Diagnóstico Operacional e Readequação de Lagoas Facultativas Receptoras de Esgoto Sanitário e Efluentes de Caminhões Limpa-Fossa no Semiárido Potiguar

Valquiria Melo Souza Correia[(1)]
Administradora de Empresas pela Unice – Superior (UNICE), Assistente Social, Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Tecnóloga em Gestão Ambiental e Graduada em Engenharia Civil pela Estácio de Sá. Mestre em Logística e Pesquisa Operacional (UFC). Doutora em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).
Marcilio Luis Viana Correia[2)]
Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Departamento Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).
Nadia Maria da Silva[(3)]
Graduada em Ciência e Tecnologia e Graduanda em Engenharia Civil (UFERSA).

Endereço[(1)]**:** Rua Gamaliel Martins, 587 – Bairro Alto da Alegria Cidade: Angicos - CEP: 59.515-000 - Brasil - Tel: (84) 99855-4382 - e-mail: valquiria@ufersa.edu.br

RESUMO

Este estudo analisa a capacidade operacional do sistema de lagoas facultativas para tratamento de esgoto em Angicos/RN. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem quali-quantitativa, utilizou levantamento de campo, registros com drone e estimativas operacionais baseadas na literatura. As imagens aéreas revelaram o espelho d'água parcialmente comprometido por uma densa massa vegetativa e zonas de acúmulo de lodo, sugerindo a redução do seu volume útil. Os parâmetros estimados confirmam um cenário de sobrecarga no sistema: a Taxa de Aplicação Superficial (TAS) estimada foi de 410 kg DBO/ha·dia, e o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) médio teórico resultou em 80 dias. Essa sobrecarga decorre sobretudo do descarte de caminhões limpa-fossa, que respondem por 95% da carga orgânica afluente (393,3 kg DBO/ha*dia), enquanto a rede convencional contribui com apenas 16,71 kg DBO/dia. Diante desse cenário, a pesquisa propõe a concepção de um novo sistema de tratamento adaptado às condições locais. O objetivo é otimizar a recepção e o tratamento desses efluentes de maior concentração, garantindo a eficiência do processo e o pleno atendimento às normas ambientais vigentes.

Palavras-chaves: Lagoas facultativas; sobrecarga no sistema; caminhões limpa-fossa.

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é composto por quatro pilares fundamentais que, quando ofertados de maneira adequada, garantem melhores condições de saúde à população, contribuindo para a redução da incidência de doenças de veiculação hídrica e para a promoção da qualidade de vida. Esses pilares compreendem o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta e tratamento dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais.

A Lei nº 14.026/2020 estabelece que, até 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento de esgoto. De acordo com Batista et al (2023), a ausência ou precariedade desses serviços afeta principalmente as populações mais vulneráveis, contribuindo para maiores condições de insalubridade e limitando o desenvolvimento socioeconômico.

No Nordeste do Brasil o acesso ao saneamento básico de qualidade ainda é limitado, ficando restrito a pequenas parcelas da população. Segundo o Ranking do saneamento 2025 com dados referentes a 2023, o Nordeste concentra os piores índices de saneamento básico do país, com 8 das 20 capitais tendo desempenhos mais baixos, no qual apenas cerca de 33,7% da população nordestina possui acesso à coleta de esgoto, tendo mais de 13 milhões de habitantes com dificuldades quanto ao acesso à água potável.

Além disso, a deficiência na infraestrutura sanitária contribui diretamente para a degradação ambiental e para o aumento de doenças de veiculação hídrica, afetando principalmente populações em situação de vulnerabilidade social. Nesse contexto, torna-se fundamental a ampliação dos investimentos em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, visando à melhoria da qualidade de vida da população e à preservação dos recursos hídricos.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no último censo realizado, a cidade de Angicos/RN possuía 13,3% dos domicílios com ligação à rede geral de esgoto e 48,2% utilizavam fossas rudimentares como destino para o esgoto. De acordo com Lemos et al (2024), a ausência de impermeabilização nas fossas negras acarreta a infiltração do esgoto bruto diretamente no solo, o que compromete a qualidade dos lençóis freáticos devido à falta de tratamento adequado.

As lagoas de estabilização destinam-se ao tratamento de efluentes domésticos e industriais, existindo diferentes modelos que variam em sua capacidade de remoção de carga poluidora. Para Silva (2025), as lagoas do tipo facultativas representam a parte mais importante de muitos sistemas de tratamento de esgoto por lagoas, pois são nelas que ocorre a maior parte da remoção da matéria orgânica presente no esgoto.

A pesquisa busca analisar preliminarmente a capacidade operacional do sistema de lagoas facultativas utilizado no tratamento de esgoto sanitário em Angicos/RN mediante análise de alguns parâmetros como Carga orgânica, Taxa de Aplicação Superficial e o Tempo de Detenção Hidráulica. Ao final será apresentada uma proposta de solução visando principalmente, adequar o sistema ao recebimento dos efluentes oriundos dos caminhões limpa-fossa.

2. OBJETIVO (S)

2.1 Objetivo geral

Avaliar a capacidade operacional do sistema de lagoas facultativas utilizado no tratamento de esgoto sanitário em Angicos/RN, considerando a contribuição adicional proveniente de caminhões limpa-fossa e seus possíveis efeitos sobre a carga orgânica, vazão afluente, taxa de aplicação superficial e tempo de detenção hidráulica.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a estrutura e o funcionamento atual do sistema de tratamento por lagoas facultativas;
- Identificar possíveis sobrecargas hidráulicas ou orgânicas causadas pelo recebimento externo;
- Avaliar o desempenho hidráulico e orgânico do sistema frente às cargas afluentes estimadas;
- Propor medidas de adequação e melhoria operacional, se necessário.

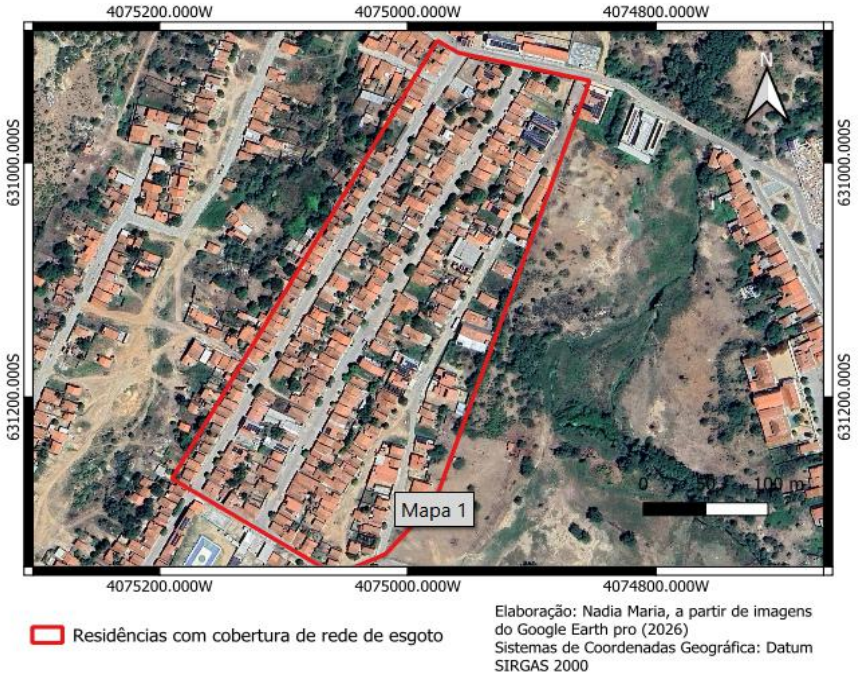
3. METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa possui natureza aplicada, abordagem quali-quantitativa, caráter exploratório e descritivo, com uso de estimativas operacionais, levantamento de campo, entrevista estruturada, registros fotográficos e análise comparativa com parâmetros técnicos da literatura. Serão estabelecidos os valores das vazões afluentes e carga orgânica de acordo com a sua origem (rede coletora ou limpeza de fossas sépticas), além da estimativa da Taxa de Aplicação Superficial e do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). Cumpre ressaltar que tais resultados possuem caráter predominantemente estimativo, configurando-se como uma limitação metodológica, uma vez que o sistema não dispõe de monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos e hidráulicos. Esses dados, associados à análise espacial obtida por meio de aeronave remotamente pilotada (RPA), fundamentaram o diagnóstico operacional do sistema.

3.1 Caracterização da área de estudo

O sistema de lagoas facultativas analisado na presente pesquisa tem como objetivo tratar os efluentes oriundos da rede de esgoto como também recebe as descargas dos caminhões limpa-fossa, que periodicamente, realizam esse lançamento. Como destacado na Figura 01 abaixo, a rede coletora de esgoto está presente em somente três ruas da cidade de Angicos/RN, assim os demais moradores do município contam com dispositivos individuais de tratamento, as fossas sépticas, as quais necessitam, periodicamente, da remoção do material acumulado.

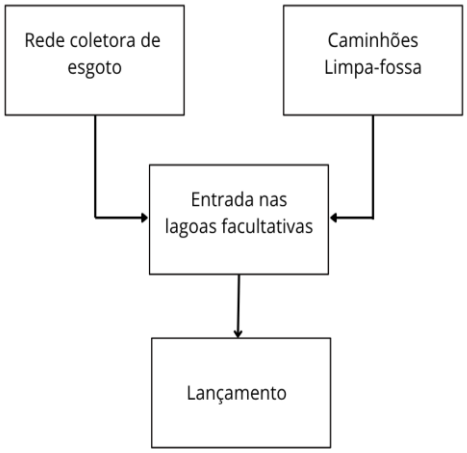
Figura 01- Residências atendidas pela rede de esgoto



Fonte: elaboração própria (2026)

Atualmente o sistema de tratamento de efluentes conta com duas lagoas facultativas com profundidade de 1,5 m e cerca de 6.400 m² de área total. Contudo, embora essas unidades sejam fundamentais para o adequado funcionamento do sistema, as lagoas não dispõem de etapas do tratamento preliminar, tais como gradeamento e desarenador. Conforme mostrado na Figura 02 abaixo, após a saída das tubulações, o esgoto é lançado diretamente nas lagoas, assim como os efluentes provenientes dos caminhões limpa-fossa.

Figura 02- Fluxograma do funcionamento do sistema de tratamento



Fonte: elaboração própria (2026)

Conforme exemplificado na Figura 02 acima, após a saída das tubulações, o esgoto é lançado diretamente nas lagoas, assim como os efluentes provenientes dos caminhões limpa-fossa, o que pode estar acarretando as lagoas a presença de material grosseiro, que poderia ser evitado com o uso de grades antes do lançamento.

3.2 Coleta de dados primários

Dada a escassez de informações documentais acerca das lagoas facultativas, realizou-se uma visita técnica com o objetivo de coletar imagens do local e realizar uma entrevista estruturada com o responsável técnico designado pelo município. O objetivo do questionário foi coletar informações sobre a execução da obra, frequência de manutenção, vazões afluentes e a dinâmica de chegada do efluente às lagoas.

Visando a obtenção de imagens com maior resolução espacial, utilizou-se um drone para o levantamento aéreo das lagoas. O emprego desta tecnologia permitiu superar as limitações típicas das imagens de satélite como a baixa resolução e a interferência de nuvens, garantindo um detalhamento preciso para a análise visual do sistema.

3.3 Coleta de dados secundários

Para determinar a vazão da rede de esgoto, é necessário estimar a população da área. Diante da ausência de dados locais específicos, adotou-se o índice de 2,88 moradores por domicílio, valor estabelecido pelo IBGE (2022) como a média para o estado do Rio Grande do Norte. Aplicando-se esse índice às 129 residências identificadas nas três ruas atendidas pela rede coletora, obteve-se a base populacional para o cálculo.

Em relação a frequência de lançamento dos caminhões limpa-fossa nas lagoas facultativas, foi coletada junto a prefeitura, os períodos em que esse lançamento ocorre. A Tabela 01 detalha a recorrência dessas operações de descarte no sistema, no qual pela manhã ocorrem 4 lançamentos e 3 durante a tarde, tendo o caminhão um volume de 12 m³.

Tabela 01- Frequência de descarte do caminhão-limpa fossa

Período de referência	N° de descarte	Volume total diário (m³/dia)
Manhã	4	48
Tarde	3	36

Fonte: elaboração própria (2026)

Diante da ausência de dados nominais de projeto, os parâmetros operacionais, desde a vazão afluente até às variáveis de desempenho, foram estimados com base em equações consolidadas na literatura técnica. As formulações e os coeficientes adotados estão sintetizados na Tabela 02, a partir do qual foi possível dimensionar a capacidade operacional do sistema. Posteriormente, os resultados foram confrontados com referências normativas e teóricas para diagnosticar a eficiência e o atual estado de funcionamento das lagoas facultativas.

Tabela 02- Equações e parâmetros para avaliação do desempenho operacional das lagoas facultativas

Nome	Equação	Parâmetros
(1) Vazão média da rede de esgoto ($Q_{med.red}$)	Qmed.red= (P*q*C/1000)	P= população (habitantes); q= Contribuição *per capita* (L/hab*dia); C= Coeficiente de retorno.
(2) Vazão de aporte de tanques sépticos (Q_{cam})	Qcam=Nc*Vc	Nc= número de descarregamentos diários; Vc= Volume unitário do caminhão (m^3).
(3) Carga Orgânica da rede de esgoto (CO_{red})	COred= (Qmed.red*C1/1000)	$Q_{med.red}$= vazão média da rede de esgoto (m^3/s); C1=Concentração de DBO para esgoto doméstico (mg/l).
(4) Carga Orgânica afluente de tanques sépticos (CO_{cam})	COcam= (Qcam*C2/1000)	Qcam= Vazão de aporte de tanques sépticos (m^3/s); C2= Concentração de DBO para esgoto de tanques sépticos (mg/l).
(5) Taxa de aplicação superficial (TAS)	TAS= (Cot/At)	COt= Carga Orgânica total (kg DBO/ha*dia); At= área total das lagoas (ha).
(6) Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)	TDH=Vl/Qt	Vl= volume das duas lagoas facultativas (m^3); Qt= Vazão total que chega às lagoas (m^3/dia)

Fonte: elaboração própria com base na literatura analisada (2026)

No que tange à fundamentação das equações utilizadas, as mesmas foram extraídas majoritariamente da obra de Sperling (2014). Contudo, dada a especificidade de certas variáveis, alguns parâmetros foram calibrados com base em fontes complementares. Na Tabela 03 abaixo são apresentados seus respectivos valores e as fontes de origem.

Tabela 03- Parâmetros utilizados e as fontes de origem

Parâmetro	Valor	Fonte
C1 (concentração de DBO para para esgoto doméstico em mg/L)	300	Sperling (2014)
C2 (concentração de DBO para esgoto de fossa séptica mg/L)	3000	Xanthoulis et al. (2008, p.30)
q (consumo per capita em L/hab*dia)	120	Creder (2022,p.9)
c (coeficiente de retorno)	0,80	ABNT NBR 9649
Nc (número de descarregamentos diários)	7	Dados da prefeitura
Vc (volume do caminhão em m³)	12	Dados da prefeitura
At (área das lagoas em ha)	0,64	Estimada pela pesquisa
V (volume das lagoas em m³)	9600	Estimada pela pesquisa

Fonte: elaboração própria (2026)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados referentes às vazões afluentes ao sistema de lagoas utilizado para o tratamento de esgoto na cidade de Angicos-RN, bem como os parâmetros operacionais associados, incluindo carga orgânica, Taxa de Aplicação Hidráulica (TAS) e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), considerando os aportes da rede coletora e dos sistemas individuais de tratamento. Ao final, será proposta uma solução para o sistema, considerando, entre outros fatores, a limitação de recursos para a implementação de alternativas mais versáteis.

4.1 Resultado da aplicação do questionário

De acordo com dados obtidos via questionário, as lagoas facultativas possuem cerca de 1,5 m de profundidade e operam há mais de 30 anos. Até a data desta pesquisa, o sistema não havia passado por qualquer intervenção de manutenção. Além da frequência de reclamações dos moradores locais quanto ao mau odor exalado pelas lagoas, verificou-se a ausência de monitoramento periódico de parâmetros físico-químicos e biológicos essenciais, como DBO, DQO, coliformes e pH. Essa falta de dados impede a avaliação real da eficiência do tratamento.

A partir de visitas *in loco*, observou-se a presença de vegetação de pequeno e grande porte no interior das lagoas como destacado na Figura 03, além da ocorrência de mau odor e coloração predominantemente esverdeada, indicando possíveis alterações nas condições operacionais do sistema.

Figura 03 - Presença de vegetação de coloração esverdeada nas lagoas facultativas



Fonte: elaboração própria (2026)

As imagens capturadas pelo levantamento aéreo revelam anomalias críticas no sistema. Como destacado na Figura 04 abaixo, A lagoa 01 apresenta redução significativa da área útil do espelho d'água, indicando processo avançado de colonização vegetal e provável assoreamento devido a uma densa massa vegetativa, além de zonas de acúmulo de lodo visíveis na borda, o que sugere que o volume útil da lagoa está reduzido, alterando diretamente o TDH e consequentemente, afetando o tratamento.

Figura 04 - Vista área das lagoas facultativas

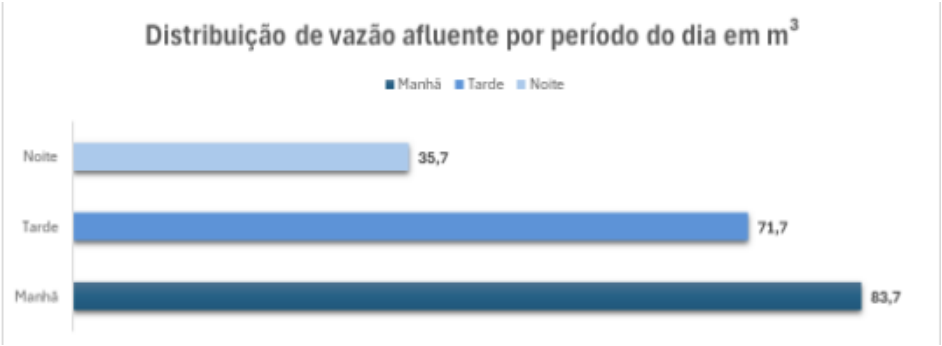


Fonte: elaboração própria (2026)

4.2 Vazão afluente ao sistema

O levantamento da frequência de descarte de efluentes provenientes das fossas sépticas da cidade permitiu estimar o volume que chega às lagoas. Ao longo do dia, ocorrem sete lançamentos: quatro no período da manhã e três à tarde, possuindo o veículo uma capacidade de 12 m³. Na Figura 05 apresentada, observa-se o gráfico de distribuição da vazão afluente ao longo dos diferentes períodos do dia.

Figura 05 - Distribuição de vazão afluente



Fonte: elaboração própria (2026)

Verifica-se que o intervalo de maior criticidade ocorre no período da manhã, caracterizado pelos picos mais elevados de vazão, aproximadamente 83,7 m³, seguido pelo período da tarde, que ainda apresenta contribuições significativas (71,7 m³). Durante o período noturno, a vazão afluente é reduzida, sendo predominantemente composta pelas contribuições contínuas provenientes da rede de esgotamento sanitário (35,7 m³).

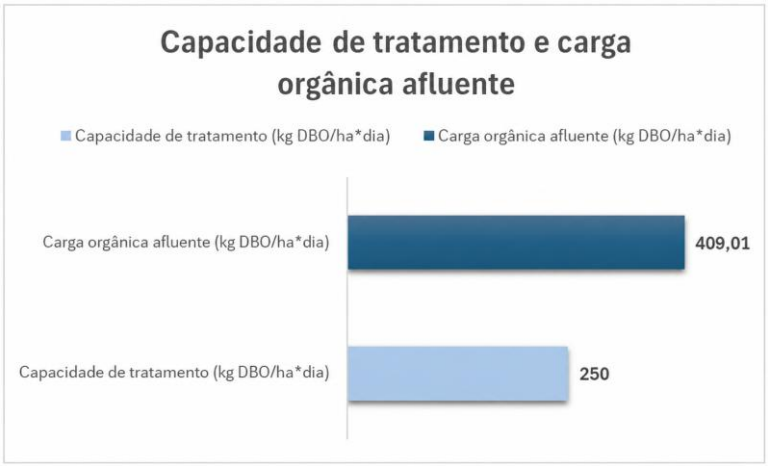
As vazões provenientes da rede de esgotamento sanitário e dos caminhões limpa-fossa foram estimadas por meio das equações (1) e (2), respectivamente, apresentadas no Tabela 02. A vazão oriunda da rede de esgotamento sanitário, estimada em aproximadamente 35 m³/dia, corresponde a pouco mais de 30% da vazão total afluente que chega às lagoas. Por outro lado, os caminhões limpa-fossa se destacam como a principal fonte de contribuição, sendo responsáveis por aproximadamente 70% da vazão total, com um volume estimado de 85 m³/dia. Isso indica que, de forma predominante, as lagoas facultativas estão tratando majoritariamente o esgoto proveniente desse tipo de aporte.

4.3 Carga orgânica

Para estimar a carga orgânica total, foi realizada a quantificação individual da matéria orgânica transportada por cada fonte até as lagoas, considerando as equações (3) e (4) apresentadas Tabela 02, cujos parâmetros foram obtidos na literatura. A contribuição estimada da rede resultou em cerca de 16,71 kg DBO/ha*dia, valor relativamente baixo, possivelmente associado à baixa vazão gerada em decorrência da população total atendida. Em contrapartida, os caminhões limpa-fossa apresentaram uma carga significativamente superior, totalizando 393,3 kg DBO/ha*dia, valor diretamente associado ao volume de lançamentos ao longo do dia. Esse cenário pode ser influenciado devido a alta demanda da cidade por esse tipo de serviço, decorrente principalmente da ausência de acesso à rede pública de esgotamento sanitário.

Comparando-se ambas as origens, verifica-se que esses veículos são responsáveis por aproximadamente 95% da carga orgânica total afluente, o que reforça a constatação de que o sistema trata, majoritariamente, a matéria orgânica proveniente de fossas sépticas. Para fins de análise, elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 06, no qual é realizada a comparação entre a carga orgânica total afluente e a capacidade de tratamento das lagoas, com base em suas características operacionais.

Figura 06- Comparação entre Capacidade de tratamento e Carga orgânica afluente



Fonte: elaboração própria (2026)

A capacidade de tratamento de matéria orgânica para as lagoas facultativas foi estimada em aproximadamente 250 kg DBO/ha*dia, valor significamente inferior à carga afluente total que o sistema recebe atualmente, estimada em 409,01 kg DBO/ha*dia, o que por sua vez indica operação em regime de sobrecarga, ou seja, o sistema recebe um valor superior àquele que consegue tratar. Para Freire e Santos (2018) a carga orgânica gerada tende a aumentar e agravar os impactos quando o sistema não é plenamente utilizado ou operado corretamente.

4.4 Taxa de Aplicação Superficial

A taxa de aplicação superficial constitui o parâmetro que correlaciona a carga orgânica afluente com a área superficial da lagoa, conforme expresso pela Equação (5). Mahapatra et al (2022) destaca em sua pesquisa que os projetos das lagoas incluem parâmetros hidráulicos e orgânicos, sendo a taxa de aplicação superficial um dos fatores centrais para o dimensionamento e desempenho do sistema

Segundo Von Sperling (2014), para lagoas facultativas em regiões de clima quente, a taxa de aplicação superficial recomendada varia entre 150 e 300 kg DBO/ha*dia. Já a concentração de DBO para esgotos provenientes de fossas sépticas é muito mais alta, variando de 3.000 a 5.000 mg/L devido à elevada presença de matéria orgânica por volume (Xanthoulis et al., 2008).

No cenário atual da pesquisa, a taxa de aplicação superficial afluente é de 410 kg DBO/ha*dia},valor que ultrapassa a faixa recomendada por Von Sperling (2002) de 240 a 350 kg DBO/ha*dia para regiões de clima quente. Esse resultado confirma o quadro de sobrecarga orgânica no sistema, uma vez que a taxa real calculada é superior à capacidade que as lagoas facultativas existentes conseguem absorver e tratar.

4.4 Tempo de Detenção Hidráulica

Para estimativa do tempo de detenção hidráulica foi utilizada a equação (6) do Tabela 02, que relaciona o volume das lagoas pela vazão total que a mesma recebe. Esse parâmetro representa o tempo médio de permanência do esgoto no sistema, assim, quanto maior o seu valor, maior é o tempo disponível para a atuação de processos naturais, como a sedimentação e a degradação biológica da matéria orgânica.

O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) estimado em aproximadamente 80 dias indica um elevado período de permanência do efluente das lagoas. No entanto, esse valor deve ser interpretado com cautela, uma vez que fatores como a presença de vegetação, o acúmulo de lodo e a consequente redução do volume útil podem alterar significativamente o comportamento hidráulico real do sistema.

Ao comparar esse resultado com os valores recomendados por Von Sperling (2002), que situam o TDH entre 15 e 45 dias para lagoas facultativas, observa-se que o valor estimado é significativamente superior, aproximando-se do dobro do limite máximo recomendado. Dessa forma, o efluente permanece no sistema por um tempo médio teórico de 80 dias, período em que ocorrem os processos biológicos para a redução da carga poluidora até os níveis permitidos pela legislação vigente.

4.6 Proposta de solução

Considerando o cenário de sobrecarga no sistema de tratamento de esgoto da cidade de Angicos/RN, evidenciado pela presente pesquisa, este estudo apresenta uma proposta de intervenção voltada à otimização do sistema e à mitigação dos impactos identificados. A proposta inclui a presença dos componentes responsáveis pelo tratamento preliminar como o gradeamento e o desarenador, além da calha parshall com a finalidade de medição da vazão. Para que o sistema trabalhe de forma mais eficiente e que a carga orgânica recebida pelo sistema seja inferior a capacidade de tratamento, foi proposta a implementação de uma lagoa do tipo anaeróbica. A Tabela 04 a seguir apresenta as dimensões finais, os parâmetros utilizados e a eficiência estimada.

Tabela 04 - Dimensionamento da lagoa anaeróbica

Categoria	Parâmetro Operacional / Dimensão	Valor Calculado / Adotado	Justificativa / Fonte Técnica
Dados de entrada	Vazão Total de Projeto	119,7 m³/dia	Soma da rede de esgoto + maior vazão dos caminhões limpa-fossa.
	Carga Orgânica Afluente	409,01 kg DBO/ha*dia	Estimada pela pesquisa
Parâmetros de projeto	Taxa de Aplicação Volumétrica (Lv)	0,234 kg DBO/ha*dia	(Von Sperling, 2002)
	Profundidade Útil (h)	4 m	Com base em recomendações técnicas.
Dimensões finais	Volume útil necessário (Van)	1751,4 m³	Relação entre a Carga total e a taxa de aplicação volumétrica
	Área Superficial Requerida (Aan)	437,85 m²	Relação entre o volume útil e a profundidade
Eficiência e saída	Carga Orgânica Removida	246 kg DBO/ha*dia	Parcelas de poluição degradada na unidade
	Carga Orgânica Efluente (Saída)	164 kg DBO/ha*dia	Carga remanescente enviada às lagoas facultativas

Fonte: elaboração própria (2026)

A Tabela 04 consolida os parâmetros de projeto e as dimensões resultantes para a lagoa anaeróbica proposta, evidenciando a fundamentação matemática que valida a eficiência da intervenção. A adoção de uma Taxa de Aplicação Volumétrica de 0,234 kg DBO/ha*dia e de uma profundidade útil de 4 m, para as características de semiárido, resultou na necessidade de um volume útil de 1751,4 m³ e uma área superficial de 437,85 m².

O arranjo geométrico calculado garante um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) próprio de 14,60 dias. Esse período de retenção prolongado é um dos pilares da proposta, pois assegura que o efluente concentrado dos caminhões limpa-fossa e da rede permaneça tempo suficiente exposto à atividade metabólica das bactérias anaeróbicas, que operam com eficiência máxima devido às altas temperaturas locais.

Como consequência direta, a unidade é capaz de degradar 246 kg DBO/ha*dia (60% da carga total), fazendo com que o efluente de saída (carga remanescente) seja reduzido para apenas 164 kg DBO/ha*dia. Esse resultado expressa numericamente a eficácia da lagoa anaeróbica em atuar como um escudo biológico e físico, reduzindo drasticamente o aporte de poluição antes que o fluxo atinja as unidades facultativas existentes.

Em relação às duas lagoas facultativas existentes, recomenda-se a inserção de um cronograma periódico de monitoramento e remoção do lodo acumulado no fundo. Essa manutenção é essencial para evitar a perda do volume útil e a redução da profundidade operacional das unidades, fatores que, se negligenciados, comprometem diretamente o tempo de detenção hidráulica e a eficiência do tratamento secundário.

Considerando a ocorrência de descargas concentradas de caminhões limpa-fossa em determinados períodos do dia, recomenda-se ainda a análise da implantação de um tanque equalizador a montante das duas lagoas facultativas. Essa unidade teria a função de amortecer os picos de vazão e carga orgânica, permitindo o lançamento gradual do efluente no sistema de lagoas. Para o cálculo do volume utilizou-se o período de maior descarga (manhã) , assim recomenda-se um tanque de cerca de 50 m³, que consiga comportar de forma correta essa vazão que chega ao local por período.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar as condições operacionais do sistema de lagoas de estabilização de Angicos/RN e propor uma alternativa técnica de intervenção capaz de viabilizar o recebimento compartilhado de esgoto da rede coletora e de efluentes concentrados transportados por caminhões limpa-fossa. A análise diagnóstica inicial confirmou que a introdução dessas cargas pulsantes e altamente concentradas gerava um cenário de colapso biológico, elevando a Taxa de Aplicação Superficial (TAS) para 410 kg DBO/ha*dia, valor superior à capacidade de tratamento estimada do sistema atual de 250 kg DBO/ha*dia.

Os resultados indicam que a instalação do tanque equalizador de 48 m³ e da lagoa anaeróbica (1.751,40 m³) elimina a sobrecarga do sistema. Devido às altas temperaturas locais, a lagoa anaeróbica iria remover 60% da matéria orgânica inicial, o que reduz a carga enviada para as lagoas facultativas para 164 kg DBO/ha*dia.

Para estudos futuros, recomenda-se a realização de análises laboratoriais contínuas das amostras de esgoto, a fim de ampliar a confiabilidade dos resultados, bem como o monitoramento periódico dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do sistema, permitindo uma avaliação mais precisa da eficiência do tratamento ao longo do tempo. Além disso, sugere-se a investigação do comportamento operacional do sistema em diferentes condições de vazão e carga orgânica, visando subsidiar futuras adequações e otimizações do processo de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9649: *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro:* ABNT, 2022. p. 7. Disponível em: https://www.academia.edu/39032002/NBR_09649_2022_Projeto_de_Redes_Coletoras_de_Esgoto. Acesso em: 15 abr. 2026.
2. BATISTA, J. C.; LINHARES, P. R. P.; SILVA, C. S. O. *A importância do saneamento básico para a saúde pública: uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Gestão Ambiental,* v. 18, n. 2, p. 160-166, 2024. Disponível em: https://agris.fao.org/search/en/providers/122192/records/6878b64e0868163a2f74de64. Acesso em: abr. 2026.
3. CREDER, Hélio. Instalações hidráulicas e sanitárias. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. Disponível em:https://clark.dirzon.com/Doc/Details/telegram%3AInstalacoes%20Hidraulicas%20e%20Sanitarias%20-%20Helio%20Creder.pdf. Acesso em: 15 abr. 2026.

4. DA SILVA, Bruno Balduino. *Avaliação da eficiência de lagoas facultativas com pós-tratamento por lagoas de Aguapé.* 2025. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/13857. Acesso em: 10 maio 2026.
5. FREIRE, L. L.; SANTOS, Y. T. C. *Estimativa das contribuições de carga orgânica doméstica e impactos ambientais das ligações inadimplentes de esgoto em Juazeiro do Norte – Ceará. Revista Ciência e Sustentabilidade* – CeS, v. 4, n. 2, p. 5-24, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/301. Acesso em: 15 abr. 2026.
6. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Angicos: informações sobre saneamento básico. Rio de Janeiro*: IBGE, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/angicos/pesquisa/10087/286717. Acesso em: 20 abr. 2026.
7. Instituto Trata Brasil. *Ranking do Saneamento 2025: apenas 12 municípios, dentre os mais populosos, investem acima da média. São Paulo: Instituto Trata Brasil / GO Associados,* p. 1-14, abr. 2025. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2025/. Acesso em: abr. 2025.
8. LEMOS, David Gonzaga et al. *Impactos ambientais nos recursos hídricos subterrâneos em Juazeiro do Norte-CE: uma revisão integrativa.* [S. l.]*: Editora Omnis Scientia*, 2024. Disponível em: https://editora.editoraomnisscientia.com.br/artigoPDF/4-10598925457-08032024103337.pdf. Acesso em: 30 abr. 2026.
9. MAHAPATRA, S.; SAMAL, K.; DASH R. R. *Waste stabilization pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. Journal of Environmental Management,* [s. l.], v. 308, 11468, 15 abr. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722002419. Acesso em: 15 abr. 2026.
10. SPERLING, Marcos von. *Introdução à qualidade da água e tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;* UFMG, 2002. v. 1, p. 243. Disponível em: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1517707. Acesso em: 18 maio 2026.
11. SPERLING, Marcos von. *Lagoas de estabilização: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte:* DESA/UFMG, 2014. v. 3, p. 1-196. Disponível em: https://www.academia.edu/40199338/Von_Sperling_Vol_3_lagoas_de_estabiliza%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 5 maio 2026.
12. XANTHOULIS, *Dimitri et al. Curriculum on Low-Cost Wastewater Treatment.* 1. ed. [S. l.], 2008. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20706011/. Acesso em: 14 abr. 2026.