

Análise comparativa entre sistema separador absoluto e sistema combinado alternativo de esgotamento e drenagem

Comparative analysis between absolute separator system and alternative combined system of sewage and drainage


- **Data de entrada:**
16/03/2022
- **Data de aprovação:**
13/11/2023

Taiane Regina Hoepers^{1*} | Daniel Costa dos Santos¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.60>

ORCID ID

Hoepers TR  <https://orcid.org/0000-0001-5494-3862>

Santos DC  <https://orcid.org/0000-0002-2024-7954>

Resumo

O Brasil não alcançou a universalização de serviços de saneamento básico, principalmente o de esgotamento e de drenagem. Buscando atenuar esse cenário, este estudo visa comparar um sistema separador absoluto (SSA) – convencionalmente adotado no país – com sistemas combinados, sendo esses alternativos aos existentes no hemisfério Norte, pois, no caso do sistema combinado alternativo (SCA), a rede combinada recebe esgoto já tratado. Neste estudo de caso, foram comparados um SSA com tratamento de esgoto centralizado e quatro concepções de SCA com tratamento de esgoto nos lotes, sob o passeio ou a via, utilizando ou não dispositivos de drenagem urbana sustentável. Entre os sistemas propostos, a concepção do SCA composto por tanque séptico, filtro anaeróbico, valas de filtração, microrreservatórios de retenção e *wetlands* construídos mostrou-se a mais viável financeira e ambientalmente, tendo o menor custo de implantação e a maior remoção de carga de poluentes para cada R\$ 100,00 investidos.

Palavras-chave: Concepção. Dimensionamento. ETEs descentralizadas. Drenagem urbana sustentável. Custos de implantação. Custo-efetividade.

Abstract

Brazil has not reached the universalization of basic sanitation services, mainly regarding wastewater and surface runoff. To mitigate this scenario, this study aims to compare an absolute separator system (ASS) – conventionally adopted in the country – with combined systems, these being alternatives to those existing in the North hemisphere, since, in the alternative combined system (ASC), the combined network only receives treated wastewater. This case study compared an ASS with centralized sewage treatment and four conceptions of ASC with sewage treatment in lots, under the sidewalk or road, using sustainable urban drainage devices or not. Among the proposed systems, the conception of the ASC composed of a septic tank, anaerobic filter, filtration ditches, detention microreservoirs, and constructed wetlands proved to be the most financially and environmentally viable, obtaining the lowest cost of implementation and the greatest removal of pollutants loads for every 100.00 BRL invested.

Keywords: Conception. Design. Decentralized wastewater treatment plants. Sustainable urban drainage. Implementation costs. Cost-effectiveness.

¹ Universidade Federal do Paraná – Curitiba – Paraná – Brasil.

* **Autor correspondente:** taihoepers@ufpr.br

1 INTRODUÇÃO

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico tem como primeiro princípio fundamental a universalização do acesso ao saneamento. Contudo, o Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto do ano de 2019, realizado pelo Serviço Nacional de Informação de Saneamento – SNIS (Brasil, 2020), revela que a universalização está distante de ser alcançada, principalmente em pequenos municípios, que, em geral, não dispõem de sistemas de esgotamento sanitário (IBGE, 2011a). Com relação à drenagem urbana, conforme Barros; Mancini; Ferraz (2014), esses sistemas não atendem a 100% da população urbana dos municípios em que estão instalados e, em muitos casos, são compostos apenas por sarjeta e, por isso, tornam-se ineficientes.

Nesse contexto, dado que os altos custos de implantação de redes nos sistemas separadores absolutos (SSA) de esgotamento e drenagem urbana possam ser barreiras para o alcance da universalização dos serviços de saneamento (Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017; Rodrigues *et al.*, 2020) e considerando a norma brasileira NBR 13969/97 (ABNT, 1997), que estabelece a possibilidade de utilização das redes de drenagem urbana para o esgotamento sanitário, desde que o esgoto nelas lançado já esteja previamente tratado, decidiu-se propor um sistema combinado alternativo (SCA) de esgotamento e drenagem, de forma a economizar na implantação das redes. Esse sistema é considerado alternativo, pois difere dos sistemas combinados clássicos utilizados na Europa e nos Estados Unidos, sendo proposto que os SCA sejam concebidos de forma que as redes combinadas só recebam esgoto tratado, e sob hipótese alguma recebam esgoto bruto.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial de aplicação de quatro concepções diferentes de SCA, verificando sua viabilidade financeira, técnica e ambiental em comparação

com um SSA. O SSA foi concebido com tratamento de esgoto centralizado, prática amplamente adotada no Brasil. Por outro lado, as variações do SCA adotam uma abordagem descentralizada para o tratamento de esgoto, ocorrendo nos próprios lotes, sob o passeio ou as vias, garantindo que apenas o esgoto tratado seja lançado nas redes combinadas. Adicionalmente, as concepções do SCA podem ou não incorporar dispositivos de drenagem urbana sustentável.

Para essa análise, foi realizado um estudo de caso em uma área da sede urbana do município de Nobres, situado no estado do Mato Grosso. Esse município foi escolhido por conta de seu regime hidrológico ser peculiar, com verões de grande intensidade pluviométrica e invernos com índices pluviométricos quase nulos (Martins *et al.*, 2011). Tal regime hidrológico coloca um sistema combinado alternativo sob estado crítico, haja vista que para drenar as águas de escoamento superficial durante o período chuvoso se faz necessário o uso de redes de drenagem de grandes diâmetros, redes essas que também devem ser capazes de transportar apenas o esgoto tratado em períodos de seca.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Para analisar comparativamente a aplicação de um SSA com diferentes concepções de SCA, foi feito um estudo de caso em uma área da sede urbana do município de Nobres, situado no estado do Mato Grosso. As Figuras 1 e 2 mostram a localização do município e a demarcação da área de estudo em sua sede urbana, respectivamente. Esse município tem uma área de 3.894,26 km², uma população de aproximadamente 15.002 habitantes, sendo 83% urbana, segundo o censo de 2010 do IBGE. Quanto à área estudada, essa contém os bairros mais antigos e centrais da cidade, com uma área de aproximadamente 174 ha e com cerca de 42% da população urbana. A projeção da população da área de estudo para o ano de 2018, com uma

taxa de crescimento populacional igual a 0,406% (IBGE, 2011b), resultou em 5.250 habitantes.

O município tem precipitação média anual igual a 1.650 mm/ano (SEMA-MT, 2018) e inverno muito seco (Martins *et al.*, 2011). Quanto ao saneamento básico, de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Nobres – PMSB (FUNASA, 2017), a cobertura de abastecimento de água para a população urbana é

igual a 100%, com consumo efetivo de água *per capita* da sede urbana igual a 1461/hab.dia; quanto à drenagem urbana, cerca de 49% das vias têm meio-fio e sarjeta e 27% galerias de águas pluviais. No que diz respeito ao esgotamento sanitário, segundo o Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017), o tratamento de esgoto é realizado por soluções individuais e a cobertura de tratamento de esgoto é igual a 20%.

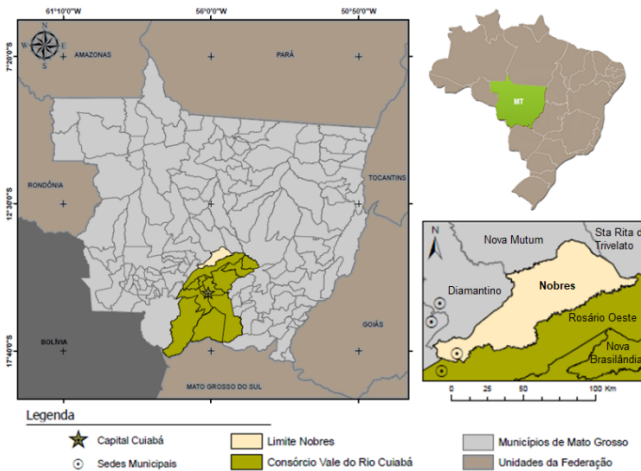


Figura 1 – Localização do município de Nobres

Fonte: Adaptado de FUNASA (2017) e <http://www.prevenmatogrosso.com.br/sobre-a-regiao/>.

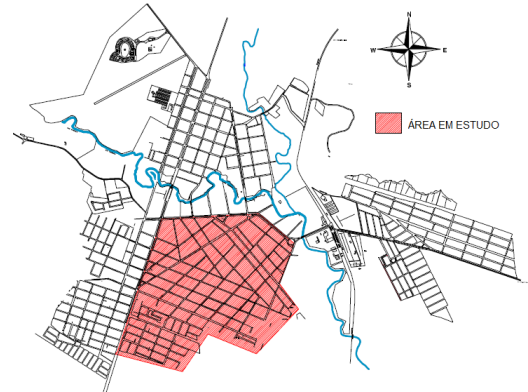


Figura 2 – Planta baixa da sede urbana do município de Nobres com a demarcação da área em estudo

2.2 Concepção do sistema separador absoluto – SSA

O SSA (Figura 3) é composto pelo sistema de drenagem urbana (SDU) e pelo sistema de esgotamento sanitário (SES), os quais são concebidos de forma completamente independente. Na concepção do SDU, por conta de a área total a ser drenada ter cerca de 2 km², foi possível utilizar o método racional para determinar as vazões do projeto. Para drenar essa área, como forma de diminuir os diâmetros necessários, foram lançadas três redes (Figura 4), cada qual com sua descarga, com 10.922,1 m de extensão somadas. Também foi respeitada a topografia local, de modo que o escoamento das águas pluviais pudesse ocorrer por gravidade. Cabe destacar que o SDU tem diversos

componentes, como sarjetas, bocas-de-lobo, tubulações, caixas de ligação, poços de visita e de queda, porém, apenas as tubulações da rede de drenagem foram dimensionadas nesse trabalho.

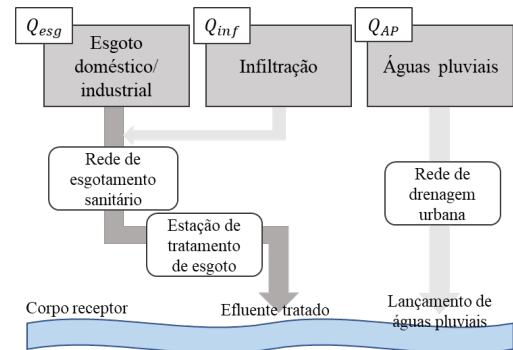


Figura 3 – Configuração do sistema separador absoluto (SSA)

A intensidade pluviométrica foi calculada através da equação (1), obtida no estudo feito por Oliveira *et al.* (2011) para a estação pluviométrica Quebó. Essa estação está situada no município de Nobres, a aproximadamente 25 km da sede urbana.

$$i = (957,1419 \cdot T^{0,1375}) / [(t+0,7854)^{0,7242}] \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

i: intensidade pluviométrica (mm/h); T: período de retorno (anos); t: tempo de duração da chuva (min).

Na determinação da intensidade pluviométrica foram utilizados um período de retorno de cinco anos e um tempo de duração da chuva inicial igual a 10 minutos. No dimensionamento das seções

não iniciais das redes de drenagem, adiciona-se ao tempo de duração da chuva inicial o intervalo de tempo necessário para que a água percorra o trecho anterior. O coeficiente de escoamento superficial adotado foi igual a 0,6, pois a área em estudo é residencial, composta por residências unifamiliares e com ocupação dos terrenos igual ou inferior a 50% da área total deles. Para o dimensionamento da tubulação de drenagem foi utilizada a equação de Manning-Strickler, a partir da qual, com a entrada de um diâmetro, declividade e coeficiente de rugosidade da tubulação, é possível verificar qual vazão é capaz de escoar pela tubulação.

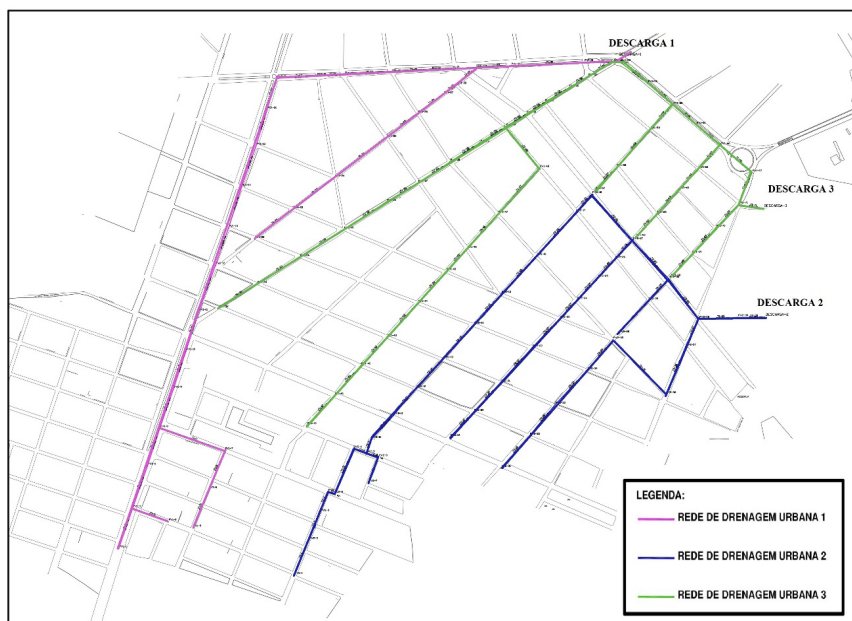


Figura 4 – Planta de lançamento das redes de drenagem urbana do sistema separador absoluto.

Já na concepção do SES, a rede coletora também foi lançada respeitando a topografia local, de forma que todo o escoamento pudesse ocorrer por gravidade, resultando em um comprimento de rede igual a 25.936,7 m. O dimensionamento da rede coletora seguiu o estipulado pela NBR 9649/1986 – Projeto de redes coletoras de esgoto (ABNT, 1986). Havendo a necessidade de adoção de valores,

foram utilizados valores intermediários às faixas estipuladas pela norma, como no caso da taxa de infiltração cujo valor adotado foi 0,8L/s.km. Foram adotados coeficiente de retorno de esgoto igual a 0,8, coeficiente de máxima vazão diária igual a 1,2 e coeficiente de máxima vazão horária igual a 1,5. No que diz respeito ao tratamento de esgoto, foi adotada uma estação de tratamento de esgoto

(ETE) centralizada cuja configuração pode ser vista na Figura 5. A configuração da ETE foi escolhida de modo a propiciar uma boa remoção de matéria orgânica, nutrientes e patogênicos, com a adoção

de tecnologias de tratamento sob os princípios de soluções baseadas na natureza. A configuração adotada tem eficiência suficiente para não alterar a classificação do rio, que serve de corpo receptor.

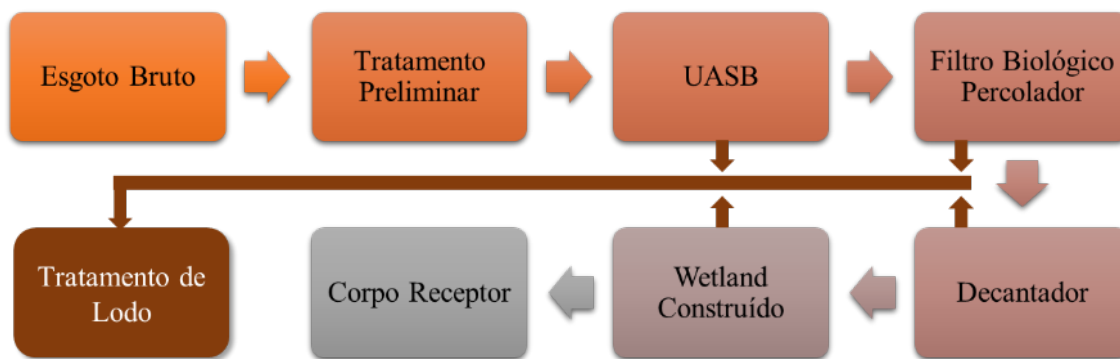


Figura 5 – Configuração do tratamento de esgoto adotada para o sistema separador absoluto (SSA).

2.2.1 Estimativa de cargas de poluentes

Para estimar a carga de poluentes lançadas no corpo receptor pelo SDU, foi utilizada a equação (2) de Akan e Houghtalen (2003).

$$M_s = \alpha \cdot P \cdot f \cdot s \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

M_s : carga de poluentes carreados (lb/acre.ano); α : fator de carga de cada parâmetro dos poluentes (lb/pol); P : precipitação anual (pol/ano); f : função de densidade populacional (1/acre); s : coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

A função de densidade populacional para áreas residenciais é dada pela equação (3). Para áreas comerciais e industriais é utilizado $f = 10$, e para áreas de parques, escolas e cemitérios é utilizado $f = 0,142$. (Akan; Houghtalen, 2003).

$$f = 0,142 + 0,218D^{0,54} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

D : densidade populacional (hab/acre).

A Tabela 1 contém os valores para os fatores de carga de cada parâmetro de poluente. O coeficiente de escoamento superficial adotado foi igual a 0,6, como já mencionado anteriormente. E a carga de poluentes será quantificada em quilos por ano, por fim, através da equação (4).

$$C_{AP} = 11,21 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot M_s \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

C_{AP} : Carga de poluentes provinda da água de escoamento superficial (kg/ano); A : Área drenada (m^2); M_s : carga de poluentes carreados (lb/acre.ano).

Tabela 1 – Fator de carga dos parâmetros de poluentes em sistemas de drenagem urbana separadores.

| Uso da terra | DBO5 (lb/pol) | Sólidos suspensos (lb/pol) | Sólidos voláteis (lb/pol) | Ortofosfato (lb/pol) | Nitrogênio (lb/pol) |
|--------------|---------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|
| Residencial | 0,799 | 16,3 | 9,4 | 0,0336 | 0,131 |
| Comercial | 3,200 | 22,2 | 14,0 | 0,0757 | 0,296 |
| Industrial | 1,210 | 29,1 | 14,3 | 0,0705 | 0,277 |
| Outro | 0,113 | 2,7 | 2,6 | 0,0099 | 0,060 |

Fonte: Akan; Houghtalen, 2003.

Já para a estimativa de cargas lançadas no corpo hídrico pelo SES foram utilizados os valores típicos de caracterização de esgoto bruto encontrados em von Sperling (2017), e como eficiência de remoção de poluentes pela configuração de ETE adotada foram utilizadas as médias das faixas de eficiência levantadas pelo mesmo autor.

2.2.2 Composição de custos

O custo unitário da tubulação de drenagem urbana foi obtido com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (Caixa, 2019) para o estado do Mato Grosso. Utilizando esses custos unitários, foi elaborada uma equação (5) do tipo polinomial de segunda ordem para a determinação dos custos de tubulação com diâmetros distintos dos encontrados no SINAPI.

$$y = 0,0002x^2 + 0,0854x + 39,638 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

x: diâmetro da tubulação de drenagem (mm); y: custo de implantação (R\$).

Com relação aos custos da rede de esgotamento sanitário, foram adotados os custos levantados por Pacheco (2011), para solo favorável, baixa urbanização e nível baixo de escavação do terreno, haja vista que não são representativos os trechos em que a cobertura da rede coletora de esgoto é maior que a mínima. Em se tratando dos custos de tratamento de esgoto, estes foram obtidos através da adoção dos valores médios da faixa de custos levantada por von Sperling (2017). O tratamento de lodo foi considerado por leitos de secagem, cujos custos foram obtidos utilizando-se do levantamento de Pacheco (2011).

Para a atualização dos custos adotados para a data base de dezembro de 2022, empregou-se o conceito de Valor Presente, utilizando como taxa de juros a série histórica do Índice Nacional de Custo da Construção – INCC (IBRE, 2023). A Tabela 2 traz os custos atualizados.

Tabela 2 – Custos do sistema de esgotamento sanitário do sistema separador absoluto (SSA).

| Sistema de esgotamento sanitário | Unidade | Custo adotado | Data base | Custo atualizado para dezembro de 2022 |
|---|---------|---------------|-----------|--|
| UASB + filtro biológico percolador de alta taxa | R\$/hab | 200,00 | 2010 | 499,51 |
| Wetland construído | R\$/hab | 150,00 | 2010 | 374,63 |
| Leitos de secagem de lodo | R\$ | 43.2240,00 | 2011 | 1.001.701,35 |
| Rede coletora de esgoto DN 150 | R\$/m | 105,08 | 2011 | 243,52 |
| Rede coletora de esgoto DN 200 | R\$/m | 124,08 | 2011 | 287,55 |
| Rede coletora de esgoto DN 250 | R\$/m | 156,71 | 2011 | 363,17 |

Fonte: Adaptado de von Sperling (2017) e Pacheco (2011).

2.3 Concepção dos sistemas combinados alternativos – SCA

Como mencionado anteriormente, o SCA consiste no lançamento de esgoto tratado nas redes de drenagem urbana, que passam a transportar águas combinadas: águas pluviais + esgoto tratado. Nesse contexto, foram elaboradas quatro concepções diferentes de SCA, denominadas Concepção

A1 (Figura 6), Concepção A2 (Figura 7), Concepção B1 (Figura 8) e Concepção B2 (Figura 9).

Cabe destacar que neste estudo de caso não foi considerada a utilização de redes de drenagem urbana existentes na área de estudo para o recebimento do esgoto tratado. Nesse caso, foram projetadas novas redes combinadas alternativas para o escoamento das águas pluviais e dos esgotos sanitários.

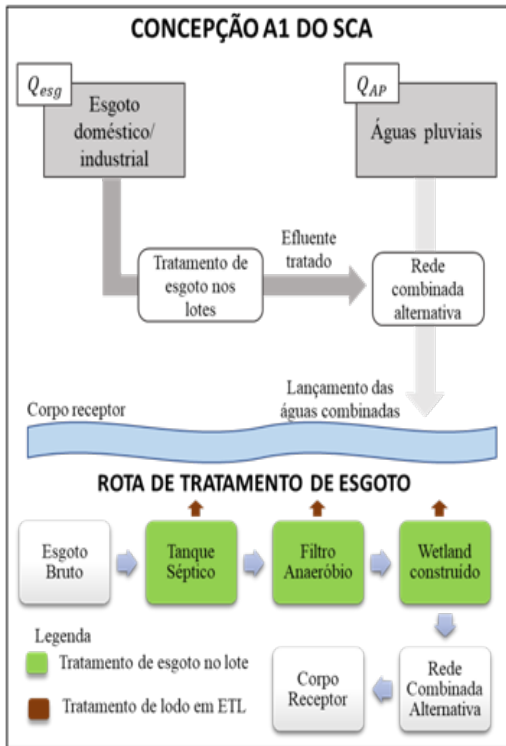


Figura 6 – Concepção A1 do sistema combinado alternativo (SCA).

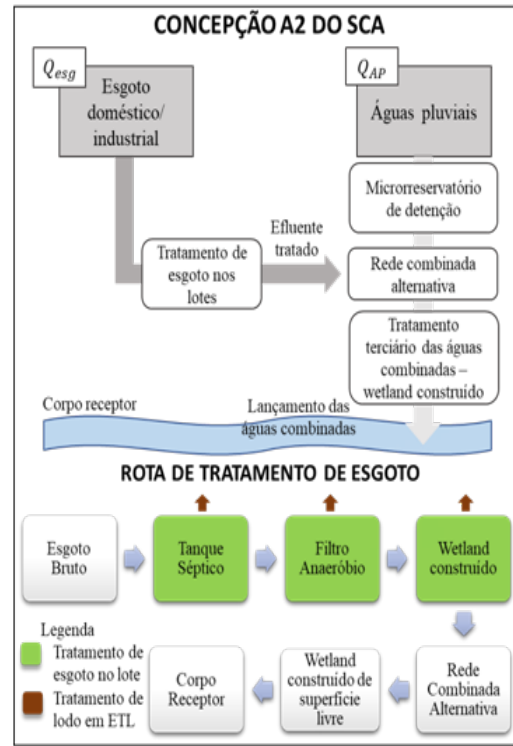


Figura 7 – Concepção A2 do sistema combinado alternativo (SCA).

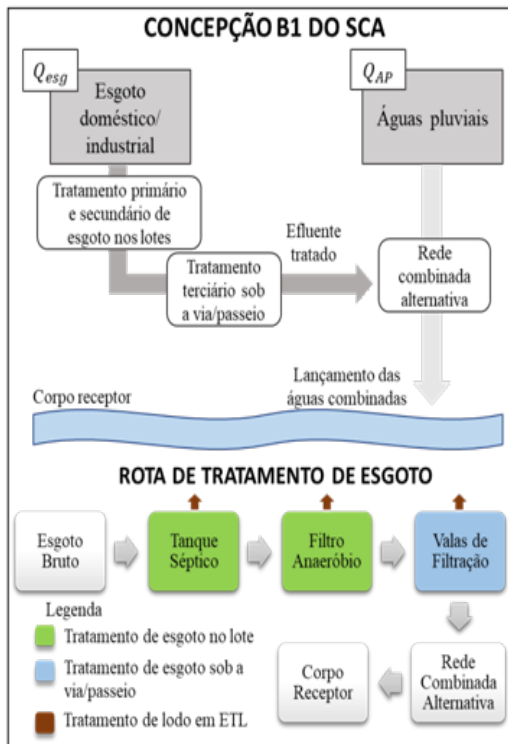


Figura 8 – Concepção B1 do sistema combinado alternativo (SCA).



Figura 9 – Concepção B2 do sistema combinado alternativo (SCA).

Como pode ser notado, o que difere as concepções de final 1 das de final 2 é a utilização de dispositivos de drenagem urbana sustentável, sendo eles os microrreservatórios de retenção (MRD) e os *wetlands* construídos de superfície livre (WCSL) para tratamento das águas combinadas, que não são adotados nas primeiras concepções, mas nas segundas sim. Dito isto, visto que o esgoto lançado nas redes combinadas é tratado e, portanto, tem uma baixa concentração de sólidos suspensos, o dimensionamento das redes combinadas das concepções A1 e B1 é feito de forma similar ao utilizado no SSA. O que difere no dimensionamento das redes é a vazão de projeto. Enquanto a rede do SSA é dimensionada para a vazão de águas pluviais provindas do método racional, a vazão de projeto da rede combinada é um somatório entre as vazões de águas pluviais com as de esgoto tratado, como pode ser observado na equação (6). Os demais critérios de dimensionamento para as redes combinadas alternativas são os mesmos utilizados nas redes de drenagem urbana do SSA.

$$Q_C = Q_{AP,m} + Q_{esg,m} + Q_{esg,t} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

Q_C : vazão das águas combinadas no trecho em dimensionamento (l/s); $Q_{AP,m}$: vazão de águas pluviais a montante do trecho (l/s); $Q_{esg,m}$: vazão de esgoto tratado a montante do trecho (l/s); $Q_{esg,t}$: vazão de esgoto tratado com a contribuição do trecho (l/s).

Já com relação aos dispositivos de drenagem urbana sustentável, utilizados nas concepções A2 e B2, foram adotados os MRD alocados nos lotes com o objetivo de armazenar a água provinda dos telhados das habitações, amortizando as vazões máximas a serem escoadas pelo sistema combinado. Para quantificar a redução das vazões promovida pelos MRD foi utilizado o método sugerido por Destro (2016), cujas variáveis são: (i) a constante de todos os eventos de chuva, adotada igual a 0,80; (ii) o tempo de duração da chuva (min), sendo utilizado o mesmo tempo de duração de chuva calculado para o trecho de rede em que o MRD está instalado; (iii) o tempo de retenção no MRD (min), calculado seguindo uma relação entre (i) e (ii); (iv) o volume do MRD (m^3),

adotado igual a $1 m^3$; e (v) a vazão de saída do MRD (m^3/s), calculada relacionando (iii) e (iv); sendo, dessa forma, possível estimar a vazão reduzida/amortizada das águas pluviais (m^3/s) devido à utilização de tais dispositivos. Os MRD foram alocados em 229 lotes da área em estudo, o que representa 14,4% do total de lotes presentes na área, sendo de dois a três lotes por trecho da rede combinada.

Finalmente, as redes combinadas das concepções A2 e B2 foram dimensionadas da mesma forma que as outras concepções, apenas com a substituição da vazão de projeto obtida através do método racional pela vazão reduzida/amortizada.

Cabe destacar que para o SCA foram mantidos os traçados de rede utilizados no SSA, de forma a facilitar a comparação entre os sistemas.

O dimensionamento dos *wetlands* construídos de superfície livre, dispostos ao final de cada rede combinada das concepções A2 e B2, foi feito de acordo com Tomaz (2006), e os detalhamentos do dimensionamento podem ser encontrados em Hoepers (2019).

No que diz respeito às redes coletoras de esgoto, o traçado foi mantido igual ao do SSA para as concepções A1 e A2, visto que a rede combinada não recebe contribuição em marcha, e seu dimensionamento também seguiu a NBR 9649/1986 (ABNT, 1986). Já as concepções B1 e B2 não têm rede coletora de esgoto, pois o esgoto é transportado até a rede combinada pelas valas de filtração que podem estar situadas sob a via ou sob o passeio, como pode ser visto nas figuras 10 e 11. O dimensionamento das valas de filtração foi feito de acordo com o explicitado por Hoepers (2019), baseado nos conceitos de Nuvolari (2003).

2.3.1 Estimativa de cargas de poluentes

Da mesma forma que no SSA, as cargas provindas do escoamento superficial foram estimadas com base em Akan e Houghtalen (2003). Também como no SSA, a estimativa de cargas provindas do esgoto foi baseada em von Sperling (2017), bem como as eficiências de remoção pelas configura-

ções de tratamento utilizadas. As eficiências de remoção de poluentes pelo wetland construído

de superfície livre também foram adotadas de acordo com von Sperling (2017).

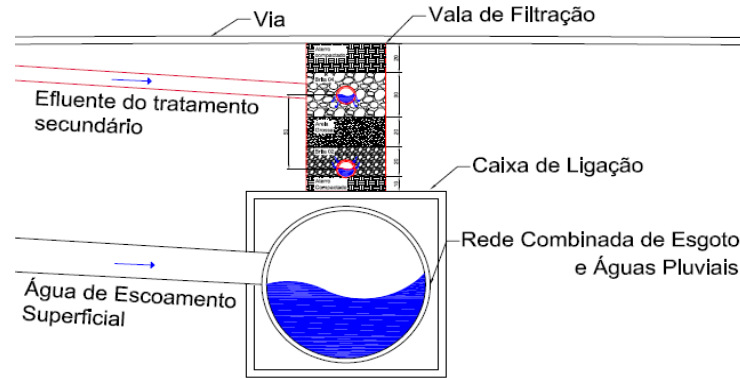


Figura 10 – Vista em corte da vala de filtração locada sob a via.

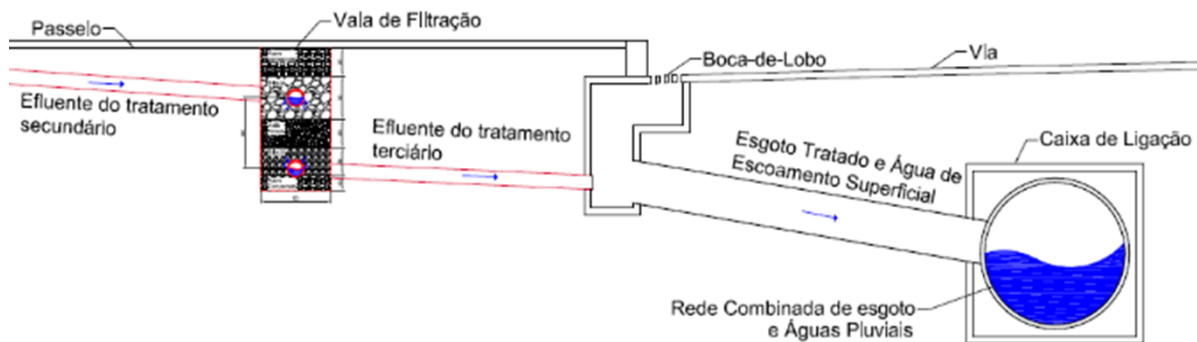


Figura 11 – Vista em corte da vala de filtração locada sob o passeio.

2.3.2 Composição de custos

Assim como no SSA, os custos das redes combinadas foram obtidos com base no SINAPI (Caixa, 2019) para o estado do Mato Grosso.

Os custos de tratamento de esgoto foram obtidos através da adoção dos valores médios da faixa de custos levantada por von Sperling (2017), com exceção das valas de filtração, nas quais foi feita uma composição de custos utilizando-se também do sistema SINAPI (Caixa, 2019). A composição dos custos das valas de filtração pode ser encontrada em Hoepers (2019). Com relação ao tratamento de lodo, foram utilizados os custos levantados por Pacheco (2011).

No que concerne aos dispositivos de drenagem urbana sustentável, os custos dos MRD de retenção foram obtidos adotando os valores de Costa Junior e Barbassa (2006). Já os custos dos wetlands construídos de superfície livre foram levantados de acordo com Kadlec e Wallace (2009) [equação (7)].

$$C=194000 \cdot A^{0,690} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:

C: Custo do wetland construído de superfície livre (US\$); A: Área do wetland construído de superfície livre (ha).

Todos os custos cuja data base não era dezembro de 2022 foram atualizados para o valor presente utilizando o INCC. No caso dos wetlands construídos de superfície livre, antes da atualização

de valores, foi feita uma conversão do custo em dólar americano para o real brasileiro de acordo

com cotação do Banco Central do Brasil. Os custos atualizados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 – Custos das concepções do sistema combinado alternativo.

| Concepção | Sistema de esgotamento sanitário | Unidade | Custo adotado | Data base | Custo atualizado para dezembro de 2022 |
|-----------|--|----------|---------------|-----------|--|
| * | Leitos de secagem | R\$ | 432.240,00 | 2011 | 1.001.701,35 |
| * | Microrreservatórios de detenção | R\$/lote | 843,90 | 2005 | 2.900,11 |
| * | Wetland construído de superfície livre | R\$ | 248.972,75 | 2009 | 642.026,66 |
| A | Rede coletora de esgoto DN 100 | R\$/m | 82,25 | 2011 | 190,60 |
| | Tanque séptico + filtro anaeróbio | R\$/hab | 230,00 | 2010 | 574,43 |
| | Wetland construído | R\$/hab | 150,00 | 2010 | 374,63 |
| B | Tanque séptico + filtro anaeróbio | R\$/hab | 230,00 | 2010 | 574,43 |
| | Valas de filtração | R\$/m | 160,82 | 2018 | 235,45 |

(*) Sistema utilizado em mais de uma concepção.

Fonte: Adaptado de von Sperling (2017), Pacheco (2011) e Caixa (2019).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste estudo foram concebidos e dimensionados para uma área da sede urbana do município de Nobres-MT um SES centralizador e um SDU, que compõem um SSA, para que fosse possível analisar comparativamente com quatro concepções diferentes e dimensionamentos de SCA para a mesma área. Nas quatro concepções de SCA foram mantidos os traçados das redes de esgoto (quando necessárias) e de drenagem lançadas para o SSA, a fim de facilitar a comparação entre sistemas. Quanto ao tratamento de esgoto nas concepções de SCA, duas abordagens foram consideradas: tratamento integral nos lotes nas concepções A1 e A2, e tratamento primário e secundário nos lotes, com tratamento terciário realizado sob a via, nas concepções B1 e B2. Cabe destacar que em um SCA as redes combinadas recebem apenas esgoto tratado, como estabelecido pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997). Visando analisar os efeitos causados nos sistemas por dispositivos de DUS, como diminuir os diâmetros das redes combinadas, bem como as cargas lançadas pelos sistemas no meio ambiente, nas concepções A2 e B2 do SCA tais dispositivos foram considerados.

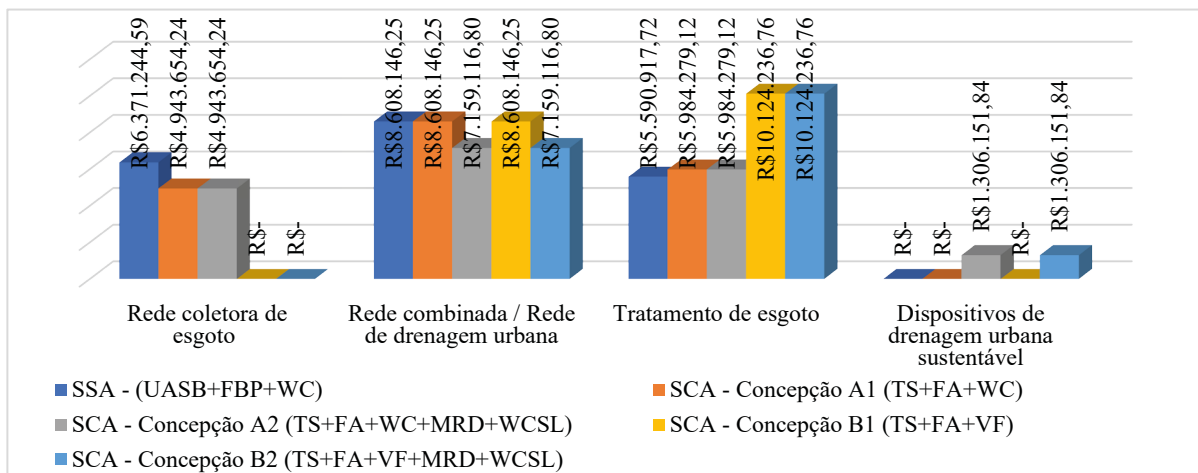
Do ponto de vista técnico, especificamente com relação aos parâmetros hidráulicos das redes combinadas, cujo memorial de cálculo pode ser encontrado em Hoepers (2019), alguns trechos das redes apresentaram escoamento com tensões trativas inferiores ao 1,0 Pa estabelecido por norma para escoamento de esgoto bruto. Trata-se de tensões trativas calculadas considerando que a rede combinada esteja transportando exclusivamente esgoto. Contudo, uma vez que o esgoto transportado nas redes combinadas é sempre tratado com menor concentração de sólidos, esse valor de tensão trativa talvez pudesse ser menor que 1,0 Pa. Quanto a isso, o estudo realizado por Lobato (2020) demonstra a possibilidade de adoção da teoria de transporte de sedimentos para verificar a autolimpeza tanto de redes de drenagem urbana quanto de redes combinadas alternativas, podendo substituir a consideração do conceito de tensão trativa nessas redes para o mesmo fim.

3.1 Custos de implantação

A Figura 12 apresenta uma comparação dos custos de implantação de todos os sistemas

concebidos, abrangendo diferentes modalidades. Esta comparação inclui os custos de implantação das redes coletoras de esgoto, das redes de drenagem urbana do SSA em comparação com as

redes combinadas das diferentes concepções do SCA, os custos dos tratamentos de esgoto e, por fim, os custos dos dispositivos de drenagem urbana sustentável.



Legenda: sistema separador absoluto (SSA); sistema combinado alternativo (SCA); reator UASB (UASB); filtro biológico percolador (FBP); wetland construído (WC); tanque séptico (TS); filtro anaeróbio (FA); valas de filtração (VF); microrreservatórios de retenção (MRD); wetland construído de superfície livre (WCSL).

Figura 12 – Comparação entre os custos de implantação dos sistemas concebidos por modalidade.

Nota-se que as concepções B1 e B2 não apresentam custos de redes coletoras de esgoto, visto que o encaminhamento do esgoto tratado até as redes combinadas, neste caso, é feito por meio das valas de filtração, sendo essas consideradas como sistema de tratamento de esgoto. Por esse motivo, os custos das valas de filtração estão somados na modalidade de tratamento de esgoto, o que a torna mais dispendiosa nessas concepções que nas demais.

No que diz respeito ao tratamento de esgoto, observa-se que o SSA apresenta a solução de menor custo de implantação. Isso ocorre porque o tratamento de esgoto escolhido para essa concepção está situado em uma estação de tratamento de esgotos centralizada, havendo ganho de escala nos custos de implantação. Contudo, Fane e Fane (2005) fizeram uma discussão sobre o ganho de escala nos custos de estações de tratamento centralizadas não ser suficiente para compensar as desvantagens dos gastos com as

redes coletoras de sistemas centralizadores, o que também pode ser observado na Figura 12.

Referente às redes de drenagem urbana ou redes combinadas, verifica-se uma considerável redução nos custos de implantação nas concepções A2 e B2. Isso foi possível devido à adoção de dispositivos de drenagem urbana que promovem um amortecimento nas vazões de águas pluviais a serem transportadas por essas redes.

Sob a luz de todas as considerações feitas anteriormente, a Figura 13 apresenta a comparação entre os custos totais de implantação dos sistemas concebidos. Constata-se que todas as concepções dos SCA obtiveram custos de implantação menores que a concepção do SSA, demonstrando que os SCA podem corroborar para a viabilidade da implantação de sistemas de esgotamento sanitário.

Também é possível identificar na Figura 13 que as concepções A2 e B2, que incluem dispositivos de drenagem urbana sustentável, têm custos de

implantação semelhantes aos das concepções A1 e B1, nas quais esses dispositivos não estão incluídos. Esse fator indica que, apesar dos dispositivos de drenagem urbana sustentável terem um

custo de implantação elevado, a economia com a diminuição dos diâmetros necessários para as redes de drenagem ou combinadas é suficientemente alta para justificar sua implementação.

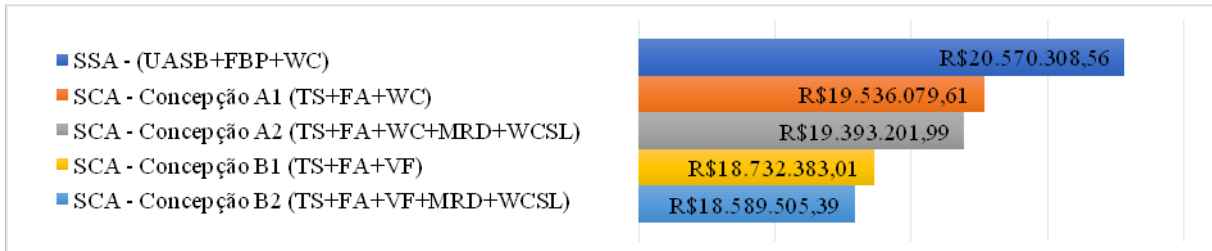


Figura 13 – Comparação entre os custos totais de implantação dos sistemas.

A Figura 14 apresenta a comparação entre os custos unitários de implantação dos sistemas concebidos, ou seja, quanto cada sistema custa por habitante que ele atende. Observa-se que as

consequências da adoção de dispositivos de drenagem urbana sustentável nas redes combinadas representam uma economia de R\$ 27,22 por habitante atendido por cada sistema.



Figura 14 – Comparação entre os custos per capita dos sistemas, em R\$/hab.

Cabe observar ainda que, no Brasil, o custo de implantação de sistemas individuais de tratamento de esgoto nos lotes é de responsabilidade de seus proprietários. Dessa maneira, caso as prefeituras arcassem com o custo de implantação desses sistemas de tratamento, para garantir que fossem corretamente instalados, poderia ser cobrada uma taxa do usuário para a manutenção dos sistemas. No caso da taxa de operação e manutenção de uma ETE centralizada, cobrada do usuário através de sua fatura de água e esgoto,

a cobrança certamente seria maior, visto que sistemas individuais de tratamento não demandam operação diária.

3.2 Cargas de poluentes

Sob o ponto de vista ambiental, a Figura 15 apresenta as cargas de poluentes presentes nas águas combinadas de todos os sistemas concebidos, ou seja, cargas de poluentes lançadas no meio ambiente somando-se as provindas dos esgotos com as provindas do escoamento superficial.

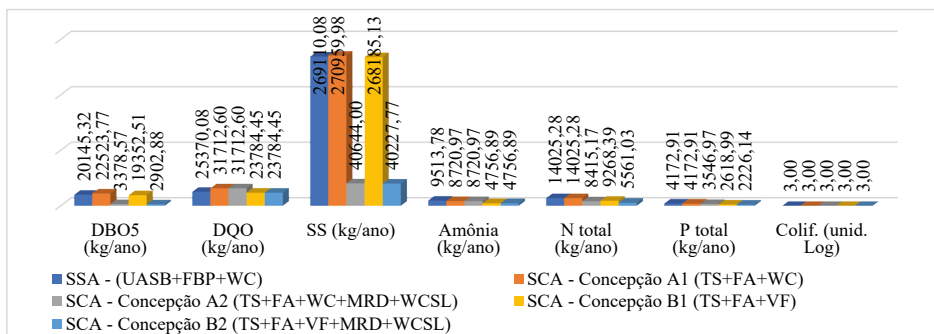


Figura 15 – Cargas de poluentes presentes nas águas combinadas de todos os sistemas concebidos.

No que diz respeito ao esgoto, as concepções B1 e B2 do SCA apresentam um melhor desempenho de tratamento em todos os parâmetros analisados, isso deve-se à adoção das valas de filtração como tratamento terciário nessas concepções. As valas de filtração contam com um filtro de areia em seu recheio filtrante, garantindo uma remoção de partículas menores de poluentes. O desempenho das concepções A1 e A2 do SCA com o tratamento de esgoto realizado nos lotes é inferior à configuração de tratamento escolhida para o SSA em quase todos os parâmetros, porém, devido à natureza das unidades de tratamento propostas, isso já era esperado.

Com relação às cargas de poluentes provindas das águas de escoamento superficial, as concepções que se utilizam de dispositivos de drenagem urbana sustentável (DUS) e, portanto, promovem o tratamento dessas águas, têm um melhor desempenho na remoção de poluentes que as demais, principalmente nos parâmetros sólidos suspensos e na demanda bioquímica de oxigênio.

Cabe ressaltar que não foram consideradas as remoções de poluentes pelos microrreservatórios de retenção, pois não foram encontradas fontes confiáveis com relação às eficiências típicas de remoção promovidas nesses dispositivos.

3.3 Custo-efetividade

Considerando as informações acima, foi possível analisar quantos quilos seria possível remover a cada R\$ 100,00 gastos com a implantação dos sistemas concebidos no final de um ano de operação dos sistemas, como apresentado na Figura 16. Ao analisar a Figura 16, conclui-se que a concepção B2 do sistema combinado alternativo (Figura 17), cujo tratamento de esgoto é realizado nos lotes e sob a via (TS + FA + VF) e são adotados dispositivos de drenagem urbana sustentável (MRD e WCSL), é a concepção mais viável sob o ponto de vista ambiental e financeiro, haja vista que essa foi a concepção que apresentou maiores valores de remoção de cargas de poluentes em todos os parâmetros por cada R\$ 100,00 gastos com a implantação do sistema.

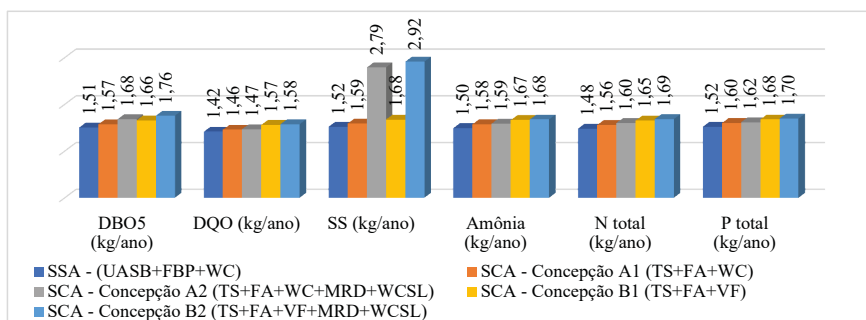


Figura 16 – Remoção de cargas de poluentes a cada R\$100,00 gasto com a implantação do sistema.

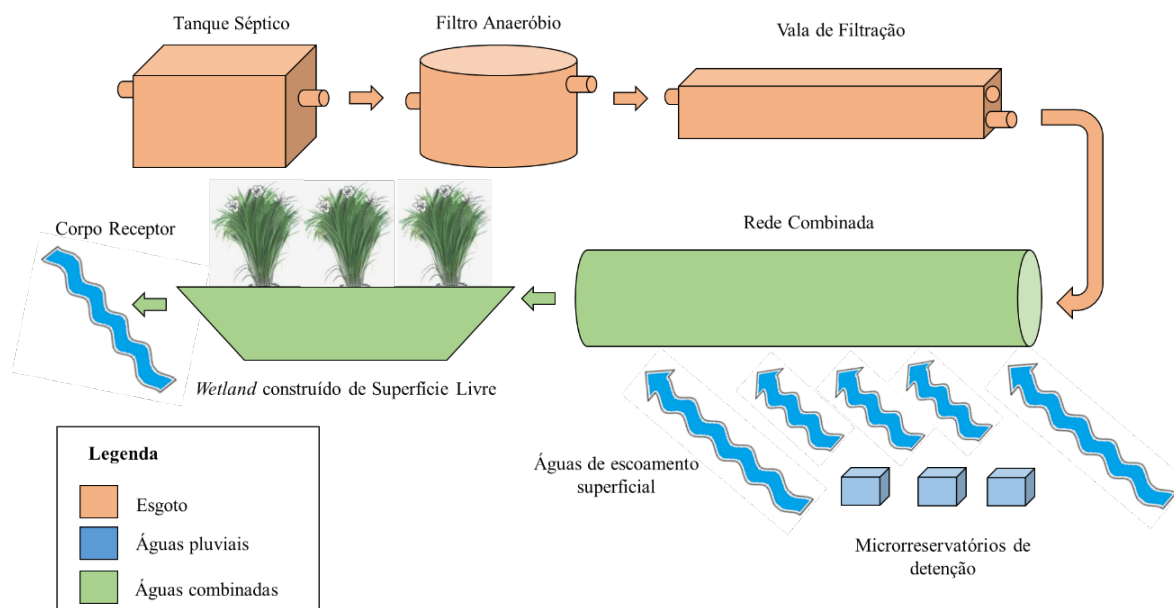


Figura 17 – Ilustração esquemática do sistema combinado alternativo – concepção B2.

4 CONCLUSÕES

Por meio da análise comparativa realizada neste estudo de caso entre o sistema separador absoluto e as quatro concepções de sistemas combinados alternativos foi possível concluir que todos os SCA propostos obtiveram bons resultados com relação à viabilidade financeira, técnica e ambiental se comparado com o SSA.

No que se refere às cargas de poluentes lançadas no corpo receptor, os sistemas que incorporaram DUS demonstraram maior eficiência na remoção de poluentes. Isso ocorre devido à poluição presente nas águas de escoamento superficial, especialmente no que diz respeito aos sólidos suspensos. Nas concepções A2 e B2, que incluem dispositivos de DUS para o tratamento das águas combinadas, essa poluição é significativamente reduzida.

Quanto aos custos, as concepções A1, A2, B1 e B2 do SCA propostas obtiveram um custo de implantação 5,0%, 5,7%, 8,9% e 9,6% menor que o custo de implantação do SSA, respectivamente. Comparando-se esses resultados com os obtidos

por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017), que propõem a implantação de um sistema combinado convencional como solução intermediária, convertendo uma rede de drenagem existente em rede combinada previamente à implantação de um SSA, pode-se concluir que a implantação de um SCA pode ser mais vantajosa, haja vista que por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) foi encontrada uma diferença de 6% entre o sistema combinado convencional e o SSA propostos por eles. Ainda cabe ressaltar que as concepções de SCA propostas são vantajosas do ponto de vista ambiental, pois em sistemas combinados convencionais o esgoto não é 100% tratado no decorrer do ano, visto que em períodos chuvosos as águas combinadas são desviadas diretamente para o corpo receptor sem tratamento prévio, o que não ocorre em nenhuma das concepções do SCA propostas.

Por conseguinte, entre os SCA propostos, a concepção B2 (Figura 9 e Figura 17) apresentou-se como a mais viável, haja vista que foi a concepção com menor custo de implantação e a que removeu mais carga de poluentes para cada R\$ 100,00

gastos com sua implantação. Porém, é importante observar que cada município pode encontrar diferentes soluções que sejam mais atrativas, a depender do estudo de caso.

Portanto, visto que os SCA foram viáveis em todos os aspectos analisados, conclui-se que a adoção de tais sistemas pode contribuir para o aumento da cobertura de esgotamento sanitário e drenagem urbana dos municípios brasileiros, dado que os SCA também podem aproveitar as redes de drenagem urbana pré-existentes no local, uma vez que o esgoto a ser lançado nessas redes já é previamente tratado, atendendo à NBR 13969/97 (ABNT, 1997), e que a utilização de dispositivos de DUS com a finalidade de amortizar as vazões de águas pluviais pode viabilizar o acréscimo de vazão provinda do esgoto tratado. Assim, ao utilizar-se de redes existentes, o custo de implantação dos sistemas diminui, tornando-os ainda mais atrativos do ponto de vista financeiro, considerando que a maioria dos municípios do país conta com um sistema de drenagem urbana, mesmo que em diferentes níveis de cobertura de rede.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Hoepers TR e Santos DC; **Metodologia:** Hoepers TR e Santos DC; **Investigação:** Hoepers TR e Santos DC; **Redação:** Hoepers TR e Santos DC; **Primeira versão:** Hoepers TR e Santos DC; **Redação:** Hoepers TR e Santos DC; **Revisão & Edição:** Hoepers TR e Santos DC; **Aquisição de Financiamento:** Hoepers TR e Santos DC; **Recursos:** Hoepers TR; **Supervisão:** Santos DC.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa para a primeira autora realizar esta pesquisa. Agradecemos também ao Dr. Miguel Mansur Aisse, ao Dr. Ramiro Gonçalves Etchepare, ao Dr. Harry Alberto Bollmann e ao Dr. Marllon Boamorte Lobato por suas contribuições neste trabalho.

7 FONTES DE FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

8 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 1396:** tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9649:** projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- AKAN, A. O.; HOUGHTALEN, R. J. **Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality:** engineering application and computer modeling. Hoboken: Wiley, 2003.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: ANA, 2017.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2007.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019.** Brasília, DF: SNS/MDR, 183 p.:il. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2019/2-Diagnostico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf. Acesso em: 12 mar. 2024.
- BARROS, T. R., MANCINI, S. D., FERRAZ, J. L. Composition and quantification of the anthropogenic and natural fractions of wastes collected from the stormwater drainage system for discussions about the waste management and people behavior. **Environment, Development and Sustainability**, Berlin, v. 16, n. 2, p. 415-42. 2014.
- CAIXA – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Relatório de Insumos e Composições – 2º semestre/2018.** Brasília, DF: Caixa, 2019.
- COSTA JUNIOR, L. L.; BARBASSA, A. P. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 46-54. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100007>

- DESTRO, C. A. M. **The urban water use model as a tool to support the evaluation of sustainable drainage measures in Brazilian cities**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- FANE, A. G. FANE, S. A. The role of membrane technology in sustainable centralized wastewater systems. **Water Science and Technology**, London, v. 51, p. 317-325. 2005. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0381>
- FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB. PRODUTO C: diagnóstico técnico-participativo nobres – MT**. Cuiabá: Ministério da Saúde, 2017.
- GONÇALVES, M. L. R; KLEIDORFER, M.; RAUCH, W. Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: cost estimate. **Water and Environment Journal**, London, v. 31, p. 478-485. 2017. <https://doi.org/10.1111/wej.12267>
- HOEPERS, T. R. **Análise comparativa entre sistema separador absoluto e sistema combinado alternativo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- IBRE – INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. **Índice Nacional de Custo da Construção - INCC**. 2023. Disponível em: <http://portalibre.fgv.br/incc>. Acesso em: ago. 2023.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Saneamento**. Brasília, DF: IBGE, 2011a. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento. Acesso em: set. 2018.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Cidades**. Brasília, DF: IBGE, 2011b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/nobres/>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- KADLEC, R. H. WALLACE, S. **Treatment wetlands**. 2nd ed. Boca Raton: London, 2009.
- LOBATO, M. B. **Sistema de apoio à decisão para planejamento, implementação e gestão de ações estruturais de sistema convencional e único alternativo de esgotamento sanitário e drenagem urbana para municípios**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- MARTINS, J. A. et al. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 639-647. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000400013>
- NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290. 2011.
- PACHECO, R. P. **Custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- RODRIGUES, G. P. W. et al. Otimização do traçado de redes coletoras de esgoto sanitário via algoritmo genético. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n. 222, p. 164-177, 2020.
- SEMA-MT – SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE DO MATO GROSSO. **Sistema integrado de monitoramento e licenciamento ambiental do Mato Grosso – SIMLAM-MT**. Cuiabá: 2018. Disponível em: <http://monitoramento.sema.mt.gov.br/simlam/>. Acesso em: jul. 2018.
- TOMAZ, P. **Poluição difusa**. São Paulo: Navegar, 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.