

656 – WETLANDS CONSTRUÍDOS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA AS ÁGUAS NEGRAS EM ÁREAS RURAIS

Tamara Daiane de Souza⁽¹⁾

Doutora e Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto (DEURB – EM/UFOP).

Joseandra Aparecida Campos Bongiovanni⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFOPA). Engenheira de Segurança do Trabalho (UNICSUL). Especialista em Sistemas de Abastecimento de Água e Esgoto Sanitário (IPOG). Mestranda em Engenharia Ambiental (UFOP).

Guilherme Augusto de Oliveira⁽³⁾

Técnico em Automação Industrial (IFMG). Graduando de Ciências Biológicas (UFOP).

Múcio André dos Santos Alves Mendes⁽⁴⁾

Doutor e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DECIV – EM/UFOP)

Natasha Rodrigues Vitorino Carvalho Tenório⁽⁵⁾

Turismóloga (UFOP). Graduanda em Engenharia Urbana (UFOP). Mestranda em Engenharia Ambiental (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Campus Morro do Cruzeiro, s/n. Bauxita – Ouro Preto – Minas Gerais. 35.400-000. Brasil - Tel. institucional: +55 (31) 3559-1471. E-mail: tamara.souza@ufop.edu.br

RESUMO

Wetlands podem ser definidos como unidades de tratamento de águas residuárias formadas principalmente pelo meio suporte, com vegetação específica que se adapta a solos saturados e processos microbiológicos. Esse estudo envolveu a aplicação do sistema na comunidade rural Paraíso, no município de Rio Piracicaba, Minas Gerais. Trata-se de uma área que apresenta condições de falta de saneamento assim como a maioria das regiões rurais do Brasil. A situação se agrava em áreas mais isoladas, principalmente, devido ao alto custo de instalação e manutenção. Sabe-se que apenas 5,2% da população brasileira tem acesso ao sistema de coleta de esgoto e saneamento básico. As wetlands apresentam vantagens em sua fácil implementação, na possibilidade de utilizar materiais acessíveis e elementos paisagísticos, e por formarem verdadeiros jardins. O processo de tratamento é baseado na filtração biológica, onde as plantas e o meio suporte atuam como filtros removendo partículas sólidas, poluentes, metais e até mesmo agentes patogênicos, sem a necessidade de implantação de tratamento preliminar. O objetivo dessa pesquisa foi tratar as águas negras provenientes de efluentes sanitários através das Wetlands, estudando seu desempenho e eficiência, analisando sua viabilidade em relação aos sistemas de tratamento convencionais. Para a construção do sistema, foi feito o dimensionamento para uma residência de padrão médio, habitada por oito pessoas. A espécie vegetal utilizada foi a taboa (*Typha* sp.), uma macrófita presente na região, cujas características atendiam aos requisitos exigidos para o desempenho adequado do sistema. Para a obtenção dos resultados foram feitos monitoramentos, manutenções e coletas de amostras para as análises de DBO, nitrogênio total, fósforo, turbidez, pH e sólidos totais. Os resultados obtidos foram satisfatórios e comprovaram a eficiência do sistema no tratamento de águas residuárias. Os percentuais de remoção alcançados foram positivos, como da turbidez que atingiu 95,47% de remoção, indicando ainda a alta taxa de remoção de sólidos suspensos. A remoção de DBO também foi significativa, com 88,37%. Nitrogênio e fósforo foram removidos com eficiência maior do que os valores usualmente alcançados em outros estudos. O sistema apresentou uma eficiência de 88,56% na remoção de sólidos totais e o pH se manteve próximo a neutralidade. Desse modo, o lançamento do efluente sanitário dessa residência atende às condições exigidas pela legislação ambiental brasileira, e promove a conscientização dos moradores no entorno e a disseminação da educação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento rural, Sistemas Alagados Construídos, Desenvolvimento rural sustentável, Tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o tratamento de efluentes sempre teve uma relação estreita com a qualidade de vida da população. Isso porque, a falta de saneamento básico, ou a ineficácia desse sistema, leva a população à disposição inadequada de efluentes e resíduos que são frequentemente descartados diretamente nos corpos d'água, provocando a poluição e contaminação dos recursos hídricos.

A contaminação das águas superficiais tende a ocorrer com maior facilidade em relação às águas subterrâneas, por serem mais expostas e de mais fácil acesso. Contudo, não se isenta a capacidade de contaminação das águas subterrâneas por meio de poluição accidental ou ações ocorridas em desacordo com a lei, comprometendo a sua qualidade.

Numa situação adversa, que provoque o desequilíbrio do ecossistema, a água conta com diversos processos químicos, físicos e biológicos que promovam sua autodepuração, sendo possível o retorno ao equilíbrio e à qualidade de origem. Entretanto, são inúmeros os fatores que impedem que esse processo ocorra, sobretudo, a intensidade e frequência com que o sistema é submetido ao desequilíbrio. Nesse caso, torna-se insuficiente o processo autodepurativo e é necessária a intervenção humana para promover a melhoria na qualidade da água e impedir que ocorram novas atividades poluidoras. Por esse motivo, a aplicação de um sistema adequado de saneamento é determinante para estabelecer condições de higiene e de segurança necessárias para o bem estar da população e melhorias na saúde pública.

A deficiência no planejamento na área de saneamento básico é um fator relevante para a criticidade da saúde pública, qualidade de vida, degradação ambiental e até mesmo na economia e desenvolvimento do país. Há doenças relacionadas à falta do saneamento, como: amebíase, cólera, ancilostomíase, ascaridíase, cisticercose, diarreia, disenterias, elefantíase, febre paratifoide, esquistossomose, giardíase, hepatite A, infecções, teníase e tricuriase, podem levar a milhares de mortes, afetando principalmente crianças. A cada ano, ocorrem mais mortes causadas pelo consumo de águas imprópria para o uso, que pelas guerras ou outras formas de violência (ANA, 2011).

Em geral, os sistemas de tratamento de efluentes domésticos mais utilizados são as Fossas Sépticas, os Sumidouros, Tratamento por Lodos Ativados, Biodigestores Anaeróbios, Lagoas Aeradas Facultativas, Filtros Biológicos e os Sistemas Alagados Construídos (SAC), que são o foco deste trabalho.

As Wetlands, definidas como unidades de tratamento de águas residuárias, são também conhecidas como Sistemas Alagados Construídos (SAC) ou *Constructed Wetlands*. Os SAC envolvem uma série de reações físicas, químicas e biológicas para tratamento de águas residuárias; destacam-se dentre os demais sistemas usuais devido às inúmeras vantagens, em especial, seu baixo custo de construção e manutenção, remoção de poluentes químicos, absorção e ciclagem de nutrientes, absorção de metais pesados, redução de contaminação dos ecossistemas e harmonia paisagística (BRASIL, *et al.*, 2007); dessa forma, promovem a melhoria da qualidade ambiental e atendem a crescente demanda por saneamento em áreas rurais. Segundo a U.S.EPA (1998), os SACs contam ainda com uma capacidade autodepuradora e sua implantação no tratamento de águas residuárias tem sido bem sucedida desde a década de 1960.

A situação do saneamento básico no Brasil é precária e, em relação às zonas rurais, a situação se agrava ainda mais. Perante estes fatos, este estudo foi realizado na comunidade Paraíso, em Rio Piracicaba/MG, uma região caracterizada pela carência de infraestrutura sanitária básica, realidade comum em áreas rurais brasileiras. De acordo com o SINISA (2022), 73,5% da população que habita áreas rurais realiza a captação de água direto dos corpos d'água ou outras fontes que não são qualificadas para consumo humano, sendo somente 36,5% da população desta mesma população (moradores nas áreas rurais) têm acesso às redes de abastecimento canalizadas. Apenas 5,2% da população rural tem acesso a sistemas de coleta de esgoto, onde a população encontra-se obrigada a levar o descarte inadequado de efluentes diretamente em corpos hídricos ou em fossas rudimentares. Tal prática contribui para a degradação ambiental, a contaminação de recursos hídricos e a proliferação de doenças de veiculação hídrica, supracitadas.

Com base nessa problemática, o estudo se propôs a explorar o uso de Wetlands como alternativa acessível, sustentável e eficiente para o tratamento de águas negras, provenientes de vasos sanitários. Essa tecnologia utiliza processos físicos, químicos e biológicos mediados por plantas macrófitas, substratos e microrganismos, promovendo a remoção de poluentes de forma integrada ao ambiente natural. O trabalho também buscou sensibilizar a comunidade local sobre a importância de sistemas de saneamento, alinhando práticas sustentáveis às políticas públicas de conservação ambiental.

O presente trabalho possui como foco a minimização dos impactos ambientais nos recursos hídricos e consequentemente a melhoria da qualidade de vida, higiene e de saúde da população, em especial de zonas rurais, por meio da utilização do sistema alagado construído, com fluxo subsuperficial horizontal, para o tratamento de efluentes domésticos na área rural.

OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho consiste no estudo do processo do tratamento de águas negras provenientes das águas residuárias em áreas rurais, para a análise da eficiência na remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), turbidez, sólidos totais, nitrogênio total e fósforo, através do uso de Sistemas Alagados Construídos, cultivados com a espécie vegetal taboa (*Typha sp.*) na região de Rio Piracicaba/MG. Para tanto, os objetivos específicos envolveram:

- Realizar pesquisas em campo para a coleta de dados sobre as características da região;
- Determinar os critérios e requisitos para o dimensionamento, construção e instalação dos Sistemas Alagados Construídos para o tratamento domiciliar;
- Aplicar o sistema em uma das residências para a análise e discussão dos resultados obtidos, visando a viabilidade do sistema no caso em questão.

METODOLOGIA UTILIZADA

Essa pesquisa se realizou através de um estudo de caso, isto porque, segundo Silva (2012), corresponde a um mecanismo utilizado para a compreensão dos fenômenos, sejam eles individuais, grupais, políticos, sociais ou organizacionais. É descrito o contexto onde é feita a investigação, envolve a formulação de teorias e hipóteses, explicam-se as situações causas onde não é possível o uso de experimentos e levantamentos além de manter o caráter unitário do objeto de estudo.

➤ PLANO DE COLETA DE DADOS

O Sistema Alagado Construído, ou Wetlands, foi instalado em uma das residências localizada no bairro Paraíso, município de Rio Piracicaba, Minas Gerais. A residência corresponde ao sítio “Nossa Senhora Aparecida”, composto por uma família de oito pessoas, não havendo o criadouro de animais. Nesse item serão descritas as técnicas de coleta e a análise de todos os dados necessários para o planejamento da construção e implantação do SAC.

O trabalho foi dividido em etapas, as quais estão sumarizadas a seguir.

➤ CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A comunidade Paraíso é uma área rural que pertence ao município de Rio Piracicaba, Minas Gerais.

- População: 14.361 habitantes (2022);
- Área: 373,037 km²;
- Bioma: Mata Atlântica;
- Densidade demográfica: 39,22 hab./km²;
- Clima: Tropical.



Fonte: IBGE (2015)

Figura 1: Mapa do município de Rio Piracicaba, MG.

A cidade tem como municípios limítrofes as cidades de: Bela Vista de Minas, João Monlevade, São Gonçalo do Rio Abaixo, Santa Bárbara, Alvinópolis e São Domingos da Prata (IBGE, 2014).

O sistema em estudo recebe efluentes domésticos do sítio, não havendo tratamento preliminar para as águas residuárias. Esse efluente bruto segue em direção ao Sistema Alagado Construído, sendo este seu único tratamento até o destino final.

➤ PESQUISA E COLETA DE DADOS

Foram realizadas conversas com os moradores da comunidade para identificação dos problemas gerais relacionados aos impactos ambientais desta região.

Análises dos efluentes foram realizadas para verificar a conformidade com as exigências da resolução CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Foram analisadas variáveis como DBO, Nitrogênio e Fósforo, Sólidos Totais (ST), Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). Após a análise dos dados coletados, foi verificada a eficiência do SAC.

➤ DIMENSIONAMENTO SAC

Segundo Lana (2013), a falta de conhecimento e de critérios para o dimensionamento dos SACs são fatores que colaboram para a sua baixa utilização no Brasil, apesar de sua eficiência comprovada e da grande aplicabilidade do sistema em países tropicais. Além disso, existe uma grande necessidade de experiências com esses sistemas nesses países, uma vez que o clima e as condições locais são determinantes para a capacidade de remoção de poluentes nesses ambientes.

Para a elaboração do dimensionamento foram analisados os parâmetros descritos na CONAMA 430/2011, que dispõe sobre as diretrizes e parâmetros para o lançamento de efluentes em corpos receptores. A resolução determina que o DBO (em 5 dias a 20 °C) deve ter valor máximo permitido (VMP) de 120 mg/L. As características do esgoto a ser tratado foram baseadas nas características dos sólidos e nos parâmetros de carga orgânica presente no esgoto.

A amostra do efluente bruto foi coletada antes do dimensionamento para a verificação da característica do esgoto em relação aos sólidos totais, tornando-se possível identificar os efluentes despejados pela residência e lançados no corpo receptor, sem tratamento prévio, como do padrão do esgoto forte. A NBR 729 descreve o valor de 160 L/pessoa.d de contribuição para uma residência padrão. A vazão calculada para este estudo resultou em 1,28 m³/d.

Tabela 1: Características típicas de sólidos no esgoto bruto.

Matéria Sólida	Esgoto Forte	Esgoto Médio	Esgoto Fraco
	mg/L	mg/L	mg/L
Sól. Totais	1.000	500	200
Sól. Voláteis	700	350	120
Sól. Fixos	300	150	80
Sól. Susp. Tot.	500	300	100
Sól. Susp. Vol.	400	250	70
Sól. Susp. Fixos	100	50	30
Sól. Susp. Tot.	500	200	100
Sól. Susp. Vol.	300	100	50
Sól. Susp. Fixos	200	100	50

Fonte: Silva (2003)

Tabela 2: Valores típicos de parâmetros de carga orgânica no esgoto.

Parâmetros mg/L	Condições do Esgoto		
	Forte	Médio	Fraco
DBO ₅ ²⁰	300	200	100
Oxigênio Consumido	150	75	30
Oxigênio Dissolvido	0	0	0
Nitrogênio Total	85	40	20
Nitrogênio Orgânico	35	20	10
Amônia Livre	50	20	10
Nitrito, NO ₂	0,10	0,05	0
Nitrito, NO ₃	0,40	0,20	0,10
Fósforo Total	20	10	5
Orgânico	7	4	2
Inorgânico	13	6	3

Fonte: Silva (2003)

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

O parâmetro de DBO₅²⁰, em condições de esgoto forte, equivale a 300 mg/L, portanto com = 300 mg/L. Equação modificada de van't Hoff-Arrhenius *apud* Sezerino *et al.*, (2014) para dimensionamento do sistema.

$$K_t = K_{20} (1,06)^{(T-20)} \quad \text{Equação (1)}$$

Para determinação da área da seção transversal do leito (A_t), usou-se a equação:

$$A_t = Q / K_s S \quad \text{Equação (2)}$$

A largura do leito (W) foi calculada a partir do valor obtido da área da seção transversal.

$$W = A_t / h \quad \text{Equação (3)}$$

A área superficial do sistema (A_s) foi determinada pela equação:

$$A_s = [Q (\ln C_o - \ln C_e)] / [K_{18} d n] \quad \text{Equação (4)}$$

Para determinar o comprimento (L) do sistema e o tempo de detenção hidráulico (TDH), utilizou-se as equações:

$$L = A_s / W \quad \text{Equação (5)}$$

$$TDH = V_v / Q = (L W d n) / Q \quad \text{Equação (6)}$$

Tabela 3: Dados adotados para o dimensionamento do SAC.

DBO (Entrada)	C_o (mg/L)	300
DBO (Saída)	C_e (mg/L)	120
Contribuição per capita	$m^3/\text{hab.d}$	0,16
Número de contribuintes	hab	8
Porosidade do meio	n (m^3/m^3)	0,60
Constante de degradação (K_{20}) a 20°C	K_{20} (d^{-1})	1,69
Constante de degradação corrigida para 18°C	K_{18} (d^{-1})	1,50
Declividade	S (m/m)	0,01
Condutividade hidráulica do meio	K_s ($m^3/m^2 d^{-1}$)	500
Profundidade	h (m)	0,30
Temperatura média no mês mais frio	T (°C)	18

Fonte: Pesquisa Aplicada (2015)

Tabela 4: Dados calculados para o dimensionamento do SAC.

Coef. Corrigido para 18°C	$K_{18} (d^{-1})$	1,50
Vazão	$Q (m^3/d)$	1,28
Área superficial	$A_s (m^2)$	4,33
Área transversal	$A_t (m^2)$	0,256
Largura	$W (m)$	0,85
Comprimento	$L (m)$	5,07
Tempo de detenção	$TDH (d)$	0,61

Fonte: Pesquisa Aplicada (2015)

➤ CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO

O sistema foi construído experimentalmente na residência de um morador da comunidade, com o objetivo de tratar o esgoto doméstico antes da sua deposição no curso d'água. O projeto foi apresentado para os demais moradores que mostraram interesse em aplicar o sistema em suas residências.

Para construção deste SAC foi realizado o dimensionamento considerando a população de residência em questão, portanto, foi baseado no atendimento a oito habitantes. Para a execução das obras, priorizou-se o uso de materiais de baixo custo e as macrófitas presentes na região (*Typha* sp.), visando a melhor adaptação do ambiente. Ressalta-se que se utilizou da mão de obra da própria residência de forma a otimizar custos.

Esses sistemas oferecem uma variedade de modelos hidráulicos para sua construção, podendo apresentar fluxo de escoamento vertical ou horizontal, superficial ou subsuperficial, com operações contínuas ou em bateladas (LANA, 2013). Para a execução desse projeto, foi escolhido o sistema SAC de escoamento subsuperficial e fluxo horizontal, visando, especialmente, evitar a proliferação de vetores e a formação de odores na área de aplicação. Segundo Branco (2013), é durante a primavera e o verão que as plantas tendem a apresentar maior capacidade de absorção de macronutrientes e micronutrientes, bem como possíveis metais presentes na água residuária sendo, portanto, esse o período no qual o sistema alcança sua maior eficácia de remoção de poluentes. Dessa forma, a escolha da construção, instalação e execução do sistema, nesse projeto sucedeu nos meses de agosto e setembro, visando obter o máximo de eficiência no tratamento do efluente sanitário.



Fonte: Pesquisa Aplicada (2015)

Figura 2: Registro fotográfico da construção do Sistema Alagado Construído.

Foi realizado o teste de estanqueidade, para a verificação da eficiência da impermeabilização realizada durante a construção, visto que, infiltrações poderiam prejudicar o desenvolvimento do projeto e contaminar o solo local. Após o término da construção de toda a estrutura e teste de estanqueidade, o meio suporte foi inserido no sistema, onde as mudas foram plantadas. Após as mudas serem fixadas ao substrato, o SAC passou a receber o lançamento do efluente sanitário (águas negras).

➤ MONITORAMENTO DO SISTEMA E OS MÉTODOS ANALÍTICOS

O monitoramento do sistema ocorreu durante cinco semanas consecutivas. As amostras de águas residuárias foram coletadas em dois pontos distintos, sendo o P1, ponto inicial, no qual o efluente bruto chega ao sistema, e o P2, ponto final, onde o efluente já tratado é direcionado ao corpo receptor. Na Tabela 5 estão dispostos os parâmetros avaliados e a metodologia adotada.

Tabela 5: Parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetro	Unidade	Frequência	Procedimento Analítico
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	Semanal	Potenciométrico
Turbidez	NTU	Semanal	Nefelométrico
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	Semanal	SMEWW Ed. 22 ^a 5210B
Sólidos Totais (ST)	mg/L	Semanal	Método Gravimétrico e por Evaporação
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	15 dias	SMEWW Ed. 22 ^a
Fósforo	mg/L	15 dias	ABNT 12772/1992

Fonte: Pesquisa Aplicada (2015)

Os métodos de análise laboratorial escolhidos neste trabalho levaram em consideração a eficiência, eficácia, precisão, aplicabilidade, praticidade, disponibilidade dos instrumentos e baixo custo.

Após o plantio, foi necessário aguardar o alagamento do sistema pelas águas residuárias. Ao longo de três semanas ocorreu o período de adaptação das espécies vegetais ao sistema. Por fim, as coletas das amostras para análise laboratorial foram iniciadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises físico-químicas do efluente bruto em comparação às análises do efluente tratado foram indispensáveis para determinar a eficácia do sistema quanto aos objetivos principais propostos neste trabalho. Para a obtenção dos resultados, foi descrito o desempenho dos parâmetros analisados, sendo eles o pH, turbidez, DBO, sólidos totais, nitrogênio total e fósforo total. A partir dessa descrição, foi observada a diminuição da variação dos valores analisados à medida que o efluente bruto era tratado pelo sistema. A tabela 5 descreve os percentuais médios de eficiência obtidos nas análises dos resultados, para todos os parâmetros.

Tabela 5: Eficiência do SAC para o tratamento de efluentes sanitários.

Parâmetro	Unidade	Eficiência Média
Turbidez	NTU	95,47%
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	88,37%
Sólidos Totais (ST)	mg/L	88,56%
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	41,18%
Fósforo	mg/L	84%

Fonte: Pesquisa Aplicada (2015)

A seguir são descritas as principais constatações obtidas através deste estudo e dos experimentos aplicados.

➤ ADAPTAÇÃO DA ESPÉCIE VEGETAL

Em todo o processo de funcionamento do sistema, o desenvolvimento da *Typha* sp. ocorreu de modo desejável e sem a presença de problemas, como: remoção das plantas pelo vento, obstrução do sistema, odor proliferação de insetos ou outros impedimentos.

A taboa demonstrou bom desenvolvimento durante o período de análise. Para manter o sistema em funcionamento adequado foram realizadas limpezas semanais, principalmente através da retirada de folhas advindas da vegetação externa própria ao sistema.

➤ ESTABILIZAÇÃO DO PH

Durante as cinco semanas de análises, o pH foi o parâmetro que apresentou a menor taxa de variação ao longo do tempo. Esse fator foi relatado no estudo de Oliveira *et al.* (2015), afirmando que, durante o tratamento do efluente bruto, o pH foi o parâmetro mais constante entre os analisados. Os valores de pH do efluente bruto se encontrava na faixa que variava de 8,05 a 8,32, indicando a basicidade da água. Após percorrer o fluxo do sistema, o pH do efluente se manteve entre 7,15 e 7,55, mostrando que ele reduziu, encontrando valores próximos à neutralidade.

➤ REMOÇÃO DA TURBIDEZ

De acordo com os resultados obtidos, o SAC apresentou uma eficiência média na remoção da turbidez de 95,47%. Isso corresponde a uma redução significativa na presença de partículas em suspensão, após a passagem do efluente pelo sistema. Visto que o sistema trabalha com processos físicos de filtração e sedimentação, proporcionando pela presença do meio suporte (brita) e da vegetação (*Typha* sp.), foi possível comprovar a eficiência do SAC em um curto prazo de implantação.

Entende-se que, assim como os valores de turbidez diminuíram ao longo do tratamento do efluente bruto no SAC, a quantidade de sólidos suspensos também sofreu uma redução significativa.

➤ REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS (ST)

O sistema mostrou-se eficiente na remoção de sólidos totais, além da excelente remoção da turbidez do efluente. Visto que, o esgoto não recebeu nenhum tratamento preliminar, os resultados foram positivos, garantindo assim a viabilidade da implantação desse sistema nas regiões rurais, desprovidas de qualquer tipo de tratamento de esgoto.

De acordo com as análises realizadas em laboratório, a eficiência média de remoção dos sólidos totais do efluente bruto foi de 88,56%. De acordo com o estudo de Freitas (2006), a melhor eficiência alcançada em SAC cultivado com Taboa, foi de 72%.

➤ REMOÇÃO DOS MACRONUTRIENTES (NITROGÊNIO E FÓSFORO)

Durante o desenvolvimento das análises e a comparação realizada entre os pontos de entrada e saída do efluente, foi possível notar uma clarificação gradativa das amostras, após a sua passagem pelo SAC.

Andrade (2012) indica que nos SACs, é a partir do meio suporte que ocorre parte da remoção do fósforo das águas residuárias. Através do processo de adsorção. Outra parte é assimilada pelas plantas e pelos microrganismos.

A eficiência de redução de fósforo atingiu 86% na segunda semana de análise, e 82% na quinta semana de análise, apresentando uma eficiência média na saída do efluente de 84%, resultado interessante para esse tipo de tratamento. Usualmente considera-se que a absorção do fósforo por plantas seja inferior a 5%, sendo, portanto, o SAC uma via de menor importância para a remoção deste nutriente, conforme Lana (2013).

Através da assimilação, as macrófitas são capazes de remover o nitrogênio das águas residuárias, o que promove o seu crescimento. De acordo com Andrade (2012), quando as macrófitas atingem seu ápice de crescimento, reduzem a assimilação de nitrogênio, por esse motivo são necessárias podas periódicas para que haja uma remoção com maior eficácia.

A eficiência na remoção de nitrogênio foi de 76,68%, na segunda semana de análise, e 5,68% na quinta semana de análise após o plantio das taboas, o que representa uma eficiência média de 41,2%, demonstrando assim uma eficiência razoável na extração de nutrientes, porém, comparando-se aos trabalhos citados por Lana (2013), onde obtiveram uma eficiência de 0,5% a 3,3% para SAC utilizando taboa. O resultado deste trabalho mostrou-se superior, o que o torna relevante. Além disso, por ser um sistema simples, qualquer remoção dos nutrientes predominantes no processo de eutrofização, promove o benefício ambiental.

➤ REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

A remoção de matéria orgânica do efluente atendeu as expectativas, atendendo a resolução CONAMA nº 430/2011, onde deve-se apresentar eficiência mínima de remoção de DBO de 60%. A eficiência média da redução de DBO através do SAC foi de 88,37%. Resultados semelhantes foram encontrados por Lemes *et al.*, (2008), que estabeleceram uma comparação entre diversos sistemas de tratamento de águas residuárias, quanto a eficiência de remoção de matéria orgânica.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram alcançados resultados positivos quanto aos objetivos propostos neste projeto, visto que, o sistema apresentou melhoria significativa na qualidade da água residuária, com valores semelhantes aos valores descritos na literatura. Além disso, a implantação possibilitou o desenvolvimento de ações sustentáveis entre os moradores da comunidade, tornou possível a conscientização dos moradores quanto a importância do tratamento do esgoto e das condições adequadas de saneamento básico para a preservação dos recursos hídricos e a saúde da população.

Para a sociedade, a aplicação dessa pesquisa veio como modo de ressaltar a necessidade do desenvolvimento de tecnologias e sistemas alternativos de tratamento de água e esgoto, economicamente viáveis, acessíveis e de fácil aplicação, proporcionando uma melhoria no sistema de saneamento básico no país, mesmo nas áreas mais afastadas.

Como sugestões para as futuras pesquisas, recomenda-se o uso de materiais alternativos para a construção do sistema, com o intuito de tornar sua construção ainda mais sustentável e com menor custo. Indica-se a disposição de maior tempo de monitoramento e avaliação do desempenho dos SACs, visto que, os estudos sobre essas unidades ainda são escassos no Brasil, e poucas são as suas aplicações, ainda que seja um sistema descentralizado de tratamento, com baixo custo e alta eficiência. A partir do aumento das pesquisas e experimentos será possível determinar o comportamento do sistema em longo prazo, ao atingir a maturidade e alcançar novos avanços em sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – Brasília: ANA- 2011

ANDRADE, Helisson Henrique Borsato de. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (wetlands construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético**. DISSERTAÇÃO. Curitiba, 2012.

BRANCO, Raquel Ferreira. **Montagem e monitorização de zonas húmidas construídas para tratamento de efluentes**. 2013.

BRASIL, Mozart da Silva; et al. **Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído**. 2007.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011.

FREITAS, Walisson da Silva. **Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. TESE. Universidade Federal de Viçosa. 2006.

GEHARDT, Tatiana Engel. SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

LANA, Livia Cristina Oliveira. **Remoção de poluentes em um sistema alagado construído de escoamento vertical com alimentação em pulso**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

OLIVEIRA, Danielle Martins Cassiano de; et al. **Tratamento de água cinza através de um sistema alagado construído**. Universidade Tecnológica do Paraná. 2015.

Pesquisa Nacional por Amstras de Domicílios (PNAD). Fundação Nacional de Saúde. **Saneamento Rural**. 2012.

SEZERINO, Pablo Heleno; BENTO, Alessandra Pelizzaro; DECEZARO, Samara Terezinha, MAGRI, Maria Elisa; PHILIPPI, Luiz Sérgio. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

SILVA, Breno Eustáquio da. **Contribuições da inovação aberta para o jornal a notícia regional Ltda de João Monlevade, Minas Gerais**. 2012.