

Viabilidade de diferentes sistemas de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica das nascentes do córrego Chibarro, São Carlos - SP

Feasibility of different wastewater treatment systems in the watershed of the Chibarro stream springs, São Carlos – SP

Viabilidad de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca hidrográfica de las nacientes del arroyo Chibarro, São Carlos - SP

Bene Eloi Mendes Camargo

Graduando em Gestão e Análise Ambiental, UFSCar, Brasil
bn.camargo@gmail.com

Karielle Ferreira da Silva

Graduando em Gestão e Análise Ambiental, UFSCar, Brasil
karielleferreira@gmail.com

Rochele Amorim Ribeiro

Professora Doutora, DECIV - UFSCar, Brasil.
rochele@ufscar.br

RESUMO

O esgoto doméstico se apresenta como um fator de alto investimento para o município. Políticas têm sido montadas e executadas para angariamento de subsídios e auxílios para lidar com esse problema. No município de São Carlos - SP a estação principal de tratamento de esgoto foi conseguida com a premiação que custeou cerca de um terço de seu valor de implantação. E o custo de operação da estação de tratamento de esgoto permanece um alto ônus à sociedade e ao bolso do consumidor. Os métodos aplicados utilizaram imagens de satélite e dados do IBGE para determinar parâmetros de crescimento, dados históricos para uma perspectiva do volume de esgoto que a população da expansão urbana gerará e uma análise das tecnologias de tratamento e de seus custos de implementação e manutenção/operação para um comparativo com os parâmetros de custos atuais do sistema de tratamento de efluentes do município. Como resposta observou-se que sistemas de tratamento descentralizados apresentam menor custo de implementação quando comparado com a ampliação de um sistema já existente. Ademais, que os custos de manutenção/operação de tratamentos mais compactos são menores que os de grandes tratamentos, mesmo quando comparada a fração correspondente de usuários dos sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: Descentralização, Tratamento de esgoto, Bacia Hidrográfica

ABSTRACT

Domestic wastewater presents itself as a factor of high investment for the municipality. Policies have been set up and implemented to raise subsidies and aid to deal with this problem. In the municipality of São Carlos - SP, the main wastewater treatment station was obtained with the award that cost about a third of its value of implantation. And the cost of operating the sewage treatment plant remains a heavy burden on society and the consumer's pocket. The applied methods used satellite images and IBGE data to determine growth parameters, historical data for a perspective of the volume of sewage that the urban expansion population will generate and an analysis of treatment technologies and their implementation and maintenance / operation costs for a comparison with the current cost parameters of the municipal effluent treatment system. As a response, it was observed that decentralized treatment systems have lower implementation costs when compared to the expansion of an existing system. In addition, the maintenance / operation costs of more compact treatments are smaller than those of large treatments, even when compared to the corresponding fraction of users of the systems.

KEYWORDS: Decentralization, Wastewater Treatment, Watershed

RESUMEN

El alcantarillado doméstico se presenta como un factor de alta inversión para el municipio. Las políticas han sido montadas y ejecutadas para recaudar subvenciones y ayudas para hacer frente a este problema. En el municipio de São Carlos - SP la estación principal de tratamiento de aguas residuales fue lograda con la premiación que costó cerca de un tercio de su valor de implantación. Y el costo de operación de la estación de tratamiento de aguas residuales sigue siendo un alto cargo a la sociedad y al bolsillo del consumidor. Los métodos aplicados utilizaron imágenes de satélite y datos del IBGE para determinar parámetros de crecimiento, datos históricos para una perspectiva del volumen de desagüe que la población de la expansión urbana generará y un análisis de las tecnologías de tratamiento y de sus costos de implementación y mantenimiento / operación para un comparativo con los parámetros de costos actuales del sistema de tratamiento de efluentes del municipio. Como respuesta se observó que sistemas de tratamiento descentralizados presentan menor costo de implementación en comparación con la ampliación de un sistema ya existente. Además, que los costos de mantenimiento / operación de tratamientos más compactos son menores que los de grandes tratamientos, incluso cuando se compara la fracción correspondiente de usuarios de los sistemas.

PALABRAS CLAVE: Descentralización, Tratamiento de aguas residuales, Cuenca Hidrográfica

INTRODUÇÃO

Segundo Teodoro (2007), as definições propostas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito dado por Barrella et al (2001), na qual é definido como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A bacia enquanto unidade coletora das águas do ciclo natural, tem papel preponderante quanto de sua ocupação para a qualidade da água que disponibilizará. E o comprometimento da qualidade da água para fins de abastecimento público é decorrente de poluição causada por diferentes fontes, tais como efluentes domésticos, efluentes industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola. Os efluentes domésticos, por exemplo, são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microorganismos, que podem ser patogênicos (MERTEN *et. al*, 2002).

A maioria dos problemas sanitários que afetam a população relaciona-se com a devolutiva dos efluentes às bacias hidrográficas. Os problemas de saneamento tornam-se cada vez mais difíceis de serem resolvidos e com um maior custo de implantação e manutenção da infraestrutura de serviços. O impacto da falta do saneamento básico sobre a saúde no meio urbano vem se tornando cada vez mais frequente, principalmente nas comunidades mais carentes. Nesse sentido, o saneamento básico é fundamental na prevenção de doenças, e uma das formas de fazê-lo é através do cuidado com a higiene, da limpeza do ambiente e da alimentação (RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S., 2010).

Com os avanços dos estudos dos Impactos Ambientais foram disponibilizadas ferramentas de mitigação de impactos negativos ou potencialização dos positivos na implantação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos (ETE). A importância do seu desempenho ambiental tem repercussões locais, que envolvem solo, ar e recursos hídricos (VAZ, 2003).

Alguns compostos orgânicos presentes nos esgotos sanitários exercem efeitos tóxicos sobre animais silvestres, tais como a desregulação endócrina, tendo o potencial de afetar adversamente a saúde humana. Esses contaminantes apresentam grande diversidade de natureza química e provém das mais variadas fontes os quais são introduzidos no meio ambiente via esgoto doméstico, seja ele tratado ou não (LEITE, 2010).

Sob o ponto de vista técnico, social e ambiental, e considerando que um projeto é viável, é imprescindível a realização de estudos de viabilidade econômica. Os recursos naturais e financeiros à disposição de novos projetos estão cada vez mais escassos, o que torna imperativa a necessidade de análise das melhores alternativas de projeto, que minimizem os custos de implantação e operação, sem comprometimento dos aspectos técnicos, sociais e ambientais (GOMES, 2009).

Na área de saneamento básico, a necessidade de estudos criteriosos de viabilidade econômica ocorre em praticamente todos os projetos, por envolverem somas elevadas de investimentos

para suas implantações, como também, custos acentuados de exploração, no que diz respeito às ações de operação e manutenção das instalações físicas (GOMES, 2009).

Os projetos de abastecimento urbano de água e as instalações elevatórias de água e esgoto são exemplos de projetos que envolvem cifras da ordem de grandeza de milhões de reais e imprescindíveis para a sociedade como um todo. Em regra geral, os custos de operação e manutenção, dos projetos que envolvem elevatórias de água e esgoto, repercutem mais do que os de implantação das suas instalações, se acentuado em virtude dos gastos energéticos que são cada vez maiores (GOMES, 2009).

Alterações na quantidade, distribuição e qualidade dos recursos hídricos ameaçam a sobrevivência humana e demais espécies do planeta. Pode-se citar o crescimento demográfico e a expansão das atividades econômicas, seja no meio urbano ou rural, como causas do aumento no consumo e na deterioração desses recursos (BORGES, 2003).

A grande deficiência de saneamento básico em várias regiões brasileiras impõe a um grande número de pessoas riscos inaceitáveis. O volume de esgotos sanitários lançados no solo ou em corpos d'água, em estado bruto ou insuficientemente tratado, possui expressiva carga de organismos patogênicos excretados por indivíduos infectados no meio ambiente. Mesmo nos locais onde há estações de tratamento, são reais os riscos de contaminação de pessoas pelo contato direto ou indireto com o efluente tratado (ALMEIDA et al, 2008).

Qualquer conjunto de ações a executar em um sistema de saneamento necessita de um estudo técnico, ambiental e econômico para verificar sua viabilidade. A viabilidade das ações físicas e operacionais, com vistas a melhorar a eficiência dos sistemas no setor de saneamento, é necessária mas não é suficiente, é também necessário que haja um estudo que demonstre que os custos de investimentos e operação, aplicados para melhorar a eficiência do sistema, geram benefícios que podem garantir a sustentabilidade econômica da sua exploração. Os estudos de viabilidade econômica dos investimentos em projetos de saneamento devem ser enfocados com base nos aspectos financeiros e econômicos dos custos e benefícios envolvidos (GOMES, 2009).

OBJETIVO

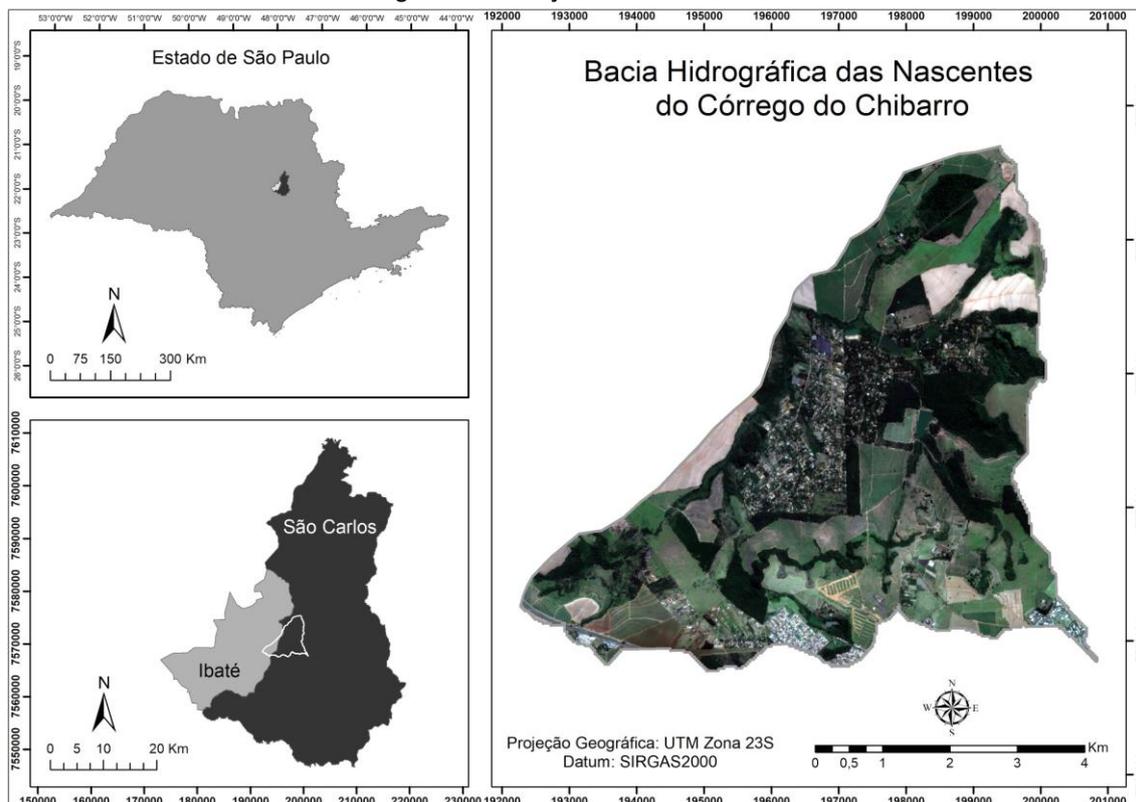
Nesse sentido, o presente projeto tem como propósito analisar a viabilidade econômica de subestações de tratamento de esgoto, buscando identificar a demanda de saneamento, avaliar o custo de ampliação da ETE existente associada a Estação Elevatória para a projeção de demanda de saneamento, assim como calcular o custo de implantação de uma Subestação de Tratamento de Esgoto com diferentes tecnologias para a projeção de demanda de saneamento das áreas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica das nascentes do córrego do Chibarro tem quase 90% da sua área na direção noroeste do município de São Carlos (230 Km da capital), fazendo limite com o município de Ibaté, no interior do estado de São Paulo (Figura 1). A bacia compreende uma

região idealizada como área de expansão pelo plano diretor do município de São Carlos, que também é conhecido como a “Capital da Tecnologia”, cuja economia é fundamentada na indústria e na agropecuária. Segundo o IBGE (2018), a população de ambos os municípios juntos é de 280 mil habitantes (35 mil Ibaté e 245 mil São Carlos).

Figura 1: Localização da área de estudo.



Fonte: Os autores.

Esta bacia é integrante da UGRHI 13 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 – Tietê/Jacaré). As nascentes alimentam o rio Chibarro, afluente do lado direito do Rio Jacaré-Guaçu, que por sua vez é um afluente norte do Rio Tietê. Segundo Stanganini et al. (2016), a bacia está dividida em seus usos da terra, com aproximadamente 55% de atividades antrópicas agrícolas, 10% de área urbanizada e mais de 32% de vegetação remanescente.

A bacia compreende uma área total de 3.439 ha (IBGE, 2018). E apresenta um tempo de concentração mediano e não fortemente propenso a picos de enchente (índice de compacidade 1,644 – não sujeita a enchentes - e fator de forma 0,718 – medianamente sujeita a enchentes).

A bacia apresenta uma densidade de drenagem regular ($1,125\text{km}^2/\text{km}^2$). Sendo que 56,85% dos corpos hídricos são de 1ª (primeira) ordem, 29,09% de segunda (2ª) ordem, e 14,06% das extensões dos corpos hídricos são categorizados na terceira (3ª) ordem.

A bacia possui uma declividade média de $5,8^\circ$ com o desvio padrão de $4,6^\circ$ (10 ± 8)% com o mínimo de zero a $32,1^\circ$ (53%). Somadas a informação da declividade com a densidade regular de drenagem, ressalta-se a não propensão a picos de enchente, porém ao analisar a percentagem em área que a declividade se mostra mais acentuada, nota-se que cerca de 15% da bacia é considerada na classe fortemente ondulada (Embrapa, 1979). Então pode-se inferir que a bacia tem dois patamares limitados por uma região de declividade mais acentuada, o que corresponde a uma área de maior suscetibilidade a erosão e assoreamento da parte baixa da bacia.

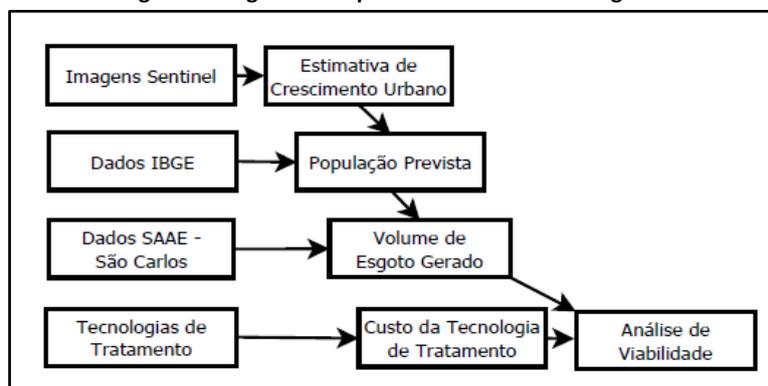
Quanto ao clima que rege a região em que a bacia se localiza, a predominância é de clima tropical com verão úmido e inverno seco, com média de precipitação de 1440 ml/ano (em geral de outubro a março) (YAMADA, 2007). Com temperaturas médias de 9° a 29° C (WEATHERSPARK, 2018). O solo tem características das formações Botucatu, Itaqueri e Serra Geral, com predominância de solos arenosos na bacia – latossolos vermelhos (YAMADA, 2007). Segundo Stanganini et al. (2016), a ocupação por área urbana na bacia correspondia a aproximadamente 10% no ano de 2016, porém com a aberturas dos loteamentos que estão se implantando, esse montante passará para aproximadamente 13% da área da bacia.

Essa expansão, já programada pelo plano diretor do município (Zona 4ª – Regulação e Ocupação Controlada), acarretará em maior exploração do recurso hídrico que hoje é extraído das águas subterrâneas pelo SAAE (PMSSanCa, 2012). Até o ano de 2012 eram 9 poços operando na vazão maior de $400\text{m}^3/\text{h}$. Inclusive o abastecimento hídrico da bacia estudada é inteiramente retirado de recursos subterrâneos.

Este crescimento também acarretará em maior geração de esgoto, que hoje é elevado por bombas (estações elevatórias de esgoto) para seguir para a principal estação de tratamento da cidade (ETE monjolinho). Em 2012, segundo o Plano Municipal de Saneamento (PMSSanCa, 2012), eram 3 bombas elevatórias de esgoto propostas e um bomba elevatória já funcionando. Este quadro de necessidade de tratamento é corroborado pelo SIGRH, relatório de 2017, que aponta como regular (entre péssimo e bom) o atendimento com as redes de esgoto. Então, o panorama do atendimento à demanda de esgoto da bacia corresponde a tratamento individual da região dos condomínios de chácaras e apenas uma unidade elevatória para atuar na região mais consolidada urbanamente (PMSSanCa, 2012).

A Figura 2 a seguir apresenta o diagrama da metodologia utilizada neste projeto, onde suas etapas são especificadas em seguida.

Figura 2: Diagrama dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Os autores.

A etapa inicial do projeto consistiu-se em um levantamento de informações e a formação de um banco de dados. As pesquisas foram realizadas através de levantamentos em fontes bibliográficas, bancos de dados digitais, fontes de dados disponíveis na Internet e legislações pertinentes.

Além da busca pelos parâmetros de produção de esgoto por dia e uma estimativa de custo das diferentes técnicas de tratamento de esgoto. Para realização da análise comparativa desses custos da implantação dos sistemas de tratamento, realizou-se uma análise das planilhas de orçamento produzidas pelos autores.

Os dados para as características físicas da Bacia Hidrográfica foram buscados através do sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), do sítio do United States Geological Survey (USGS, 2018) e nos materiais complementares dos orientadores do projeto, de onde imagens e informações foram trabalhadas com o auxílio do Software ArcGIS 10.5.

Das imagens produzidas realizou-se um levantamento assistido da caracterização dos usos da terra, seguido por um refinamento dos limites destas áreas. Foram evidenciadas as Áreas Antrópica não Agrícola (IBGE, 2013), da qual a classificação Áreas Urbanizadas foi tipificada, pelos autores, em: ocupação consolidada urbana adensada, ocupação consolidada urbana rareada (condomínios de chácaras), ocupação urbana em expansão adensada e ocupação urbana rareada. Classificação na qual auxiliou as estimativas de densidade populacional.

Esta estimativa de densidade populacional foi utilizada para prospectar a demanda de tratamento originada pela produção de esgoto doméstico. Onde a vazão auxiliou no cálculo dos custos, priorizando a escolha pela tecnologia de tratamento de esgoto.

Os parâmetros para a identificação do tipo de tratamento foram: o volume de efluente a se tratar, a área exigida pelo tratamento e o custo de implantação e manutenção/operação dos sistemas de tratamento, respectivamente nessa ordem. Sendo que as etapas para o tratamento do esgoto podem ser descritas como:

1. Tratamento primário: De ordem física, composto principalmente por unidades de operações unitárias, que são responsáveis pela remoção de sólidos sedimentáveis e flutuantes, como parte da matéria orgânica presente no esgoto (PRADO, 2006).

1.1. Preliminar: Responsáveis pela remoção de areia, sólidos grosseiros, óleos e graxas, como também pela atenuação de odores, controle de vazão de esgoto e da carga orgânica que adentra na estação (PRADO, 2006).

2. Tratamento secundário: De ordem biológica, sendo composto por unidades de processo e de operação unitária, as quais são responsáveis pela remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, e, eventualmente de nutrientes (fósforo e nitrogênio) (PACHECO, 2011; PRADO, 2006).

2.1. Lagoas de Estabilização: Consiste na remoção da matéria orgânica, através de digestão anaeróbia, aeróbia, tratamento térmico e estabilização química. Podem ser classificadas em: lagoa facultativa, lagoa anaeróbia, sedimentação, maturação, lagoa aerada facultativa e mistura completa). (PACHECO, 2011).

2.2. Tanque séptico e Reator UASB: É uma unidade de fluxo ascendente, que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios na forma de lodo biológico. As suas características hidráulicas do escoamento favorecem fatores físicos e bioquímicos que estimulam a floculação e a granulação. Na parte superior do reator existe um dispositivo destinado à sedimentação de sólidos e à separação das fases (sólido, líquido e gasoso).

3. Tratamento terciário: Composto por unidades de processo e operações unitárias, responsáveis pela remoção de contaminantes específicos (compostos tóxicos, patógenos), ou ainda por complementar a remoção de matéria orgânica e nutrientes, não suficientemente removidos pelas unidades do tratamento secundário (PRADO, 2006).

3.1. Lodo ativado: O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio. Podendo ser subdivididos em: lodo ativado convencional, lodos ativados por aeração prolongada e lodos ativados de fluxo intermitente (BENTO et al, 2005; PACHECO, 2011).

3.2. Biofiltro: Funciona como uma etapa aeróbia do tratamento, com a capacidade de remover os compostos solúveis e reter as partículas em suspensão no efluente anaeróbio no mesmo reator (GONÇALVES et al, 1997).

RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a Bacia Hidrográfica no ano de 2018, encontrou-se aproximadamente 111,9 ha de Área Antrópica não Agrícola, tipo urbano adensado. Dos projetos em implantação de locais de mesma categoria, a área correspondente à 63,4 ha. Das Áreas Antrópicas não Agrícolas, tipo urbano rareado (chácaras), foi identificada a área de 543,6 ha e a área de projeção da ocupação de 66,8 ha. Isto aponta um crescimento de 56,7% de áreas urbanas e 11,8% de áreas de chácaras.

Para a estimativa da projeção da população, partiu-se da informação do Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil organizado pelo PNUD, Ipea e FJP (2013), que aponta para São Carlos que 96% da população está em área urbana, da informação do sítio da prefeitura da

cidade de São Carlos (2018) que aponta como área urbana ocupada a quantidade de 33 km² e, do sítio do IBGE (2018) que especula a população de 246.088 hab para o ano presente. Isto resulta em uma densidade de 71,59 hab/ha. Então tem-se que a área urbana da Bacia Hidrográfica tem aproximadamente 8.013 hab e a área de expansão com lotes de característica urbana (mínimo de 250 m²/lote) terá uma população de aproximadamente 4.543 hab.

As áreas ocupadas por chácaras têm, em média, lotes a partir de 5.000 m², o que equivale a 20 lotes urbanos. Desta premissa apontou-se a população de 2.017 hab para os condomínios de chácaras consolidados e a previsão de 239 hab para as áreas de expansão de condomínios de chácaras. Isto conduz a soma de 6.800 hab que não serão atendidos pelas estruturas atuais de tratamento de esgoto doméstico.

Para o cálculo do volume de esgoto gerado foram utilizados dados do sítio da Prefeitura (2018) e do SAAE (2018), que apontaram para o ano de 2014 a população de 238.950 hab e o tratamento de 21,6 milhões de m³ de esgoto doméstico (equivalente a 91% do efluente produzido). Isto estabelece a produção de 23,7 Mm³ de esgoto por ano, o que leva a média de 272,1 L/hab/dia. Esta estimativa salienta que o volume de esgoto gerado será de aproximadamente 4.031,72 m³/dia.

Segundo Godoy (2013), a parte que compõe a lodo desidratado corresponde a 0,04% do volume do esgoto in natura, o que corresponde a 39,72 L/hab/ano para a produção de efluentes que correspondente a bacia hidrográfica. Esta informação foi parâmetro base para a adaptação da proposta de Von Sperling (2014) que apresenta um rol dos tratamentos de esgoto e suas combinações. A proposta foi tratada para as previstas condições específicas da bacia hidrográfica (volume de esgoto gerado e população) e dessa forma, gerou-se a Tabela 1, onde foram aferidos os tratamentos que comportavam a vazão exigida pela estimativa, e também as áreas exigidas pelos mesmos.

TABELA 2: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos, expressos em valores das necessidades da projeção da expansão populacional.

Sistema	Área exigida pelo tratamento (m ²)	Potência consumida na operação	Lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Custos (US\$1=R\$3,7/2018)		Eficiência média - Volume/área (L/m ² .ano)
				Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)	
Tratamento primário (tanques sépticos)	450 - 750	Não	15 - 35	609.000 - 1.015.000	32.000 - 51.000	600
Tratamento primário convencional	300 - 600	Não	15 - 40	609.000 - 1.015.000	32.000 - 51.000	875
Tratamento primário avançado	600 - 900	Não	40 - 110	819.000 - 1.218.000	163.000 - 306.000	1417
Lagoa facultativa	30.000 - 60.000	Não	15 - 30	819.000 - 1.624.000	40.000 - 82.000	8

REVISTA CIENTÍFICA 2019

Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	22.000 - 45.000	Não	20 - 60	609.000 - 1.523.000	40.000 - 82.000	17
Lagoa aerada facultativa	4.000 - 7.500	Sim	7 - 30	1.015.000 - 1.827.000	103.000 - 183.000	44
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sedimentação	3.000 - 6.000	Sim	10 - 30	1.015.000 - 1.827.000	103.000 - 183.000	69
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	45.000 - 75.000	Não	20 - 60	1.015.000 - 2.030.000	51.000 - 103.000	93
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de alta taxa	30.000 - 52.000	Sim	20 - 70	1.015.000 - 1.827.000	72.000 - 122.000	15
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	25.000 - 47.500	Não	25 - 70	1.015.000 - 1.827.000	72.000 - 122.000	18
Infiltração lenta	148.500 - 741.000	Não	-	406.000 - 1.218.000	21.000 - 61.000	0
Infiltração rápida	15.000 - 89.000	Não	-	609.000 - 1.421.000	32.000 - 72.000	0
Escoamento superficial	30.000 - 52.000	Não	-	812.000 - 1.624.000	40.000 - 82.000	0
Terras úmidas construídas (wetlands)	44.500 - 74.000	Não	-	1.015.000 - 1.624.000	51.000 - 82.000	0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	3.000 - 5.200	Não	25 - 50	1.624.000 - 2.639.000	122.000 - 203.000	134
Tanque séptico + infiltração	15.000 - 22.500	Não	15 - 35	1218000 - 2.030.000	61.000 - 103.000	19
Reator UASB	500 - 1.500	Não	10 - 35	609.000 - 1.015.000	51.000 - 72.000	342
UASB + lodos ativados	1.200 - 3.000	Sim	15 - 60	1.421.000 - 2.233.000	143.000 - 243.000	244
UASB + biofiltro aerado submerso	800 - 2.300	Sim	15 - 55	1.321.000 - 2.030.000	143.000 - 243.000	333
UASB + filtro anaeróbio	800 - 2.300	Não	10 - 50	915.000 - 1.421.000	72.000 - 112.000	267
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	1.500 - 3.000	Não	15 - 55	1.218.000 - 1.827.000	103.000 - 153.000	213
UASB + flotação por ar dissolvido	800 - 2.300	Sim	25 - 75	1.218.000 - 1.827.000	122.000 - 183.000	500
UASB + lagoas de polimento	22.500 - 37.000	Não	10 - 35	819.000 - 1.421.000	92.000 - 143.000	10

UASB + lagoa aerada facultativa	2.300 - 4.500	Sim	15 - 50	812.000 - 1.827.000	103.000 - 183.000	133
UASB + lagoa aerada mist. compl. + lagoa decantação	1.500 - 4.500	Sim	15 - 50	819.000 - 1.827.000	103.000 - 183.000	158
UASB + escoamento superficial	22.300 - 44.500	Não	10 - 35	1.015.000 - 1.827.000	103.000 - 143.000	9
Lodos ativados convencional	1.800 - 3.800	Sim	35 - 90	2.030.000 - 3.249.000	203.000 - 406.000	326
Lodos ativados - aeração prolongada	1.800 - 3.800	Sim	40 - 105	1.827.000 - 2.436.000	203.000 - 406.000	377
Lodos ativados - batelada (aeração prolongada)	1.800 - 3.800	Sim	40 - 105	1.827.000 - 2.436.000	203.000 - 406.000	377
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	1.800 - 3.800	Sim	35 - 90	2.233.000 - 3.452.000	203.000 - 446.000	326
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	1.800 - 3.800	Sim	35 - 90	2.639.000 - 3.858.000	306.000 - 509.000	326
Lodos ativados convencional + filtração terciária	2.300 - 4.500	Sim	40 - 100	2.639.000 - 3.858.000	306.000 - 509.000	300
Filtro biológico percolador de baixa carga	2.300 - 4.500	Não	35 - 80	2.436.000 - 3.046.000	203.000 - 306.000	250
Filtro biológico percolador de alta carga	1.800 - 3.800	Não	35 - 80	2.436.000 - 3.046.000	203.000 - 306.000	306
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	1.500 - 2.300	Sim	35 - 90	1.421.000 - 2.436.000	163.000 - 306.000	475
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	1.500 - 2.300	Sim	35 - 90	1.624.000 - 2.639.000	163.000 - 306.000	475
Tanque séptico + biodisco	1.500 - 3.000	Não	20 - 75	2.436.000 - 3.046.000	203.000 - 306.000	288

Fonte: Autores, adaptação de Von Sperling (2014).

Os tipos de tratamentos que respeitam os parâmetros estabelecidos são os Reatores UASB, somados de Flotação por ar dissolvido ou Biofiltro aerado submerso. Estes tratamentos atendem a demanda sendo compactos e com baixo custo de implantação e operação. A compacidade foi estimada pelo comparativo da área que o atual tratamento contempla em

relação a população que atende, o que remete a uma área de aproximadamente 6.000 m² de terreno e 1.200 m² de área reservada para o tratamento (Tabela 2).

TABELA 3: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos coerentes com os parâmetros adaptados pela metodologia do estudo.

Sistema	Área exigida pelo tratamento (m ²)	Potência consumida na operação	Lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Custos (US\$1=R\$3,7/2018)		Eficiência por área - Volume/área (L/m ² .ano)
				Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)	
UASB + biofiltro aerado submerso	800 - 2.300	Sim	15 - 55	1.321.000 - 2.030.000	143.000 - 243.000	333
UASB + flotação por ar dissolvido	800 - 2.300	Sim	25 - 75	1.218.000 - 1.827.000	122.000 - 183.000	500

Fonte: Autores.

Foram retiradas informações do sítio da Prefeitura (2018) sobre os custos da ampliação da ETE - Monjolinho para traçar um paralelo com o custo de implantação de novas estações de tratamento de esgoto compactas. Os custos de manutenção e operação da ETE foram retirados do sítio do portal de transparência do SAAE (2018), valor de referência de 2017. Destes custos foi traçado um equivalente comparando a população atendida pela gasto e a perspectiva do gasto com a projeção da população para a área de estudo. O custo das estações elevatórias foram calculadas pela equação 1, proposta por Colossi (2002) e para as 3 estações elevatórias previstas pelo Plano Municipal de Saneamento do Município de São Carlos (PMSSanCa) o montante alcança R\$ 500.000.

$$y = 3290 x L^{0,330} x X^{0,679}$$

y: custo em dólares (US\$)

L: altura manométrica (m)

X: vazão (L/s)

Segundo Pacheco (2011), os custos mínimos para implementação da rede coletora giram em torno de R\$ 408,88 por habitante, podendo aumentar para redes menores. Com isso, teremos um valor mínimo de aproximadamente R\$ 2.780.000,00 para a implantação do sistema de coleta de efluentes domésticos para as áreas que ainda não tem sistema de coleta de esgoto.

Para um comparativo com o atual sistema de tratamento de esgoto doméstico do município foi identificada uma fração equivalente à perspectiva de população da expansão urbana da área de estudo correlacionada com o custo e produção de esgoto pelo município, com as referências da população do município. Está em fase de implementação a ampliação da ETE - Monjolinho que pretende tratar 319 L/s ao custo de R\$ 29 milhões. O equivalente para a previsão da vazão de esgoto doméstico (46,6 L/s) da população estimada soma R\$ 4,16 milhões. E quando levantado o custo de manutenção e operação para o ano de 2017, os

valores somam R\$ 33,13 milhões para o tratamento de esgoto do município, o equivalente em população para a pretensão da área de estudo soma 2,03 milhões - considerando a razão 7/17 entre tratamento de esgoto e tratamento de água operada pelo SAAE.

A relação desses gastos está disposta na Tabela 3, a seguir:

TABELA 3: Comparativo entre o tratamento proposto com o equivalente do tratamento vigente.

Sistema	Área exigida pelo tratamento (m ²)	Custos (R\$)		
		Implantação	Operação(ano)	Rede Coletora
UASB + biofiltro aerado submerso	800 - 2.300	1.321.000 - 2.030.000	143.000 - 243.000	2.780.000
UASB + flotação por ar dissolvido	800 - 2.300	1.218.000 - 1.827.000	122.000 - 183.000	2.780.000
Estações Elevatória de Esgoto	(1)	500.000	(3)	-
Equivalente da Ampliação da ETE - Monjolinho	(2)	4.164.000	2.028.000	2.780.000

Fonte: Autores.

Com esta projeção, se apresenta mais viável economicamente o uso de estações de tratamento de esgoto compactas, sendo mais econômicas devido a ter menor custo de operação por ano e o menor custo de instalação quando comparado com o de ampliação. Somente o custo de implementação da rede coletora pode ser maior (PACHECO, 2011), e isso se deve ao não aproveitamento de estruturas pré-existentes, porém, os custos para redes coletoras se equiparam no caso deste projeto, em que a maioria do território está em processo de ocupação ou não apresenta coleta de esgoto.

Os parâmetros dos custos de operação e área correspondente para as EEEs (Pontos 1 e 3 da Tabela 3) não foram incluídos para não incorrerem em dupla contagem, já que os dados dispostos pelo serviço de coleta de efluentes não estão minuciosamente declarados, só podendo serem usados em sua forma mais explícita. E a parcela correspondente ao aumento da área da ETE - Monjolinho devido a ampliação (Ponto 2), ainda não está disponibilizada em relatórios oficiais.

Sendo assim, este projeto pretende apresentar uma opção de menor custo para o tratamento dos efluentes da área da Bacia Hidrográfica das nascentes do córrego Chibarro. Na qual se apresenta pela proposta de um tratamento de menor porte, no máximo 1 (um) hectare (1 a 2 terrenos padrões do correspondente aos condomínios de chácaras que cercam). Sistema que se utiliza de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) somada a flotação por ar dissolvido, que apresentam menor custo de implantação e manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R. A.; LINS, G. A.; AGUIAR, L. A.; AQUINO, A. R.; EGUTE, N. S. **Análise de risco ambiental em estações de tratamento de esgotos (ETE) utilizando a análise preliminar de perigo (APP)**. Rev. Bras. Pesq. Des. - Vol. 10 - n° 2 - Agosto 2008.

BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F. R. **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo**. Eng. sanit. ambient. Vol.10 - Nº 4 - out/dez 2005, 329-338.

BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; FERRAUDO, A. S. **Monitoramento da Qualidade Hídrica e Eficiência de Interceptores de Esgoto em Cursos d'Água Urbanos da Bacia Hidrográfica do Córrego Jaboticabal**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8 n.2 Abr/Jun 2003, 161-171.

COLOSSI, N. **Modelos Paramétricos De Custos Para Projetos De Sistemas De Esgoto Sanitário**. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. 137 p.

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS MÉDIAS DE SÃO CARLOS BRASIL. Weather Spark. <<https://pt.weatherspark.com/y/30178/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Carlos-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 08 maio 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos** (Rio de Janeiro - RJ). Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

GODOY, L. C. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. Revista Científica On-line: Tecnologia – Gestão – Humanismo. Revista v.2, n.1 – Faculdade de Tecnologia de Guaratinguetá. Guaratinguetá - SP, 2013.

GOMES, H. P. **Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos**. 2ª Edição. 145 p. ISBN: João Pessoa Editora Universitária/UFPB, 2009.

GONÇALVES, R. F.; ARAÚJO, V. L.; CHERNICHARO, C. A. **Tratamento secundário de esgoto sanitário através da associação em série de reatores uasb e biofiltros aerados submersos**. 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais, CD-ROM. Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Manual Técnico do Uso da Terra**, 3ª ed. (Rio de Janeiro - RJ). Manuais Técnicos em Geociências, nº 7. Rio de Janeiro, 2013.

_ - **Estatística por cidade e estado**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=3548906>>. Acesso em: 08 maio 2018.

LEITE, G. S.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S. F. **Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas tandem em alta resolução.** Quim. Nova, Vol. 33, No. 3, 734-738, 2010.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura.** Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

PACHECO, R. P. **Custos Para Implantação De Sistemas De Esgotamento Sanitário.** 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

PNUD, IPEA, FJP - **Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.** Perfil: São Carlos - SP (2013). Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/sao-carlos_sp>. Acesso em: 21 Mai. 2018.

PRADO, G. S. **Concepção e estudo de uma unidade compacto para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial.** 240p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

SAAE – Serviço autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de Tratamento de Esgoto.** Aracruz, junho de 2006.

_ - **Dados de Saneamento:** Produção de Água e Esgoto Tratado. Disponível em: <<http://www.saaesaocarlos.com.br/joomla4/index.php/dadosaneamentomenutop/producaoaguaeesgotomenu>>. Acesso em: 21 Mai. 2018.

_ - **Portal de Transparência. Despesas.** Disponível em: <<http://transparencia.cebi.com.br/031/Despesa/Despesas>>. Acesso em: 14 Jun. 2018.

SÃO CARLOS (Município). Prefeitura Municipal. Coordenadoria do Meio Ambiente. **Plano Municipal de Saneamento - São Carlos/SP – PMSSanCa, 2012.** São Carlos, 2012. 421 p.

_ - Conheça São Carlos. **Dados da Cidade (Geográfico e Demográfico).** Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115442-dados-da-cidade-geografico-e-demografico.html>>. Acesso em: 21 Mai. 2018.

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A.; RÖHM, S. A. **Diagnóstico ambiental da sub-bacia do Chibarro no município de São Carlos/SP, considerando o uso e ocupação da terra.** In: Pluris 7., 2016, Maceió - AL. Anais: Fau – UFAL. Maceió: UFAL, 2016. Paper 1102.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** REVISTA UNIARA, n.20, 2007.

USGS. United States Geological Survey. Science for a changing world. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 08 maio 2018.

VAZ, A. P. R.; DUCATTI, M. L.; PASQUALETTO, A. **avaliação de impactos ambientais nas estações de tratamento de esgotos sanitários: ETE – Lajes, Aparecida de Goiânia – GO.** Artigo Científico apresentado ao Serviço Nacional de

Aprendizagem Industrial (SENAI) e Universidade Católica de Goiás (UCG) no curso de Especialização em Gestão Ambiental. 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. Editora: UFMG. 2014.

YAMADA, T. **Ferramentas de geoprocessamento para a análise da vulnerabilidade natural das águas sub-superficiais à poluição, área urbana e seu entorno, município de São Carlos – SP**. 2007. 67 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Urbana), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2007.