005; ROELEVELD; ZEEMAN, 2006; ICHINARI et al. 2008; AL-JAMAL; MAHMOUD, 2009; SABRY, 2010; MOUSSAVI et al., 2010; KASSAB et al., 2010).

Chernicharo (2007, pp. 21–22), afirma que essas estações compactas devem apresentar:

“Baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização, baixos requisitos de área, pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado, possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados), elevada vida útil, ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha, possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, experiência prática e, por fim, sustentabilidade do sistema como um todo.” (Chernicharo, 2007, pp. 21–22).

Os SLC, sendo considerados como tecnologias alternativas e artesanais, podendo ser dimensionados em baixa escala, atendem às essas exigências. Gikas e Tsihrintzis (2012), ao analisarem o design e performance de uma SLC de fluxo vertical em residências unifamiliares, obtiveram remoções eficientes de poluentes, como 96,4% para DBO, 94,4% para DQO, 90,8% para Nitrogênio Total, 92,8% para amônia e 69,8% para fósforo total. Essas porcentagens de remoção de poluentes indicam que a qualidade da água de reúso alcançada por meio do tratamento desses sistemas pode ser utilizada sem prejuízo para a saúde dos usuários.

1.2. Justificativa

Sistemas leitos cultivados podem ser construídos considerando a capacidade, o tempo de residência e detenção hidráulica, taxas de concentração dos poluentes, temperatura do ambiente e densidade das plantas (CAMPBELL e OGDEN, 1999). São considerados sistemas artesanais, devido à variedade de materiais que podem ser utilizados em sua construção (ESF, 2008; HEERS, 2006).

Em geral, leitos cultivados são sistemas ideais para tratamento de águas residuárias em pequenas comunidades (< 5.000 pessoas) (UNESCO, 2017; EPA, 2003; KADLEC et al. 2006), contudo, devido à falta de padronização no dimensionamento, podem ser adaptados para tratamento de esgotos domésticos em residências unifamiliares (Yu et al., 2015; SEZERINO et al., 2015).

Os SLC são estudados desde 1950 (VYMAZAL, 2010) e o interesse em aprofundar os conhecimentos nesses sistemas é devido ao fato de serem acessíveis economicamente, exigirem baixíssima manutenção e alcançarem qualidade avançada no tratamento de

efluentes. Este sistema equipara-se a sistemas que detém grandes tecnologias envolvidas como processos mais avançados (YU et al., 2015; VYMAZAL, 2005). Eles têm sido utilizados para tratar uma variedade de águas residuárias, incluindo escoamento superficial urbano, municipal, industrial, agrícola e águas de drenagem de minas (EPA, 2000a; UNESCO, 2017; MENA et al., 2008; MELO-JÚNIOR, 2003).

Os SLC são utilizados como estratégia voltada para a conservação de água em edificações, onde se observa grande potencial de implementação em unidades uni e multifamiliares (KIVAISI, 2001; YU et al., 2015). São observados benefícios financeiros desejáveis, uma vez que os sistemas descentralizados consomem menos energia para produzir o mesmo volume de água demandado por uma residência, do que os sistemas centralizados (YU et al., 2015). Além disso, também é verificada a redução do consumo de água potável, o que faz os consumidores de edificações domésticas demandarem menores volumes das concessionárias, conseqüentemente, diminui a sobrecarga de captação dos mananciais e disponibiliza o recurso para áreas menos abastecidas (EPA, 2004b).

Como em todo sistema de depuração de efluentes, ocorre formação de lodo residual, que precisa ter destino adequado. Frente às tecnologias convencionais, os SLC mostram-se promissores por também serem eficazes no tratamento de lodos ativados provenientes de tanques sépticos, pois reduzem o volume de água presente nos lodos, promovendo a mineralização e não exigindo remoção periódica do lodo acumulado, o que diminui os riscos com o manuseio (SUNTTI et al., 2011). Suntti et al. (2011) recomendam que o lodo acumulado pode ser retirado em até 30 anos após operação de um SLC de fluxo vertical de 4,3 m² de área superficial e pode ser reutilizado na agricultura como fertilizante ou condicionador do solo. Esses sistemas podem ser adequados à paisagem, inserindo-se ao paisagismo do local (KLETECKE, 2011; PERSSON e WONG e SOMES, 1999; ZANELLA, 2008).

Os SLC apresentam eficiente remoção de poluentes (VYMAZAL, 2010; SEZERINO et al., 2015; ARIAS et al., 2003; CAMERON et al., 2003; e PAULO et al., 2009). O mecanismo de remoção é influenciado pela direção que o efluente percola pelo meio de suporte, pela área superficial dos leitos e ainda pelo tipo de tratamento, se primário, secundário ou terciário. Quando utilizados como tratamento secundário, tratando afluentes com características de esgoto doméstico e/ou sanitário, sistemas de fluxo

horizontal são dimensionados com uma relação média de 0,5 a 5 m²/habitante (VYMAZAL, 2010; SEZERINO et al, 2015).

Green e Upton, (1995) verificaram que SLC utilizados para tratamento terciário podem obter remoção de 95% de DBO₅ com uma relação de 1 m²/pessoa. Utilizando um sistema de fluxo vertical com 5 m² de área superficial, alimentado com 2 m³/dia com águas residuárias, Arias et al. (2003), Cameron et al., (2003) e Paulo et al., (2009) obtiveram remoção de 99% de coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais.

Utilizando SLC de fluxo horizontal para tratamento secundário, Júnior et al. (2016) obtiveram uma área de 0,47 m²/habitante para 70% de eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea, considerando uma oferta de efluente de 120 L/hab/dia.

Para sistemas de fluxo vertical, considerando 85% de degradação de DBO, os autores obtiveram 1,14 m²/hab, respeitando-se o limite de 6,5 g NTK/m² e 250 mm de carga hidráulica diária. Os autores ainda ressaltam que processos de separação por membranas, coagulação e floculação/flotação e biofiltros aerados seguidos de decantadores secundários, tem ganhado espaço no saneamento devido à menor exigência de espaço físico para implantação, contudo, os SLC apresentam viabilidade econômica por apresentarem operação mais simplificada e baixo custo, embora possam ser inviáveis pela necessidade de espaço físico.

Por meio de revisão bibliográfica verificaram-se inúmeros estudos voltados ao dimensionamento desses sistemas, em diversas edificações, para tratamento de águas residuárias (SUNTTI et al. 2011, SEZERINO et al., 2015, GALVÃO e MATOS, 2012, GONÇALVES, et al., 2006, GARCIA-PEREZ et al, 2008, CHAGAS et al, 2011, POLI, 2012, VALENTIM, 2003, KIVAISI, 2001; YU et al., 2015, GIKAS e TSIHRINTZIS 2012, COLLAÇO, 2001, ANJOS, 2003), contudo verificou-se uma lacuna no conhecimento quanto ao uso de SLC em residências unifamiliares do DF como alternativa para o tratamento de águas residuárias promovendo a redução do consumo de água potável.

1.3. Objetivos

Ao se instalar SLC em residências unifamiliares para tratamento de águas residuárias, obtêm-se água de qualidade inferior ao exigido para consumo humano, contudo a água

não potável pode ser destinada para outros usos finais, como irrigação, processos de lavagem e descarga sanitária. Com isso em mente, o objetivo geral dessa pesquisa é:

- Verificar o potencial de redução de consumo de água pelo reúso de águas residuárias em residências unifamiliares do Distrito Federal utilizando sistemas de leitos cultivados;

Como objetivos específicos, este estudo pretende:

1. Compor diferentes modelos representativos para edificações residenciais unifamiliares do DF;
2. Propor cenários para utilização do SLC;
3. Dimensionar SLC em residências unifamiliares do DF em função dos cenários propostos;

1.4. Estrutura da Dissertação

Essa dissertação foi estruturada de maneira que os objetivos elencados fossem alcançados.

Capítulo 2: Reúso de águas

Este capítulo apresenta generalização sobre o reúso de águas residuárias, incluindo as características do efluente e a qualidade da água para não potável a ser alcançada por meio do tratamento.

Capítulo 3: Sistema Leitos Cultivados

O capítulo 3 fornece o embasamento teórico necessário para o dimensionamento dos sistemas leitos cultivados. Apresenta as classificações e descreve todos os parâmetros que são utilizados para obter a área superficial do sistema.

Capítulo 4: Procedimento Metodológico

O capítulo 4 fornece uma descrição completa da abordagem metodológica aplicada para compor os modelos representativos das edificações residenciais unifamiliares do DF. A relevância desse capítulo está na composição dos cenários em que foram medidos o

potencial de redução do consumo e no dimensionamento dos SLCs para cada cenário em todos os MRs.

Capítulo 5: Resultados

O capítulo 5 aborda os objetivos da pesquisa. Revela os MRs compostos e apresenta o dimensionamento encontrado dos SLCs para cada cenário. O capítulo finaliza com o índice de redução do consumo alcançado em cada cenário.

Capítulo 6: Conclusões e recomendações

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões com base nos resultados obtidos, fazendo recomendações para estudos futuros e desenvolvimento de projetos.

2. REÚSO DE ÁGUA

O reúso de água pode ser aplicado para vários fins benéficos, tais como irrigação agrícola, processos industriais, recarga de aquífero e, inclusive, para abastecimento de água potável após tratamento adequado, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017a), que substituiu a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011). Quando se pensa em reúso de água é preciso garantir que o tratamento vá atender aos padrões de qualidade para os usos finais pretendidos e ocorra um nível adequado de desinfecção para controle adequado de patógenos (ASANO e LEVINE, 1996; WHO, 1973).

De um modo geral, o esgoto urbano pode ser tratado e utilizado para usos potáveis e não potáveis. Para usos potáveis, a qualidade final deve obedecer a Portaria de Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2011). Ao se considerarem usos não potáveis, entende-se que a qualidade deve ser inferior à estabelecida pela Portaria nº 5/2017, e pode-se considerar como fontes, águas provenientes dos lavabos, chuveiros, bacias sanitárias, tanques, máquinas de lavar roupa e louças e torneiras de uso geral (BAZZARELLA, 2005).

A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, considera que o reúso de água constitui a prática de racionalização e conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21.

O reúso direto de água é aquele uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Podendo ser destinado para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e aquicultura (BRASIL, 2005; MORUZZI, 2008).

Ainda com base na Res. Nº 54/2005, águas residuárias são “todo esgoto, água descartada, efluentes líquidos produzido em edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não”.

O esgoto gerado em uma edificação residencial, segundo Otterpohl (2001) e Ricardo et al. (2006), pode ser segregado da seguinte forma:

- Águas negras: efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes e urina;
- Águas cinzas: águas servidas com contribuição de sabão, excluindo o efluente dos vasos sanitários;
- Águas amarelas: representando somente a urina.
- Água marrom: representando somente as fezes.

No ambiente doméstico, os usos não potáveis incluem irrigação de jardins, lavagem de pisos, paredes e veículos, lavagem de roupas, descarga sanitária, usos paisagísticos em fontes, chafarizes, espelhos d'água e lagos e resfriamento de equipamentos de ar condicionado central (HAFNER, 2007). Para atender a essa demanda, podem ser utilizadas fontes de água provém da cozinha, banheiro e lavanderias (CUNHA, 2008). Ao estudar o consumo de água em ambientes internos e externos de diferentes edificações residenciais no DF, Sant'Ana (2011) identificou uma relação entre o consumo e a faixa de renda. Esse estudo mostrou que quanto maior a renda, maior o consumo de água *per capita* (Tabela 1).

Tabela 1: Usos finais do consumo interno por faixa de renda

Usos Internos	Renda Alta		Renda Média-Alta		Renda Média-Baixa		Renda Baixa	
	l/hab/d*	l/m ² /d	l/hab/d*	l/m ² /d	l/hab/d*	l/m ² /d	l/hab/d*	l/m ² /d
Lavatório	18	---	21	---	10	---	13	---
Chuveiro	36	---	53	---	33	---	28	---
Ducha higiênica / bidê	3	---	3	---	4	---	1	---
Descarga sanitária	42	---	35	---	27	---	19	---
Torneira de cozinha	35	---	34	---	29	---	22	---
Filtro de água	3	---	3	---	2	---	2	---
Máquina de lavar louças	5	---	1	---	---	---	---	---
Tanque	23	---	22	---	14	---	10	---
Máquina de lavar louças	34	---	49	---	25	---	17	---
Vazamentos e perdas	27	---	---	---	0,5	---	5	---
Torneira externa	---	2	---	7	---	0,7	---	0,7
Piscina	---	9	---	---	---	---	---	---
TOTAL	226		221		144		119	

*litros por habitante por dia; adaptado de Sant'Ana (2011).

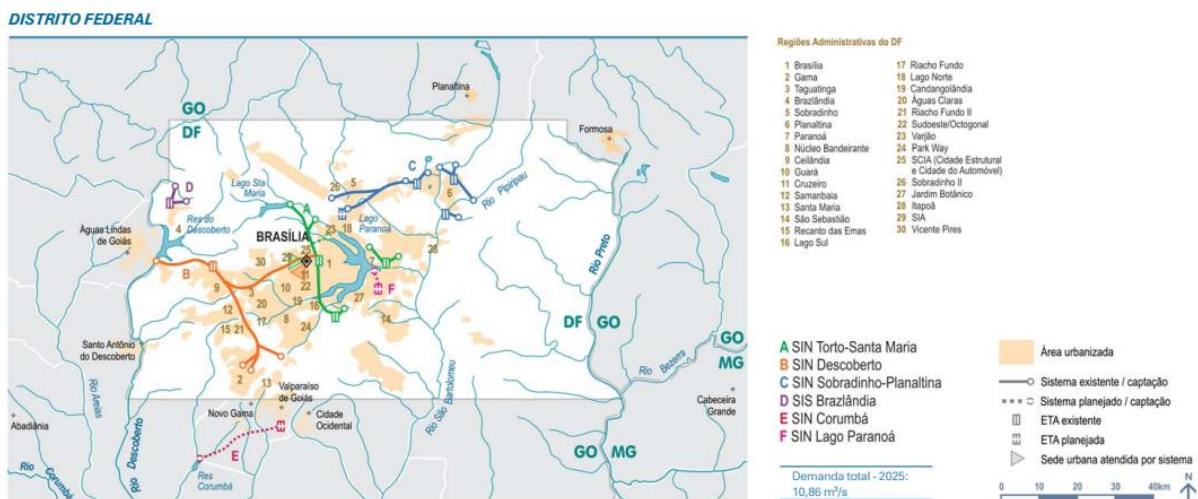
Uma forma de se prever a demanda de água não potável e dimensionar um sistema de tratamento é conhecer os indicadores de consumo para os usos finais (SANT'ANA, 2015). Em

uma unidade familiar, diversas fontes de água fornecem quantidade suficiente para atender demandas de usos não potáveis (SANT’ANA et al., 2013a).

2.1. O potencial do reúso de água no Distrito Federal

O Distrito Federal, possui território urbano constituído por uma área conurbada (Regiões Administrativas), além de compor, juntamente com 19 municípios de Goiás e 3 de Minas Gerais, a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal – RIDE DF (conhecidos como Região do Entorno). É formado por 31 Regiões Administrativas (RAs) (Figura 1) e está localizado nas cabeceiras de três Regiões Hidrográficas do País: Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco. Devido à proximidade das nascentes, os mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica para atender ao contingente populacional cada vez mais crescente (ANA, 2010b). A população do DF em julho de 2016 é estimada em 3,013 milhões de habitantes, e apresentou uma taxa de crescimento no período de 2013 a 2015 de 2,13% (PDAD, 2016), enquanto que crescimento médio anual do Brasil é de 1,17% (IBGE, 2010; BRASIL, 2011).

Figura 1: Regiões Administrativas do DF



Fonte: ANA, 2010b.

De acordo com o PDAD (2016) a predominância de residências do DF são casas e apartamentos, com proporções em torno de 73 e 25%, respectivamente. A Tabela 2 mostra o número de casas e apartamentos por RAs, assim como a predominância em cada edificação por

região. Verifica-se maior ocorrência de casas na região de Ceilândia e de apartamentos em Brasília.

Tabela 2: Relação de domicílios do Distrito Federal

RA's	Total domicílios	Nr Casas	Nr Aptos	% Casas	% Aptos	hab/res
Lago Sul	9.373	9.260	37	98,8%	0,4%	3
Park Way	5.914	5.783	95	97,8%	1,6%	3
Sudoeste/Octogonal	22.556	25	21.502	0,1%	95,3%	2
Brasília	79.485	7.374	65.625	9,3%	82,6%	3
Jardim Botânico	8.027	7.899	129	98,4%	1,6%	3
Lago Norte	11.816	8.271	3.356	70,0%	28,4%	3
Águas Claras	48.745	11.766	36.741	24,1%	75,4%	3
Vicente Pires	20.206	19.903	76	98,5%	0,4%	4
Guará	46.437	21.015	23.533	45,3%	50,7%	3
Cruzeiro	9.633	2.196	7.167	22,8%	74,4%	3
S I A	549	396	76	72,1%	13,8%	4
Sobradinho II	29.042	26.825	1.781	92,4%	6,1%	3
Taguatinga	64.810	45.194	19.011	69,7%	29,3%	3
Sobradinho	19.143	14.440	4.348	75,4%	22,7%	3
Núcleo Bandeirante	7.828	3.163	4.337	40,4%	55,4%	3
Riacho Fundo	12.994	8.836	4.132	68,0%	31,8%	3
Gama	41.176	33.318	7.229	80,9%	17,6%	3
Candangolândia	4.801	4.186	518	87,2%	10,8%	3
Samambaia	69.647	62.185	6.763	89,3%	9,7%	4
Brazlândia	15.376	13.815	910	89,8%	5,9%	3
Planaltina	54.596	51.598	1.952	94,5%	3,6%	3
Santa Maria	34.685	32.719	1.561	94,3%	4,5%	4
Riacho Fundo II	15.032	14.370	391	95,6%	2,6%	3
São Sebastião	28.830	26.772	704	92,9%	2,4%	3
Ceilândia	139.395	131.546	4.722	94,4%	3,4%	3
Recanto das Emas	41.890	40.626	948	97,0%	2,3%	4
Paranoá	12.502	10.662	1.488	85,3%	11,9%	4
Itapoã	17.583	17.372	70	98,8%	0,4%	4
Fercal	2.218	2.170	4	97,8%	0,2%	4
Varjão	2.292	1.737	230	75,8%	10,0%	4
Estrutural	9.813	9.068	20	92,4%	0,2%	4

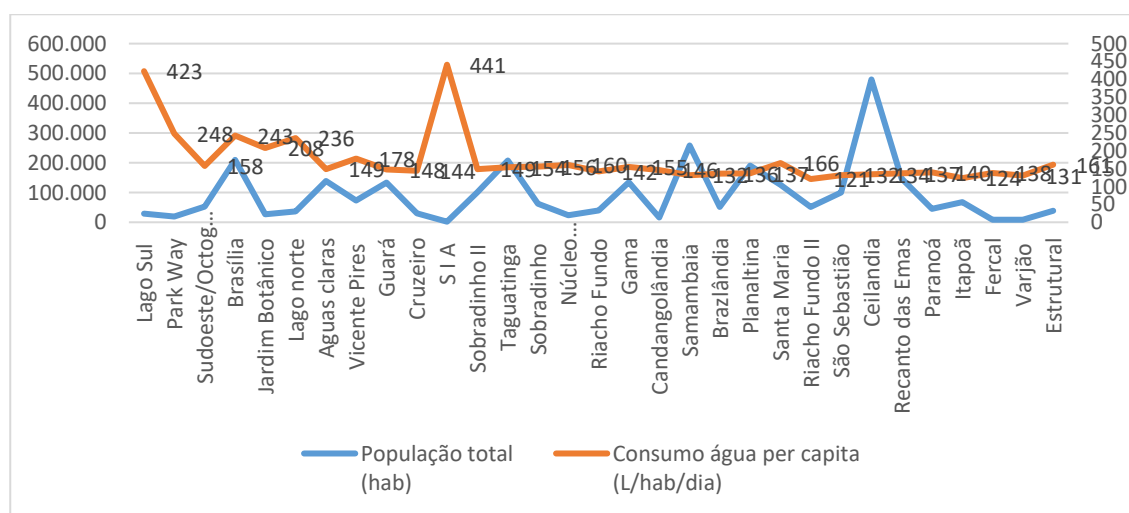
Fonte: Codeplan – Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD/DF-2015

O total de domicílios estimados é de 886.395, dessa forma, considerando que a população urbana estimada, em julho de 2015, chega a 2.906.574, o número médio de moradores por domicílio urbano foi estimado em 3,28 pessoas.

O PDAD (2016) também separa as RAs considerando apenas a faixa de renda, onde incluem-se no grupo I (alta renda), as RAs com renda acima de R\$ 10.000,00, grupo II (media-alta renda), renda entre R\$ 5.000,00 a R\$ 10.000,00, grupo III (media-baixa renda), renda domiciliar entre R\$ 5.000,00 e R\$ 2.500,00 e grupo IV (baixa renda), RAs com renda abaixo de R\$ 2.500,00. Ao se comparar a renda familiar média com o consumo *per capita*, observa-se que o consumo de água é proporcional à renda, confirmando o que foi analisado em Sant’Ana, (2011).

O consumo *per capita* de água no DF, em 2015, foi de 150,00 litros por pessoa por dia (L/hab/dia) (SNIS, 2016), contudo a região que apresentou o consumo mais alto foi o SIA com 441 L/hab/dia. Esse consumo é justificado provavelmente pela área ser o Setor de Industria a Abastecimento do DF. Seguida pelo Lago Sul com 423 L/hab/dia região que possui o maior poder aquisitivo com renda familiar superior a 27 salários mínimos, enquanto que a região do Riacho Fundo II, cuja renda familiar não supera 4 salários mínimos mensais, apresenta o consumo de 121 L/hab/dia. O Gráfico 2 mostra o consumo de água *per capita* em relação a população das regiões administrativas. Nota-se que regiões de renda mais elevada apresentam consumo superior a 200 L/hab/dia.

Gráfico 2: Relação entre o consumo per capita e a população das RAs do DF



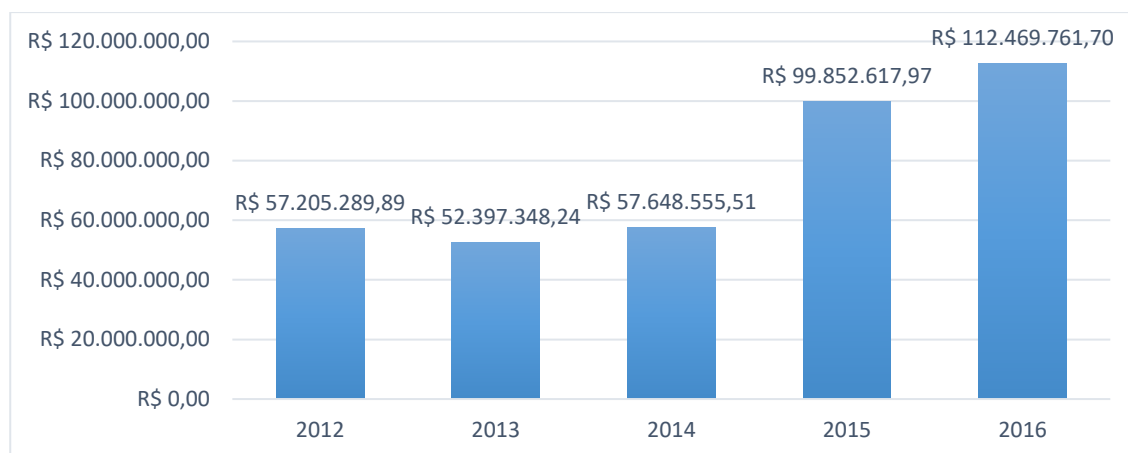
Fonte: Codeplan – Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD/DF-2015.

Como a demanda por água é proporcional ao crescimento demográfico, mais água é extraída, tratada e transportada para atender a demanda. Por vezes, essa extração é realizada a grandes distâncias, o que exigem um consumo energético também elevado. Se a fonte local de água é água subterrânea, o nível de água subterrânea torna-se mais baixo à medida que mais água é removida e isso aumenta a energia necessária para bombear a água para a superfície. Esse cenário evidencia os inúmeros benefícios que sistemas de tratamento de efluentes voltados para o reúso possuem, quando aplicados de forma descentralizada, haja vista consomem menos energia e oferecem água com qualidade para atender aos usos demandados (EPA, 2004; UNESCO, 2017).

Durante o tratamento de água, a energia é necessária primeiro na coleta, extração, transporte e distribuição de água para os usuários finais e em segundo lugar no tratamento do esgoto. Em sistemas de tratamento o segundo maior custo operacional no processo é a energia elétrica. No DF, observou-se que o crescimento de produção de água não é proporcional ao aumento do consumo energético, nos últimos anos, visto que as unidades que apresentam maior eficiência operacional (Descoberto e Torto/Santa Maria), já operam próxima de suas capacidades operacionais. Outro fator analisado é que quanto maior a produção de água, maior a perda de carga no sistema, ou seja, a quantidade de energia necessária para bombear o mesmo volume de água é maior (CAESB, 2014).

O Gráfico 3 mostra os gastos com energia que a CAESB teve de 2012 a 2016 com o tratamento de água e esgoto. Devido a diversos fatores já mencionados o gasto com tratamento em 2015 e 2016 dobrou em relação aos anos anteriores.

Gráfico 3: Gasto em reais com energia para tratamento de água e esgoto no DF

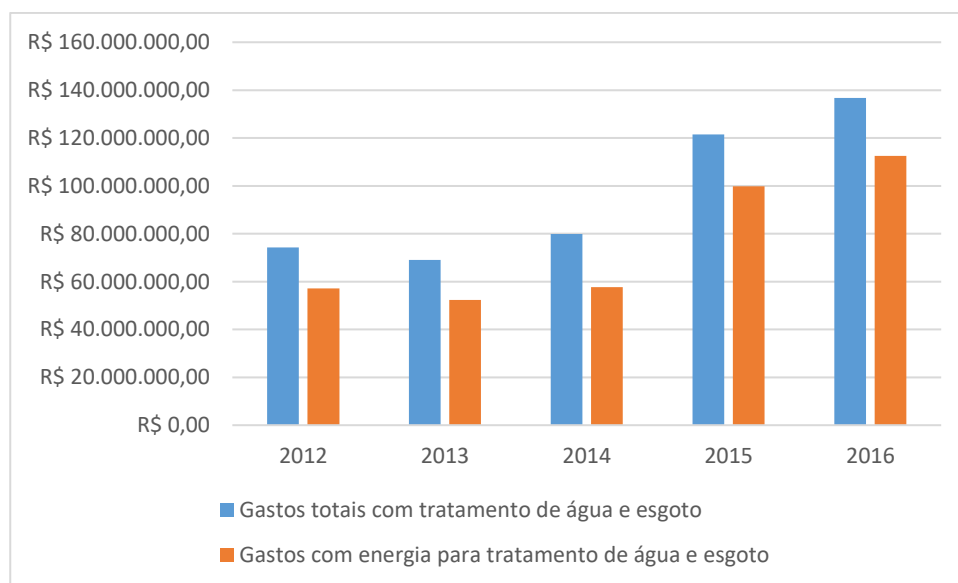


Fonte: CAESB (2016)

De acordo com o Relatório de Indicadores de Desempenho da CAESB de 2016, a despesa total com os serviços (DTS) por metro cúbico faturado aumentou em 185,7% de 2008 a 2015, chegando ao valor de R\$ 4,68/m³ de água tratada. A despesa com serviços em 2015 foi R\$ 60 milhões maior do que em 2014, esse aumento foi justificado pelo impacto dos reajustes nos grandes grupos, mas quem influenciou principalmente foi a energia elétrica, que cresceu 73,21% CEASB (2016)

O Gráfico 4 4 mostra a comparação entre o gasto total com o tratamento em relação ao gasto energético no mesmo período de tempo.

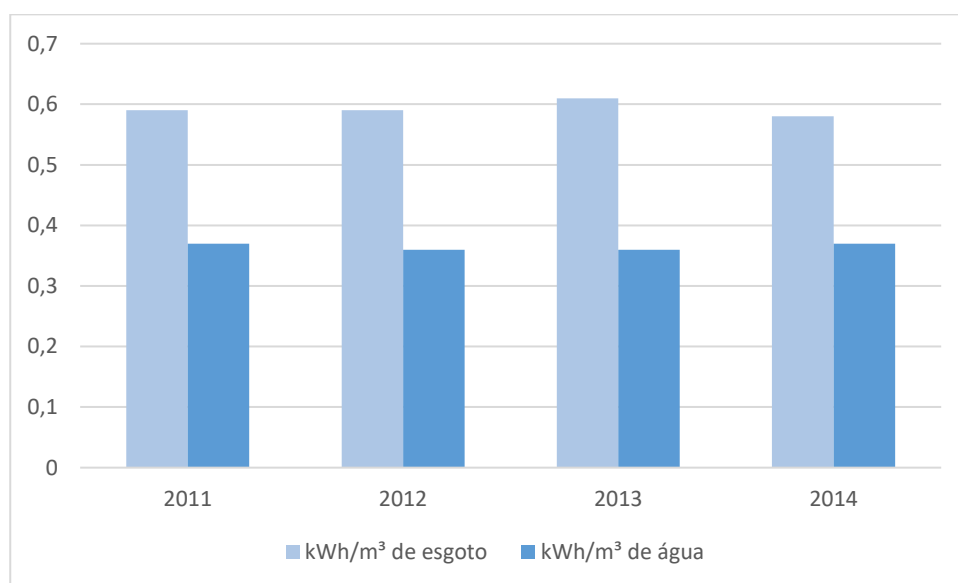
Gráfico 4: Comparação entre o gasto total com tratamento de água e esgoto e o gasto energético no mesmo período de tempo



Fonte: CAESB (2016)

Levando em consideração o gasto energético em kWh/m³, a CAESB gasta mais kWh para tratar esgoto (18.006.734 m³ tratados em 2015), que tratar água (213.556.073 m³ tratados em 2015), devido o volume de esgoto tratado ser menor. O Gráfico 5 mostra a evolução dos gastos no período de 2008 a 2015 de energia com o tratamento de água e esgoto.

Gráfico 5: Comparação entre o gasto de energia elétrica para tratamento de água e esgoto no DF



Fonte: CAESB (2016)

Se o uso de sistemas descentralizados de tratamento fosse mais acentuado, o volume de produção de água poderia ser reduzido, ou em outra situação ser mais igualmente distribuída, em tempos em que o racionamento não vigorasse, contudo se o volume de tratamento de água fosse reduzido, o volume de esgoto tratado aumentaria em comparação ao de água, o que poderia influenciar no faturamento das concessionárias (PIPELINE, 2000).

No setor residencial, os benefícios ligados à conservação e economia de água são facilmente entendidos pelo consumidor quando afeta seu lado financeiro. Incentivos econômicos diretos através da cobrança sempre resultam em bons resultados em relação à conservação de água, principalmente em edificações residenciais.

Para entender aspectos comportamentais dos moradores em residências do DF, relacionados ao consumo e redução do consumo de água, Sant'Ana (2011) verificou que a maioria dos moradores de diferentes faixas de renda nos últimos anos investiram em sistemas

descentralizados de tratamento e com isso mudaram seus hábitos de consumo de água. Diminuindo o tempo no banho, ao escovar os dentes ou fazer a barba (29,7%), acumulando uma maior quantidade de roupas por lavagem (20,8%), diminuindo o tempo da lavagem de louças e a frequência na lavagem de pisos (16,8%). A pesquisa revelou que a maioria dos moradores estavam dispostos a mudarem seus hábitos para reduzir o consumo de água (26,7%), assim como investir em equipamentos economizadores (47,5%).

2.2. Princípios de tratamento

O tratamento de águas residuárias pode ser categorizados em três tipos de processos (VON SPERLING, 2007a):

- Físico: quando as impurezas são removidas fisicamente por peneiramento, sedimentação, filtração, flotação, absorção ou adsorção ou ambos e centrifugação;
- Químico: quando as impurezas são removidas quimicamente através da coagulação, absorção, oxidação-redução, desinfecção ou troca iônica;
- Biológico: Quando os poluentes são removidos usando mecanismos biológicos, tais como o tratamento aeróbio, tratamento anaeróbio.

Os processos podem ainda ser combinados, elevando a qualidade do tratamento. Convencionalmente, o tratamento de águas residuárias para reúso não potável segue os estágios de tratamento preliminar, primário e secundário seguidos de desinfecção.

Segundo pesquisa realizada pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, com o Plano Nacional de Saneamento Básico, o tratamento de efluentes domésticos, no Brasil, é realizado de forma centralizada, por meio de lagoas anaeróbias, aeróbias, facultativas, lagoa mista, de maturação, lodos ativados, tratamento químico, reatores anaeróbios, fossa séptica de sistema condominial e leitos cultivados. A solução alternativa de esgotamento sanitário adotada pela população dos distritos que não são atendidos por rede coletora de esgoto é a fossa séptica. Essa forma de tratamento é considerada apropriada e aceitável, desde que as instalações sigam as especificações técnicas (PNSB, 2008).

Essa tecnologia descentralizada é selecionada com frequência para uso devido ao custo relativamente baixo de construção e simplicidade operacional do sistema. Entretanto, as fossas

sépticas exigem manutenção periódica com a retirada do lodo acumulado em seu interior, o que ocorre em sua grande maioria por empresas conhecidas como “desentupidoras de fossas” (SUNTTI et al., 2011).

O lodo das fossas sépticas apresenta elevado teor de umidade. Diversos sistemas possibilitam a remoção da umidade do lodo (VON SPERLING, 2007a; VON SPERLING et al., 2000; VON SPERLING e CHERNICHARO, 2005), como sistema alternativo estão os SLC que são facilmente adaptados às fossas sépticas e apresentam resultados satisfatórios com a mineralização do lodo (SUNTTI et al., 2011).

Alguns benefícios do tratamento de águas residuárias voltados para reúso em edificações residenciais incluem:

- Produção de grande volume de esgoto doméstico, cujo custo de tratamento em larga escala é bastante elevado e onera os cofres públicos (GONÇALVES e JORDÃO, 2006);
- O reúso de água descentralizado pode beneficiar a economia em escala larga escala promovendo reduções dos investimentos de exploração dos recursos hídricos (SANT’ANA et al., 2013b; SIMONS et al., 2015);

Os recursos economizados podem ser destinados para renovação da rede de distribuição de água, o que tende a evitar os desperdícios causados por vazamentos (MUTHUKUMARAN, BASKARAN e SEXTON, 2011).

2.3. Características dos efluentes domésticos

A concentração de poluentes encontrados em águas residuárias é determinada pelas atividades desenvolvidas pelos moradores. O local de coleta das águas residuárias influenciará na quantidade e qualidade desses poluentes. Produtos de limpeza utilizados no banheiro, lavabos e lavanderias como sabão, xampu, tinturas de cabelo, pasta de dentes e produtos químicos de limpeza, fornecem fosfatos e nitritos que influenciam diretamente no odor do efluente e em sua coloração (ERIKSSON et al., 2002). Por esse motivo, as águas servidas apresentam a coloração acinzentada, e dentro de um período de 48 h de armazenamento sem tratamento começam a apresentar odor fétido, o que indica a degradação de compostos orgânicos provenientes do banho e da lavagem de mãos (O’TOOLE et al., 2012).

A presença de produtos químicos de origem industrial interfere diretamente na temperatura e consequentemente nos valores do pH. A temperatura afeta na saturação do oxigênio dissolvido na água e nas taxas metabólicas das reações químicas. As águas provenientes do banho podem ter temperatura elevadas, podendo chegar a 56 °C, o que influencia diretamente no metabolismo microbiano. As águas cinzas provenientes da lavagem de roupas geralmente são bem alcalinas e apresentam pH em torno de 9, enquanto que as águas cinzas dos banheiros variam entre 8 e 9,5 (SOUSA, 2008).

A turbidez é gerada pela presença de sólidos suspensos, que se encontram principalmente nas fontes vindas da cozinha. Esses sólidos interferem na passagem da luz através da água, tornando-a esteticamente desagradável, além disso o material particulado pode impedir a ação de alguns agentes desinfetantes como a radiação Ultravioleta (UV) e principalmente a reação com o cloro, desinfetante mais utilizado no Brasil. A turbidez de fontes oriundas do banheiro também apresenta valores elevados (POZZEBON, 2013).

O conhecimento da concentração de patógenos é de suma importância para evitar possíveis riscos à saúde, pois embora os usos finais sejam não potáveis, altas concentrações podem contaminar o morador em caso de reúso direto sem tratamento (GONÇALVES, 2003). Assim, o tratamento da água para reúso, seguido de desinfecção é essencial, uma vez que a formação de aerossóis durante a irrigação por aspersão, chafarizes e lavadoras de alta pressão, coloca o usuário em contato direto da água com mucosas dos olhos, boca e nariz (CHERNICHARO et al., 2000; GONÇALVES, 2003; MAY, 2009).

Algumas bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes termotolerantes podem estar presentes nas fezes humanas, em solos e plantas. Coliformes fecais que habitam intestinos de animais de sangue quente, são indicadores de contaminação fecal e possível presença de patógenos (GONÇALVES, 2003).

Águas residuárias brutas contêm altos índices de fósforo provenientes dos sabões e detergentes, cloreto de sódio e fosfatos da urina, sulfatos, carbonatos, ureia, amoníaco e ácido úrico, gorduras, restos de carnes e fibras vegetais, areia, plásticos, cabelos, unhas, mucos e células epiteliais, vermes, vírus, bactérias, leveduras entre outros. Os valores máximos e mínimos de

contaminantes presentes nas águas residuárias de acordo com Metcalf e Eddy (2003a) e Sinclair et al. (2016) estão resumidas na Tabela 3.

Tabela 3: Concentração de poluentes presentes em águas residuárias

Contaminantes	Unidade	Concentração de águas residuárias
Sólidos totais	mg/L	390-1230
Sólidos dissolvidos	mg/L	270-860
Sólidos voláteis	mg/L	110-340
Sólidos suspensos	mg/L	120-400
DBO ₅	mg/L	110-350
DQO	mg/L	250-800
NT	mg/L	20-70
NH ₃	mg/L	12-45
Nitrato	mg/L	0 - traços
Nítrito	mg/L	1 - traços
PT	mg/L	04-12
Cloro	mg/L	30-90
Sulfato	mg/L	20-50
Óleos e graxas	mg/L	50-100
Coliformes totais	NPM/100 ml	10 ⁶ -10 ⁹
Coliformes fecais	NPM/100 ml	10 ³ -10 ⁷
Criptosporidium cistos	NPM/100 ml	10 ⁻¹ -10 ²
Giardia lambia cistos	NPM/100 ml	10 ⁻¹ -10 ³

*não detectado; Fonte: (METCALF e EDDY, 2003a; SINCLAIR et al., 2016)

Para o uso seguro de fontes alternativas de água, é necessário alcançar determinados padrões de qualidade de água em função do tipo de uso previsto. Para isso, critérios de qualidade devem ser estabelecidos de forma que os usuários não rejeitem a água tratada (GONÇALVES, 2006).

Aspectos estéticos da água, como cor e cheiro, afetam a aceitação do usuário para usos não potáveis, principalmente se a fonte de abastecimento não for uma convencional, entretanto, uma água sem cor ou cheiro não significa que esteja livre de contaminantes, uma vez que podem estar presentes substâncias inorgânicas ou microrganismos que só afetarão essas características físicas após o armazenamento com determinado tempo de retenção (VON SPERLING, 1996a).

Em ambientes anaeróbios, por exemplo, a ação microbiana no processo de decomposição da matéria orgânica pode exalar mal cheiro pela liberação de metano (METCAL e EDDY, 2007).

Alguns produtos químicos adicionados no processo de tratamento também podem reagir entre si gerando resíduos. A presença de sólidos suspensos torna a água abrasiva, o que provoca o desgaste de metais hidrosanitários e peças com eixos rotativos, reduzindo a vida útil de bombas, válvulas, aspersores, entre outros. Os sólidos presentes também podem riscar pinturas de veículos no processo de lavagem e causar entupimento de bicos aspersores em sistemas de irrigação (APHA et al., 1999). A retirada de sólidos suspensos, entre outros aspectos, reduz os gastos com manutenção predial e diminui a frequência da limpeza de reservatórios e caixas d'água (POZZEBON, 2013; SPINKS et al., 2005).

Em resumo, para usos não potáveis, os níveis dos parâmetros de qualidade não precisam ser os mesmos estabelecidos para águas de consumo humano, uma vez que essa água não será ingerida e o contato direto com a pele e mucosas só representa risco em caso de ampla exposição por períodos prolongados (BRITISH COLUMBIA, 2016). A nível ambiental, deve-se atentar aos critérios estabelecidos para contaminação do solo e de aquíferos, nos casos de infiltração da água no solo por meio da irrigação, lavagem de veículos ou de pisos (LACDPH, 2016).

2.4. Qualidade da água não potável

Os sistemas de reúso de água, quando são planejados, implementados e operados adequadamente, trazem uma série de melhorias ambientais e das condições de saúde. Por outro lado, a implementação de práticas de reúso de água de forma negligente traz inúmeros riscos à saúde e ao meio ambiente, o que pode colocar também em risco a credibilidade e a viabilidade de sua implantação.

Os riscos associados às práticas de reúso têm relação com os contaminantes presentes na água tratada, haja vista que águas residuárias possuem produtos químicos tóxicos e microrganismos patogênicos em níveis muito acima dos suportados pelo homem (HESPANHOL, 2002; SEZERINO et al., 2005; RODRIGUES, 2005).

Dessa forma esses riscos podem ser classificados em quatro níveis, como se observa na descrição feita no Quadro 1:

Quadro 1: Classificação dos níveis de riscos

Riscos	Descrição
Alto	Requer um nível de qualidade mais elevada, parâmetros mais exigentes e monitoramento mais frequente
Médio	Risco moderado, com monitoramento menos frequente do reservatório.
Baixo	Apresenta baixo risco para a saúde humana, exige mínimo de contato
Baixíssimo	Nenhum risco

Fonte: (DEPARTMENT OF HEALTH, 2011)

A classificação dos riscos também diz respeito aos usos finais de água, que estará ligado ao risco de exposição em cada caso, como é descrito no Quadro 2.

Quadro 2: Níveis de risco por uso final

Alto	Lavagem de roupas, irrigação com acesso irrestrito, lavagem de pisos com lavadoras de alta pressão
Médio	Descarga sanitária, lavagem de pisos, lavagem de veículos, combate a incêndios.
Baixo	Irrigação superficial com acesso restrito
	Culturas não comestíveis, forragem animal, subsuperficial
Baixíssimo	Irrigação de culturas ornamentais
	Irrigação subsuperficial ou localizado

Fonte: (DEPARTMENT OF HEALTH, 2011)

De acordo com o uso final são estabelecidos parâmetros de qualidade. Normas internacionais de alguns países determinam os padrões de qualidade para usos não potáveis (Tabela 4). No Brasil pode-se encontrar padrões de qualidade para água não potáveis na Resolução CONAMA 357/2005, Norma da ABNT 13.969/1997 e 15.527/2007 e em uma publicação da ANA et al., (2005). A importância do conhecimento desses padrões de qualidade para cada categoria de uso final interfere no dimensionamento de SLC, indicando o alvo que deverá ser alcançado durante o tratamento (TARUTIS e STARK e WILLIAMS, 1999).

Tabela 4: Parâmetros de qualidade segundo normas internacionais de acordo com o uso final

		Espanha	Reino Unido	Jordânia	Austrália	Canadá	Alemanha	Japão	Arizona	Califórnia	Flórida	Texas	Washington
		Águas cinzas (BOE N° 294, 2007)	Águas cinzas (ENVIRO NMENT AGENCY, 2011)	Águas residuárias (USAID /ARD, 2001; WHO, 2006)	Água residuárias (DEPAR TMENT OF HEALT H, 2011)	Águas residuárias (CSA, 2012; SCHAEFER e EXALL e MARSALÉ K, 2004)	Águas residuárias (DIN SPEC 19755, 2012)	Águas residuárias (JSWA, 1981)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)
Descarga Sanitária													
Cloro residual	mg/L	---	< 0,5 – 2,0	1	---	---	---	---	---	1	---	---	---
Col. Fecais	NMP/100 mL	---	---	<1000	---	≤200	20	<10	0 - 23	ND	<25	20-75	---
Col. totais	NMP/100 mL	---	1000	---	---	---	100	<10	0	2,2-23	---	---	2,2-23
Comp. Org. Vol.	mg/L	---	---	---	---	200	100	10	0	0	---	---	---
DBO	mg/L	< 20	---	≤ 10	<10	<10	20	10	NS	<10	20	5	30
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	0	250	ND	<1	≤0-200	---	---	---	---	---	---	---
Enterococos	NMP/100 mL	---	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>L. pneumophila</i>	NMP/100 mL	---	N/A	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nematodos	μ/10L	< 1	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Óleos e graxa	mg/L	---	---	---	---	5	1 – 2	5	---	---	---	---	---
pH		---	5,0-9,5		6,5-8,5	6 – 9	6 – 9	6 – 9	---	6 – 9	---	---	---
SS	mg/L	10	---	≤ 10	<10	30	30	---	NS	≤ 30	5	NS	30
Turbidez	NTU	< 5	< 10	---	<2-5	<2	1 – 2	5	02/mai	≤2	NS	3	02/mai
Lavagem de roupa													
Cloro residual	mg/L	---	< 2,0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Col. totais	NMP/100 mL	---	10	---	---	---	---	---	0 - 23	---	<25	20-75	0
DBO	mg/L	---	---	---	<10	---	---	---	---	2,2-23	---	---	2,2-23
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	---	0	---	<1	---	---	---	---	---	---	---	---
Enterococos	NMP/100 mL	---	0	---	---	---	---	---	NS	NS	20	5	30
<i>L. pneumophila</i>	NMP/100 mL	---	N/A	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Continua...

Reúso de águas

Continuação

		Espanha	Reino Unido	Jordânia	Austrália	Canadá	Alemanha	Japão	Arizona	Califórnia	Flórida	Texas	Washington
		Águas cinzas (BOE N° 294, 2007)	Águas cinzas (ENVIRO NMENT AGENCY, 2011)	Águas residuárias (USAID /ARD, 2001; WHO, 2006)	Água residuárias (DEPARTAMENT OF HEALTH, 2011)	Águas residuárias (CSA, 2012; SCHAEFER e EXALL e MARSALE K, 2004)	Águas residuárias (DIN SPEC 19755, 2012)	Águas residuárias (JSWA, 1981)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)	Água residuárias (EPA, 2004a)
Lavagem de roupa													
pH		---	5-9,5	---	6,5-8,5	---	---	---	06/set	06/set	06/set	06/set	06/set
SS	mg/L	---		---	<10	---	---	---	NS	NS	5	NS	30
Turbidez	NTU	---	< 10	---	<2-5	---	---	---	02/mai	02/mai	NS	3	02/mai
Continuação...													
Irrigação com formação de aerossóis.													
Cloro residual	mg/L	---	---	0,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Col. Fecais	NMP/100 mL	---	---	---	---	<200	---	---	200-800	0	200-800	20-75	---
Col. totais	NMP/100 mL	---	---	---	---	<1000	---	---	0	23-800	---	---	23-240
DBO	mg/L	---	---	---	---	<100	---	---	NS	<10	20	5	30
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Enterococos	NMP/100 mL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>L. pneumophila</i>	NMP/100 mL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nematodos	µ/10L	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Lavagem de veículos, sistemas contra incêndios													
Col. Fecais	NMP/100 mL	---	---	---	---	<200	---	---	0 - 23	0	<25	20-75	---
DBO	mg/L	---	---	---	---	<45	---	---	---	2,2-23	---	---	2,2-23
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>L. pneumophila</i>	NMP/100 mL	10	---	---	---	---	---	---	NS	NS	20	5	30
Nematodos	µ/10L	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3. SISTEMAS LEITOS CULTIVADOS

Sistemas descentralizados para tratamento de águas residuárias fazem o tratamento por meio de estações reduzidas nas residências. Em vez de coletar e transportar o esgoto para uma estação centralizada, esses sistemas fornecem uma alternativa eficaz e de baixo custo. Existe uma grande variedade de tecnologias descentralizadas, que vão desde sistemas sépticos individuais, até sistemas que atendem a múltiplas propriedades (PIPELINE, 2000). O conhecimento quanto a utilização de sistemas de tratamento de efluentes domésticos de forma descentralizada está cada vez mais difundido na sociedade (SANT'ANA et al., 2013b).

Sistemas leitos cultivados (SLC) são uma tecnologia que pode ser utilizada para tratamento de águas residuárias. Geralmente é composto por um ou mais leitos de unidades de tratamento, de forma que a carga hidráulica seja controlada, o dimensionamento atenda as exigências de vazão hidráulica e a concentração de poluentes. Todos esses fatores determinam o tipo de sistema a ser empregado (EPA, 1995, 2000a). O grau de tratamento alcançado é variável, o que induz ao projetista adaptar o sistema de acordo com a finalidade do efluente a ser tratado (COLLAÇO, 2001; SEZERINO et al., 2015).

Dentro dos SLC existe um ecossistema em que bactérias utilizam os poluentes presentes na água como fonte de nutrientes e, com isso, produzem energia em reações bioquímicas complexas. As atividades microbiológicas são importantes especialmente nas transformações do nitrogênio e matéria orgânica. O fósforo que também é requerido para as atividades fisiológicas das plantas, é convertido da forma insolúvel para a solúvel, em parte, pelas atividades microbianas. Processos orgânicos que requerem compostos carbonáceos liberam dióxido de carbono e uma variedade de gases (dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e metano) transformando áreas aeróbias em zonas anaeróbias por consumir o oxigênio disponível nessas reações. É devido a todas essas reações que a performance desses sistemas é alterada pelo clima e temperatura da região, pois a temperatura e o pH do afluente determinam as condições ótimas para ocorrência delas. A temperatura do ambiente, geralmente é a mesma da água dentro do sistema (EPA, 2003).

3.1. Tipos de Leitos Cultivados

Segundo VYMAZAL (2008), leitos cultivados podem ser classificados quanto à forma de alimentação do afluente nos leitos, os tipos de plantas que os compõem ou quanto ao fluxo hidráulico e sua direção (Quadro 3). Geralmente os estudos classificam os sistemas relacionando o fluxo do afluente. Dentre todos os tipos de SLC, essa pesquisa utilizará tipos de SLC que poderiam ser construídos em pequena escala.

Quadro 2: Classificação de leitos cultivados para tratamento de efluentes domésticos

Afluente	Plantas	Direção do fluxo
Superficial	Macrófitas emergentes	Horizontal
	Macrófitas flutuantes fixas	
	Macrófitas submersas livres	
	Macrófitas submersas fixas	
	Macrófitas flutuantes livres	
	Macrófitas epífitas	
Subsuperficial	Macrófitas anfíbias	Vertical
	Macrófitas emergentes	
		Híbrido

Fonte: Adaptado de VYMAZAL, (2005)

SLC de fluxo subsuperficial exigem que os leitos sejam preenchidos por material filtrante (EPA, 2003). Os tipos de materiais são variáveis e podem influenciar no mecanismo de remoção (LI et al., 2008; VYMAZAL, 2007). Por causa das restrições hidráulicas impostas pelo meio de suporte, a concentração de sólidos é relativamente baixa e o fluxo uniforme.

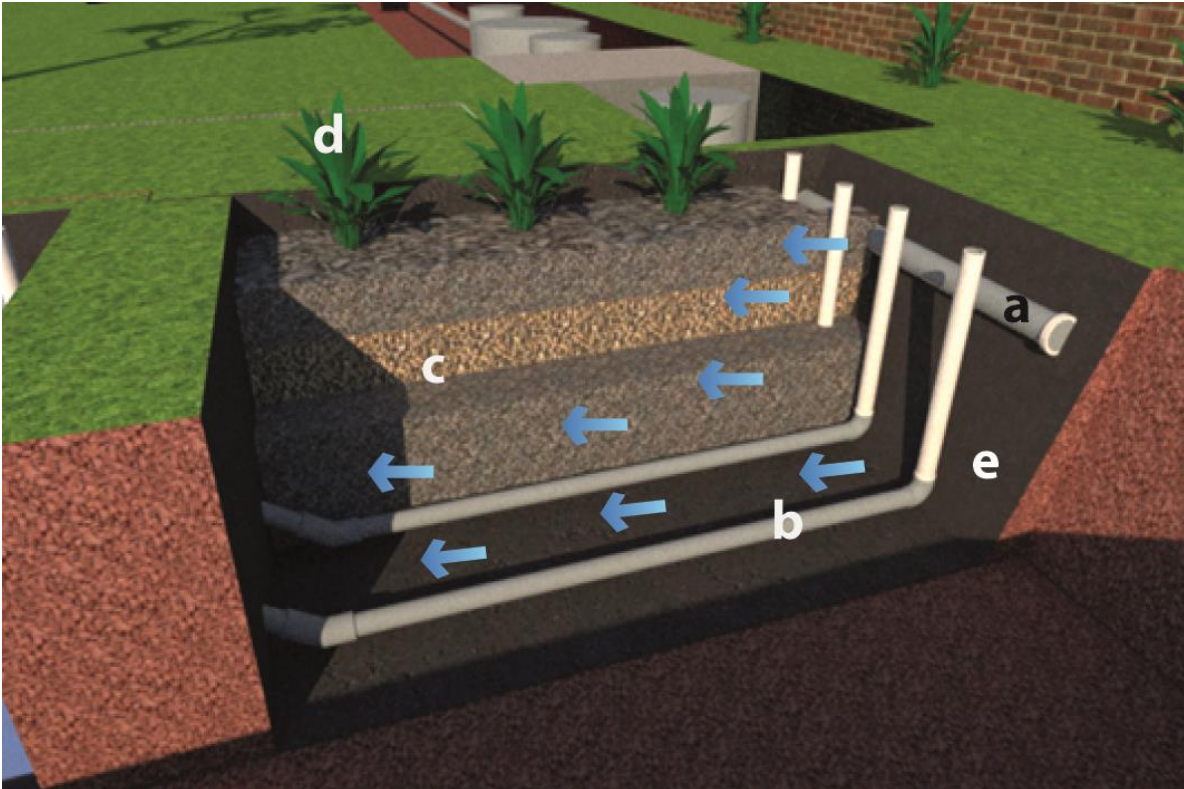
SLC de fluxo subsuperficial são tolerantes a climas frios, minimizam problemas causados por vetores de mosquitos e odores. Quando o afluente é lançado subsuperficialmente, diminuem os riscos causados por acesso à população, podendo ser operados em parques públicos, por exemplo (EPA, 1995; CHILDREN, 2012).

a) Leito cultivado de fluxo horizontal

Quando se considera o fluxo horizontal, tem-se como desvantagem a necessidade por áreas extensas por número de habitantes, o que acaba aumentando o custo de instalação e de manutenção (EPA, 1995, 2003; ESF, 2008). Nesses SLC o afluente percola sob o leito longitudinalmente e sendo submetido ao tratamento durante o contato com a superfície do meio

de suporte com as raízes dos vegetais plantados (Figura 2). Geralmente são empregados como tratamento em nível secundário, para pequenas comunidades rurais, após tratamento primário por fossas sépticas (SIQUEIRA, 2014; SUNTTI et al., 2011b).

Figura 2: Leitos cultivados de fluxo horizontal



Legenda: a) Tubulação superior de entrada de águas residuárias b) tubulação inferior de coleta de água tratada; c) camadas de meio de suporte; d) macrófitas; e) camada impermeabilizada.

Em SLC cujo afluente é lançado superficialmente, a remoção de poluentes carbonáceos por área é menor, pois o biofilme criado no meio filtrante promove um decaimento da carga de poluentes (EPA, 2000b), entretanto a remoção de nutrientes não é tão eficiente (VYMAZAL, 2008). Nesse tipo de leito, os componentes orgânicos são degradados tanto de forma aeróbia, quanto anaeróbia. O oxigênio exigido para degradação aeróbia é fornecido diretamente da atmosfera por difusão ou pela liberação das raízes das macrófitas e rizomas (KADLEC et al., 2006).

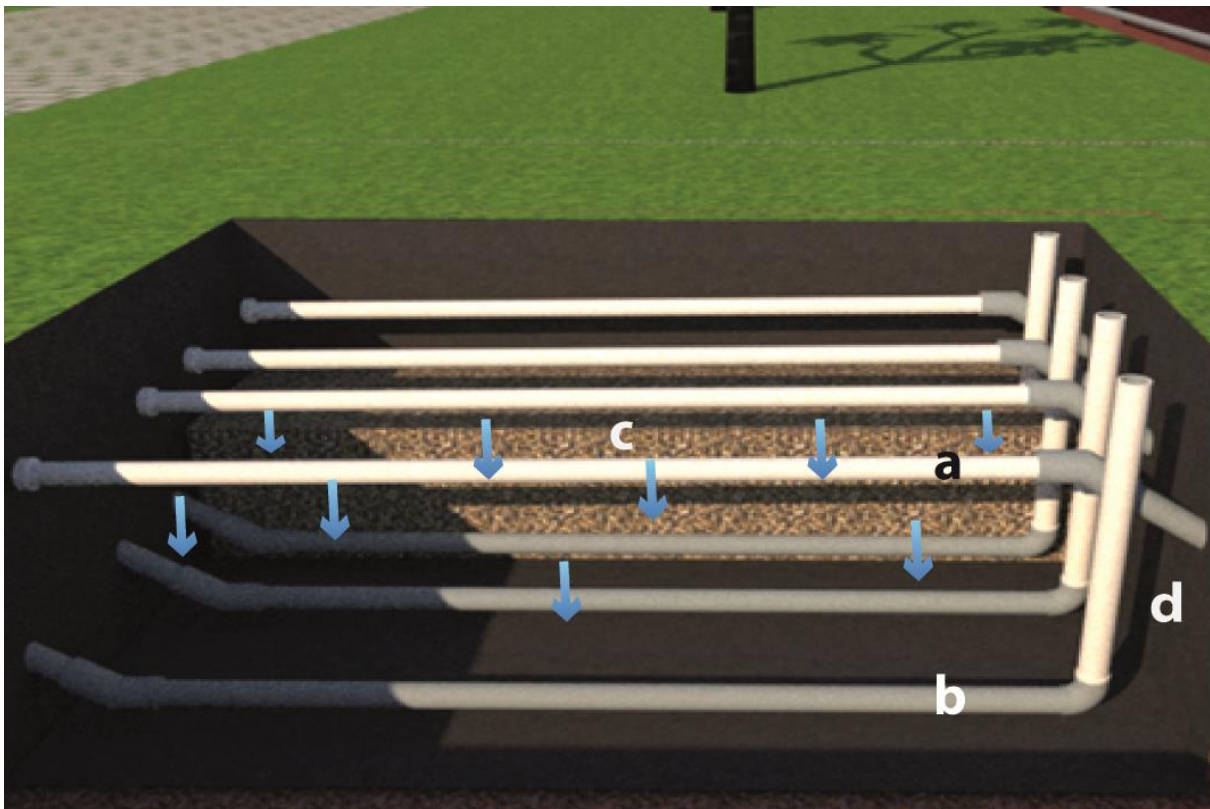
b) Leito cultivado de fluxo vertical

Os SLC de fluxo vertical apresentam a disposição do afluente em toda a superfície do leito e a percolação ocorre de forma intermitente, descendo verticalmente através do meio filtrante

Sistemas Leitos Cultivados

(Figura 3), o que permite uma boa transferência de oxigênio e conseqüentemente o processo de nitrificação é favorecido (VYMAZAL, 2008, MAZOLLA, ROSTON, e VALENTIM, 2005). Devido a essa distribuição a área exigida para o dimensionamento é menor. A alimentação intermitente permite a entrada de certas quantidades de oxigênio, e entre os intervalos, ocorre a secagem da área de entrada, esses fatores aumentam a eficiência de processos biológicos e diminuem o perigo de colmatação (PLATZER et al., 2007). O processo de tratamento se assemelha ao de um filtro biológico, podendo ser utilizado combinado com sistemas de fluxo horizontal, formando os leitos cultivados híbridos ou combinados (KADLEC et al., 2006).

Figura 3: Leito cultivado de fluxo vertical



Legenda: a) Tubulação superior de entrada de águas residuárias b) tubulação inferior de coleta de água tratada c) camadas de meio de suporte; d) camada impermeabilizada.

c) Sistema Francês

Quando se utiliza SLC de fluxo horizontal ou vertical voltados para tratamento de águas residuárias, sendo utilizados como tratamento secundário, o tratamento primário geralmente é realizado por tanques sépticos (SEZERINO e PHILIPPI, 2003). Quando o tratamento primário é dispensado, utiliza-se o sistema Francês, que foi desenvolvido no final dos anos 80 pela

Instituição CEMAGREF (França), a partir da configuração do sistema de fluxo vertical desenvolvido por Seidel¹. No sistema francês não ocorre tratamento primário, sendo o esgoto bruto direcionado para alimentação dos leitos após passar por bomba trituradora. A eficiência desse sistema em suportar maiores taxas hidráulicas e orgânicas, segundo Molle *et al.* (2005) são as três camadas de meio filtrante com profundidades e granulometrias diferenciadas que o identificam. As águas residuárias são armazenadas temporariamente em um tanque alimentando rapidamente toda a superfície de um dos leitos, configurando o 1º estágio. Esse processo é realizado de forma intermitente. Com o tempo, os sólidos e o material orgânico vão sendo depositados na superfície, formando uma camada na superfície do tanque (MOLLE *et al.*, 2005; MORVANNOU *et al.*, 2014).

Segundo Meyer *et al.*, (2015) e Molle *et al.* (2005), o sistema é submetido a períodos muito curtos de alimentação, seguidos por períodos muito elevados de descanso, o que garantem as excelentes condições de aeração do meio de suporte que é realizado pelas raízes das plantas. Por outro lado, essas condições de alimentação resultam em reduzido tempo de detenção hidráulica do esgoto no sistema, que pode conduzir à deterioração da qualidade do efluente, com a saída de poluentes não oxidados. A remoção complementar dos poluentes e desnitrificação é realizada nos estágios subsequentes, encaminhados aos demais leitos (SILVEIRA *et al.*, 2015). Ao analisar 46 sistemas implantados na França, Molle *et al.*, (2005) obtiveram remoção de DBO de 82%, SS de 89% e NTK de 60%, com dimensionamento em torno de 1 m²/hab.

3.2. Sistemas de tratamento adaptados às edificações

Quando se estudam tecnologias de tratamento descentralizado, diversos aspectos influenciam na viabilidade do sistema (WHO, 1996). Para o dimensionamento de um SLC pode-se utilizar a degradação dos poluentes presentes nos efluentes pelo modelo cinético ou de acordo com o modelo de escoamento. A combinação desses modelos permite obter equações descritivas do seu funcionamento e estimar as concentrações de saída dos poluentes (COTA, 2011). O cálculo

¹ Seidel, pesquisadora alemã que desenvolveu em 1965 o sistema de fluxo vertical como pré-tratamento para sistemas de fluxo horizontal (VYMAZAL, 2008)

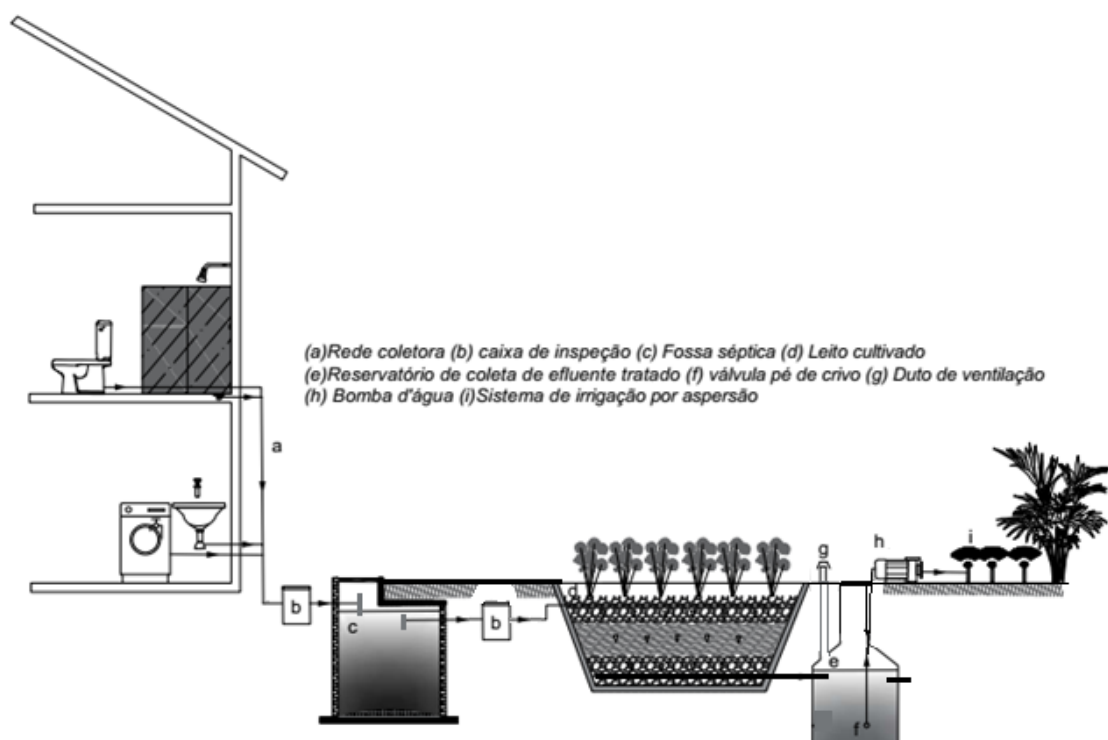
da área superficial dos leitos que compõem o sistema é feito a partir da vazão total a ser tratada no sistema.

Estudos prévios têm mostrado que o tratamento de efluentes domésticos de forma descentralizada pode ser utilizado para diversos usos não potáveis, tais como irrigação, descarga sanitária, lavagem de pisos e veículos (ALMEIDA et al., 2010; GHISI, 2006; PLATZER et al., 2007; PROENÇA et al., 2011; SANT'ANA, 2011; ZABROCKI e SANTOS, 2003). De acordo com os usos finais pretendidos, o sistema pode ser integrado ou isolado da edificação (SANT'ANA e MEDEIROS, 2017).

a) Sistemas isolados à edificação

Sistemas de reúso de água isolados às edificações, fazem a distribuição direta a pontos de uso externo por gravidade ou bombeamento. Após o afluyente ser tratado nos SLC e armazenado em tanque de coleta, pode ser bombeado para o sistema de irrigação automatizada ou manual (Figura 4), e ainda, ser direcionado para um reservatório acima do nível do jardim e ser utilizado em irrigação subsuperficial, descendo por gravidade.

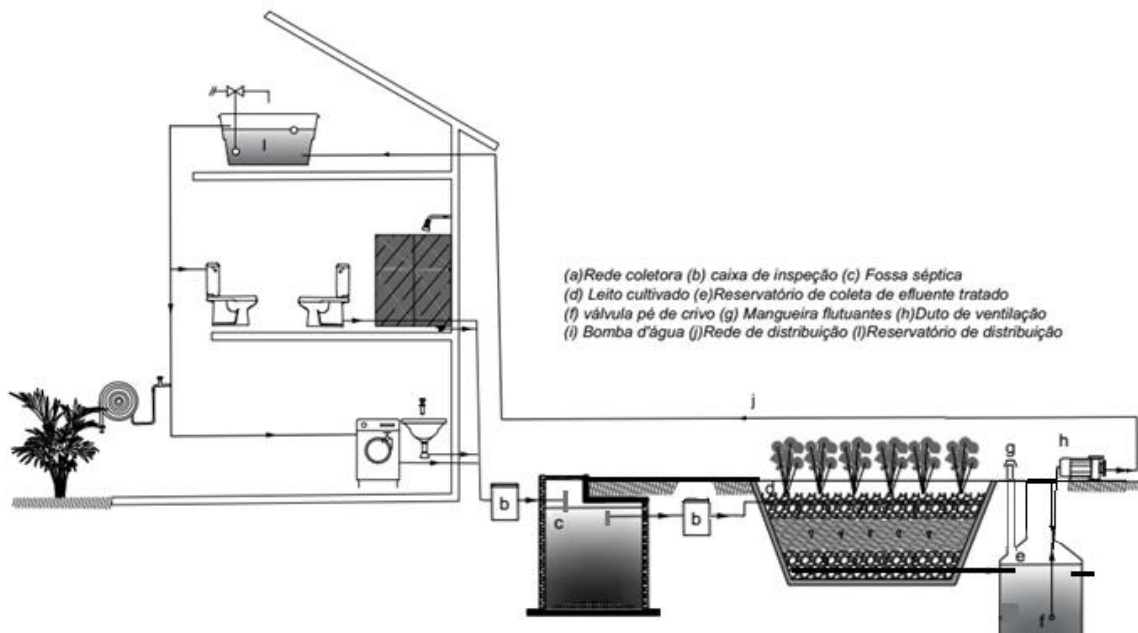
Figura 4: Esquema simplificado de um SLC construído para reúso de água isolado à edificação



b) *Sistemas integrados à edificação*

Sistemas de reúso de água integrados às edificações promovem a distribuição indireta de água em pontos de usos não potáveis internos e/ou externos. Em geral, sistemas integrados realizam o recalque da água tratada para um reservatório de distribuição localizado na cobertura da edificação. Por gravidade, pontos de uso interno e externo são alimentados para uso não potável em descarga sanitária, torneiras de uso geral, torneiras de jardim, entre outros (Figura 5). Alternativamente, a distribuição da água não potável pode ser mista. Para isso, uma bomba pressurizadora é utilizada para o abastecimento direto em pontos de usos externos, e para o abastecimento indireto por meio de recalque ao reservatório de distribuição.

Figura 5: Esquema simplificado de SLC construído para reúso de forma integrada à edificação



3.3. Mecanismos de remoção de poluentes em Sistemas Leitos Cultivados

Planejar o tratamento de águas residuárias em edificações residenciais utilizando SLC é um desafio e ao mesmo tempo uma oportunidade aos projetistas. A oportunidade encontra-se em utilizar uma tecnologia acessível, com custo benefício condizente com a realidade da família, desenvolvendo um tratamento eficaz com projeto facilitado. Por outro lado, a maior questão envolvida está na relação preço *per capita*, quando o projetista percebe que o mesmo sistema

poderia servir não apenas para uma unidade residencial, mas para um grupo de residências, reduzindo assim o custo do tratamento por morador (CAMPBELL e OGDEN, 1999).

Todo processo de tratamento de águas poluídas ocorre em um volume definido por limites físicos específicos. Esse ambiente é normalmente chamado de reator. As modificações na composição e concentração dos poluentes durante o tempo de residência que o afluente fica no reator é o parâmetro mais essencial para o tratamento. Isso ocorre por causa do transporte hidráulico dos materiais através dos reatores e das reações químicas que ocorrem nele, ou seja, os compostos que são produzidos e consumidos (VON SPERLING, 2007b).

Para proceder ao dimensionamento de um SLC, diversos fatores são considerados, conforme mostra Quadro 4 (CAMPBELL e OGDEN, 1999):

Quadro 3: Fatores que afetam o dimensionamento do SLC

Demanda de afluente	Determinada pela população que será atendida. Vários estudos mensuram o consumo <i>per capita</i> em edificações (ALMEIDA, 2007; PROENC et al., 2011; RANDOLPH e TROY, 2008; SANT'ANA, 2011; SEYRANIAN et al., 2015), conforme o tipo de edificação que se pretende trabalhar, consegue-se estimar a vazão que alimentará o sistema.
Caracterização do afluente	Identificar o afluente a ser tratado. Há uma diferença de concentração de poluentes quanto a águas cinzas e águas residuárias (DIXON et al., 1999; ENVIRONMENT AGENCY, 2011; ERIKSSON et al., 2002; VAILLANT et al., 2002; METCALF e EDDY, 2003, 2007). Da mesma forma, é necessário determinar, por normas ou regulamentos, se já publicados, a concentração final de poluentes que poderá permanecer no efluente tratado (UNEP., 2010).
Local de instalação do sistema	Deve ser observado a topografia, clima e temperatura média da região. Níveis de precipitação anuais, taxas de evapotranspiração e média de radiação solar (CAMPBELL e OGDEN, 1999).
Características do meio de suporte	O meio filtrante colocado dentro dos tanques dos SLC, denominados aqui de meios de suportes, devem ter suas características conhecidas, como granulometria e porosidade, para se determinar as taxas de percolação e a possibilidade de colmatação. Esse servirá de base para a formação do biofilme em que as bactérias irão se desenvolver (POLI, 2012; SEZERINO, 2006; SOUZA, 2003; VALENTIM, 2003).
A adaptação predial necessária	O sistema LC geralmente é utilizado como tratamento secundário, nesse caso deve-se atentar ao pré-tratamento. O sistema como um todo inclui: fossa séptica para tratamento primário, unidades de tratamento do SLC e reservatórios de coleta e distribuição. É preciso também definir os usos finais, para saber se o sistema será integrado ou isolado da edificação (CAMPBELL e OGDEN, 1999; SANT'ANA et al., 2013b).

Fonte: Autora

A capacidade hidráulica de um SLC pode ser definida como o potencial de remoção dos poluentes, no tempo de residência hidráulico (TRH). Esse tempo é o período que o volume de afluente permanece no SLC. Em sistemas construídos, esse tempo pode ser determinado com maior precisão (CAMPBELL e OGDEN, 1999).

Um fator que irá afetar o TRH é a densidade do afluente, que será influenciado diretamente pela temperatura do ambiente, uma vez que os processos biológicos dependem de uma temperatura ideal para se realizarem. Além disso, a taxa de evapotranspiração também deve ser considerada, pois a perda de água afeta diretamente a viscosidade do efluente, podendo surgir odores desagradáveis. Esses fatores são variáveis de acordo com os vegetais que irão compor o sistema (GALVÃO e MATOS, 2012).

O desempenho de um SLC depende da precipitação (PP), infiltração, evapotranspiração (ET), carga hidráulica, percolação, tempo de detenção hidráulica e também a concentração do afluente. Todos esses fatores afetarão a remoção de compostos orgânicos, nutrientes, traços de outros elementos como metais pesados, entre outros. Quando o afluente escoar de um ponto para outro, parte da energia se dissipa para o meio em forma de calor, dessa forma com a vazão constante e movimento permanente e gradualmente acelerado, o volume real do efluente tratado nos SLC pode ser medido utilizando a Equação 1 (VON SPERLING, 2007b).

$$\int Q_a - Q_e + P - ET = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Onde:

Q_a = Vazão afluente

Q_e = Vazão do efluente

P = Precipitação

ET = Evapotranspiração

dV = derivada do Volume

dt = derivada do tempo

$dV/dt = 0$; $dV/dt \neq 0$: entrada e saída do efluente constante, gradualmente acelerado

Não se considera taxa de infiltração porque entende-se que os tanques são impermeabilizados.

A remoção de poluentes em SLC pode ocorrer mediante os seguintes mecanismos: sedimentação, precipitação química, adsorção e interações microbiológicas e absorção pelos vegetais. Esses mecanismos estão resumidos no Quadro 5.

Quadro 4: Mecanismos de remoção de poluentes de efluentes domésticos

Mecanismo		SS	SC	DBO	N	P	MP	POR	Vírus e bactérias	Descrição
Físico	Sedimentação	P	S	I	I	I	I	I	I	Sedimentação gravitacional de sólidos e contaminantes. Partículas filtradas mecanicamente como a água passa através do meio de suporte e das raízes. Ocorrência de forças atrativas (força de Van der Waals).
	Filtração	S	S							
	Adsorção		S							
Químico	Precipitação				P	P				Formação de co-precipitação com componentes solúveis. Adsorção nos meios de suportes. Decomposição ou alteração de componentes poucos estáveis por fenômenos como radiação UV, oxidação e redução.
	Adsorção				P	P	S			
	Decomposição						P		P	
Biológico	Metabolismo bacteriano		P	P	P			P		Remoção de sólidos coloidais e orgânicos solúveis por suspensos, bentônicos e bactérias presentes nas raízes das plantas, nitrificação e desnitrificação. Absorção pelo metabolismo orgânico das plantas. Excreções de raiz podem ser tóxicas para os organismos de origem entérica. Sob condições apropriadas, quantidades significativas destes contaminantes vão ser absorvidas por plantas. Decaimento natural dos organismos em um ambiente desfavorável.
	Metabolismo vegetal							S	S	
	Adsorção vegetal				S	S	S	S		
	Decaimentos naturais								P	

P: efeito primário; S: efeito secundário; I: efeito incremental, ocorrido devido a remoção de outro contaminante; SS: sólido sedimentável; SC: sólido coloidais; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; N: nitrogênio; P: fósforo; MP: metais pesados; POR: partículas orgânicas refratárias. Fonte: (EPA, 1988).

Para entender o funcionamento desses sistemas dois detalhes são importantes em sua composição: o meio filtrante e os vegetais (CAMPBELL e OGDEN, 1999).

O tipo de meio filtrante utilizado interferirá na percolação do afluente e na formação ou não de colmatação, na criação do biofilme que promoverá um ambiente propício para o crescimento dos microrganismos ao consumirem o material orgânico disponível, fazendo com que ocorra diversas reações químicas como os processos de remoção de nitrogênio, digestão anaeróbica e aeróbica (WI, 2003; WANG, PEREIRA e HUNG, 2009), dessa forma, a interação entre os microrganismos e as raízes das plantas promove a remoção dos contaminantes (WI, 2003; STOTTMEISTER et al., 2003). Estudos experimentais obtiveram remoção eficaz de sólidos

suspensos (VYMAZAL, 2010), DBO₅ (PAULO et al., 2009), nutrientes, como fósforo e nitrogênio (VYMAZAL, 2007), metais pesados (SHEORAN e SHEORAN, 2006), além de diversos patógenos como bactérias (WU, et al. 2016) e até diversos vírus (RACHMADI et al., 2016).

Os vegetais presentes em SLCs funcionam como extratores de macro e micronutrientes necessários para seu crescimento e transferem oxigênio para o meio de suporte criando zonas aeróbicas em torno das raízes. Em geral, plantas precisam de água e nutrientes para crescer, que é encontrado em grandes quantidades em águas residuárias (BRIX, 1999; CAMPBELL e OGDEN, 1999), como nitrogênio e fósforo. Contudo, em quantidades elevadas, nos corpos hídricos, causam eutrofização e diminuição da qualidade (METCALF e EDDY, 2003). Consequentemente, SLCs possuem condições propícias aos vegetais que são adaptados à ambientes constantemente saturados e com elevada carga de nutrientes (MUGISHA et al., 2007), por isso, esses sistemas possuem uma ecologia tão produtiva em biomassa quanto uma floresta na chuva (BRIX, 1999; CAMPBELL e OGDEN, 1999).

A quantidade de matéria orgânica – indicada pela determinação da DBO – é importante para se conhecer o grau de poluição de uma água residuária, para se dimensionar os sistemas de tratamento e medir sua eficiência (PESSOA e JORDÃO, 2014).

A forma mais utilizada para medir a quantidade de matéria orgânica presente em um efluente é através da determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), padronizada pelos “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, que mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra, após certo tempo (tomado para efeito de comparação em 5 dias) e a uma temperatura padrão (20° C, para efeito de comparação) (WEF, 1999).

Em SLC, o processo de remoção da DBO₅ solúvel é biológico, mediante a atividade microbiana que ocorre nas raízes, caules e folhas caídas no meio de suporte. As principais fontes de oxigênio para estas reações são aeração na superfície da água e translocação de oxigênio das folhas para a rizosfera, em um processo chamado de convecção e difusão do oxigênio. Esse processo é descrito por um modelo cinético de primeira ordem apresentado na Equação 2 (VON SPERLING, 2007; EPA 1988).

$$\frac{C_a}{C_e} = \exp^{-K_T t} \quad (2)$$

Onde:

Ca: DBO₅ afluente (mg/L)

Ce: DBO₅ efluente (mg/L)

KT: constante de primeira ordem dependente da temperatura

t: Tempo de residência hidráulica (dias)

Considerando o fluxo contínuo do sistema, o tempo de residência hidráulica (TRH) pode ser representado pela Equação 3 (EPA 1988):

$$TRH = \frac{L \cdot W \cdot d}{Q} \quad (3)$$

Onde:

L = length (comprimento)

W = width (largura)

d = depth (profundidade)

Q = Vazão média de operação [(fluxo entrada + fluxo saída)/2]

K_T é uma constante correspondente à temperatura da água dentro do SLC e influencia diretamente na remoção de DBO₅ e nitrogênio (N). Como um importante fator ambiental do processo de tratamento biológico de águas residuárias, a temperatura não influencia apenas as atividades metabólicas da população microbiana, mas também tem um profundo efeito em tais fatores como as taxas de transferência de gás e as características de sedimentação dos sólidos biológicos (METCALF e EDDY, 2003). As taxas de reação biológica aumentam com o aumento da temperatura até que uma temperatura ideal é alcançada; acima da temperatura ideal, desnaturam-se proteínas enzimáticas e as taxas diminuem (GUO et al. 2013; VON SPERLING, 2007).

A Equação 4 é utilizada para estimar a variação da taxa de reação em função da temperatura padrão de 20 ° C, formulada a partir da teoria de Van Hoff-Arrhenius. que pode ser expressa como (METCALF e EDDY, 2003):

$$K_T = K_{20} \times \phi^{T-20} \quad (4)$$

Onde:

K_T = Constante de reação da cinética de primeira ordem (dependente da temperatura);

Φ = Coeficiente de temperatura

K_{20} = Constante a 20 °C

T = Temperatura

A remoção da matéria orgânica em alguns sistemas e a inativação de organismos patogênicos seguem cinética de primeira ordem, em que a taxa de reação é proporcional à concentração do poluente. A constante K_{20} pode ser determinada através de equações empíricas para a temperatura desejada, sendo, portanto, um valor pré-estabelecido, variando com o tipo de meio filtrante utilizado. Com base em dados europeus e dados dos EUA (EPA, 1988), os valores de K_{20} conforme o meio filtrante são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Características dos meios de suportes que podem ser utilizados em SLC subsuperficiais de modo geral

Meio Filtrante	Granulometria (mm)	Porosidade α (m)	Condutividade hidráulica (K_s)	K_{20}
Areia média	8	0,42	420	1,84
Areia grossa	2	0,39	480	1,35
Areia granulada	1	0,35	500	0,86
Pedrisco (Brita 1)	5	0,44	311,04	1,28

Fonte: (BEGOSSO, 2009; EPA, 1988)

No inverno, as taxas de reação são menores e devem ser consideradas nos cálculos do projeto. A temperatura e a umidade relativa do ar, também afeta a evapotranspiração dos sistemas provocando perdas de água, o que gera o acúmulo de sais (BRASIL et al., 2005), porém favorece a remoção de N inorgânico, que é mais absorvido pelas plantas no período seco (SILVA, 2007). Geralmente, em períodos quentes, a temperatura da água no interior do leito é a mesma do ambiente, mas no inverno pode ser calculada de acordo com a Equação 5 (EPA, 1988).

$$R_n = D \cdot \lambda_m \cdot ET + H_a \quad (5)$$

Onde:

R_n = Radiação líquida que atinge o solo (MJ/m²/d)

D = densidade da água (kg/m³)

λ = Calor latente de vaporização de água (MJ/kg),

ET = Água perdida para evapotranspiração (m/d)

H_a = Transferência convectiva para o ar (MJ/m²/d)

A evapotranspiração deve ser considerada como ponto importante no dimensionamento, pois a perda de água aumenta a concentração dos poluentes. Em SLC, as taxas de evapotranspiração podem variar de acordo com as espécies que estiverem plantadas. A literatura ainda é escassa quanto a avaliação das taxas de evapotranspiração para vegetais macrófitos. Herbst e Kappen (1999) verificaram que as perdas por evapotranspiração e transpiração dos SLC nas zonas de raízes superaram as perdas em sistemas cuja lâmina d'água livre. Durante um dia quente e ensolarado, leitos com lâmina d'água livre registra perdas superiores a 10 mm/dia¹.

Maltais-Landry et al., (2009) através da diferença entre a vazão de entrada e saída, estimou as taxas de evapotranspiração que influenciavam significativamente nas transformações de nitrogênio, essas taxas variavam de 0 a 24 L/m²/d. EPA (1988) afirma que no período seco pode haver uma perda de 45% de água, porém Olijnyk (2008) em estudo realizado na região de São José/SC, que apresenta precipitação média de 118,5 mm/mês, evaporação média de 99,0 mm/mês e temperatura de 25,5 °C no período seco e 16 °C no período chuvoso, não identificou uma diferença significativa ao fazer o balanço hídrico para SLC de fluxo vertical, obtendo diferença máxima de 1,22%.

Poli (2012), ao realizar medições de perdas de evapotranspiração em SLC plantados com *Canna limbata* em São Paulo, obteve taxas médias de evapotranspiração compreendida entre 13 mm/dia e 5 mm/dia, com TDH de 4,0 e 4,6 dias. Leitos plantados com *Typha*, apresentaram taxas médias de evapotranspiração de 8 mm/dia e 5mm/dia, com TDH de 4,6 dias e 4,2 dias e os leitos plantados com *Cyperus*, apresentaram taxas médias de evapotranspiração de 6 mm/dia e 5mm/dia com TDH de 4,3 e 4,7 dias, respectivamente. As menores taxas de evapotranspiração relacionaram-se as menores produção de massa vegetal. Esse estudo foi realizado na cidade de Campinas/SP cuja temperaturas máxima são acima de 22° C no verão e abaixo de 18° C no inverno, e precipitações médias anuais de 1.383 mm. Em Minas Gerais foram registradas perdas em torno de 50 mm/dia (DORNELAS, 2008).

Segundo Von Sperling e Paoli (2013) em sistemas simples a perda por evapotranspiração pode ser controlada com fatores de correção. Dessa forma a taxa de evaporação pode ser medida segundo a Equação 6:

(6)

$$ET = K_e \cdot [P_w^{SAT} \cdot T - P_{wa}]$$

Onde:

ET = Água perdida para evapotranspiração (m/d);

Ke = Coeficiente de transferência de massa do vapor de água (M /d/kPa);

 P_w^{SAT} = Pressão de saturação do vapor de água a determinada Temperatura (kPa);

T = Temperatura da água (°C);

Pwa = Pressão de vapor da água em temperatura ambiente (kPa).

O volume total dos leitos do sistema pode ser determinado pela Equação 7:

(7)

$$V = A \cdot d$$

Onde:

V = volume (m³); A = área superficial requerida (m²); d = profundidade (m)

Se o leito possuir 1 m de profundidade e for alimentado intermitentemente, pode se esperar uma eficiência de nitrificação de 85% (BRIX e JOHANSEN, 1999). Experiências na Áustria mostraram que leitos de fluxo vertical com uma profundidade de 0,6-0,8 m necessitam de uma área específica de 4-5 m²/hab para remoção de DBO e nitrificação total durante todo ano (VYMAZAL et al., 1998). Kadlec et al. (2006), recomendam 1 m²/hab. apenas para remoção de DBO e 2 m²/hab se for necessária a nitrificação (a maioria das raízes das plantas chega a 0,5-0,8 m de profundidade). Contudo, é muito importante determinar critérios próprios para projeto e adaptação predial para promover máxima eficiência e mínima manutenção, evitando maus odores, entupimentos e assegurar a aceitação dos moradores da residência.

Pesquisas nacionais utilizando SLC como tratamento secundário de águas residuárias obtiveram taxas de remoção de DQO de até 97% e DBO de até 86% (Tabela 6). As configurações diferentes dos sistemas demonstram que o SLC pode ser adaptado com base no objetivo final de qualidade. Jordão e Pessoa (2014) afirmam que em tratamentos secundários de esgotos domésticos a redução de DBO esperada, no efluente tratado, está numa faixa de 20 a 30 mg/L.

A característica da vazão e sua variação condicionam o número e as dimensões das unidades de tratamento (leitos) e suas canalizações de interligação, em harmonia com os parâmetros de

projeto adotado de acordo com o comportamento físico-químico biológico dos processos de tratamento (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Tabela 6: Descrição das pesquisas nacionais que utilizaram SLC para tratamento de esgoto doméstico

Autor, data	Afluente	Tipo LC	Tratamento primário	Méto Filtrante	DBO (mg/L)	Remoção	DOO (mg/L)	Remoção	Área (m ²)	Vazão (L)
Collaço, 2011	Esgoto doméstico, sanitário	Fluxo subsuperficial	Tanque de equalização	Brita	83	45%	247	72%	10	2500
				Brita e pneu picado	85	46%	198	58%		
Valentim, 1999	Águas residuárias	Fluxo subsuperficial	Tanque séptico modificado	Brita 2	---	---	316	70 a 97%	4	1330
Leal, 2009	Esgoto sanitário	Fluxo vertical	---	1ª etapa - Areia com adição de Cavaco de Usinagem e Escória de aciaria elétrica	---	---	800	80 e 97%	0,053	150
				2ª etapa - brita 0 de origem basáltica com adição de Cavaco de Usinagem e Escória de aciaria elétrica	---	1445	60 e 79%			
Siqueira, 2014	Esgoto doméstico	Fluxo vertical subsuperficial descendente	Tanque séptico	Brita 0, brita 1 e areia média.	960	86,80%	---	---	21	---
Sousa e Oliveira, 2011	Esgoto sanitário	Fluxo subsuperficial	---	Brita e areia	248,50	60,85%	---	---	---	---

3.4. Critérios para dimensionamento de Sistemas Leitos Cultivados

As características físico-químico-biológicas dos processos de tratamento são grandezas quantitativas, geralmente expressas em mg/L, portanto a vazão de águas residuárias (m³/dia) influi diretamente na estimativa da massa dos poluentes presentes no esgoto, assim como no dimensionamento dos leitos de tratamento e na avaliação dos impactos no meio ambiente. Com base neste enfoque, é indispensável a determinação precisa da quantidade de águas residuárias que o sistema irá receber. Para isto, deve-se prever as diversas atividades dos moradores da edificação, que irão interferir na variação da vazão do sistema (JORDÃO e PESSOA, 2014).

O cálculo da vazão de águas residuárias foi adaptado de Metcalf e Eddy (2003), é dado na Equação 8, considerando o número de habitantes por residência, o consumo per capita de água e o coeficiente de retorno quando houver perdas na produção de esgoto, pois a produção de esgoto está condicionada à disponibilidade de água e o consumo de água está condicionado à avaliação das perdas, desperdícios e contribuições não encaminhadas para a rede coletora (JORDÃO e PESSOA, 2014) :

$$Q_{med} = \frac{n \cdot q \cdot R}{1000} \quad (8)$$

Onde:

Q_{med} = vazão doméstica média do efluente (m³/dia)

n = número de contribuintes (habitantes)

q = cota *per capita* de água (L/residência.dia)

R = coeficiente de retorno

Um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento desses sistemas é o tempo médio de detenção hidráulica (TDH). Conceitualmente o TDH representa o tempo médio de permanência das moléculas de água em uma unidade de tratamento, operando continuamente. Se a vazão Q (afluente e efluente) e o volume (V) são constantes, o TDH pode ser calculado levando em consideração a porosidade do meio filtrante (α), conforme descrito na Equação 9 (EPA, 1988):

(9)

$$TDH = \frac{V}{Q} = \frac{\alpha \cdot (LWd)}{Q}$$

Onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica em dias

V = Volume do tanque (m³)

Q = vazão (m³/d)

L = length (comprimento)

W = width (largura)

d = depth (profundidade)

α = constante de porosidade

Dois fatores climáticos podem afetar significativamente o TDH em uma taxa constante de carregamento hidráulico. No verão, evapotranspiração pode aumentar significativamente o tempo de detenção, enquanto a formação de gelo no inverno pode diminuir significativamente o tempo de detenção. A recomendação é triplicar a vazão **caso haja formação de neve** na região (EPA, 1988).

A Equação 10 (EPA, 1988) foi adaptada para ser aplicada de maneira efetiva, considerando o volume mínimo de meio de suporte demandado em relação ao tempo de detenção hidráulica a ser utilizado:

(10)

$$V_s = \frac{TDH \cdot Q}{\alpha}$$

Onde:

V_s = volume mínimo de meio de suporte (m³)

TDH = tempo de detenção hidráulica (d)

Q = vazão diária de esgoto (m³/ d)

α = porosidade média do meio suporte.

Tanto o volume quanto a vazão a serem aplicados em um SLC são dependentes da área que o sistema irá ocupar. Geralmente, para o dimensionamento de SLC em residências é empregada uma relação de área (m²) por quantidade de habitantes (m²/hab). Esses valores são considerados com base em estudos prévios (SEZERINO et al., 2015). Encontram-se faixas de aplicação

Sistema Leito Cultivados

variando de 1 a 5 m²/hab, quando os SLC são empregados para tratamento secundário precedidos, na maioria dos casos, de decanto-digestores (VIMAZAL, 2010; SEZERINO et al., 2015). Griggs e Grant (2000) recomenda 0,8-2 m²/hab¹ se o sistema for para menos que 100 pessoas. Quando o SLC é de fluxo horizontal, o cálculo da área superficial pode ser obtida utilizando a Equação 11 (EPA, 1988):

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_a - \ln C_e)}{K_T \cdot d \cdot \alpha} \quad (11)$$

Onde:

A = área superficial requerida (m²);

Q = vazão afluente (m³/d);

C_a = concentração afluente em termos de DBO_{5,20} (mg/L);

C_e = concentração efluente em termos de DBO_{5,20} (mg/L);

K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem (dependente da temperatura);

d = (*depth*) profundidade do maciço filtrante;

α = porosidade do meio de suporte (m).

Na prática, isso tende a dar uma área de 5 m²/hab, que é o que normalmente é usado no Reino Unido (GRIGGS e GRANT, 2000). Na Dinamarca, as áreas tendem a ser mais próximo de 10 m²/hab para sistemas de tratamentos secundários (BRIX e SCHIERUP, 1989; BRIX et al., 2007). No Brasil, a média é de 5 m²/hab (SEZERINO e PHILIPPI, 2003). Quando se utiliza SLC para tratamento terciário tende a ser entre 0,5 – 1 m²/hab.

A NBR 13.969/1997 propôs um dimensionamento de SLC de fluxo superficial de lamina livre. Na norma o sistema é chamado de lagoa com plantas aquáticas. Esse sistema é recomendado para regiões com temperatura média de 15° C e aplicação diária de 600 m³/hab, profundidade máxima entre 0,7 a 1,0 m, com largura e comprimento máximo de 10m. a manutenção sugerida é de apenas a remoção das plantas aquáticas periodicamente.

Para sistemas de fluxo horizontal a área da seção transversal pode ser calculada com base na condutividade hidráulica do meio de suporte e da declividade dos tanques, conforme descrito na Equação 12 (BRIX e JOHANSEN, 1999; EPA, 1988).

$$A_c = \frac{Q}{K_S S} \quad (12)$$

Onde:

A_c = Área da seção transversal, m^2

Q = vazão (m^3/dia)

K_s = Condutividade hidráulica, $m^3/m^2.d$

S = Declividade do leito ou gradiente hidráulico (fração decimal)

A largura (W) dos leitos pode ser calculada seguindo a Equação 13 (BRIX e JOHANSEN, 1999):

$$W = Ac/d \quad (13)$$

Onde:

W = Largura (m)

A_c = Área da seção transversal, m^2

D = profundidade (m)

A profundidade dos leitos de fluxo horizontal ou vertical para sistemas subsuperficiais é variável entre 0,6 a 1,0 m , de acordo com o tamanho que podem alcançar as raízes das plantas que forem utilizadas (GIKAS e TSIHRINTZIS, 2014; SEZERINO, 2006; STEINMANN et al., 2003). Dado que a difusão do oxigênio na superfície é maior do que nas zonas das raízes, então para tratamento secundário, onde há disponibilidade de espaço, podem ser utilizados leitos maiores para determinada vazão. Claramente, leitos mais profundos fornecem mais tempo de detenção que um leito mais raso, então para tratamento terciário, onde a transferência de oxigênio é menos exigido, leitos mais profundos serão mais viáveis (GRIGGS e GRANT, 2000).

SLC de fluxo vertical foram desenvolvidos por Seidel em 1965 como pré-tratamento de águas residuárias de SLC de fluxo horizontal. O objetivo desse sistema inicialmente era melhorar a percolação do SLC de fluxo horizontal e alcançar melhores taxas de nitrificação (VYMAZAL, 2008). Nesse tipo de sistema, o fluxo pode ser ascendente ou descendente em regime intermitente, seguidos de intervalos longos de descanso, evitando dessa forma a colmatção. Esse método também facilita a transferência de oxigênio para o interior do meio de suporte, aumentando a eficiência do tratamento, uma vez que é alimentado gradualmente e desce verticalmente sob o leito, sendo coletado na rede de tubos na base (COOPER, et al., 1996; KADLEC, et al., 2000). Diversos estudos apontam a melhora na eficiência na remoção de DBO e na desnitrificação, porém a remoção de fósforo continua sendo limitada (BRIX, et al., 2007; SEZERINO, 2006; OLIJNYK, 2008).

Griggs e Grant (2000) afirmam que em sistemas menores deve ser utilizada uma área maior por pessoa, para evitar que eventos individuais comprometam a eficiência do sistema, como os horários de maior uso de água na residência. Para quantificar essa área para SLC de fluxo vertical, o dimensionamento pode ser feito baseado no modelo de balanço de oxigênio desenvolvido por Platzer (1998) e sua adaptação para regiões de clima quente, descrito em Platzer et al., (2007). Esse modelo relaciona a oferta de oxigênio com a demanda que os processos anaeróbios requerem durante a degradação da matéria orgânica, principalmente na oxidação da DQO/DBO e na nitrificação. (Equação 14):

$$DO_2 = DO_{2ox (DQO+NH_3)} - RO_{2 Desn} \quad (14)$$

Onde:

DO_2 = Demanda de O_2 ;

$DO_2 (DQO+NH_3)$ = Demanda de O_2 para oxidação de DQO e nitrificação;

RO_2 = Recuperação de O_2 por desnitrificação

De acordo com Hidaka et al. (2002), o oxigênio é um dos parâmetros mais relevantes na nitrificação, já que concentrações menores que 2 mg O_2 /L podem limitar parcial ou totalmente a atividade das bactérias nitrificantes. A oferta de oxigênio (O_2) nos leitos provém mais dos processos de convecção e difusão do que das plantas (PLATZER, 1998). A convecção relaciona-se à entrada de ar que ocorre geralmente quando o sistema é alimentado com a carga de afluyente. A difusão ocorre continuamente na superfície do meio de suporte. Dessa maneira, a oferta total de oxigênio é o somatório das entradas por convecção e difusão (Equação 15):

$$Oferta O_2 = Entrada O_{2 convecção} + Entrada O_{2 difusão} \quad (15)$$

Ao se dimensionar um SLC, a oferta de oxigênio deve ser igual ou superior a sua demanda nos processos de degradação. A determinação da área superficial, considerando a necessidade de oxigênio para os processos aeróbios, como a oxidação de DBO e a oxidação do nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal, o que é chamado nitrogênio total Kjeldahl (NTK), pode ser feita utilizando a Equação 16:

$$A = \frac{DO \times 1000}{DAS} \quad (16)$$

Onde:

A = Área superficial (m²)

DO: Demanda de O₂ (mg/L)

DAS: Demanda de aeração da superfície (mg/L.m²)

Em tratamentos biológicos de efluentes, os principais custos de operação são o requerimento de aeração na etapa de nitrificação e a adição de uma fonte de carbono orgânico externa como fonte de energia na etapa de desnitrificação (ZOPPAS, BERNARDES e MENEGUZZI, 2016). Tarutis et al. (1999) demonstraram que a eficiência do tratamento relacionando a área com equações de cinética de primeira ordem, tem relação intrínseca, pois as taxas de remoção são exponenciadas conforme o carregamento hidráulico. Vários modelos são possíveis e propostas a nível acadêmico, um deles (Equação 17) exige o conhecimento da vazão de operação, uma constante de decaimento microbiano e a concentração dos poluentes na entrada do sistema (Ca = afluente) e a concentração desejada na saída do sistema (Ce = efluente) (BRIX e JOHANSEN, 1999).

$$A = Q/K_1 \ln(Ca/Ce) \quad (17)$$

Essa constante K₁ pode ser a mesma constante de reação cinética K_T, dependente de temperatura mencionada na Equação 11.

SLC quando construídos para receber o esgoto bruto sem pré-tratamento pode seguir o modelo francês. Esse sistema que utiliza dois estágios de leitos de fluxo vertical para promover a nitrificação completa e promover a mineralização da matéria orgânica (MOLLE et al., 2005), mas sem ocorrer a desnitrificação. Em sistemas híbridos, a desnitrificação é obtida com sucesso com sequência de leitos verticais e horizontais (VYMAZAL, 2014), o que, no entanto, exige maior espaço e pode ser dispendioso. Para edificações residenciais, onde há uma limitação de área, estações de tratamento descentralizadas devem ocupar o menor espaço possível, assim várias inovações e adaptações foram testadas nos últimos anos para otimizar o processo de transformação do nitrogênio (BRIX e ARIAS, 2005).

Um modelo piloto desenvolvido por Silveira et al., (2015) operou com carga de 1 m³/hora, a alimentação ocorreu em um período de 2,5 dias, com 4,5 dias de descanso. Durante a alimentação o leito recebeu 30 L/hora, correspondendo a 0,36 m/dia. A eficiência de remoção de DQO, SST, NH₄, NT e NO₃, chegaram respectivamente a 50%, 86%, 51%, 58% e 85%.

Além dos parâmetros relacionados, os meios de suportes e vegetais que irão compor o sistema também são importantes, uma vez que a escolha do meio filtrante influencia na constante de condutividade hidráulica e percolação do afluentes. Os vegetais influenciarão nas perdas de volume pela evapotranspiração e na remoção dos poluentes. Por isso que diversos estudos avaliam diferentes meios de suporte e espécies vegetais em suas análises.

3.5. Meios de suporte

O meio filtrante utilizado para preencher os leitos dos SLC e dar sustentação às plantas fornece o local em que ocorrerão as transformações químicas e bioquímicas e ainda armazena os poluentes removidos das águas residuárias (EPA, 2003).

A escolha do meio de suporte influencia diretamente no dimensionamento, pois determina a condutividade hidráulica que influenciará a remoção dos nutrientes (Equação 11).

O pH é importante por afetar a disponibilidade e retenção de metais pesados e nutrientes. O pH do meio de suporte geralmente se encontra entre 6,5 e 8,5. Alterações nesses valores afetará as taxas das reações químicas e bioquímicas que ocorrem no interior do leito (EPA, 2003).

A área superficial dos componentes do meio de suporte junto com suas propriedades eletrocinéticas são também importantes. A capacidade do meio de suporte de reter íons carregados positivamente influenciará o potencial redox, afetando, por exemplo, a remoção de nitrogênio e fósforo (MALTAIS-LANDRY et al., 2009b; SILVEIRA et al., 2015). Os nutrientes inorgânicos que as raízes dos vegetais assimilam para sua nutrição estão no meio de suporte como íons. Os cátions são retidos e os ânions lixiviados (RAVEN et al., 2014).

A acidez ou alcalinidade dos meios de suporte é associada com a disponibilidade de nutrientes inorgânicos, que são utilizados para o crescimento vegetal. Em solos alcalinos, alguns cátions são precipitados e elementos como o ferro, manganês, cobre e zinco, podem tornar-se indisponíveis para as plantas. As micorrizas (associação simbiótica de raízes com fungos) são

Sistema Leito Cultivados

especialmente importantes na absorção e na transferência de fósforo, além disso essa simbiose tem sido associada ao aumento da absorção de manganês, cobre e zinco pelas plantas (RAVEN et al., 2014). A combinação de meios de suportes podem melhorar as taxas de remoção de poluentes, incluindo nitrogênio e fósforo, como Leal (2009) verificou utilizando brita e cavaco de usinagem, obtendo eficiência de 85% na remoção desses nutrientes.

Comumente, no sistema de LC, utiliza-se areia ou brita como meio suporte para o afixamento das plantas (METCALF e EDDY, 2007b), entretanto, 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 metais pesados (COLLAÇO, 2001; AVELAR, 2008; LEAL, 2009; POLI, 2012; SOUSA, 2003). A Tabela 7 resume os meios de suporte mais testados em sistemas LC no Brasil e a eficiência na remoção dos poluentes obtidos com cada um.

Tabela 7: Relação entre os tipos de meios de suportes e vegetais utilizados na remoção de poluentes

Afluente	Pré-tratamento	Meio de Suporte	Vegetais Utilizados	SST (%)	pH (%)	O ₂ (%)	T (%)	DBO (%)	DQO (%)	N (%)	NH ₄ ⁺ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	N-NH ₃ (%)	P (%)	Col. Totais (%)	E. coli (%)	Autor, Data
Águas Residuárias	Fossa séptica	Areia, argila, bagacilho de cana e vermiculita	Oryza sativa L.	68	6,6	12	20	77	66	72	32	66		92			NOGUEIRA (2003)
Águas Residuárias	Lodos Ativados	Brita e areia	Typha sp	93,85	5,42				74		57,8			88			SANTOS (2009)
Águas Residuárias	Reator Anaeróbio Compartimentado	Brita #2	Typha sp e Eleocharis sp	81,4	7,26		23		37,09					30			MAZZOLA et al. (2005)
Esgoto Tratado	Lagoa facultativa	Latossolo vermelho de textura argilosa com brita #3	Guadua angustifolia, Phyllostachys aurea e Phyllostachys bambusoides					98,3	97,1		98,2			98,4			(UEGE et al. (2013)
Esgotos Domésticos Primários	Decantador	Areia e Latossolo Vermelho-Amarelo	Oryza sativa L.	90 a 98	7,29			97 a 99		88 a 94	85 a 95	2 a 116		96 a 100			SILVA (2007)
Águas Residuárias	Lodo ativado	Areia, brita #0, Cavaco de Usinagem e Escória de aciaria elétrica	Luziola peruviana,	42 e 78	7,02				60 e 79		58 e 79			13 e 52			LEAL (2009)

Continua...

Sistema Leito Cultivados

Continuação...

Afluente	Pré-tratamento	Meio de Suporte	Vegetais Utilizados	SST (%)	pH (%)	O ₂ (%)	T (%)	DBO (%)	DQ O (%)	N (%)	NH ₄ ⁺ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	N-NH ₃ (%)	P (%)	Col. Totais (%)	E. coli (%)	Autor, Data
Águas Residuárias	Reatores anaeróbios	Crostas de eletrofusão da Bauxita e britas #3	Typha sp, Canna limbata e Cyperus prolifer		9	46	26		29		18	94		74			POLI (2012)
Continuação...																	
Esgoto Doméstico	Lagoas estabilização	de Brita #1 e areia	Typha domingensis	94				80	72		73						SEZERINO (2006)
Esgoto Bruto	UASB	Areia	Typha domingensis Pers	60,0 a 83,1				56,7 a 91,0	70,5 a 81,7				34,6 a 65,3	42,9 a 46,7		75,5 a 99,7	SOUSA (2003)
Esgoto Bruto	Tanque equalização	de Brita #3 e pneu picado	Typha sp	36,27 e 74,52	5 a 9		37,47 e 72,81	45,06 e 46,20	71,5 e 57,46	0		74,02	0	0	59,25 e 67,36	81,93 e 89,77	COLLAÇO (2001)
Esgoto Bruto	Reatores anaeróbios	Escória aciaria, areia e brita	Typha sp. e Eleocharis sp,	22 a 62	11,4 a 11,9		70 a 92	51 a 86	67 a 85	28 a 61				76 a 96		99,13 a 100	AVELAR,(2008)

3.6. Vegetação

As plantas precisam de carbono, nitrogênio, fósforo, sulfatos, cálcio, potássio, sódio e outros diversos micronutrientes (RAVEN e EVERT e EICHHORN, 2014). O crescimento delas fornece uma massa vegetativa que desvia os fluxos e fornece locais de fixação para desenvolvimento microbiano. A morte libera carbono orgânico ao metabolismo microbiano como fonte de energia. Além disso, as plantas estabilizam os meios de suporte reforçando sua permeabilidade. Fora isso, também valorizam o ambiente por fazer o sistema se adequar à paisagem (EPA, 2003). Sistemas sem vegetais plantados apresentam baixa eficiência no tratamento, com remoção insatisfatória de carga orgânica e nitrogênio amoniacal, enquanto que os leitos plantados chegam a remover mais de 90% de DBO (JÚNIOR et al., 2015a).

As plantas que são mais frequentemente utilizadas em SLC são plantas macrófitas emergentes, tais como párvula (*Eleocharis sp*), papiros (*Cyperus sp*), juncos (*Juncus*) e Taboa (*Typha*). Contudo, nem todas as espécies de zonas húmidas são adequadas para tratamento de águas residuárias, pois elas precisam resistir ao solo constantemente saturado e a exposição de poluentes em concentração elevada (EPA, 2003). Espécies que tem apresentado remoção de forma significativa dos contaminantes presentes em águas residuárias, estão listadas na Tabela 7.

As macrófitas podem ser classificadas de acordo com seu biótipo de ocorrência, mostrando o grau de adaptação dessas plantas ao meio aquático (TRINDADE et al., 2010a). Essa classificação também contribui para a classificação dos SLCs, conforme foram mencionados no item 2.1.2. As macrófitas apresentam grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, o que possibilita que as espécies colonizem os mais diferentes ambientes, facilitando a distribuição geográfica. Por isso, essas plantas são consideradas um tipo de planta cosmopolita. Em geral ocorrem como pragas em ecossistemas aquáticos, com grande produção de biomassa onde há excesso de nutrientes provenientes de esgotos (TRINDADE et al., 2010a).

Ao se trabalhar com espécies vegetais, é importante conhecer a distribuição geográfica das famílias e suas espécies, de forma a se obter aquelas com maior capacidade de adaptação ao clima da região. A biogeografia é importante e essencial na compreensão dos locais que as espécies vivem com desenvolvimento pleno (BRINEY, 2017).

Sistema Leito Cultivados

A espécie comumente utilizada em sistemas de LC 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 o nutriente em seus tecidos. PELISSARI et al., (2014) avaliaram a transformação de nitrogênio desta espécie em sistemas híbridos de fluxo vertical e fluxo horizontal e verificaram que os sistemas de fluxo vertical foram mais eficientes que os sistemas de fluxo horizontal na remoção de amônia, obtendo uma eficiência de 80%, enquanto que o sistema de fluxo horizontal obteve apenas 58%.

A distribuição das mudas por metro quadrado varia conforme a densidade dos vegetais. Suntti et al., (2011) utilizando *Zizaniopsis bonariensis* distribuíram 15 mudas/m², contudo a recomendação de Reed et al., (1995) e Zanella (2008) é de 4 mudas por m², pois a dispersão das plantas pelos rizomas aumenta o número de indivíduos com o tempo.

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A presente pesquisa foi desenvolvida de forma exploratória com apropriação de dados secundários de estudos prévios, onde banco de dados foram elaborados com por meio de revisão bibliográfica para estimar o potencial de redução de consumo de água potável em residências unifamiliares.

Para isso utilizou-se os modelos representativos compostos por Sant’Ana (2011) como base para calcular a vazão de água necessária para o dimensionamento dos SLC, por fim estimou a redução do consumo de água em diferentes cenários.

4.1. Área de estudo

Para esta pesquisa, considerou-se as regiões administrativas do Distrito Federal que possuíam a maior predominância de residências unifamiliares (Tabela 8).

Tabela 8: Relação das regiões administrativas com maior predominância de residências unifamiliares

RAs	Total domicílios	% Casas	Consumo de água <i>per capita</i> (L/hab/dia)
Lago Sul	9.373	98,80%	423
Park Way	5.914	97,80%	248
Jardim Botânico	8.027	98,40%	208
Lago Norte	11.816	70,00%	236
Vicente Pires	20.206	98,50%	178
Guará	46.437	45,30%	148
Sobradinho II	29.042	92,40%	149
Taguatinga	64.810	69,70%	154
Sobradinho	19.143	75,40%	156
Riacho Fundo	12.994	68,00%	142
Gama	41.176	80,90%	155
Candangolândia	4.801	87,20%	146
Samambaia	69.647	89,30%	132
Santa Maria	34.685	94,30%	166
Riacho Fundo II	15.032	95,60%	121
Ceilândia	139.395	94,40%	134
Recanto das Emas	41.890	97,00%	137
Itapoã	17.583	98,80%	124
Estrutural	9.813	92,40%	161

Fonte: (PDAD, 2016; CAESB – Banco de dados 2016)

O Distrito Federal possui 86,3% dos domicílios atendidos por uma rede geral coletora de esgoto. Conforme a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - PDAD (2016) a maior utilização de tanque sépticos no DF é registrada no Park Way (87,58%), Vicente Pires (62,70%) e Jardim Botânico (61,52%). A região de menor poder aquisitivo, o Fercal, a fossa séptica está presente em 52,60% dos domicílios e a rudimentar em 44,20%. Considerou-se a presença de tanque séptico nas edificações como requisito para instalar um SLC, sendo este, o tratamento primário.

4.2. Composição dos Modelos Representativos e cenários

a) Modelos Representativos

A partir de imagens georreferenciadas fornecidas pelo Google Earth (GOOGLE EARTH, 2017), mensurou-se áreas construídas e áreas de jardim de 930 edificações residenciais das 31 RAs do DF (30 edificações para cada RA), escolhidas aleatoriamente, entre edificações unifamiliares e multifamiliares. Após essa análise as RAs que não possuem predominância de casas e área de jardim disponível, foram desconsideradas do estudo.

A composição dos modelos representativos (MRs) deste estudo considerou quatro variáveis para essa composição: i) renda familiar; ii) tipologia residencial; iii) presença de área de jardim; e v) consumo *per capita* de água.

Os MRs para edificações residenciais unifamiliares foram organizadas inicialmente a partir de todas as RAs do DF. O critério inicial utilizado para a separação das RAs foi a faixa de renda, tendo-se organizado em três grupos: i) MR1 – renda alta; ii) MR2 – renda média-baixa; e iii) MR3 – renda baixa. Os desenhos esquemáticos de cada MR estão representados na Figura 6.

Em seguida, eliminou-se todas as RAs que não possuíam casas como edificação residencial predominante, com informação obtida no PDAD (2016). Após isso, verificou-se as RAs que não possuísem áreas de jardim disponível, com base nas medições feitas pelo Google Earth. Por fim, distribuiu o consumo *per capita* de água foi obtido a partir de solicitação direta feito à ADASA, que nos forneceu um banco de dados, não publicado para a realização desta pesquisa, com dados de consumo de todas as RAs do DF nos meses de 2015 e 2016. O consumo *per capita* de água de cada RA é referente ao ano de 2016.

Figura 6: Desenho esquemático dos MRs das edificações residenciais do Distrito Federal.



MR1 – Renda



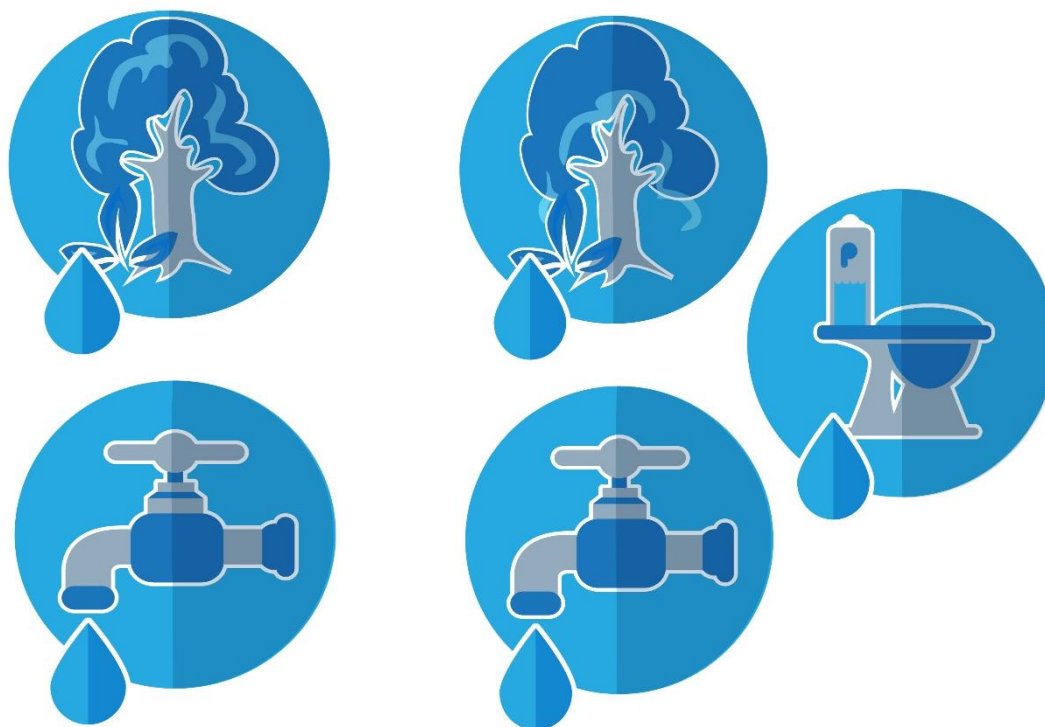
MR2 – Renda Média Alta



MR – Renda Baixa

b) Cenários

Foram compostos dois cenários hipotéticos para cada MR com base nos usos finais pretendidos.



- **Cenário 1:** Irrigação e lavagem de pisos;
- **Cenário 2:** Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária;

Para obtenção dos indicadores de consumo, comparou-se os MRs criados com os MRs do estudo desenvolvido por Sant’Ana (2011). O autor realizou uma análise qualitativa referente ao consumo de água, renda média mensal e tipologia residencial do DF. Este estudo compôs quatro modelos representativos (MRs) e propôs medidas de conservação de água que pudessem ter aplicabilidade, poupança de água e benefícios financeiros para diferentes faixas de renda. As informações acerca desses modelos estão sumarizadas na Tabela 9.

Tabela 9: Características dos modelos representativos segundo Sant’Ana (2011)

Modelos Representativos	Região Administrativa	Tipologia residencial	Número de moradores	Área construída média	Área de jardim/quin tal	Renda Familiar Média	Usos Finais, consumo interno
				m ²	m ²	R\$/mês	(L/hab/dia)
Renda Alta	Lago Sul/ Lago Norte	Casa	5	427	1.364	R\$ 9.600	226
Renda Média-alta	Brasília/ Águas Claras	Edifício em alturas	3	91	---	R\$ 7.600	221
Renda Média-baixa	Taguatinga/ Candango-lândia	Casa	5	141	80	R\$ 4.000	144
Renda Baixa	Ceilândia/ Samam-baia	Casa	5	110	74	R\$ 3.200	118

Fonte: Sant’Ana (2011)

A partir deste estudo prévio, utilizou-se os indicadores de consumo de usos finais (L/hab/dia) de cada MR correspondente. O primeiro cenário sugere um sistema isolado da edificação e o segundo um sistema integrado à edificação, com base no que fora discutido no item 2.6.4.

c) Indicadores de Consumo

O consumo médio *per capita* diário de água é um indicador definido como o volume de água consumido, excluído o volume de água exportado, dividido pela média aritmética da população atendida com abastecimento de água em determinado ano, ou seja, é a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial.

Essa informação é importante para as projeções de demanda, para o dimensionamento de sistemas de água e de esgotos e para o controle operacional.

Os indicadores de consumo utilizados para oferta de águas residuárias foram obtidos por meio do estudo prévio realizado por Sant’Ana (2011), considerando toda a água que gera esgoto em uma edificação residencial unifamiliar.

As águas residuárias provenientes de lavatórios, chuveiros, ducha higiênica / bidê, descarga sanitária, torneira da cozinha, máquina de lavar louça, tanque e máquina de lavar

roupa, produzidas por todos os moradores das edificações por dia, produziu os indicadores de oferta de águas residuárias.

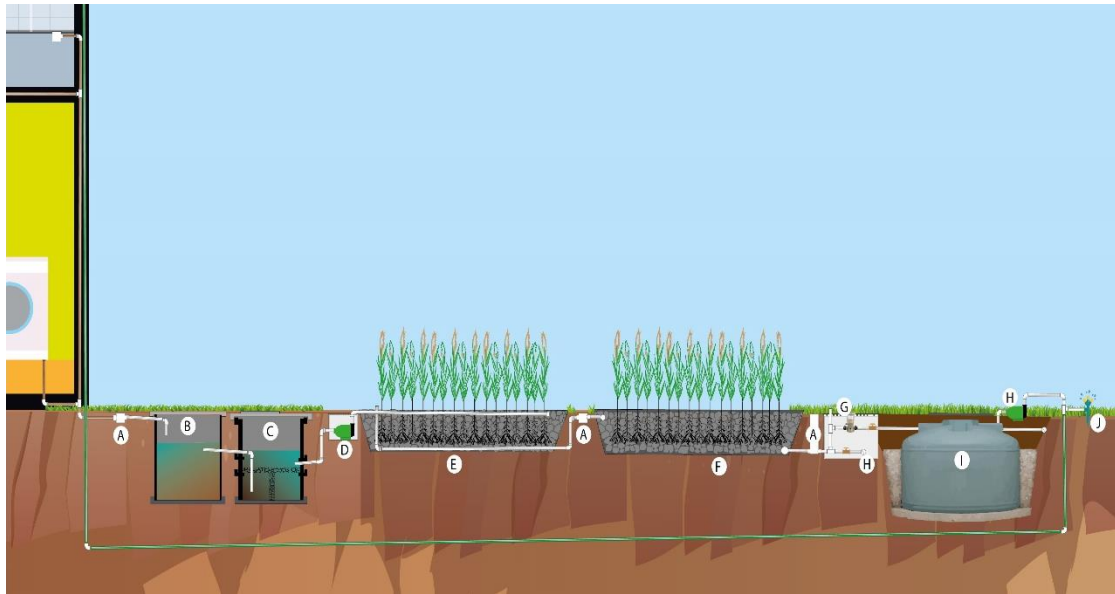
Os indicadores da demanda foram obtidos pelo consumo de água calculado por Sant’Ana (2011) das torneiras de jardim e descarga sanitárias, de acordo com os cenários. Entendendo que a irrigação e a lavagem de pisos são realizadas pelas torneiras de jardim ou torneiras de uso geral.

4.3. Escolha do sistema leito cultivado

Sistemas descentralizados em unidades familiares são uma alternativa viável para economizar água em todas as regiões, com ou sem redes de esgotamento sanitário (CHERNICHARO, 2007). SLC podem ser dimensionados para residências unifamiliares considerando carga orgânica do efluente, a taxa hidráulica, o regime de alimentação, a configuração do sistema, a composição do meio de suporte e os vegetais utilizados. Para todos os parâmetros o clima da localidade interfere diretamente (SEZERINO et al., 2015).

Ao considerar os usos finais dos cenários propostos – irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária – considerou-se o risco de exposição à água de reúso como alto, dessa forma para alcançar um nível de qualidade mais elevada, com parâmetros mais exigentes e monitoramento mais frequente, o SLC selecionado foi o híbrido aplicado como tratamento secundário, composto por tanque séptico seguido de um leito de fluxo vertical e depois por um leito de fluxo horizontal (Figura 7), dessa forma pode-se garantir a remoção de carga orgânica e nutrientes atendendo os parâmetros estabelecidos na Tabela 4. O tanque séptico, já existente, realizará o tratamento primário.

Figura 7: Sistema leito cultivado híbrido



a) Caixa de inspeção; b) Fossa séptica; c) Filtro; d) Caixa de bomba hidráulica; e) SLC fluxo vertical; f) SLC fluxo horizontal; g) Bomba de cloro; h) Descarte esgoto; i) Reservatório de coleta de água de reúso; h) bomba hidráulica; j) irrigação.

A configuração hidráulica sugerida propõe que o afluente seja lançado no primeiro leito por meio de bombeamento. O afluente será distribuído igualmente em toda a sua superfície e percola pelas camadas de brita e areia, sendo recolhido pela tubulação inferior, no fundo do leito. Ambas as tubulações, superior e inferior, são furadas com furos de 8 mm e com 10 cm de distância um do outro. Quando o primeiro leito estiver totalmente preenchido com o afluente, o mesmo segue o caminho natural subindo até o próximo leito de fluxo horizontal (CRUZ e SCHRÖDER, 2013).

No segundo leito, o afluente será lançado apenas no início do leito, percolando devido a declividade do leito e sendo recolhido pela tubulação inferior. Em seguida o efluente tratado passará pela bomba de cloro para ser desinfectado e seguirá até o reservatório de recolha de água de reúso, podendo ser utilizado para os fins sugeridos nos cenários propostos.

O período que o afluente fica em repouso no primeiro leito é recomendado para que o sistema suporte os picos de carga de poluentes que são lançados nos horários de maior consumo na residência, dessa forma, evita a colmatção do meio de suporte (PLATZER, HOFFAMANN e MIGLIO, 2016).

a) A interferência do clima

O clima do DF é definido como tropical de altitude e é marcado por forte sazonalidade, com dois períodos distintos bem caracterizados. A temperatura máxima chega a 28,30° C e mínima 13°C (INMET, 2018). A literatura aponta que a temperatura ideal para a máxima eficiência de um SLC é acima de 20° C (SEZERINO, 2006; PLAZTER, 1999; SILVA, 2007).

No DF a temperatura média no período seco é 21° C e no período chuvoso de 20° C, por isso, considerando essas temperaturas médias (BRAZIL E MATOS, 2008; MAGALHÃES FILHO, 2013), supõe-se um bom funcionamento do sistema e eficiência do tratamento na região (SEZERINO, 2006; VALENTIM, 2003).

A constante de temperatura (K_T) foi calculada por meio da Equação 4, descrita no item 3.4. O coeficiente de temperatura (Φ) considerado foi de 1,06 (EPA, 1988) e a constante (k_{20}) foi de 1,28, obtida de Begosso (2009).

$$K_T = K_{20} \times \phi^{T-20} \quad (4)$$

b) Carga orgânica e taxa hidráulica

Outro critério utilizado no dimensionamento é a relação das cargas orgânicas e taxas hidráulicas dos afluentes no SLC. Sezerino et al. (2015) afirmam que, por meio de relações empíricas, pode-se estimar a área superficial dos leitos.

O carregamento orgânico é utilizado para determinar a área superficial dos leitos do sistema. A literatura nacional indica grande faixa de amplitude no carregamento orgânico em relação a DBO e DQO de águas residuárias, com valores de 83 mg/L (COLLAÇO, 2001) a 960 mg/L (SIQUEIRA, 2014) para DBO; e 198 mg/L (COLLAÇO, 2001) a 1445 mg/L (LEAL, 2009) para DQO. A taxa hidráulica utilizada também é aplicada de forma bem variada, entre 150 L/m²/dia (LEAL, 2009) a 2500 L/m²/dia (COLLAÇO, 2001).

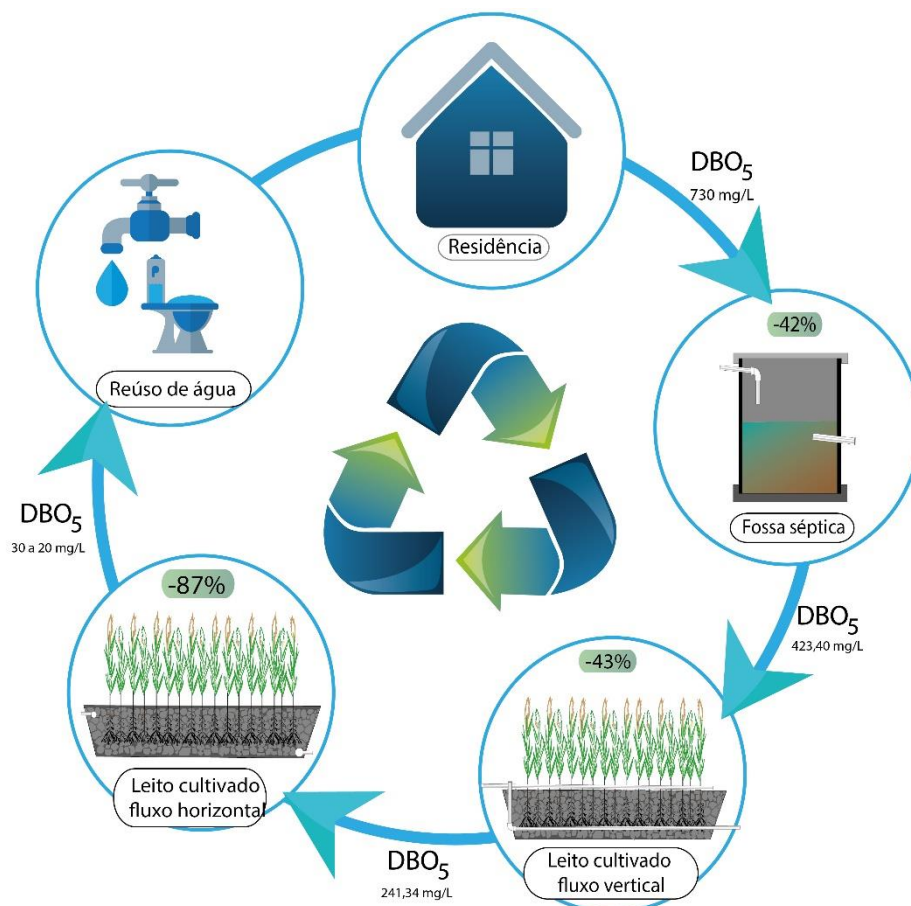
No presente estudo, para o dimensionamento da área superficial, utilizou-se a concentração de DBO₅ na entrada no sistema em 730 mg/L, com base em estudos realizados na mesma região (LISBOA et. al 2015). A concentração de DBO₅ a ser

Procedimento Metodológico

alcançada é de 30 e 20 mg/L para os cenários 1 e 2, respectivamente. Esses valores se basearam em padrões nacionais e internacionais (DEPARTMENT OF HEALTH, 2011, MORELLI, 2005; MEDCALF e EDDY, 1991, SOUSA, 2008).

O tanque séptico consegue obter uma remoção de até 42% de DBO₅ (COLARES e SANDRI, 2013). Após o tanque séptico, o afluente entra no primeiro leito de fluxo vertical e obtêm uma remoção de 43% de DBO₅, conforme estudos realizados por Trein et. Al, (2015). Sezerino et. Al, (2015) afirma o leito de fluxo horizontal remove 87% da DBO₅ presente no afluente. Com isso, o SLC consegue alcançar a concentração de DBO₅ para os cenários propostos. A Figura 8 abaixo esquematiza o decaimento da concentração de DBO₅ em todo o processo de tratamento no sistema leito cultivado.

Figura 8: Sistema de tratamento de águas residuárias por meio de leitos cultivados



c) Composição dos sistemas de tratamento

O tratamento primário previsto para os MRs é por meio de fossa séptica, por isso considerou apenas as residências das RAs que possuíam fossas sépticas ativas. Todo esgoto produzido nessas residências é destinado para as fossas. Neste estudo prevê a instalação de uma moto bomba centrífuga após a fossa para bombear as águas residuárias para os leitos. Esse bombeamento deve ser intermitente considerando o TDH calculado.

O SLC considerado foi o híbrido, composto por um tanque séptico, seguido por um leito de fluxo vertical, seguido por leito de fluxo horizontal. A área superficial de cada leito foi calculada considerando a Equação 11 descrita no item 3.4, e utilizando a concentração de DBO₅ inicial de 423,40 mg/L para o leito 1 e 241,34 mg/L para o leito 2.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_a - \ln C_e)}{K_T \cdot d \cdot \alpha} \quad (18)$$

Com base nas áreas do sistema calculadas, estabeleceu-se valores para a largura e comprimento dos leitos individuais de fluxo horizontal (FH) e fluxo vertical (FV), até obter a área total real que o SLC iria alcançar, ou seja, o somatório das áreas superficiais de cada leito chegou ao um valor aproximado da área total do SLC. A profundidade foi mantida igual em todos os leitos em 0,80 m. Como forma de facilitar a adaptação predial, manteve-se a largura do leito de FH igual ao de FV, variando entre 1,0 a 2,0 m. O comprimento de ambos os leitos foi variável nos diferentes MR e cenários, mas não superou 2,80 m. Por meio desse dimensionamento verificou-se possibilidades reais de adaptação predial para as residências que possuam tanques sépticos.

A vazão de entrada obtida em 0,79, 0,71 e 0,55 m³/dia, para os MR1, MR2 e MR3 respectivamente, foi utilizada nos 2 cenários propostos. Esses valores foram obtidos adaptando a Equação 8 descrita inicialmente no item 3.4. Para o presente estudo não se utilizou o coeficiente de retorno (r), que é a relação média entre os volumes de esgoto produzido e a água efetivamente consumida ($r = \text{vazão de esgoto} / \text{vazão de água}$), como nos cenários propostos a demanda de água consumida para produção de esgoto não considera perdas, o coeficiente de retorno pôde ser dispensado.

$$Q_{med} = \frac{p \cdot q}{1000} \quad (8)$$

Para o cálculo da área da sessão transversal (m²) do leito, utilizou-se a Equação 12 descrita no item 3.4. Utilizou-se a vazão (m³/dia), a condutividade hidráulica (K_s) da brita de 311,04 e a declividade de 1%.

$$A_c = \frac{Q}{K_s S} \quad (1219)$$

A largura (W) dos leitos foi estimada seguindo a Equação 13 descrita no item 3.4:

$$W = A_c / d \quad (13)$$

A profundidade considera para os leitos foi de 0,80 m, devido a escolha dos vegetais que seriam plantados, cuja raízes crescem até tal tamanho (GIKAS e TSIHRINTZIS, 2014; SEZERINO, 2006; STEINMANN et al., 2003). Os vegetais selecionados foram macrófitas nativas do DF, baseando-se nas espécies citadas nos trabalhos utilizados na revisão bibliográfica. A distribuição geográfica das mesmas foi verificada no site: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>, no qual estão reunidas todas as informações registradas das espécies coletadas e catalogadas nos herbários de todo o país. A recomendação de distribuição das mudas por m² é de 4 unidades segundo Zanella (2008).

O meio de suporte sugerido foi brita e areia grossa por estarem disponíveis na região do DF (SILVA, 2007). A porosidade utilizada foi de 0,45% (DNIT, 2006; METCALF e EDDY, 2003). A sugestão é que os leitos sejam preenchidos com o meio de suporte com camadas de 0,30 m de brita, com 0,20 m de areia, finalizando com 0,30 de brita (MANJATE et al., 2014). Utilizando esses meios filtrantes com essa configuração, espera-se obter uma qualidade no tratamento satisfatória. Sezerino e Philippi (2003) obtiveram remoção de DBO de 87%, DQO de 76% e 94% para nitrogênio, Sezerino (2006) obteve 94% para sólidos suspensos, 80% para DBO, 72% para DQO e 73% para amônia, utilizando SLC de fluxo horizontal.

Procedimento Metodológico

O volume dos leitos em cada cenário foi calculado utilizando os valores obtidos com a área superficial e a profundidade, em seguida calculou-se o TDH com a Equação 9 descrita no item 3.4.

$$TDH = \frac{V}{Q} = \frac{\alpha \cdot (LWH)}{Q} \quad (9)$$

4.4. Potencial de redução de consumo

Foi calculado o índice de redução (IR) de consumo de água potável nos dois cenários propostos em cada MR, podendo verificar a viabilidade de utilização de um SLC em residências unifamiliares do DF, para tratamento de águas residuárias, tendo como objetivo o reúso não potável, utilizando o consumo base total de água em cada edificação e analisando o consumo reduzido com base nos cenários propostos.

O IR (%) obtido foi calculado com base na Equação 17:

$$IR = \left(\frac{\text{Consumo Base} - \text{Consumo Reduzido}}{\text{Consumo Base}} \right) * 100 \quad (17)$$

O consumo base foi obtido considerando todo o consumo de água da edificação. O consumo reduzido foi obtido com a diminuição do consumo base pela demanda de água de reúso. Para calcular o real volume de água de reúso produzido pelo sistema utilizou-se a Equação 1 descrita no item 3.4.

$$Q_a - Q_e + P - ET = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

A vazão de entrada (Q_a) considerada é a oferta de águas residuárias e a vazão de saída (Q_e) é a demanda de água de reúso. As perdas por evapotranspiração consideradas no período seco foram de 38%, conforme sugere Siqueira (2014) que avaliou SLC em Goiânia-GO, cuja temperatura média do período seco e chuvoso são similares ao DF.

Procedimento Metodológico

Não se considerou aumento da vazão por precipitação no período chuvoso, pela contribuição ser insignificante, com base no estudo de Olijnyk, (2008).

5. RESULTADOS

5.1. Composição dos modelos representativos

As RAs do DF podem ser separadas por faixa de renda e agrupadas em modelos representativos. A fim de explorar a relação entre o consumo doméstico de água e a faixa de renda obtêm-se grupos com as mesmas características. A composição dos MRs deste estudo considerou cinco variáveis para essa composição: i) renda familiar; ii) tipologia residencial; iii) presença de área de jardim; iv) presença de fossa séptica ativa; e v) consumo *per capita* de água.

Ao mensurar a área construída e área verde de 930 edificações residenciais das 31 RAs do DF, verificou-se que apenas 19 RAs poderiam ser utilizadas nesta pesquisa, correspondente à 285 residências unifamiliares. As 12 RAs restantes não possuem casas como residências predominantes e não possuem área de jardim disponível para possível adaptação de um SLC. A Tabela 10 apresenta a divisão das RAs por MR contendo informações referente à renda e o consumo *per capita* de água.

Tabela 10: Informações socioeconômicas das RAs organizadas por MR

RAs		Renda domiciliar média (R\$)	Consumo de água <i>per capita</i> (l/hab/dia)
MR1	Lago Sul	R\$21.695,66	423
	Park Way	R\$15.671,92	248
	Jardim Botânico	R\$11.873,82	208
	Lago Norte	R\$11.687,13	236
	Vicente Pires	R\$8.604,11	178
	Média	R\$13.062,04	230
MR2	Guará	R\$7.415,25	148
	Sobradinho II	R\$5.800,24	149
	Taguatinga	R\$5.736,83	154
	Sobradinho	R\$5.675,96	156
	Riacho Fundo	R\$4.868,09	142
	Gama	R\$4.541,79	155
	Candangolândia	R\$4.478,05	146
	Samambaia	R\$3.465,87	132
	Média	R\$5.164,59	169

Continua...

Resultados

Continuação Tabela 10

RA's	Renda domiciliar média (R\$)	Consumo de água per capita (l/hab/dia)
MR3	Santa Maria	R\$3.267,50
	Riacho Fundo II	R\$3.119,76
	Ceilândia	R\$3.073,62
	Recanto das Emas	R\$2.899,28
	Itapoã	R\$2.551,29
	Estrutural	R\$1.972,99
	Média	R\$2.729,24

Fonte: PDAD (2016); CAESB – Banco de dados 2016.

A Tabela 11 apresenta o número de edificações residenciais unifamiliares de cada RA e suas respectivas médias das áreas construídas e áreas de jardim, além da quantidade de fossas sépticas ativas de cada uma.

Tabela 11: Número de edificações residenciais unifamiliares, média das áreas construídas e de jardim e quantidade de fossas sépticas nas regiões administrativas do DF

RA's	Total domicílios	Nr Casas	% Casas	Área construída	Área verde	
MR1	Lago Sul	9.373	9.260	98,8%	721,85	486,84
	Park Way	5.914	5.783	97,8%	676,87	1280,28
	Jardim Botânico	8.027	7.899	98,4%	366,60	278,54
	Lago Norte	11.816	8.271	70,0%	657,39	649,01
	Vicente Pires	20.206	19.903	98,5%	321,26	412,62
MR2	Guará	46.437	21.015	45,3%	251,78	333,00
	Sobradinho II	29.042	26.825	92,4%	158,94	67,42
	Taguatinga	64.810	45.194	69,7%	264,20	156,21
	Sobradinho	19.143	14.440	75,4%	361,27	255,47
	Riacho Fundo	12.994	8.836	68,0%	143,43	60,58
	Gama	41.176	33.318	80,9%	211,37	123,33
	Candangolândia	4.801	4.186	87,2%	272,18	177,83
	Samambaia	69.647	62.185	89,3%	142,36	31,83
	Brazlândia	15.376	13.815	89,8%	212,44	
	Planaltina	54.596	51.598	94,5%	0,00	0,00

Continua...

Resultados

Continuação Tabela 11...						
RA's	Total domicílios	Nr Casas	% Casas	Área construída	Área verde	
MR3	Santa Maria	34.685	32.719	94,3%	169,08	165,90
	Riacho Fundo II	15.032	14.370	95,6%	157,37	52,55
	Ceilândia	139.395	131.546	94,4%	168,97	83,54
	Recanto das Emas	41.890	40.626	97,0%	116,56	61,38
	Paranoá	12.502	10.662	85,3%	127,13	
	Itapoã	17.583	17.372	98,8%	208,64	187,46
	Varjão	2.292	1.737	75,8%	121,23	63,28
	Estrutural	9.813	9.068	92,4%	94,55	48,17

Fonte: PDAD (2016); GOOGLE EARTH (2017).

As RAs pertencentes ao MR1 apresentaram renda familiar média de R\$ 13.061,04. São elas: Lago Sul, Park Way, Jardim Botânico, Lago Norte e Vicente Pires. O consumo *per capita* de água é superior a 200 L/hab/dia, maior que a média total do DF de 2016, que é 150 L/hab/dia (SNIS, 2016). A região do Lago Sul é a que apresenta o maior consumo de água por habitante. Esse modelo representativo também apresenta casas cuja área de jardim é superior a 200 m². Casas do Park Way apresentam área de jardim com média de 1280 m². Neste MR, a RA que mais utiliza fossas sépticas como sistema de tratamento de esgoto é Vicente Pires, seguida do Park Way.

O MR2 foi formado pelas RAs: Guará, Sobradinho II, Taguatinga, Sobradinho, Riacho Fundo, Gama, Candangolândia e Samambaia. Essas RAs apresentam renda familiar média superior a R\$ 5.000,00 e o consumo *per capita* de água de 169 L/hab/dia. A RA que possui maior predominância de casas é a Sobradinho II e, também, a que possui maior número de fossas sépticas ativas (56%). A média das áreas de jardins das RAs é superior a 120 m².

O MR3 foi composto por: Santa Maria, Riacho Fundo II, Ceilândia, Recanto das Emas, Itapoã e Estrutural. Apresentam renda média entre R\$ 1.972,00 e R\$ 3.267,50 e a média do consumo *per capita* de água é de 138 L/hab/dia. Esse MR é o que possui o menor índice de fossas sépticas ativas. A RA que possui o maior número de fossas sépticas é a Ceilândia com percentual de 12 %, contudo essa também é a RA com maior número de domicílios, então comparando com a quantidade total de domicílios do DF (886.394), esse percentual equivale a 1,83 %. Ainda em comparação ao total de domicílios do DF,

as outras duas RAs que mais utilizam fossa séptica com tratamento de esgoto são Sobradinho II e Vicente Pires.

5.2. Oferta e demanda de água para os cenários propostos

Após a composição dos MRs, os cenários de utilização da água de reúso foram propostos afim de dimensionar os SLC e estimar o potencial de redução de consumo de água.

O cenário 1 prevê a utilização de água não potável (ou água de reúso) em um sistema isolado da edificação, para irrigação e lavagem de pisos. O segundo cenário prevê a utilização da água de reúso em sistema integrado à edificação, cujos usos finais incluem irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária.

A oferta de águas residuárias que alimentaria os SLC para as residências em cada MR, obtida de Sant'Ana (2011) encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12: Oferta de águas residuárias em cada modelo representativo (L/dia)

	MR1	MR2	MR3
<i>Lavatório</i>	74	51	65
<i>Chuveiro</i>	145	164	140
<i>Ducha higiênica / bidê</i>	10	20	5
<i>Descarga sanitária</i>	169	133	94
<i>Torneira da cozinha</i>	140	145	112
<i>Máquina de lavar louça</i>	21	---	---
<i>Tanque</i>	92	70	52
<i>Máquina de lavar roupa</i>	138	123	87
Total	788,60	706,00	554,89

Fonte: Sant'Ana (2011)

A vazão de entrada de águas residuárias nos SLC foi calculada segundo Equação 8, descrita no item 3.4. Dessa forma obteve-se os valores em m³/dia para cada MR com base na oferta total (Tabela 12). A demanda por água de reúso é calculada com base nos cenários propostos. Nesse caso considerou-se o consumo das torneiras de jardins para o cenário 1 e para o cenário 2 o consumo das torneiras de jardim e descarga sanitária, em cada MR. O valor total da oferta e demanda em m³/dia, está na Tabela 13.

Tabela 13: Valor total da demanda de água de reúso em cada cenário por modelo representativo.

	<i>MR1</i>	<i>MR2</i>	<i>MR3</i>
<i>Oferta de águas residuárias (m³/dia)</i>			
	0,79	0,71	0,55
<i>Demanda de água de reúso (m³/dia)</i>			
Cenário 1	0,24	0,05	0,04
Cenário 2	0,40	0,19	0,14

Fonte: Adaptado de Sant'Ana, (2011)

5.3. Dimensionamento do sistema leito cultivado

Os primeiros parâmetros utilizados para o dimensionamento dos SLC foram o clima e a temperatura. Com base no clima tropical e na quantidade de meses chuvosos da região, definiu-se como sendo 6 meses para o período seco e 6 meses para o período chuvoso. Adotando a temperatura média de 21 °C para o período seco e 20 °C para o período chuvoso (INMET, 2018), pôde-se determinar a constante de temperatura para ambos os períodos (Tabela 14).

Tabela 14: Informações climáticas do DF utilizadas no dimensionamento

Região	Centro-oeste	
Clima	Tropical de altitude	
<i>Período</i>	<i>Seco</i>	<i>Chuvoso</i>
<i>Quantidade de meses</i>	6	6
<i>Temperatura média (°C)</i>	21	20
<i>Kt (Br)</i>	1,346	1,276

A remoção de poluentes ocorre por um processo chamado de convecção e difusão do oxigênio, descrito por meio de um modelo cinético de primeira ordem. Por meio desse dimensionamento espera-se que o SLC remova 42% de DBO₅ no primeiro leito e 87% no segundo leito. Os resultados dessa remoção, a serem utilizados no cálculo da área superficial, tanto para o período seco, quanto para o período chuvoso estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15: Critérios de qualidade

	DBO ₅ inicial (mg/L)	Taxa remoção
<i>DBO₅ entrada na Fossa séptica</i>	730,00	42%
<i>DBO₅ entrada no Leito fluxo vertical</i>	423,40	43%
<i>DBO₅ entrada no Leito fluxo horizontal</i>	241,33	87%

Por meio dos cálculos realizados, percebeu-se que o parâmetro que interfere diretamente no tamanho da área superficial do sistema é a concentração de DBO₅, logo quanto maior a concentração de DBO para remover, maior área será exigida para o SLC (Tabela 16). Com base nisso observa-se que como o cenário 2 exige uma qualidade mais rigorosa, as áreas superficiais exigidas são maiores. As residências unifamiliares do MR1, por possuírem um consumo mais elevado, exigem maior área superficial do sistema de tratamento. Corroborando com esta informação, observamos através de medições de áreas de jardim das residências, que há uma maior área superficial disponível.

Tabela 16: Dimensões calculada do SLC por cenário em cada modelo representativo

Dimensões calculadas do SLC	Cenário 1			Cenário 2		
	MR1	MR2	MR3	MR1	MR2	MR3
Vazão de entrada (Q - m ³ /dia) - (Sant'Ana 2011)	0,79	0,71	0,55	0,79	0,71	0,55
Declividade	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Profundidade (m)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Área da seção transversal (Ac - m ²) Brasil	0,25	0,23	0,18	0,25	0,23	0,18
Área superficial seco (m ²) kt Br	4,41	3,94	3,10	4,41	3,94	3,10
Comprimento (W - m)	0,32	0,28	0,22	0,32	0,28	0,22
Largura (L - m)	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90	13,90
Vol. de substrato em periodo seco (m ³)	1,55	1,39	1,09	1,55	1,39	1,09
TDH seco (dias)	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
Área superficial chuvoso (m ²) kt Br	4,65	4,16	3,27	5,36	4,80	3,77
Comprimento (W - m)	0,32	0,28	0,22	0,32	0,28	0,22
Largura (L - m)	14,67	14,67	14,67	16,92	16,92	16,92
Volume tanque (m ³)	3,72	3,33	2,62	4,29	3,84	3,02
Vol. de substrato em período chuvoso (m ³)	1,64	1,47	1,15	1,89	1,69	1,33
TDH chuvoso (dias)	2,08	2,08	2,08	2,39	2,39	2,39

Um SLC para realizar um tratamento eficiente, foi dimensionado com base em estudos prévios. As áreas superficiais para o tratamento no período chuvoso serviram de base para a definição da real área a ser empregada no SLC (Tabela 17). A maior área superficial total estabelecida não superou a 10,00 m² total, chegando a um máximo de 2,9333333 m²/pessoa e mínimo de 1,44 m²/pessoa.

Resultados

Tabela 17: Dimensões estabelecidas para SLC em cada cenário para cada modelo representativo

	Cenário 1			Cenário 2		
	MR1	MR2	MR3	MR1	MR2	MR3
<i>Área estabelecida do leito de fluxo vertical (m²)</i>	4,80	4,20	3,45	5,60	5,00	4,00
<i>Área estabelecida do leito de fluxo horizontal (m²)</i>	4,00	3,30	2,70	4,40	4,00	3,20
<i>Área total do SLC (m²)</i>	8,80	7,50	6,15	10,00	9,00	7,20
<i>Área (m²/pessoa)</i>	2,93	2,50	1,54	2,00	1,80	1,44

Ao estabelecer as dimensões definiu-se que somente 2 leitos seriam necessários para todo o sistema, logo um seria de fluxo horizontal (FH) e em sequência o de fluxo vertical (FV).

A Figura 9 apresenta um desenho esquemático de uma residência unifamiliar do MR1 com um SLC instalado. Sezerino et al. (2015) afirmam que SLC com relação de 0,5 a 5 m²/pessoa promovem remoção eficiente de carga orgânica. Júnior et al., (2016) obtiveram 70% de eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea, utilizando uma área de 0,47 m²/habitante para SLC de fluxo horizontal. Kadlec et al. (2006) recomendam 1 m²/hab. apenas para remoção de DBO e 2 m²/hab se for necessária a nitrificação.

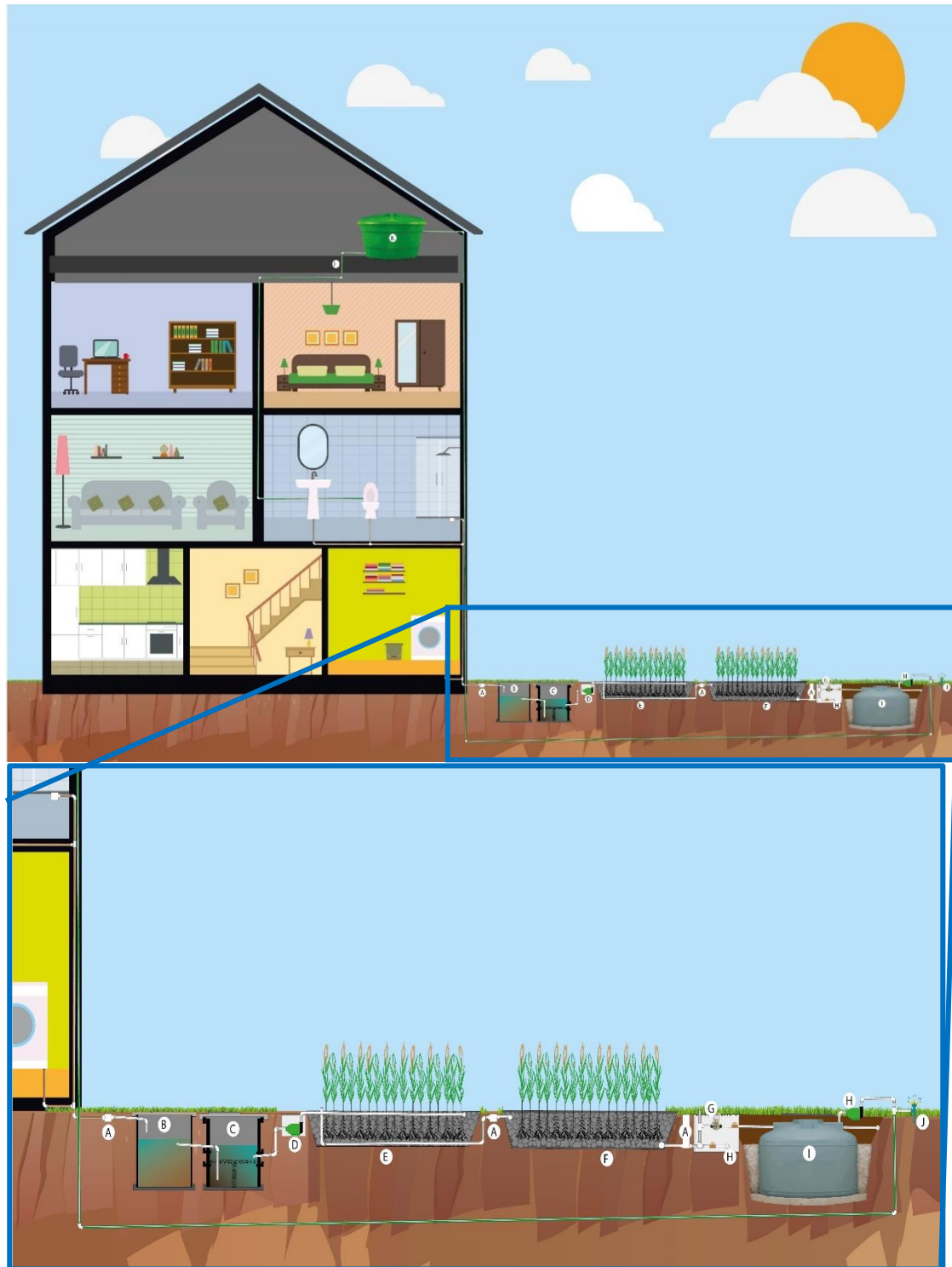
As macrófitas que ocorrem naturalmente na região do DF e possuem elevado potencial de redução de poluentes (WU ET AL., 2015), são: *Cyperus sp*, *Elocharis sp*, *Typha domingensis*, *Canna indica* e *Heliconia hirsuta*. As características dessas espécies segundo distribuição geográfica estão organizadas na Tabela 18:

Tabela 18: Características das macrófitas emergentes que tiveram ocorrência confirmada no DF

Espécie	Endemismo	Forma de Vida	Meio de suporte	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, Terrícola	Rupícola, 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

Figura 9: Desenho esquemático mostrando uma residência de renda alta com o sistema instalado à edificação



Legenda: a) Caixa de inspeção; b) Fossa séptica; c) Filtro; d) Caixa de bomba hidráulica; e) SLC fluxo vertical; f) SLC fluxo horizontal; g) Bomba de cloro; h) Descarte esgoto; i) Reservatório de coleta de água de reúso; h) bomba hidráulica; j) irrigação.

5.4. Índice de redução de consumo de água

Como todo sistema de tratamento o SLC possui vantagens e desvantagens. Apesar do baixo custo de implantação, operação, manutenção e energético, eles perdem volume de água por evapotranspiração, contudo apesar das perdas em todas as residências unifamiliares consideradas, o SLC é considerado viável nos dois cenários e todos os MRs. O MR1 apresentou a maior economia, com redução de 163,20 m³/ano no cenário 2 e 86,14 m³/ano no cenário 1.

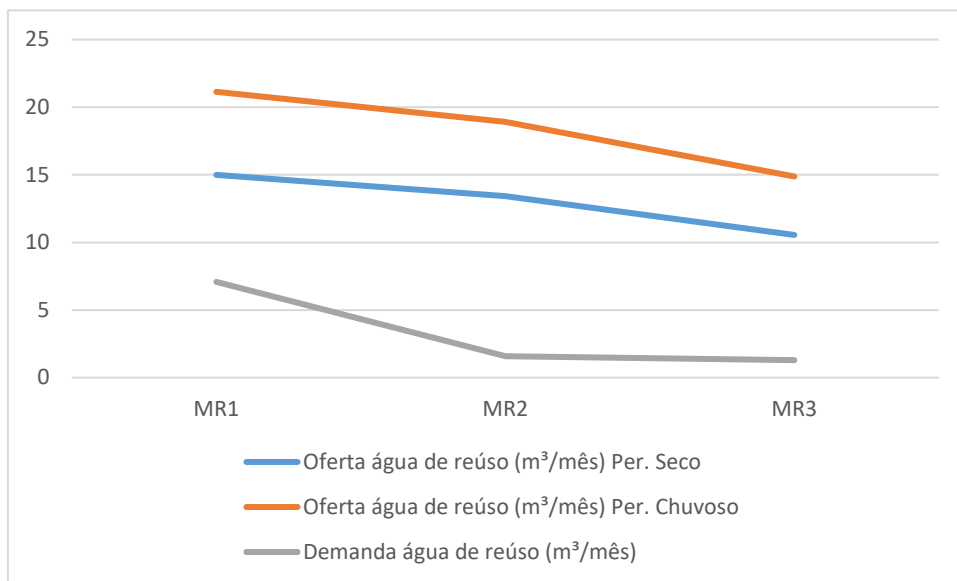
A Tabela 19 apresenta os índices de redução de consumo de todos os MRs em cada cenário. O maior índice apresentado é no MR1 para o cenário 2, com 28% de redução do consumo. E o menor índice de redução foi verificado no cenário 1, para os MRs 2 e 3, apresentando apenas 7% de redução do consumo.

Tabela 19: Análise do índice de redução dos Mrs em cada cenário analisado

	MR1	MR2	MR3
Cenário 1			
Produção anual água de reúso (m ³)	216,82	194,11	152,56
Economia de água (m ³ /ano)	86,14	19,35	15,70
Demanda total água (m ³ /ano)	531,94	281,78	231,69
Índice de redução	16%	7%	7%
Cenário 2			
Produção anual água de reúso (m ³)	220,47	197,38	155,13
Economia de água (m ³ /ano)	147,71	67,89	50,17
Demanda total água (m ³ /ano)	531,94	281,78	231,69
Índice de redução	28%	24%	22%

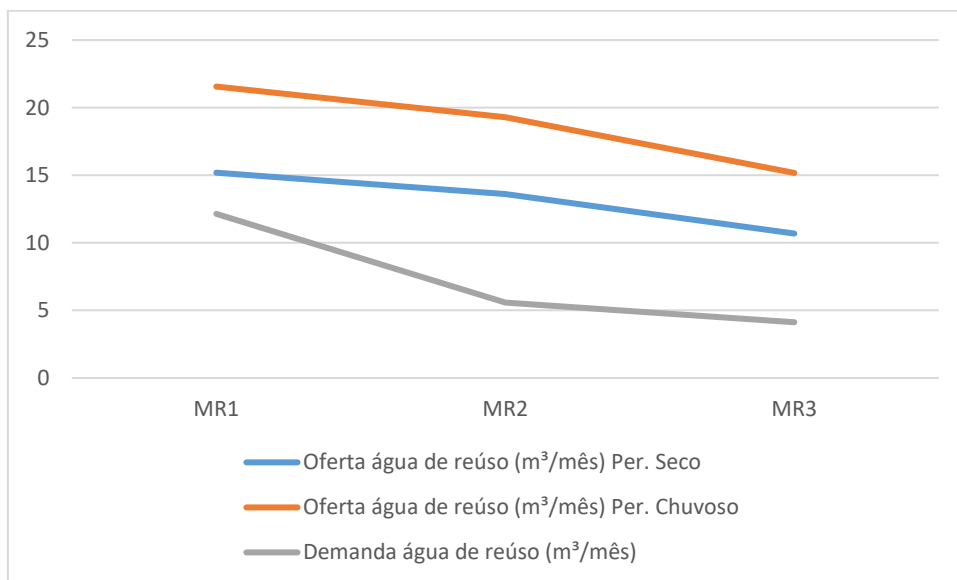
As simulações de tratamento de águas residuárias com SLC mostraram atender toda a demanda em todos os cenários, mesmo considerando a perda de 38% em 6 meses do período seco. O Gráfico 6 mostra que no cenário 1 a produção de água de reúso pelo SLC superou a demanda tanto no período seco, quanto no período chuvoso.

Gráfico 6: Volume de água de reúso produzido vs demanda de água de reúso no cenário 1



O Gráfico 7 mostra que no cenário 2, a produção de água de reúso também atendeu toda a demanda em todos os períodos.

Gráfico 7: Volume de água de reúso produzido vs demanda de água de reúso no cenário 2

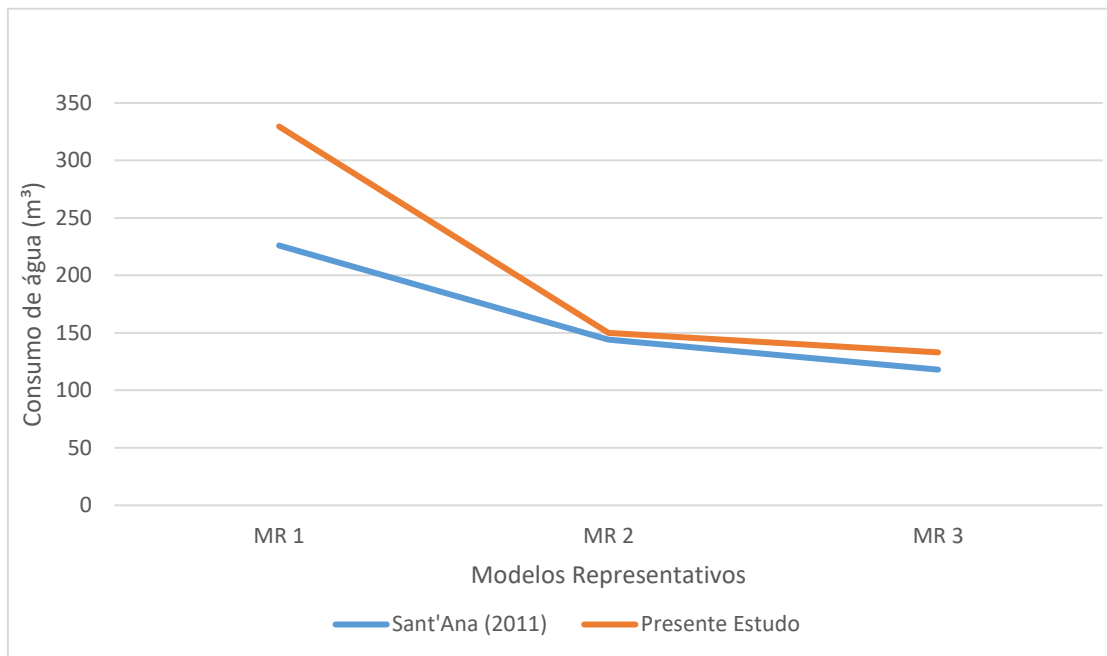


Ao comparar os MRs de Sant’Ana (2011) com os MRs compostos a partir dos dados coletados, foi percebido que ambos os modelos tiveram a mesma tendência quanto ao consumo *per capita* de água em relação à faixa de renda. Em ambos os estudos o consumo

Resultados

foi parecido, como mostra o Gráfico 8, mostrando que os MRs apresentados são válidos para as análises realizadas.

Gráfico 8: Comparação entre consumo per capita de água de dois MRs compostos das residenciais unifamiliares do DF



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Essa pesquisa mostrou que é possível fazer o tratamento de águas residuárias por meio de SLC e utilizar a água de reúso para fins não potáveis.

O consumo excessivo de água pelas residências, faz com que haja uma exacerbação no tratamento e produção de água de reúso, entretanto, este excesso pode ser destinado para recarga de aquífero, sem prejuízo para o meio ambiente (HESPANHOL, 2002; HIRATA e CONICELLI, 2012; REBOUÇAS, 2003).

Em todas as MRs o SLC apresentou-se viável frente à vazão de oferta de águas residuárias. Não obstante, essa tecnologia pode ser instalada em todas as RAs tendo como objetivo o reúso não potável, sendo uma prática sustentável em planos de conservação de água.

O reúso não potável estudado nos cenários possui grande potencial para aplicação em edificações residenciais pela facilidade de execução. Isso se deu porque não exige níveis elevados de tratamento, uma vez que a qualidade da água a ser alcançada para lavagem de pisos, descarga sanitária e irrigação é inferior e menos rigorosa do que a qualidade da água necessária para a lavagem de roupas, por exemplo.

Ao instalar um SLC em sua residência, os moradores serão produtores de água não potável e deixarão de sobrecarregar os reservatórios públicos de água, demandando menos água para abastecimento. O sistema é eficiente para produção de água não potável tanto em sistemas integrados, quanto isolados, mostrando ser uma tecnologia promissora.

Essa pesquisa mostrou que o SLC, utilizado para tratamento secundário de águas residuárias, é uma tecnologia possível de ser aplicada para instalação em residências unifamiliares de 19 RAs do DF, conseguindo atender a toda a demanda para água de reúso não potável.

6.1. Recomendações

Esta pesquisa pode ser continuada com a complementação de outras análises. Dentre elas citam-se as análises econômicas onde essa tecnologia pode ser comparada com outras

Conclusões e Recomendações

comercialmente disponíveis de tratamento similares, verificando a viabilidade econômica.

Como o dimensionamento do sistema depende da concentração de poluentes presente no efluente e esses valores são dependentes dos hábitos e costumes dos moradores, estudos posteriores serão mais precisos se realizarem uma análise quali-quantitativa dos parâmetros.

Devido os inúmeros estudos apresentarem formas diferentes de dimensionamento, não possuir dados precisos da concentração de DBO do esgoto doméstico foi uma limitação desta pesquisa. Essa concentração deve ser analisada em laboratório de cada residência que for feito o dimensionamento, uma vez que, hábitos e costumes interferem diretamente na concentração de poluentes presentes nos esgotos.

Ressalta-se a importância de projetos de reúso de água, serem sempre desenvolvidos por profissionais habilitados, que registrem nos órgãos competentes e emitam ART de projeto e operação. Projetos de dimensionamento dessa tecnologia devem contemplar a manutenção e operação, pois, por possuir vegetais plantados, a regularidade de podas garante o aumento da eficiência no tratamento, uma vez que durante o crescimento as plantas necessitam de mais nutrientes, logo, retiram maior quantidade de poluentes do efluente que está sendo tratado.

O monitoramento periódico do efluente tratado garante a continuidade da qualidade do tratamento, possibilitando corrigir os problemas e evitar a diminuição da qualidade de água.

Por fim, enfatiza-se que, por haver produção de água para abastecimento, o monitoramento da qualidade dessa água de reúso é essencial e deve ocorrer com frequência a ser definida com base em resoluções pertinentes. Recomenda-se que todo projeto de instalação de um SLC seja complementado com análises de viabilidade técnica e econômica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 13.969**. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

ADASA. **Situação dos reservatórios faz Adasa orientar: escassez requer uso racional**. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/596-situacao-dos-reservatorios-faz-adasa-orientar-escassez-requer-uso-racional>>. Acesso em: 1 abr. 2018.

ALMEIDA, G. S. **Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reúso: estudo em feira de Santana, Bahia**. Dissertação (Mestrado). Gerenciamento e Tecnologias ambientais no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2007. 226 p.

ALMEIDA, R. DE A.; PITALUGA, D. P. DA S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, v. 16, n. 2010, p. 73–81, 2010.

ANA. **Atlas Brasil - abastecimento urbano de água: Panorama Nacional**. Brasília: Engecorps/ Cobrape, v 01, p. 72, 2010a.

_____. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: Resultados por Estado**. Brasília: Engecorps/ Cobrape v. 2, p. 92, 2010b.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno**. Agência Nacional de Águas - Brasília-DF, 2017. 169 p.

ANA; FIESP; SINDUSON-SP. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151p.

ANJOS, J. Â. S. A. DOS. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (*wetland*) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, 2003. 328 p.

Referências Bibliográficas

APHA; AWWA; WEF - American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed, p. 541, 1999.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 10–11, p. 1–14, 1996.

AVELAR, J. C. **Avaliação da escória de aciaria (Id) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluente de reator UASB compartimentado**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 153 p.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 165 p.

IBGE. **Síntese de Indicadores Sociais: Uma Análise das Condições de Vida da População Brasileira – 2010**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. n. 27. Rio de Janeiro, 2010.

BEGOSSO, L. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de água cinza**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009. 153 p.

BOVE, C. . **Typhaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB76464>>. Acesso em: 4 dez. 2015.

BRASIL. **Censo 2010: população do Brasil cresce quase 20 vezes desde 1872**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2011/04/censo-2010-populacao-do-brasil-cresce-quase-20-vezes-desde-1872>>. Acesso em: 21 abril 2017.

_____. **RESOLUÇÃO Nº. 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005**. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. Brasília, 2005.

Referências Bibliográficas

_____. **Instrumentos de gestão das águas**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015. 312 p.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12/2011**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011.

BRASIL, M. S. et al. **Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. Suplemento, p. 133–137, 2005.

BRITISH COLUMBIA. **Guidance for Using Non - Potable Ambient Water for Domestic Purposes in British Columbia** Drinking Water Protection Act to, , 2016.

BRINEY, A. **Biogeography an overview and history of the study of biogeography**. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/what-is-biogeography-1435311>>. Acesso em: 1 janeiro 2017.

BRIX, H. How “green” are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? **Water Science and Technology**. v. 40, nº 3. p. 45-50, 1999.

BRIX, H.; JOHANSEN, N. H. Treatment of domestic sewage in a two stage constructed wetland-design principles. **Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands**, p. 155–163, 1999.

BRIX, H.; SCHIERUP, H.-H. Sewage treatment in constructed reed beds: Danish experiences. **Water Science e Technology**, v. 21, Brighton, p. 1665-1668, 1989.

BRIX, HANS e ARIAS, CARLOS A. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. **Ecological Engineering**. Vol. 25, 2005.

BRIX, H.; SCHIERUP, H.-H.; ARIAS, C. A. Twenty years’ experience with constructed wetland systems in Denmark – what did we learn? **Water Science e Technology**, v. 56, n. 3, p. 63-68, 2007.

Referências Bibliográficas

CAESB. **Relatório de indicadores de desempenho da CAESB: resultados 2015**. Brasília: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016, 183 p.

_____. **Messageiros da água**. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/messageirosdaagua.html>>. Acesso em 20 março 2018.

CAMERON, K., MADRAMOOTOO, C., CROLLA, A. KINSLEY, C. Pollutant removal from municipal sewage lagoon effluents with a free-surface wetland. **Water Research**, v. 37, n. 12, p. 2803–2812, 2003.

CAMPBELL, C. S.; OGDEN, M. H. **Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape**. Canada: John Wiley e Sons, 1999.

CARVALHO, N. L., HENTZ, P., SILVA, J. M., BARCELLOS, A. L. **Reutilização de águas residuárias**. Revista Monografias Ambientais – REMOA. V. 14, N. 2 (2014): Março, p. 3164 - 3171

CHERNICHARO, C. A. DE L., DANIEL, L. A, SENS, M., FILHO, B. C. Pós-Tratamento de Efluentes Anaeróbios por Sistemas de Desinfecção. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - Rede de Pesquisas formada no âmbito do Edital 02 do Programa em Saneamento Básico (PROSAB)**, p. 1–66, 2000.

CHERNICHARO, C. A. D. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007.

CHILDREN, S. O. S. et al. Wastewater treatment using constructed wetlands Wastewater treatment using constructed wetlands Tirana , Albania. n. June, p. 1–7, 2012.

COLLAÇO, A. DE 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). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2001. 77 p.

Referências Bibliográficas

COSTA, R. H. P. G. Água matéria-prima primordial à vida. In: TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. (Eds.). **Reúso da Água**. São Paulo, BR: Blucher, 2007.

COTA, R. DA S. **Hidrodinâmica e desempenho de filtros verticais plantados e não plantado com alimentação em pulso, empregados no tratamento de esgoto sanitário bruto**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. 215 p.

COOPER, F. P.; JOB, G.D.; GREEN, M.B.; SHUTES, R.B.E. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. **WRc Publications**. Marlow, UK : Medmenham, 1996.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. **Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte**. *Amби-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

CRUZ, J. DE M.; SCHRÖDER, N. T. **Dimensionamento de um sistema wetland construído para tratamento de esgoto sanitário em uma empresa**. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. **Anais**. Porto Alegre, RS: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

CUNHA, V. D. DA. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. Engenharia Hidráulica. São Paulo, 2008. 106 p.

DEPARTMENT OF HEALTH. **Guidelines for the Non-potable** Uses of Recycled Water in Western Australia. n. August, p. 98, 2011.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 5, p. 25–32, 1999a.

DIXON, A. M.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Guidelines for Greywater Re-Use: Health Issues. **Water and Environment Journal**, v. 13, n. 5, p. 322–326, 1999b.

Referências Bibliográficas

DNIT. **Manual de drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006. 304p.

DORNELAS, F. L. **Wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 115p.

ENVIRONMENT AGENCY **Greywater for domestic users: an information guide**. Bristol: Environment Agency. 2011.

EPA. **A handbook of constructed wetlands: domestic wastewater**, v. 2, 1995. 34p.

_____. **Constructed Wetlands Handbooks: A Guide to Creating Wetlands for Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage and Stormwater in the Mid-Atlantic Region**, v. 01, 2003.

_____. **Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment**. Cincinnati, Ohio, 1988. 92p.

_____. **Guidelines for Water Reuse**. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 2004a. 478p.

_____. Chapter 6: **Funding Water Reuse Systems**. In: Guidelines for Water Reuse. US EPA. EPA625/R-04/108, 2004b.

_____. **Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000a. 166p.

_____. **Guiding principles for constructed treatment wetlands - Treatment Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat**. Washington, DC, 2000b.

ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 04, n. 1, p. 85–104, 2002.

Referências Bibliográficas

ESF. **Small-Scale Constructed Wetlands for Greywater and Total Domestic Wastewater Treatment Ecosan Training Course “Capacity Building for Ecological Sanitation” Ecosan Training Course.** Maharashtra, India, 2008.

ESTEVES, B. DOS S.; 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, v. 25, n. 2, 2013.

FILHO, F. J. C. M. **Aspectos Hidráulicos e Hidrológicos de um sistema combinado de evapotranspiração e wetlands.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2013. 64 p.

GALLINA, P. R.; SCHMITZ, M.; ALMEIDA, D. R. de; SECCHI, F. J.; KONRAD, O. **Evapotranspiração através do sistema wetland construído: Estudo de caso na Vinícola Gheller de Guaporé – RS.** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente Bento Gonçalves – RS, Brasil, 2012.

GALVÃO, A.; MATOS, J. **A contribuição da evapotranspiração no tratamento de águas residuais através de leitos de macrófitas.** Revista Recursos Hídricos, v. 33, p. 53–58, 2012.

GHISI, E. **Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil.** Building and Environment, v. 41, p. 1544–1550, 2006.

GOMES, L. P. **Resíduos sólidos: Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras.** PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, p. 360, 2009.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de Efluentes Sanitários, Remoção de Organismo Patógenos e Substâncias Nocivas-Aplicações para fins produtivos com agricultura, aqüicultura e hidroponia.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003

_____. **Uso racional da Água em Edificações.** PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. v. 1, n. 1, p. 352, 2006.

Referências Bibliográficas

GUO, J.; ZHANG, L.; CHEN, W.; MA, F.; LIU, H.; TIAN, Y. **The regulation and control strategies of a sequencing batch reactor for simultaneous nitrification and denitrification at different temperatures.** *Bioresource Technology*, v. 133, p. 59-67, 2013.

CHAGAS, RENATA C., MATOS, ANTONIO T. DE, CECON, PAULO R., MONACO, PAOLA A. V. LO, FRANÇA, LUIS G. F. **Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.15, n.11, p.1186–1192, 2011.

GOOGLE EARTH. **Google Earth.** Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-15.7759668,47.79764365,1099.98544403a,178970.78349689d,35y,0h,0t,0r/data=CIMaURJLCiUweDkzNWEzYWYyMTA4ODA0ZDc6MHgzZWJhMjM5MGM5MTQ1MDU2Gdnxutl6mS_AIXtpigCn7kfAKhBEaXN0cml0byBGZWRIcmFsGAIgAQ>. Acesso em: 13 maio. 2017.

GREEN, M. B.; UPTON, J. **Constructed reed beds: Appropriate technology for small communities.** *Water Science and Technology*, v. 32, n. 3, p. 339–348, 1995.

GRIGGS, J.; GRANT, N. **Reed beds: good building and maintenance.** *BRE*, v. 2, p. 1–8, 2000.

HAFNER, A. V. **Conservação e Reúso de Água em Edificações – experiências nacionais e internacionais** [Rio de Janeiro] 2007 XVI, 161 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2007) Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

HEERS, M. **Constructed wetlands under different geographic conditions: Evaluation of the suitability and criteria for the choice of plants including productive species.** Master (Thesis). Hamburg University of Applied Sciences. Faculty of Life Sciences, 2006. 175 p.

HERBST, M.; KAPPEN, L. **The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions.** *Aquatic Botany*, v. 63, n. 2, p. 113–125, 1999.

Referências Bibliográficas

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

HIDAKA, T.; YAMADA, H.; KAWAMURA, M.; TSUNO, H. **Effect of dissolved oxygen conditions on nitrogen removal in continuously fed intermittent-aeration process with two tanks.** Water Science and Technology, v. 45, n. 12, p. 181-188, 2002.

HIRATA, R.; CONICELLI, B. P. **Groundwater resources in Brazil: A review of possible impacts caused by climate change.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 84, n. 2, p. 297–312, 2012.

INMETRO. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmetgov.br/portal/>> Acesso em: 29 de maio de 2017.

JUNIOR, F. H. G.; DA SILVA, J. B.; DASSAN, K. R. F. DE O.; IDE, C. N. **Análise da concepção de wetlands construídos como alternativa de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.** Wetland Brasil, v. 4, p. 6, 2016.

JÚNIOR, É. D. D. S. **Tratamento do lodo de resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás - Escola de engenharia civil, Goiânia - GO, 2013.

JÚNIOR, É. D. DA S.; ALMEIDA, R. DE A.; SILVA, Á. R. DA; RODRIGUES, A. DE M.; SIQUEIRA, E. R. **Tratamento de resíduos sépticos em wetlands construídos de fluxo vertical.** In: 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Reboças, SC, 2015a.

JÚNIOR, É. D. DA S. ALMEIDA, R. DE A.; SILVA, Á. R. DA; RODRIGUES, A. DE M.; SIQUEIRA, E. R. **Construídos de fluxo vertical.** In: 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Reboças, SC, 2015b.

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 Publishing , 2006.

Referências Bibliográficas

KLETECKE, R. M. **Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*.** Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 338 p.

KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. **Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil.** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. 43 p.

LACDPH. Los Angeles County Department of Public Health. **Guidelines for Alternate Water Sources: Indoor and Outdoor Non-Potable Uses.** Los Angeles. February, 2016. 24 p.

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. 102p.

LI, J. et al. **Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands.** *Bioresource Technology*, v. 99, p. 4990–4996, 2008.

MALTAIS-LANDRY, G. et al. **Nitrogen transformations and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands.** *Water Research*, v. 43, n. 2, p. 535–545, 2009.

MANJATE, E. S. et al. **First stage of the French vertical flow constructed wetland system: experiments with the reduction of surface area and number of units.** *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, p. 1–7, 2014.

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

Referências Bibliográficas

MAZOLLA, M.; ROSTON, D M. e VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado.** Rev. Bras. Eng. Agríc. e Amb., v.9, n.2, p.276-283, 2005. Campina Grande, PB.

MELO-JÚNIOR, A. da S. **Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha* sp.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP, 2003. 295p.

MENA, J, RODRIGUEZ, L., NUÑEZ, J., FERNÁNDEZ, F J. **Design of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetlands treating industrial wastewater.** WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 111. p. 555 - 564, 2008.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** New York: Mc Graw Hill, 2003. 1219p.

_____. **Water Reuse: issues, technologies, and applications.** 1. ed. USA: Mc Graw Hill, 2007.

MEYER, D.; CHAZARENC, F.; CLAVEAU-MALLET, D.; DITTMER, U.; FORQUET, N. MOLLE, P. ; MORVANNOU, A.; PALFY, T.; PETITJEAN, A.; RIZZO, A.; SAMSÓ C. R.; SCHOLZ, M.; SORIC, A.; LANGERGRABER, G. **Modelling constructed wetlands: Scopes and aims - a comparative review.** Ecological Engineering, v. 80, 2015.

MOLLE, P; LIENARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G. IWEMA, A. **How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems.** Water Science e Technology, v. 51, n. 9, p. 11–21, 2005.

MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos.** Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 107p.

Referências Bibliográficas

- MORUZZI, R. B. **Reúso De Água No Contexto Da Gestão De Recursos Hídricos: Impacto, Tecnologias e Desafios**. OLAM - Ciência e Tecnologia – Rio Claro / SP, Brasil – Ano VIII, v. 8, n. ISSN 1982-7784, p. 271–294, 2008.
- MORVANNOU, A.; CHOUBERT, J. M.; VANCLOOSTER, M.; MOLLE, P. **Modeling nitrogen removal in a vertical flow constructed wetland treating directly domestic wastewater**. *Ecological Engineering*, v. 70, 2014.
- MUGISHA, P. et al. **Wetland vegetation and nutrient retention in Nakivubo and Kirinya wetlands in the Lake Victoria basin of Uganda**. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 32, n. 15–18, p. 1359–1365, 2007.
- MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K.; SEXTON, N. **Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse - A case study**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 11, p. 945–952, 2011.
- NOGUEIRA, S. F. **Balanco de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto**. **Balanco de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, 2003. 139p.
- NSW. **Greywater reuse in sewerred, single household residential premises**. Department of Water and Energy. Sydney: New South Wales Government, 2000.
- O'TOOLE, J.; SINCLAIR, M. MALAWARAARACHCHI, M.; HAMILTON, A.; BARKER, S. F.; LEDER, K. **Microbial quality assessment of household greywater**. *Water Research*, v. 46, n. 13, p. 4301–4313, 2012.
- OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 112p.

Referências Bibliográficas

OTTERPOHL, R. **Black, brown, yellow, grey - The new colours of sanitation.** Water, v. 21, p. 37–41, 2001.

PAING, J. et al. **Effect of climate , wastewater composition , loading rates , system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands : A survey based on 169 full scale systems.** Ecological Engineering, v. 80, p. 46–52, 2015.

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.

PDAD. 2016. **Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF 2015.** Subsecretaria de Estatística e Informações. Brasília: SEPLAN. Brasília-DF, 2016.

PELLISSARI, C. SEZERINO, P. H.; DECEZARO, S. T.; WOLFF, D. B.; BENTO, A. P.; JUNIOR, O. DE C.; PHILIPPI, L. S. **Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil.** Ecological Engineering, v. 73, p. 307–310, 2014.

PERSSON, J.; WONG, T. H. F.; SOMES, N. L. G. **Hydraulics Efficiency of Constructed Wetlands and Ponds.** WATER SCIENCE e TECHNOLOGY, v. 40, n. 3, p. 291–300, 1999.

PLATZER, C. **Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification.** In: 6th Int. Conf. On Wetland Systems for Water Pollution Control. Anais. São Pedro, Brazil: 1998

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; MIGLIO, R. M. **Experiências de longo prazo com dimensionamento e operação de Wetlands de fluxo vertical na América do Sul.** IWA Specialist Conference on wetland systems for water pollution control. Anais. Gdansk, Poland: IWA Publishing, 2016

PLATZER, C.; SENF, C. CARDIA, W. HOFFMANN, H. COSTA, H. R. C. **Dimensionamento de wetland de fluxo vertical com nitrificação – adaptação de**

Referências Bibliográficas

modelo europeu para as condições climáticas do Brasil. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...Belo Horizonte: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007

PIPELINE. **Decentralized Wastewater Treatment Systems.** National Small Flows Clearinghouse at West Virginia University, V.11, nº 4, 2000.

PLATZER, C.,HOFFMANN, H. **Technology review on Subsurface Flow Constructed Wetlands.** ECOSAN., 2010.

POLI, D. M. **Leitos cultivados utilizando crostas de eletrofusão da bauxita.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, UNICAMP, 2012. 164 p.

POZZEBON, P. H. B. **Viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento das águas de chuva e cinzas para consumo não potável na cidade de Santa Maria/RS.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013. 193p.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E; TAVARES, F. COELHO, G. M. **Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale.** Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 960–965, 2011.

RACHMADI, A. T. et al. **Science of the Total Environment Enteric and indicator virus removal by surface flow wetlands.** Science of the Total Environment, v. 542, p. 976–982, 2016.

RANDOLPH, B.; TROY, P. **Attitudes to conservation and water consumption.** Environmental Science and Policy, v. 11, n. 5, p. 441–455, 2008.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

REBOUÇAS, A. DA C. **Água no Brasil : abundância , desperdício e escassez.** Bahia Análise e Dados, v. 13, n. Especial, p. 341–345, 2003.

Referências Bibliográficas

RICARDO FRANCI GONÇALVES, THAIS CARDINALI REBOUÇAS, DAPHNER OTÁROLA MIRAVAL, GABRIELA BIANCHI, BIANCA BARCELOS BAZZARELLA. **Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação.** In. AIDIS; Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. Montevideo, AIDIS, 2006. p.1-10, ilus, tab.

RODRIGUES, R. dos S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil.** Dissertação (Mestrado) EPUSP-PHD - São Paulo, 2005. 177 p.

SABESP. **Crise hídrica, estratégia e soluções da Sabesp para a Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo, BRSABESP, , 2015. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf>

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. **Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – parte 2 : viabilidade técnica e econômica.** Paranoá, v. 10, p. 85–93, 2013a.

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. **Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – parte 1 : reduções no consumo de água.** v. Água e Soc, n. 10, p. 77–84, 2013b.

SANT'ANA, D. R. **A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings.** Thesis. Oxford Brookes University, 2011.

_____. **Uso Racional da Água.** In: **Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanista.** 2. ed. Brasília-DF: Revista e Ampliada / ETB-UnB, 2015. p. 820.

SANT'ANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P.; ALVARES, K. C. F. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações: Princípios de políticas**

Referências Bibliográficas

tarifárias baseados em uma análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica. ADASA, v. 1, 2017.

SANTOS, R. M. F. DOS. **Pós-tratamento de esgoto: sistema sequencial de leitos cultivados (*constructed wetlands*) vertical e horizontal pós-tratamento de esgoto.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2009. 180p.

SEYRANIAN, V.; SINATRA, G. M.; POLIKOFF, M. S. **Comparing communication strategies for reducing residential water consumption.** Journal of Environmental Psychology, v. 41, p. 81–90, 2015.

SEZERINO, P. H., BENTO, A. P., LOBO, M. A., LAPOLI, F. R., PHILIPPI, L. S.. **Descentralizado De Esgotos : Uso Combinado De Lagoas De Estabilização E Filtros Plantados Com Macrófitas.** In.: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1–10, 2005.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 171p.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 1, p. 151–158, 2015.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Filtro plantado com macrófitas (*wetlands*) como tratamento de esgotos em unidades residenciais: critérios para dimensionamento.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

Referências Bibliográficas

- SHEORAN, A. S.; SHEORAN, V. **Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review.** Minerals Engineering, v. 19, n. 2, p. 105–116, 2006.
- SILVA, C. S. **“Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos.** Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 2007. 205 p.
- SILVEIRA, D. D.; BELLI FILHO, P.; PHILIPPI, L. S.; KIM, B.; MOLLE, P. **Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage French constructed wetland treating raw domestic wastewater.** Ecological Engineering, v. 77, p. 257–264, 2015.
- SIMONS, G. W. H. (GIJS); BASTIAANSEN, W. G. M. (WIM); IMMERZEEL, W. W. (WALTER). **Water reuse in river basins with multiple users: A literature review.** Journal of Hydrology, v. 522, p. 558–571, 2015.
- SINCLAIR, M. et al. **Measuring water ingestion from spray exposures.** Water Research, v. 99, p. 1–6, 2016.
- SIQUEIRA, E. R. **Tratamento dos Resíduos de Fossas e Tanques Sépticos em um Sistema de Alagado Construído.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás - Escola de engenharia civil, Goiânia - GO, 2014, p. 82.
- SOUSA, P. R.; OLIVEIRA, R. M. S. **Proposta de Dimensionamento de Leitões Cultivados (Wetlands) para tratamento de Esgoto Sanitário** Engenharia ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4., p. 242 – 256, out/dez. 2011.
- SOUSA, A. F. S. DE. **Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – análise de perigos e pontos críticos de controle estudo de caso residencial Valville I.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. 176 p.

Referências Bibliográficas

SOUSA, L. M. I. DE. **Avaliação da macrófita *Typha domingensis* pers. no pós-tratamento de efluentes do campus da UFMS e do hospital universitário, em banhados construídos de fluxo subsuperficial.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2003. 87p.

SOUZA, A. L. DE. **Estudo experimental e numérico do processo de remoção de poluentes nos leitos cultivados.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2003. 141p.

VON SPERLING, M. Eutrofização dos corpos d'água. In: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, MG: DESA-UFMG, 1996a.

_____. **Introducao a qualidade das aguas e ao tratamento.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Belo Horizonte, MG: DESA-UFMG, 1996b.

_____. **Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal.** London, UK: IWA Publishing, 2007b.

_____. **Basic Principles of Wastewater Treatment.** 2. ed. London, UK: IWA Publishing, 2007b.

VON SPERLING, M. et al. Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Lodos Ativados. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - Rede de Pesquisas formada no âmbito do Edital 02 do Programa em Saneamento Básico (PROSAB)**, p. 1–40, 2000.

VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C. A. DE L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions.** 1. ed. London, UK: IWA Publishing, 2005. v. 2

VON SPERLING, M., PAOLI, A. C. DE. **First-order COD decay coefficients associated with different hydraulic models applied to planted and unplanted horizontal subsurface-flow constructed wetlands.** *Ecological Engineering* 57, v. 57, 2013.

Referências Bibliográficas

SALATI, E. and RODRIGUES, N.S. **De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé.** Revista Brasileira da Tecnologia, 13 (3): 37-42, 1982.

SALATI, E. **Método fitopedológico de despoluição de águas.** Fundação Salim Farah Maluf, 1984

SPINKS, A. T; DUNSTAN, R. H.; COOMBES, P.; KUCZERA, G. **Balancing Microbial Quality and Corrosion Potential of Instantaneous, Solar, and Storage Hotwater Systems Supplied by Harvested Rainwater in the Urban Environment.** In: XII International Rainwater Catchment Systems Conference 2005. New Deli, India. p. 1–8, 2005.

STEINMANN, C. R.; WEINHART, S.; MELZER, A. **A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment.** Water Research, v. 37, n. 9, p. 2035–2042, 2003.

STOTTMEISTER, U.; WIEßNER, A.; KUSCHK, P.; KAPPELMEYER, U.; KÄSTNER, M.; BEDERSKI, O.; MÜLLER, R.A.; MOORMANN, H., U. **Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment.** Biotechnology Advances, v. 22, n. 1–2, p. 93–117, 2003.

SUNTTI, C.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. **Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico.** Eng Sanit Ambient., v. 16, p. 63–72, 2011.

TARUTIS, W. J.; STARK, L. R.; WILLIAMS, F. M. **Sizing and performance estimation of coal mine drainage wetlands.** Ecological Engineering, v. 12, n. 3–4, p. 353–372, 1999.

TRINDADE, C. R. T.; PEREIRA, S. A.; ALVERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. **Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do Campus Carreiros – FURG.** Cadernos de Ecologia Aquática, Rio Grande – RS, v. 5, n. 2, 2010.

Referências Bibliográficas

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.

UNEP. **Good Practices: for regulating wastewater treatment.** Legislations, policies and standards. Geneva: Switzerland 2010, 122 p.

UNESCO. **Wastewater the untapped resource.** Paris United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2017.

USAID/ARD. **Standards, regulations e legislation for water reuse in Jordan.** Ministry of water and irrigation. Water Resource Policy Support: The United States Agency for International Development, 2001. 57p.

VAILLANT, N.; MONNET, F. VERNAY, P.; SALLANON, H. COUDRET, A. HITMI, A. **Urban wastewater treatment by a nutrient film technique system with a valuable commercial plant species (*Chrysanthemum Cinerariaefolium* Trev.).** Environmental Science and Technology, v. 36, n. 9, p. 2101–2106, 2002.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação.** Tese (Doutorado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2003. 148 p.

VYMAZAL, J. et al. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe.** Leiden, The Netherlands.: Backhuys Publishers, 1998.

_____. **Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment.** Ecological Engineering, v. 25, n. 5, p. 478–490, 2005.

_____. **Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.** Science of the Total Environment, v. 380, n. 1–3, p. 48–65, 2007.

_____. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : A Review.** Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference:, p. 965–980, 2008.

Referências Bibliográficas

_____. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** *Water*, v. 2, n. 3, p. 530–549, 2010.

_____. **Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review.** *Ecological Engineering*, v. 73, p. 724–751, 2014.

WANG, L. K.; PEREIRA, N. C.; HUNG, Y.-T. **Biological treatment processes.** 8. ed. Humana Press, 2009.

WHO. **Overview of greywater management Health considerations Wastewater Use in Agriculture.** Amman, Jordan, 2006.

_____. **WWAP. United Nations World Water Assessment Programme.** *Water for a Sustainable World.* PARIS: ENESCO, 2015.

_____. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO meeting of experts.** *World Health Organization - Technical Report Series* Geneva World Health Organization, 1973.

WI, Wetlands International - Malaysia Office **The use of constructed wetlands for wastewater treatment.** Selangor, Malaysia, 2003. 30 p.

WU, S.; CARVALHO, P. N.; MÜLLER, J. A.; REMONY, V.; DONG, R. **Science of the Total Environment Sanitation in constructed wetlands : A review on the removal of human pathogens and fecal indicators.** *Science of the Total Environment*, v. 541, p. 8–22, 2016.

YU, Z. L. T.; DESHAZO, J. R.; STENSTROM, M. K.; COHEN, Y. **Cost-Benefit Analysis of Onsite Residential Graywater Recycling – A Case Study: the City of Los Angeles.** *Journal American Water Works Association.* V. 2107. N. 09. p. E436-E444, 2015.

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. C. DOS. **Caracterização da água cinza em edifícios residenciais.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais, 2003

Referências Bibliográficas

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.