

TEÔNIA CASADO DA SILVA

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO REÚSO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS TRATADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFERO:
ESTUDO DE CASO EM AQUÍFERO LITORÂNEO**

Artigo Científico apresentado ao curso de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Mestrado Profissional, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Jean Leite Tavares

NATAL-RN
2019

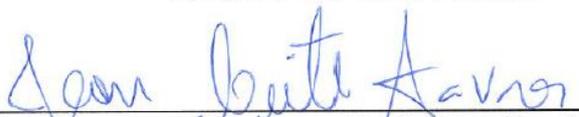
TEÔNIA CASADO DA SILVA

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO REÚSO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS TRATADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFERO:
ESTUDO DE CASO EM AQUÍFERO LITORÂNEO**

Artigo Científico apresentado ao curso de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Mestrado Profissional, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Trabalho de conclusão de curso apresentado e aprovado em 30/08/2019, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA



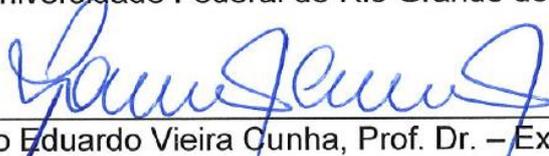
Jean Leite Tavares, Prof. Dr. – Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



André Luis Calado Araújo, Prof. Dr. – Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Juliana Delgado Tinoco, Prof.^a Dra. – Examinadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Paulo Eduardo Vieira Cunha, Prof. Dr. – Examinador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO REÚSO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS TRATADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFERO:
ESTUDO DE CASO EM AQUÍFERO LITORÂNEO**

**ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF ARTIFICIAL AQUIFER
RECHARGE WITH REUSE OF TREATED WASTEWATER: CASE STUDY IN
LITORAN AQUIFER**

Teônia Casado da Silva *
Jean Leite Tavares **

RESUMO: Diante de situações de conflitos pelo uso da água, principalmente em regiões com histórico de estresse hídrico, associado ao crescimento do consumo, faz-se necessário adotar medidas de gestão sustentável para garantir o suprimento atual e futuro das demandas por água potável. Em Natal-RN, a recarga artificial de aquífero é uma alternativa interessante para o reúso de águas residuárias tratadas (ART), visto que contribui para o aumento da disponibilidade hídrica da cidade, contenção da intrusão salina e manutenção dos níveis do aquífero. O presente trabalho visou avaliar a viabilidade econômica e ambiental da proposta. Os resultados indicaram que os custos de implantação e operação do sistema de reúso (0,20 R\$/m³) seriam significativamente inferiores aos custos da implantação de uma adutora de água (1,06 R\$/m³) convencional com o intuito de reforçar o abastecimento de Natal-RN. Além disso, a avaliação da viabilidade ambiental indicou que o reúso de ART para recarga artificial de aquífero pode ser uma prática sustentável.

Palavras-chave: Reúso. Recarga artificial de aquífero. Águas residuárias tratadas. Gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT: In the face of situations of conflicts over water use, especially in regions with a history of water stress associated with consumption growth, it is necessary to adopt sustainable management measures to ensure the current and future supply of drinking water demands. In Natal-RN, artificial aquifer recharge is an interesting alternative for the reuse of treated wastewater (TWW), as it contributes to increase the city's water availability, contain saline intrusion and maintain aquifer levels. The present work was aimed to assess the economic and environmental viability of the proposal. The results indicated that the implementation and operation costs of the reuse system (0.20 R\$/m³) would be significantly lower than the costs of the implementation of a conventional water adductor (1.06 R\$/m³) in order to reinforce the supply of Natal-RN. In addition, the environmental feasibility assessment indicated that the reuse of TWW for artificial aquifer recharge may be a sustainable practice.

Keywords: Reuse. Artificial aquifer recharge. Treated wastewater. Water resources management.

* Mestranda do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

** Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, há um crescente interesse pelo reúso de água em áreas urbanas, visto que suas reservas de água doce estão se aproximando do limite de suprimento, devido ao aumento da demanda, tornando o reúso potável (direto ou indireto) uma alternativa viável para prolongar a vida útil das fontes de abastecimento (METCALF; EDDY, 2016). Diversos países, como Israel, África do Sul, Estados Unidos, Espanha e Alemanha utilizam amplamente o reúso de água para complementar a disponibilidade hídrica, obedecendo aos critérios de regulação estabelecidos (ALCALDE-SANZ; GAWLIK, 2017).

Há uma diversidade de modalidades de reúso, resumidamente classificadas em potável e não-potável, dentre essas alternativas de reúso, a recarga artificial de aquíferos (RAA) tem se mostrado uma opção atraente para o armazenamento de água nos processos de reutilização, pois também pode oferecer uma barreira de tratamento adicional, através do solo, para melhorar a qualidade da água recarregada e atenuar as variações sazonais da oferta e demanda de água (LEVANTESI *et al.*, 2010).

Os autores Telles e Costa (2010) enquadram o reúso através de RAA dentro da modalidade de reúso urbano para fins potáveis, a qual exige que o esgoto utilizado seja de origem essencialmente doméstica, haja vista que efluentes industriais podem conter contaminantes de difícil remoção, onerando os custos do tratamento, além de gerar grande risco à saúde dos consumidores.

O reúso urbano para fins potáveis é subdividido em:

a) reúso potável direto: o esgoto tratado é direcionado para uma estação de tratamento de água e, em seguida, para a rede de distribuição.

b) reúso potável indireto: o esgoto tratado é lançado num corpo hídrico – superficial ou subterrâneo, onde ocorre a diluição e redução das cargas poluidoras, para posteriormente ser feita a captação, potabilização e distribuição.

O reúso potável direto é praticado em escala reduzida, devido aos riscos sanitários associados, necessidade de tecnologias de alto custo e à baixa aceitação pública, já o reúso potável indireto é amplamente utilizado, a exemplo dos Estados Unidos e Israel que praticam a recarga de aquíferos com esgoto tratado para o fornecimento de água potável (TELLES; COSTA, 2010; HESPANHOL, 2002).

Em Natal, capital do Rio Grande do Norte, o crescimento populacional tem provocado o aumento da demanda por água, sobrecarregando os corpos d'água responsáveis pelo abastecimento da cidade, principalmente do aquífero Dunas/Barreiras que é responsável por abastecer cerca de 30% do sistema norte da cidade e 70% do sistema sul, assim considerados em relação às margens do rio Potengi (COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE, 2018).

Diante dessa crescente demanda, é comum a busca por mananciais em bacias vizinhas, importando água através de um sistema adutor, prática adotada há mais de 2 mil anos por antigas civilizações, como a romana. Tal prática resolve precariamente o problema de uma cidade, se não houver a priorização da gestão dos recursos hídricos na bacia (CALIJURI; CUNHA, 2013). Além disso, deve-se considerar os altos custos de implantação dessas longas adutoras e o elevado consumo de energia elétrica para o bombeamento da água.

A adoção do reúso através da RAA mostra-se uma alternativa interessante, visto que além de aumentar a disponibilidade de água para captação e potabilidade,

possibilita diminuir o descarte de efluentes em rios e lagos, atenuar a intrusão salina e prevenir a subsidência do solo (VANDENBOHEDE *et al.*, 2013).

A recarga do aquífero Dunas/Barreiras em Natal é composta pela infiltração das águas da chuva, perdas das tubulações de abastecimento de água e infiltração de esgoto oriundo de fossas e sumidouros, também denominada recarga urbana. Apenas 50% da cidade possui rede coletora de esgoto em operação, logo, são adotadas soluções individuais de esgotamento, como fossas sépticas ou rudimentares e sumidouros, que aliado ao solo arenoso e permeável, facilita a infiltração do esgoto no subsolo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012; COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE, 2019). Com a ampliação do sistema de esgotamento sanitário (SES) para toda a cidade, cujas obras estão em andamento, espera-se uma melhoria na qualidade da água subterrânea, que apresenta elevados níveis de nitrato, contudo haverá uma redução significativa no volume de recarga urbana, o que pode afetar o volume de água disponível para captação, ocasionar a depleção local das cargas hidráulicas, causar subsidência do solo e favorecer a intrusão salina (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

Logo, RAA é uma demanda potencial para o reúso dos esgotos tratados em Natal-RN, podendo contribuir positivamente com a disponibilidade hídrica da cidade, restando necessário estudar sua viabilidade ambiental, garantindo a manutenção qualitativa e quantitativa de água disponível para captação.

Para esse estudo, considerou-se o efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE) Jundiáí/Guarapes, projetada para tratar até 1.050 L/s, através de reatores UASB associados a lodos ativados com desnitrificação, desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e pós-tratamento para remoção de fósforo. Para tanto, importa-se saber em que medida o efluente tratado na ETE Jundiáí/Guarapes pode ser reutilizado para RAA em Natal-RN, considerando-se a viabilidade ambiental e econômica.

O presente trabalho de conclusão de curso foi elaborado no âmbito do Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Dessa forma, buscou-se contribuir com a gestão local dos recursos hídricos através da proposição de um projeto de reúso de águas residuárias tratadas, trabalhado dentro da linha de pesquisa de Saneamento Ambiental. Como produto final do trabalho de conclusão de curso, foi dimensionado o sistema de reúso, que inclui elevatória, adutora e bacias de infiltração, juntamente com o levantamento dos custos de implantação e operação do referido sistema, considerando o alcance do projeto de 10 anos. O projeto de reúso visa a gestão sustentável do aquífero Dunas/Barreiras, haja vista que a destinação das águas residuárias tratadas para recarga artificial de aquífero contribui com a manutenção dos níveis do aquífero Dunas/Barreiras, contenção da intrusão salina e capacidade de suprimento de água para o sistema de abastecimento de Natal/RN. O produto final pode contribuir para subsidiar a tomada de decisões por gestores, haja vista ser uma alternativa ambiental e economicamente viável.

2 OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade ambiental e econômica do reúso de águas residuárias tratadas para RAA em Natal-RN, mapear áreas de alta transmissividade no aquífero

Dunas/Barreiras em Natal-RN e identificar áreas disponíveis para infiltração das águas residuárias tratadas (ART).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os aquíferos são naturalmente alimentados através de zonas ou áreas de recarga em variados níveis, ou diretamente através de precipitações. Porém, para aumentar a disponibilidade hídrica, a engenharia de recursos hídricos desenvolveu a recarga artificial de aquíferos (HESPANHOL, 2002).

A RAA pode dar-se pela infiltração de águas de mananciais que receberam contribuição de esgoto, ou pela infiltração direta de efluentes tratados, podendo ser feita pelo processo de infiltração-percolação ou injeção direta (TELLES; COSTA, 2010).

A recarga de aquífero é a utilizada para aumentar a disponibilidade hídrica de aquíferos, estabilizar ou elevar os níveis de aquíferos regulando variações sazonais, compensar a superexploração, controlar a intrusão salina, diluir aquíferos salinos ou poluídos e controlar ou evitar a subsidência do solo (BRASIL, 2014; HESPANHOL, 2002).

Existe uma diversidade de métodos de RAA, basicamente classificados como superficial ou profundo. Os métodos de recarga em superfície consistem na infiltração de água através uma ampla superfície de contato entre água e solo, geralmente utilizados em aquíferos freáticos e que possuem alta permeabilidade. Os métodos de recarga em profundidade compreendem a utilização de furos ou poços para realizar a introdução de água no aquífero, mais utilizados em aquíferos profundos e confinados (DIAMANTINO, 2005).

3.1 TRATAMENTO SOLO AQUÍFERO (TSA)

O principal processo de infiltração é o TSA, amplamente utilizado por promover uma barreira adicional para contaminantes presentes na água de infiltração (SHARMA; KENNEDY, 2017). O TSA é um processo de tratamento avançado, natural e sustentável, regido pela biodegradação, inicialmente aeróbica e depois anóxica, ocorrendo tanto na zona vadosa, como na zona saturada (AMY; DREWES, 2007).

O TSA é um tratamento que além de promover a remoção de patógenos, nitrogênio, matéria orgânica e diversos micropoluentes orgânicos, também contribui para a melhor aceitação do reúso potável, já que ainda existe uma rejeição pelos usuários quanto ao uso de águas residuárias para fins potáveis (SHARMA; KENNEDY, 2017). Aliado a isso, o TSA é atrativo por ser um sistema sustentável e que minimiza os custos de operação, devido ao baixo consumo de energia.

3.2 INJEÇÃO DIRETA

A recarga de aquífero por meio de injeção direta é feita através de poços que se estendem através da camada insaturada até o aquífero. A água é bombeada diretamente nos poços, garantindo altas taxas de recarga. Envolve custos elevados para construção do poço, operação com bombeamento e quanto aos níveis de tratamento necessários antes da injeção no aquífero, devido à necessidade de proteção da qualidade de água (HESPANHOL, 2002).

A utilização da injeção direta é indicada quando a zona não saturada apresenta camadas impermeáveis, os aquíferos são confinados ou há pouca disponibilidade de área para infiltração (BARBOSA; MATTOS, 2008).

3.3 DIRETRIZES PARA RECARGA DE AQUÍFERO

A Resolução nº 153, de 17 de dezembro de 2013, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que trata da Recarga Artificial de Aquíferos no território brasileiro, não define quais parâmetros e seus respectivos valores máximos admissíveis para recarga de aquífero, limitando-se a estabelecer que a recarga artificial não poderá causar alteração da qualidade das águas subterrâneas que provoque restrição aos usos preponderantes (BRASIL, 2014).

Em face da inexistência de legislação federal e estadual que defina parâmetros e diretrizes para RAA, o programa INTERAGUAS - que visa propor um plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil, recomenda que para definição da viabilidade de projetos de reúso deverão ser adotadas as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), mais especificamente as resoluções CONAMA nº 396/2008 e nº 430/2011 (BRASIL, 2018). Isso deixa uma lacuna para estudos e pesquisas nessa área, além de dificultar a realização de projetos de reúso, já que os parâmetros das resoluções CONAMA não foram estabelecidos visando o reúso e suas diversas modalidades.

Vários países possuem suas diretrizes bem definidas, pois já realizam o reúso potável indireto há diversas décadas. Dentre esses países foram escolhidas as diretrizes adotadas pelos Estados Unidos, Israel e Espanha, para fazer um comparativo entre os parâmetros qualitativos adotados para a RAA, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Comparativo entre os parâmetros adotados em Israel, Estados Unidos e Espanha para recarga de aquífero por bacias de infiltração.

Parâmetro	Israel*	USEPA	Espanha
Coliformes totais (UFC/100mL)	9,8 x 10 ⁵	0,0	-
E. Coli (UFC/100mL)	8,6 x 10 ⁴	-	10 ³
Cloro residual (mg/L)	-	1,0	-
pH	-	6,5 – 8,5	-
Turbidez (NTU)	-	<2,0	-
DBO (mg/L)	5,2	30,0	25,0
SS (mg/L)	5,0	30,0	35,0
COT (mg/L)	-	<2,0	-
COD (mg/L)	40,0	-	125,0
Nitrato (mg/L)	3,0	-	25,0

*Planta Shafdan.

Fonte: Adaptado de Rays *et al.* (2017), United States Environmental Protection Agency (2012), Espanha (2007).

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental - *Environmental Protection Agency* (EPA), responsável pela definição das diretrizes para reúso de água, reúne experiências de diversos Estados que regulamentam a prática em seu território, no guia intitulado *Guidelines for Water Reuse*. Na categoria de reúso potável indireto, o guia reúne experiências de 9 estados (Arizona, California, Florida, Hawaii, Massachusetts, Pennsylvania, Utah, Virginia e Washington) que possuem

regulação para recarga de aquífero com água recuperada e, a partir disso, segere as diretrizes para o reúso potável indireto em todo o país, inclusive para demais países que não possuem diretrizes estabelecidas (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012).

Em Israel o reúso de efluentes é praticado há muitas décadas, por isso é um dos países com mais experiência em reúso no mundo. Uma extensa área na região de Dan se destaca por operar a mais de 25 anos a recarga de aquífero com efluentes tratados e posterior captação para usos diversos. Dados de monitoramento na planta Shafdan, a maior de Israel, mostram que um efluente terciário disposto em aquífero com areia de duna após passar pelo TSA atinge qualidade próxima a água potável. Os parâmetros do efluente infiltrado em Shafdan são utilizados como referência, porém para novas plantas de reúso é necessário que cada caso seja analisado em laboratório e no local.

Na Espanha o Decreto Real 1620/2007 estabelece parâmetros de qualidade para diversas modalidades de reúso, entre as quais os valores máximos admissíveis para RAA por infiltração no solo (ESPAÑA, 2007).

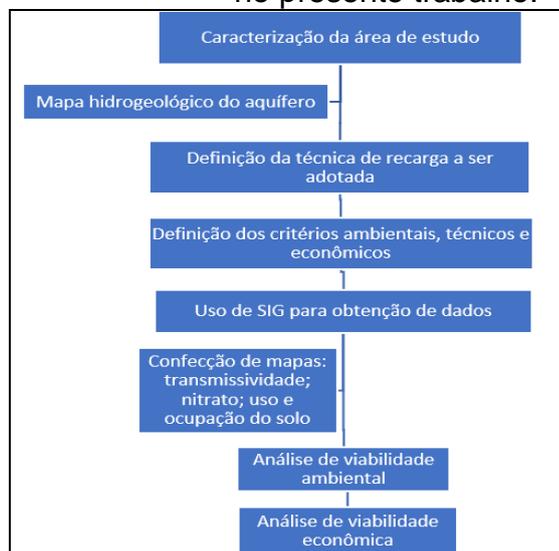
A Organização Mundial de Saúde e países como Austrália, Portugal e Canadá recomendam a análise caso a caso, com estudos sobre a qualidade do efluente tratado, da água nativa do aquífero e das características do solo local.

4 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, a pesquisa foi desenvolvida conforme as etapas abaixo e representadas no Fluxograma 1:

- a) Caracterização da área de estudo;
- b) Definição da técnica de recarga a ser adotada;
- c) Definição dos critérios ambientais, técnicos e econômicos para escolha de área adequada à implantação de lagoas de infiltração;
- d) Mapeamento e análise locacional para identificação de áreas disponíveis para implantação de lagoas de infiltração de ART;
- e) Análise de viabilidade ambiental;
- f) Análise de viabilidade econômica.

Fluxograma 1- Etapas da metodologia de pesquisa adotada no presente trabalho.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

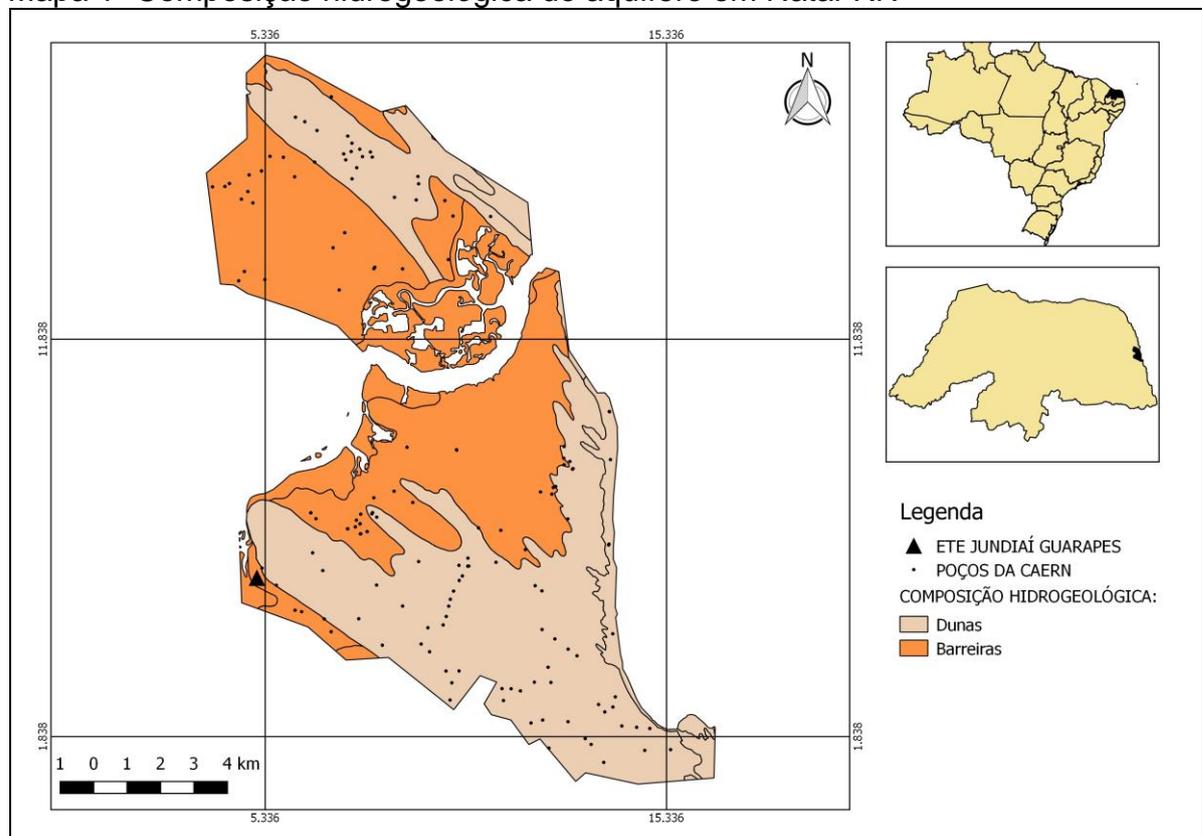
Natal é uma cidade litorânea, localizada entre as coordenadas 5°47'42" de latitude sul e 35°12'34" de longitude oeste, limitando-se ao norte com o município de Extremoz, ao sul com Parnamirim, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com os municípios de São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Parnamirim (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013). Apresenta área territorial de 167,2 km², população de 803.739 habitantes em 2010 e densidade demográfica de 4.805hab/km² (IBGE, 2010).

O município encontra-se com 31,2% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica do rio Potengi, 23,4% na Bacia Hidrográfica do rio Doce, 15,3% na Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi e 30,1% na Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

O Sistema Aquífero Barreiras ocorre em toda extensão do município de Natal, compreendendo uma superfície de 114 km², espessuras variando de 60 a 116 m (RIGHETTO; ROCHA, 2005). Na zona sul de Natal, a parte superior dos perfis de poços é dominada por sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos e a parte inferior são arenitos finos a grosseiros (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

O mapa da composição hidrogeológica do aquífero em Natal (Mapa 1) revela a presença de duas unidades hidráulicas, Dunas e Barreiras, de grande conexão hidráulica formando o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, em geral, do tipo livre, com as dunas promovendo a função de transferir as águas de infiltração aos estratos inferiores do Barreiras (MELO, 1995).

Mapa 1- Composição hidrogeológica do aquífero em Natal-RN



Fonte: Elaboração própria em 2019.

A cidade do Natal passa por um processo de crescimento urbano, apresentando uma taxa de crescimento de 40,7% entre 1991 e 2013 (ANUÁRIO NATAL, 2014). Conseqüentemente, a demanda por serviços como abastecimento de água e esgotamento sanitário aumentam proporcionalmente, porém a infraestrutura disponível para coleta e tratamento de esgoto não atende satisfatoriamente a população da capital do Estado, haja vista que apresenta índice de apenas 50% de atendimento (COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE, 2019).

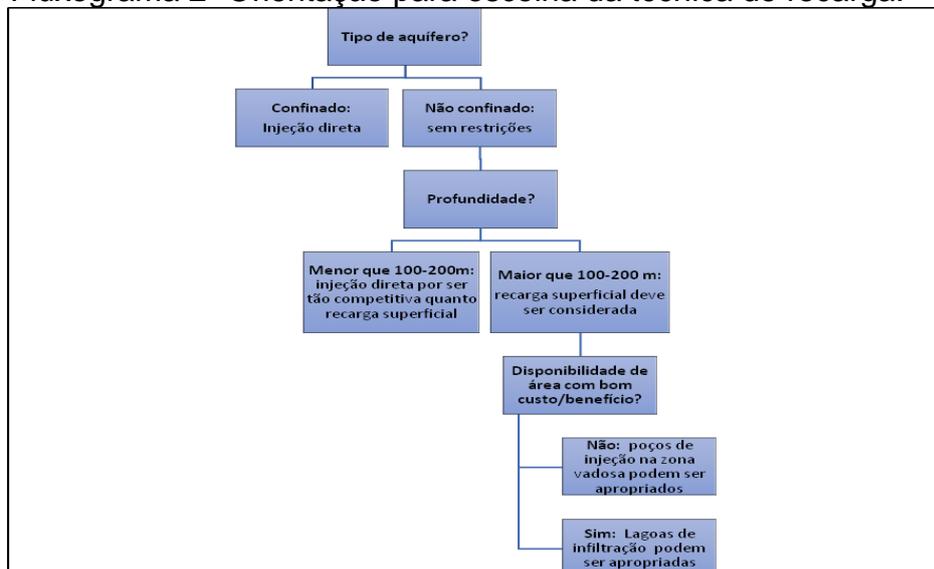
Com o objetivo de ampliar a cobertura com coleta e tratamento adequado para toda a cidade, foi ampliada a rede coletora de esgoto e foram projetados dois sistemas de tratamento, a ETE Jaguaribe que irá atender a Zona Norte, e a ETE Jundiáí/Guarapes que irá atender parte da Zona Sul e toda Zona Oeste, cujas obras estão em andamento.

O presente estudo aplica-se ao sistema sul de Natal-RN, onde será construída a ETE Jundiáí/Guarapes, projetada para tratar 1.050 L/s e atender uma população de aproximadamente 688 mil habitantes num horizonte de 20 anos. A tecnologia de tratamento adotada utiliza reatores UASB associados a lodos ativados (câmara aerada com biodiscos, câmara anóxica e decantador secundário), desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e pós-tratamento para remoção de fósforo por meio de flotação por ar dissolvido.

4.2 DEFINIÇÃO DA TÉCNICA DE RECARGA

A seleção da melhor técnica para RAA depende de muitas variáveis, principalmente referentes às características do aquífero. Para auxiliar nessa escolha a USEPA criou uma árvore simplificada que direciona para a técnica mais apropriada, de acordo com algumas características do aquífero e da área (Fluxograma 2). Porém, se um aquífero não confinado está sendo considerado, não há restrições quanto à escolha do método de recarga, sendo necessária também a consideração de outros fatores que justifiquem a escolha, tais como a disponibilidade de área e respectivo custo/benefício (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012).

Fluxograma 2- Orientação para escolha da técnica de recarga.



Fonte: Adaptado de United States Environmental Protection Agency (2012).

4.3 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE ÁREA PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFERO

Para a análise locacional foram adotados critérios técnicos, ambientais e econômicos para orientar a escolha de área com condições adequadas para a implantação de lagoa de infiltração de ART. A partir dos critérios definidos, foi utilizada ferramenta de geoprocessamento para mapear áreas com maior adequabilidade para a instalação de lagoas de infiltração.

Os critérios de restrições utilizados nesta pesquisa foram adaptados de Silva *et al.* (2017). São eles:

a) critérios ambientais:

- deve ser considerada uma distância de segurança de 100 m relativamente a captações de água para consumo humano, para evitar contaminação por infiltração de ART;
- deve ser considerada uma distância de 200 m relativamente a aglomerados populacionais, para proteger estas áreas de possíveis contaminações.

b) critérios técnicos:

- uso e ocupação do solo: para avaliar o potencial uso do solo;
- textura do solo: solo deve ter uma fração baixa de argila (<10% de argila) para evitar o entupimento dos solos e para assegurar o tratamento da água residual;
- tipo de solo: o solo para infiltração de água residual tratada não deve ter rocha no topo, uma vez que grande parte da melhoria da qualidade da água reutilizada ocorre no primeiro metro de solo;
- profundidade do aquífero: o aquífero deverá ser suficientemente profundo e transmissivo para prevenir aumentos excessivos de água no solo devido à infiltração.

c) critério econômico:

- distância: de modo a diminuir os custos de transporte de ART desde a ETE até a área de recarga, a distância máxima é de 8,0 km.

4.4 MAPEAMENTO E ANÁLISE LOCACIONAL

Para identificação de áreas disponíveis para implantação de lagoas de infiltração de ART, em acordo com os critérios ambientais, técnicos e econômicos acima estabelecidos, foi necessário o uso de ferramentas de geoprocessamento. Para elaboração de mapas temáticos foi utilizado o programa Quantum GIS – QGIS 2.18.24, com *shapefiles* oriundos do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e ferramentas de mapas *online* - *OpenStreetMap*. Foram utilizados *shapefiles* da composição hidrogeológica do aquífero Dunas/Barreiras, zonas de concentração de nitrato, zonas de transmissividade, cadastro de poços e nascentes na Região Metropolitana de Natal (RMN) e localização da ETE.

A partir do mapeamento das áreas próximas à ETE é possível identificar quais atendem aos critérios estabelecidos, respeitando as características do solo, a proximidade de fontes de captação de água para abastecimento público e a distância economicamente viável para implantação de adutora de reúso.

4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL

A viabilidade ambiental expressa a adequabilidade das atividades antrópicas sobre o meio ambiente quanto aos padrões de qualidade estabelecidos, considerando a capacidade do meio em assimilar um determinado nível de alterações (impactos) provocadas por estas atividades (MONTAÑO; SOUZA, 2008).

Dessa forma, em face da inexistência de legislação federal e estadual que define os parâmetros para recarga de aquífero, para avaliar a viabilidade ambiental da RAA será considerada a Resolução nº 153/2013 – CNRH, mais especificamente o art. 8º em que diz que “a recarga artificial não poderá causar alteração da qualidade das águas subterrâneas que provoque restrição aos usos preponderantes” (BRASIL, 2014).

4.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para o estudo de viabilidade econômica foram considerados dois cenários, para que seja possível fazer o comparativo entre os custos totais a valor presente de cada cenário e verificar qual é mais viável economicamente. O primeiro cenário consiste no sistema de reúso proposto nesse trabalho, através da recarga artificial de aquífero por meio de bacias de infiltração. O segundo cenário consiste numa adutora para complementar o abastecimento de Natal com uma vazão de 900 L/s para uma primeira etapa, a qual foi projetada e orçada pela CAERN como uma possível solução para atender à crescente demanda por água potável em Natal, através do transporte de água de uma bacia distante 30 km da cidade em estudo.

Os principais custos envolvidos na implantação do TSA com bacia de infiltração, conforme os componentes do sistema proposto, são de (i) transporte da ETE para área do TSA, (ii) área disponível, (iii) custos de operação e manutenção do bombeamento e (iv) manutenção da bacia (SHARMA; KENNEDY, 2017).

Para estimar os custos de implantação e operação do sistema de reúso, foi necessário fazer um pré-dimensionamento dos componentes necessários (APÊNDICE A). O sistema de reúso proposto inclui elevatória de esgoto tratado com bombas submersíveis e quadro de comando com inversores de frequência, adutora de reúso com tubo PRFV diâmetro de 500 mm e extensão de 3.340 m, e implantação das lagoas de infiltração numa área de aproximadamente 21,6 ha. Os preços foram adquiridos através de pesquisa mercadológica com empresas fornecedoras dos equipamentos com atuação no Rio Grande do Norte.

Os custos da adutora de água incluem implantação e operação de uma elevatória de água bruta com bombas centrífugas e quadro de comando com inversores de frequência, tubo PRFV diâmetro de 900 mm e extensão de 30 km. Os custos desse sistema foram fornecidos pela CAERN.

Para o estudo de viabilidade econômica foi considerado o Valor Presente Líquido (VPL), também conhecido como método do valor atual, método econômico financeiro que possibilita calcular os custos de investimento e de operação de um projeto a um valor presente (GOMES, 2010). Dessa forma, é possível comparar os custos a valor presente de diversos cenários, e aquele tiver o menor VPL é mais viável economicamente.

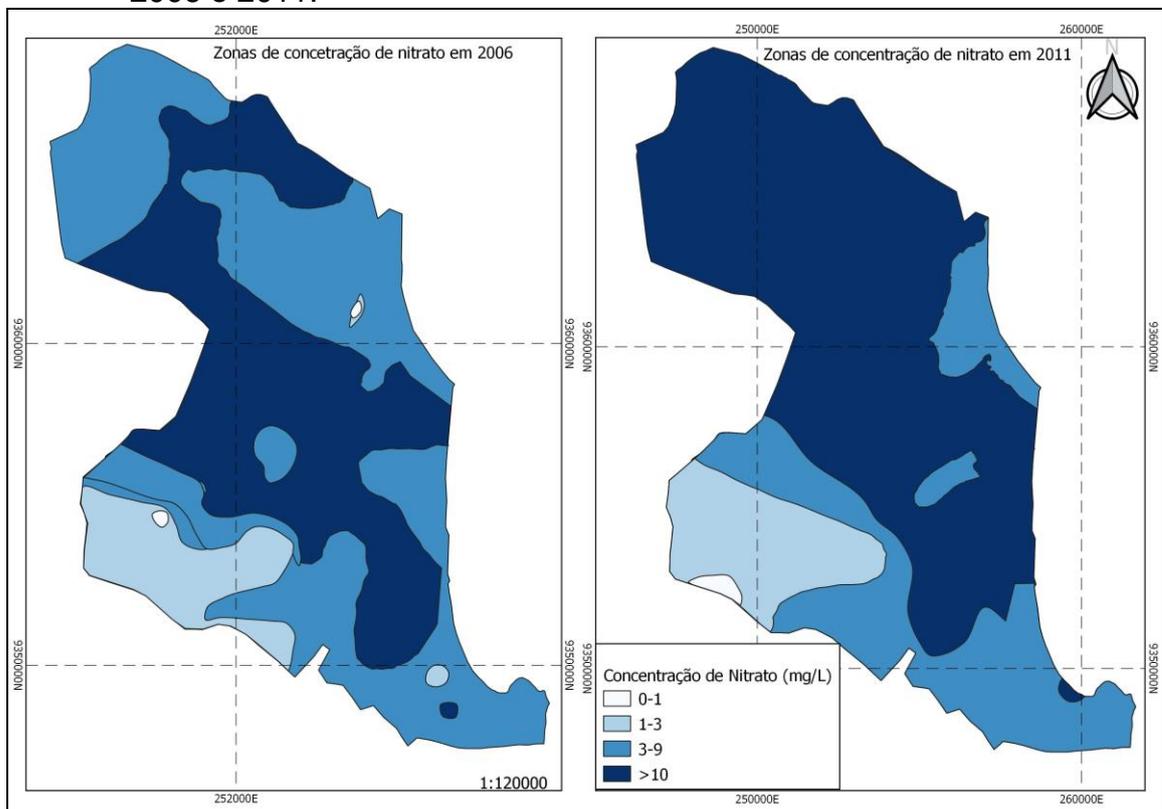
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista que o aquífero Dunas/Barreiras é do tipo livre em quase sua totalidade, com profundidades que variam de 60 a 116 m, e com disponibilidade de áreas amplas com bom custo/benefício, a técnica de recarga mais indicada para a área em estudo é a de superfície através de lagoas de infiltração (RIGHETTO; ROCHA, 2005). Essa técnica também proporciona tratamento adicional através da passagem de ART pelo solo, conhecido como Tratamento Solo-Aquífero, que promove melhoria na qualidade da água infiltrada.

Nas últimas décadas, vários trabalhos se dedicaram a estudar a presença de nitrato nas águas subterrâneas em Natal-RN, os resultados mostram que houve um crescimento significativo de presença do nitrato em concentrações superiores à 10,0 mg/L, limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). A Agência Nacional de Águas fez uma compilação dos dados de alguns desses estudos e montou um banco de dados com informações georreferenciadas sobre as águas subterrâneas da RMN. A partir desse banco de dados foi possível montar o Mapa 2, que retrata o avanço de zonas de concentração de nitrato em toda cidade, no período entre 2006 e 2011 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

Acresce que resultados do monitoramento de qualidade da água subterrânea de Natal mostram que a presença de coliformes totais e termotolerantes em todos os poços monitorados estão em desconformidade com a resolução CONAMA 396/2008, logo é necessário buscar soluções que contribuam para a reversão desse quadro (BRASIL, 2018; PROGRAMA ..., 2016).

Mapa 2- Zonas de concentração de nitrato nas águas subterrâneas de Natal entre 2006 e 2011.



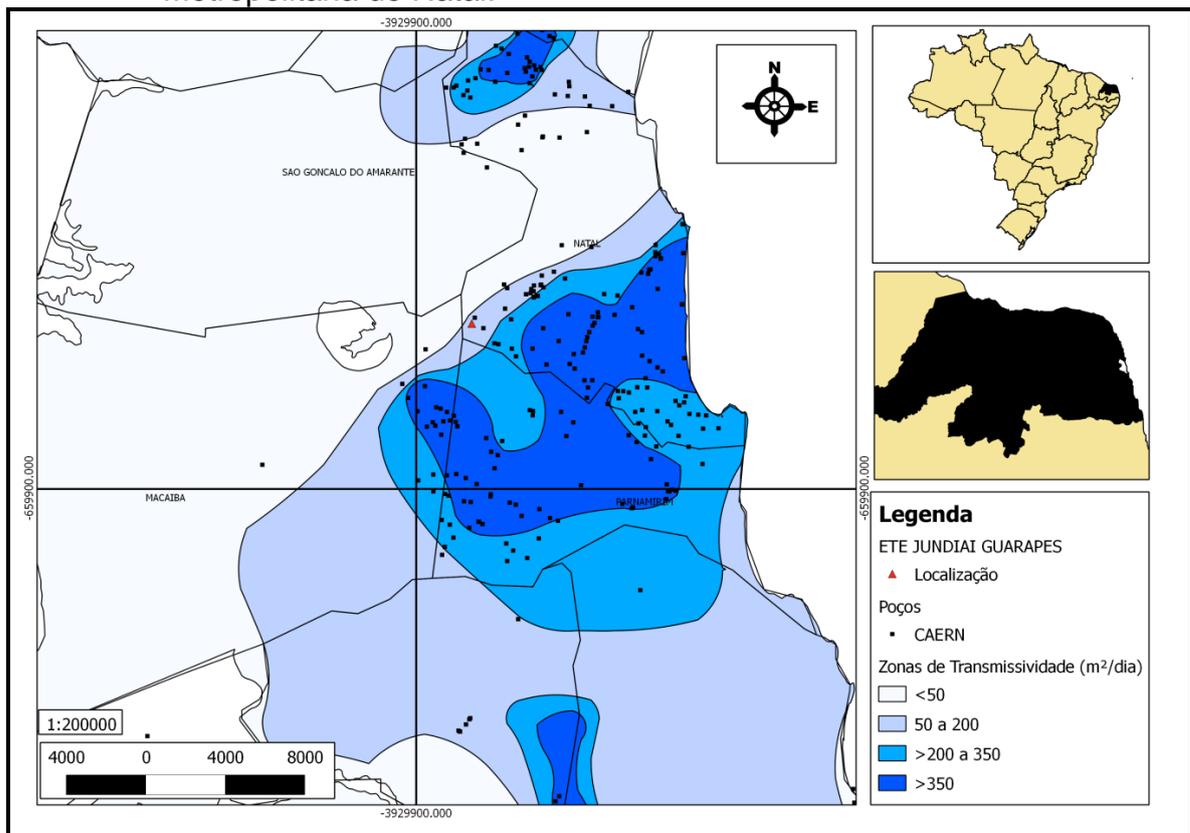
Fonte: Elaboração própria em 2019.

Estudos mostram que após a infiltração de ART em solos arenosos permeáveis, com nível freático superior a 5 m, aplicando-se de taxas de infiltração entre 0,2 e 1,0 m/dia, a concentração final de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal, nitritos, nitratos, SST, metais pesados e carga bacteriológica é reduzida significativamente (ASANO *et al.*, 2007). Essas condições retratam uma área com características semelhantes ao aquífero em estudo, todavia é fundamental a realização de testes de infiltração e análise qualitativa do infiltrado para garantir a segurança da recarga com ART.

O mapeamento auxiliou a escolha de áreas com características adequadas para realizar a RAA, segundo os critérios ambientais, técnicos e econômicos definidos na metodologia.

O mapa das zonas de transmissividade foi elaborado com o objetivo de identificar as áreas com elevadas taxas de transmissividade no aquífero, o que auxilia a escolha da área com capacidade de transmitir todo o volume de água, evitando o seu acúmulo no solo. Conforme Mapa 3, a localização de ETE Jundiáí/Guarapes é próxima à divisa com as cidades de Macaíba e Parnamirim, o que torna possível a utilização de áreas nesses municípios para instalação de lagoas de infiltração.

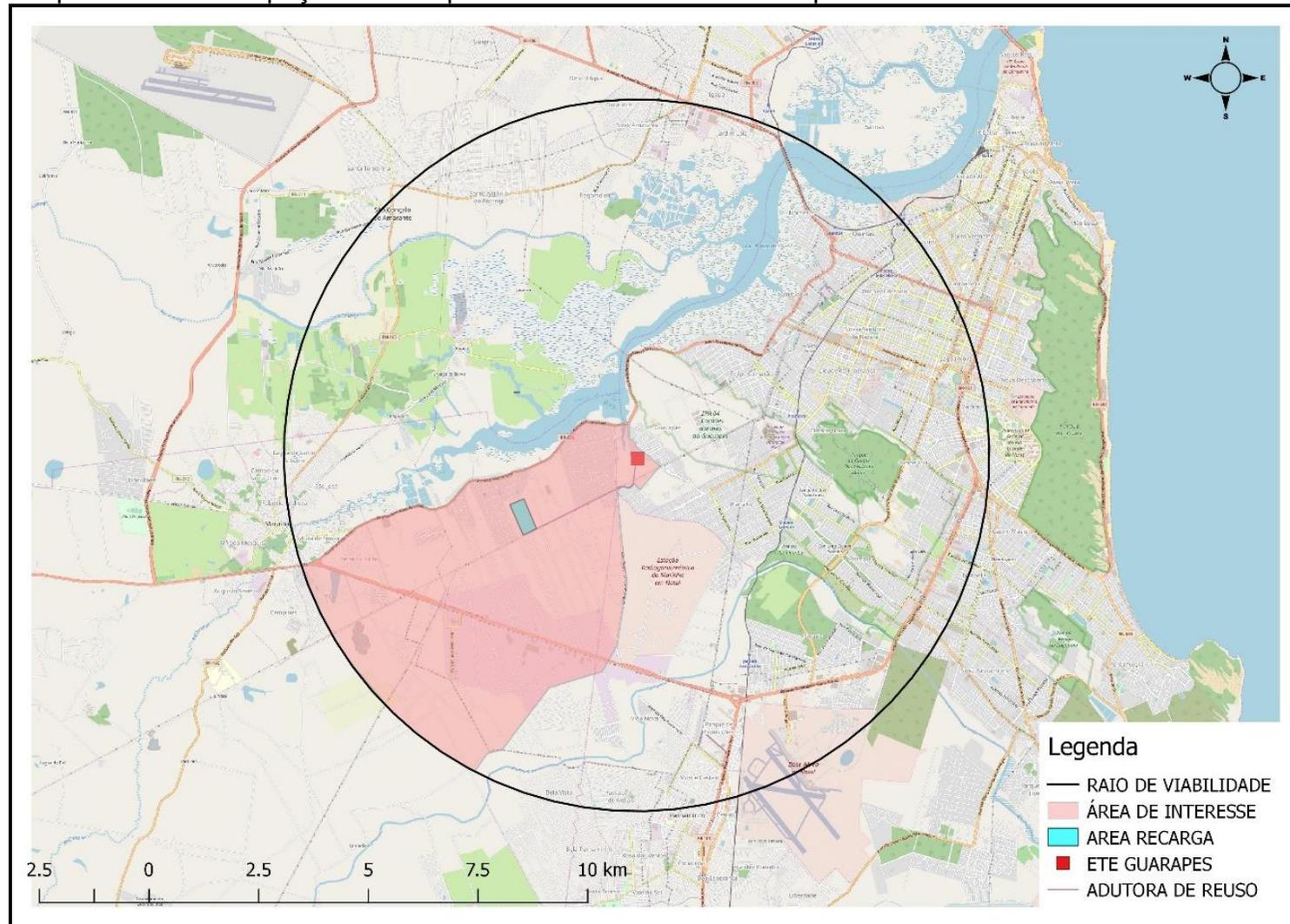
Mapa 3- Zonas de transmissividade do aquífero Dunas/Barreiras na Região Metropolitana de Natal.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

No programa QGis, após o mapeamento da composição hidrogeológica e das zonas de transmissividade do aquífero Dunas/Barreiras, foi inserida a camada do OpenStreetMap, ferramenta de mapa *online* com uma grande diversidade de informações locais, inclusive de uso e ocupação do solo, para auxiliar na escolha da área mais adequada para a recarga (Mapa 4).

Mapa 4 – Uso e ocupação do solo próximo a ETE Jundiaí/Guarapes.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Primeiramente, delimitou-se um círculo com raio de 8,0 km, definido como critério de viabilidade econômica, considerando a ETE Jundiá/Guarapes o centro dessa área. Feito isso, foi possível observar detalhadamente o uso e ocupação do solo, que em sua grande parte está densamente ocupada, assim como a existência de Áreas de Proteção Ambiental (Cordões Dunares do Guarapes, Parque da Cidade e vale do rio Pitimbu) a leste da ETE e ao sul área militar da Marinha, que não podem ser utilizadas. Ao norte tem-se o rio Potengi e seus afluentes, com extensa área de mangue, situação que inviabiliza implantação de adutora transpondo esses cursos d'água. Restando uma área a sudoeste da ETE com baixa ocupação, favorável à construção de lagoas de infiltração, conforme Mapa 4.

A área de interesse delimitada dentro do círculo pertence ao município de Macaíba, em zona rural com baixa ocupação residencial, alta disponibilidade de áreas inutilizadas e ambientalmente degradadas. Dentro dessa área delimitada é necessário considerar uma distância de 100 m de captações de água para consumo humano, e 200 m de aglomerados populacionais, para proteger estas áreas de possíveis riscos de contaminação.

Quanto ao uso ou ocupação do solo, com o uso de imagens de satélite (Mapa 5) foi observado a disponibilidade de áreas sem uso econômico e que não necessita realizar a remoção de comunidades e famílias.

Mapa 5- Imagem de satélite com foco na área de interesse para implantação do sistema de reúso.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Quanto às características do solo observou-se que a textura arenosa do solo, com baixa fração de argila, sem rocha no topo e com profundidade superior a 10 m, favorece a infiltração de efluente no solo, promovendo melhoria da qualidade da água reutilizada.

A recarga urbana em Natal é da ordem de $111,5 \times 10^6$ m³/ano, do qual cerca de $43,4 \times 10^6$ m³/ano é proveniente de fossas e sumidouros existentes nas áreas sem esgotamento sanitário, o que representa 38,8% da recarga urbana do aquífero (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). O volume anual de esgoto que será tratado na ETE Jundiaí/Guarapes, quando da sua operação com a vazão de fim de plano, será da ordem de $33,1 \times 10^6$ m³/ano, representando 29,7% da recarga urbana.

Quanto à viabilidade ambiental, esta deve ser pautada na capacidade do meio em assimilar um determinado nível de alterações, atendendo aos padrões de qualidade estabelecidos. Contudo a legislação brasileira não estabelece parâmetros qualitativos e seus respectivos valores máximos permissíveis para a implementação da RAA, o que dificulta a determinação objetiva de técnicas ambientalmente viáveis. A ausência de regulamentação para a recarga artificial de aquífero faz com que os órgãos de controle não tenham embasamento legal para aprovar projetos que utilizem essa prática, ou quando o fazem, os parâmetros utilizados não são corretamente adequados à RAA.

No caso da cidade em estudo, como já há o reúso não planejado, devido à infiltração de volume significativo de esgoto no solo e, conseqüentemente, há alteração da qualidade da água subterrânea, principalmente no que se refere às concentrações de nitrato e presença de coliformes, acredita-se que a adoção do reúso planejado, através da RAA com esgoto tratado, pode contribuir positivamente com a qualidade ambiental do aquífero. Considerando que o Tratamento Solo-Aquífero possui a capacidade de remoção de diversos poluentes, conforme Tabela 2, essa técnica é uma opção ambientalmente viável.

Tabela 2– Eficiência do TSA em remoção de poluentes de um efluente terciário.

Poluentes	Remoção
Metais pesados	20-100%
SST	90-100%
Turbidez	50-100%
Bactérias	2.4-3.0 Log
Vírus	0.4-4.0 Log
Nitrato	0-22%
Micropoluentes orgânicos	10-100%

Fonte: Adaptado de Sharma e Kennedy (2017).

A ETE Jundiaí/Guarapes foi projetada para tratar o efluente a nível terciário, com pós-tratamento físico-químico para remoção de fósforo, ou seja, o uso desse efluente para RAA reduz o aporte de carga poluidora no aquífero, considerando a situação em que a parcela da recarga urbana representada pela infiltração dos efluentes de fossas e sumidouros será eliminada, e substituída pela infiltração de ART através da técnica TSA.

Para a análise de viabilidade econômica, foi calculado o valor presente dos dois cenários propostos, conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 3– Valor presente para cenário com Adutora de reúso e TSA.

Ano	Despesa de implantação (R\$)	Despesas com energia elétrica (R\$)	Valor presente (R\$)
0	8.401.722,58		8.401.722,58
1		584.990,97	522.313,37
2		602.540,70	480.341,76
3		620.616,92	441.742,87
4		639.235,43	406.245,67
5		658.412,49	373.600,93
6		678.164,87	343.579,43
7		698.509,82	315.970,37
8		719.465,11	290.579,89
9		741.049,06	267.229,72
10		763.280,54	245.755,90
Total			12.089.082,50

Fonte: Elaboração própria em 2019.

Tabela 4– Valor presente para cenário com Adutora de água.

Ano	Despesa de implantação (R\$)	Despesas com energia elétrica (R\$)	Valor presente (R\$)
0	279.812.000,00		279.812.000,00
1		5.887.664,87	5.256.843,63
2		6.064.294,81	4.834.418,70
3		6.246.223,66	4.445.938,62
4		6.433.610,37	4.088.675,70
5		6.626.618,68	3.760.121,40
6		6.825.417,24	3.457.968,79
7		7.030.179,76	3.180.096,30
8		7.241.085,15	2.924.552,84
9		7.458.317,70	2.689.544,13
10		7.682.067,23	2.473.420,05
Total			316.923.580,17

Fonte: Elaboração própria em 2019.

A partir do valor presente, temos a análise dos custos totais de investimento e operação em relação ao volume (m³) transportado pelos sistemas em 10 anos de operação, dessa forma para o sistema de reúso considerando a vazão de 210 L/s em 10 anos teremos o volume de 66.225.600,0 m³, e para a adutora com capacidade para 900 L/s, em 10 anos teremos 283.824.000,0 m³. Os custos de implantação e operação do sistema de reúso (0,20 R\$/m³) são significativamente inferiores aos custos da implantação de uma adutora de água (1,06 R\$/m³) convencional com o intuito de reforçar o abastecimento de Natal-RN.

Como esperado, a prática de transportar água de bacias cada vez mais distantes tem um custo elevado, em comparação ao gerenciamento e recarga das fontes locais. Em um ambiente de escassez hídrica, os custos associados ao incremento

de novas fontes de abastecimento, tornam-se superiores aos custos com a gestão, manutenção e preservação da fonte existente.

Além dos custos já citados, futuramente deverá ser considerada a cobrança pelo uso da água que, conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem por objetivo reconhecer a água como um bem dotado de valor, incentivar o uso racional e obter recursos para o financiamento dos programas e intervenções existentes nos planos de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos poderão ser utilizados para o financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos, assim como poderão ser aplicados a fundo perdido em projetos e obras que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão de um corpo de água (BRASIL, 1997). Dessa forma, é interessante que projetos de reúso sejam incluídos no plano estadual de recursos hídricos, e assim possam ser custeados com os valores provenientes da cobrança pelo uso da água.

A cobrança pela captação de água bruta que já é praticada em alguns estados brasileiros e está em discussão para implantação no Rio Grande do Norte. No Ceará, através de lei recentemente aprovada, é feita a cobrança de tarifa em diferentes categorias, mas pode-se citar por exemplo a catação de água na região metropolitana de Fortaleza que é de R\$ 187,52/1.000 m³ (CEARÁ, 2019). Dessa forma, é necessário pensar novas alternativas que promovam o uso sustentável das reservas de água, minimizando os custos e maximizando os benefícios.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, conclui-se que:

- a) a técnica de recarga superficial por bacias de infiltração é a alternativa que mais se adéqua às características do aquífero Dunas/Barreiras, além de promover tratamento adicional, que resulta na melhoria da qualidade da água infiltrada e, conseqüentemente, do aquífero. Dessa forma, contribui para a manutenção qualitativa e quantitativa de água disponível para captação;
- b) foi possível identificar área disponível na cidade de Macaíba, pertencente à Região Metropolitana de Natal, com características que atendem aos critérios ambientais, técnicos e econômicos para implantação de sistema de infiltração de ART;
- c) em situações em que já ocorre o reúso não planejado de esgoto, a eliminação dessa prática aliada à adoção do reúso potável indireto planejado, através da RAA com ART, é uma alternativa ambientalmente viável;
- d) o estudo de viabilidade econômica mostrou que os custos de implantação e operação do sistema de reúso com lagoas de infiltração (0,20 R\$/m³) são significativamente inferiores aos custos de implantação de uma adutora de água (1,06 R\$/m³) com o intuito de reforçar o abastecimento de Natal-RN. Logo, o sistema de reúso com bacias de infiltração é uma alternativa economicamente viável.

O reúso de ART por meio de RAA deve ser regulamentado para que sua prática ofereça o menor risco possível, já que a RAA não é exequível sem algum grau de risco, os quais devem ser avaliados diante dos benefícios que a recarga trará e face

aos riscos decorrentes da não tomada de medidas, como o rebaixamento do lençol freático, intrusão de cunha salina e perda da capacidade de suprimento de água para o sistema de abastecimento público. Nesse sentido, recomenda-se a realização de estudos em bancada e escala piloto para verificação da capacidade de remoção de poluentes na zona insaturada do solo, com efluente tratado quando a ETE Jundiaí/Guarapes estiver em operação. Também é necessário a desenvolvimento de estudo que verifique se a localização das bacias de infiltração proporciona um tempo de detenção no aquífero que permita promover a autodepuração antes de sua captação, e um estudo mais detalhado do perfil estratigráfico local para conhecer a composição das camadas e os respectivos valores reais de permeabilidade, eliminando o risco de retenção de água entre essas camadas, o que inviabilizaria a infiltração de ART nessa área.

REFERÊNCIAS

ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. **Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level, EUR 28962 EN**. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.

AMY, Gary; DREWES, Jorg. Soil Aquifer Treatment (SAT) as a Natural and Sustainable Wastewater Reclamation/Reuse Technology: Fate of Wastewater Effluent Organic Matter (EfOM) and Trace Organic Compounds. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.129, p.19-26. 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da região metropolitana de Natal (RMN)**. v. 2. Brasília: ANA, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. Dados populacionais. In: **Prefeitura Municipal de Natal**. Anuário Natal 2014. Natal, 2014.

ASANO, T. et al. **Water reuse: issues, technologies and applications**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2007. 1460 p.

BARBOSA, C. M. S; MATTOS, A. Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, 2009, Natal. **Anais...** São Paulo: Águas Subterrâneas, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da União** nº 66, 7 abr. 2008, seção 1, p. 64-68. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 3 out. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Elaboração de Proposta do plano de ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. 2018.

Disponível em:

http://interaguas.ana.gov.br/Lists/Licitacoes_Docs/Attachments/221/Produto%20Exper%C3%Aancias%20de%20Re%C3%BAso.pdf. Acesso em: 7 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 153, de 17 de dezembro de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 4 abr. 2014.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (org.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CEARÁ (Estado). Decreto nº 33.024, de 27 de março de 2019. Dispõe sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da união por delegação de competência, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, CE. 28 mar. 2019.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). **Relatório Anual 2018 - Qualidade da Água Natal/RN**. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC00000000172761.PDF>. Acesso em: 14 mai. 2018.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). Natal deve estar 100% saneada até o final de 2020, diz Caern. **Bom Dia RN**, Natal, 25 jul. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2019/07/25/natal-deve-estar-100percent-saneada-ate-final-de-2020-diz-caern.ghtml>. Acesso em: 1 ago. 2019.

DIAMANTINO, C. Metodologias de recarga artificial de aquíferos. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 7, 2005, Évora. **Anais...** Portugal: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2005.

ESPAÑA. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1620/2007, de 7 de dezembro. Por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. **Boletín Oficial del Estado (BOE)** n. 294, Spain, 8 dez. 2007.

GOMES, H. P. **Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética**. 1. ed. 366 p. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2010.

HESPAÑOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 7 n. 4. out./dez. 2002, p. 75-95.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). **Perfil do seu município**: Natal. Natal: IDEMA, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

LEVANTESI et al. Quantification of pathogenic microorganisms and microbial indicators in three wastewater reclamation and managed aquifer recharge facilities in Europe. **Science of The Total Environment**, v. 408, p. 4923-4930, out. 2010.

MELO, J. G. **Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal/RN**. Natal: UFRN / CAERN. 232 p. 1995.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.

MONTAÑO, M.; SOUZA, M. P. A viabilidade ambiental no licenciamento de empreendimentos perigosos no Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n. 4, p. 435-442, out./dez. 2008.

NASCIMENTO, G. M. F. **Diagnóstico de sumidouros: um estudo de caso de um condomínio multifamiliar em Parnamirim/RN**. 2016. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

PROGRAMA Água Azul. **Relatório técnico monitoramento da qualidade das águas subterrâneas segunda campanha/2016**. 2016. Disponível em: http://www.programaaguaazul.ct.ufrn.br/relatorios/aguas_subterraneas/RelatorioAguasSubterraneasSegundaCampanha2016.pdf. Acesso em: 7 nov. 2018

RIGHETTO, A. M; ROCHA, M. A. Exploração Sustentada do Aquífero Dunas / Barreiras na Cidade de Natal, RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**. v. 10 n. 2, p. 27-38, abr./jun. 2005.

SHARMA, S. K.; KENNEDY, M. D. Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 119, p. 671-677, 2017.

SILVA, F.; SCALIZE, P. S.; CRUVINEL, K. A. S.; ALBUQUERQUE, A. Caracterização de solos residuais para infiltração de efluente de estação de tratamento de esgoto. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 1, p. 95-102, jan./fev. 2017.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. (Coord.). **Reúso de água: conceitos, teoria e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618. **Environmental Protection Agency**. Washington, D.C. 2012.

VANDENBOHEDE, A.; WALLIS, L.; HOUTTE, E. V.; RANST, E. V. Hydrogeochemical transport modeling of the infiltration of tertiary treated wastewater in a dune area, Belgium. **Hydrogeology Journal**, v. 21, p. 1307-1321. 2013.

APÊNDICE A – PRODUTO FINAL: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REÚSO

A ETE Jundiáí/Guarapes está projetada para tratar 1.260 L/s, a ser implantada em duas etapas, na primeira etapa está prevista a construção de 3 módulos, cada um com capacidade para tratar a vazão de 210 L/s.

Como o desempenho das bacias de infiltração é específico do local e difícil de prever para um projeto de grande escala, os grandes sistemas nunca devem ser projetados e construídos de uma só vez, mas começar pequeno, aprender à medida que a operação é feita e expandir conforme necessário (BOUWER *et al.*, 2008). Dessa forma, optou-se por dimensionar o sistema de reúso para a vazão de um módulo.

Dados iniciais

Vazão de 1 módulo: $Q=210 \text{ L/s} = 0,21 \text{ m}^3/\text{s}$

Distância da ETE à área de recarga: $L= 3.340,00 \text{ m}$

1.1. ADUTORA E ELEVATÓRIA DE REÚSO

Para o dimensionamento de adutoras por recalque, faz-se o uso da equação de Bresse para calcular o diâmetro econômico:

$$D = K\sqrt{Q}$$

onde K é uma constante relacionada à velocidade econômica do fluxo e cujo valor varia de 0,8 a 1,4 (aqui, o valor adotado foi de 1,2) e Q é a vazão máxima (0,21 m³/s) a ser recalçada.

$$D = 1,2 * \sqrt{0,21 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$D \cong 0,55 \text{ m} \rightarrow 550 \text{ mm}$$

Usualmente, para a tubulação de recalque adota-se o diâmetro comercial mais próximo (500 mm). Porém, após o cálculo do diâmetro econômico, é necessário verificar a velocidade de escoamento, a qual deve estar entre 0,6 m/s (evitar depósito de material) e 3,0 m/s (evitar abrasão), sendo mais comum adotar valores entre 1,5 e 2,0 m/s (PORTO, 2006).

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

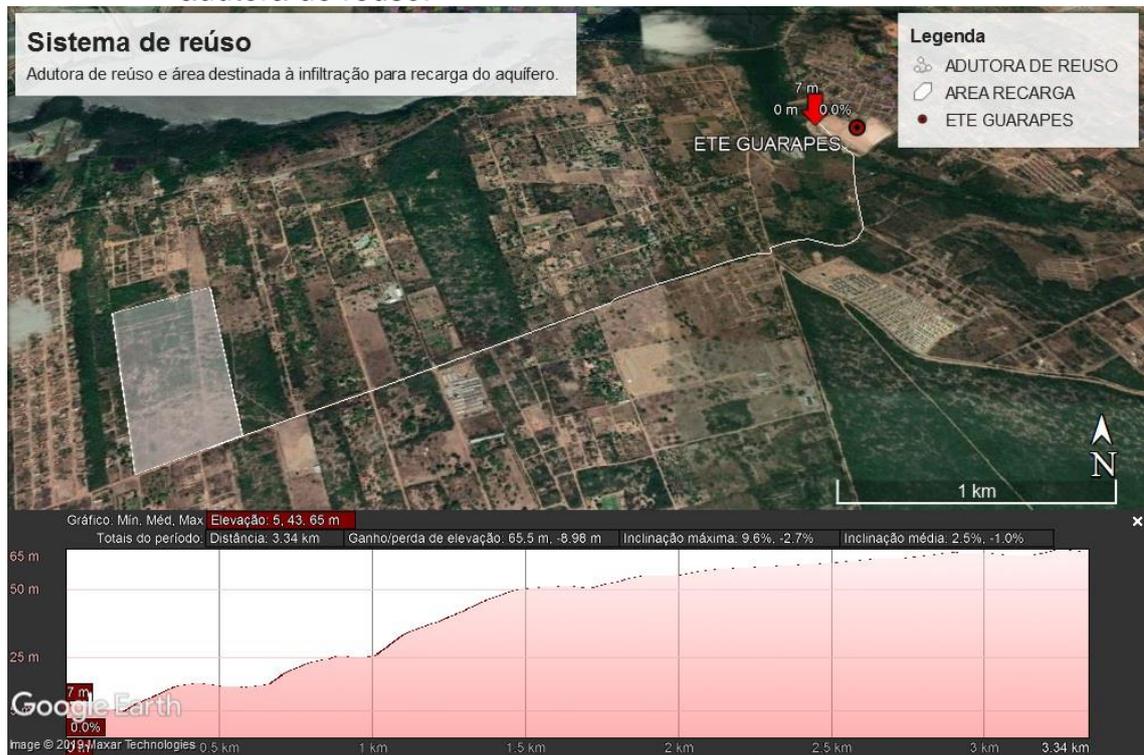
$$V = \frac{4 * 0,21}{\pi * 0,5^2}$$

$$V \cong 1,06 \text{ m/s}$$

Dessa forma, numa futura ampliação da vazão de reúso, pode-se utilizar essa mesma tubulação para atender mais um módulo de 210 L/s, resultando numa velocidade de 2,13 m/s, ou seja, ainda dentro da faixa recomendada.

Para o cálculo das perdas de carga serão considerados os dados conforme traçado simplificado da adutora, que tem como ponto inicial a ETE (cota 6,0 m) e ponto final uma área distante 3.340 m localizada em Macaíba (cota 65,0 m), conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 1 – Localização da área de recarga e perfil de elevação do trajeto da adutora de reúso.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

A partir disso, calcula-se a perda de carga unitária, j :

$$j = \frac{10,643Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

$$j = \frac{10,643 * 0,21^{1,85}}{145^{1,85} * 0,5^{4,87}}$$

$$j \cong 0,0017 \text{ m/m}$$

C (PRFV)= 130 a 150, adotado 145.

Para as perdas de carga localizadas, foram considerados poucos acessórios na tubulação oriundos de um traçado simplificado da adutora, devido ao objetivo desse trabalho. Nesse traçado, foram inseridas 6 curvas de 90°. Cada curva de 90° com diâmetro de 500 mm e material PRFV apresenta perda de carga singular igual a 0,4 (totalizando $6 * 0,4 = 2,4$):

$$h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 2,4 * \frac{1,06^2}{2 * 9,81}$$

$$h_f \cong 0,137 \text{ m}$$

Para o cálculo da perda de carga total, somou-se a perda de carga localizada à perda de carga distribuída:

$$H_j = L * j + h_f$$

$$H_j = 3.340 * 0,0017 + 0,137$$

$$H_j \cong 5,82 \text{ m}$$

O desnível geométrico é igual à diferença entre a cota máxima do ponto de recalque e a cota mínima do ponto de sucção:

$$H_g = C_{\text{máx, recalque}} - C_{\text{mín, sucção}}$$

$$H_g = (65,0) - 6,0$$

$$H_g = 59,0 \text{ m}$$

Somando esse desnível geométrico à perda de carga total, obtém-se o valor da altura manométrica total (AMT):

$$AMT = H_g + H_j$$

$$AMT = 59,0 + 5,82$$

$$AMT = 64,82 \text{ m}$$

A potência da estação elevatória é calculada levando-se em consideração o peso específico da água, γ , a vazão máxima a ser recalçada, $Q_{\text{máx}}$, a altura manométrica total, AMT, o rendimento do motor η_m e rendimento da bomba η . Considerou-se que o rendimento da bomba é de 70% e o rendimento do motor igual a 90%.

$$P = \frac{1000 * Q * AMT}{75 * \eta * \eta_m}$$

$$P = \frac{1.000 * 0,21 * 64,82}{75 * 0,70 * 0,90}$$

$$P = 288 \cong 300 \text{ CV}$$

1.2. POÇO DE SUCÇÃO

$$Q = 0,21 \text{ m}^3/\text{s} = 210 \text{ L/s}$$

$$V_u = 2,5 * Q = 2,5 * 210 * 10^{-3} * 60 = 31,5 \text{ m}^3$$

H=1,2 m, temos A=5,0 e B=5,5m.

$$\text{VOLUME EFETIVO: } 5 \times 5,5 \times 1,4 = 38,5 \text{ m}^3$$

Verifica-se o tempo de detenção:

$$V_{\text{efe}} = Q_{\text{med}} \times T_{\text{det}}$$

$$T_{\text{det}} = V_{\text{efe}} / Q_{\text{med}} = 38,5 / (0,21 \times 60) = 3,05 \text{ min}$$

1.3. BACIAS DE INFILTRAÇÃO

Para o dimensionamento da área necessária para as bacias de infiltração foi considerada a taxa máxima de aplicação diária (TAS) 0,084 m³/m².dia, obtida a partir de ensaio de percolação realizado por Nascimento (2016).

$$A = Q(\text{m}^3/\text{dia})/\text{TAS} = 18.144 \text{ m}^3/\text{dia} / 0,084 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia} = 216.000 \text{ m}^2 = 21,6 \text{ ha}$$

As bacias de infiltração devem ser construídas com taludes vegetados ou forrados com concreto ou plástico, ou então estabilizados de tal forma que não haja erosão das margens, pois isso turvaria a água e contribuiria para o entupimento do solo. A água deve entrar na bacia sobre uma laje de concreto com pedras ou cascalho grosso ao redor para dissipação de energia (BOUWER *et al.*; 2009).

1.4. CUSTOS

A partir do dimensionamento dos itens necessários para o sistema de reúso, foi feita a cotação dos preços de tubulação, bombas, área para implantação das bacias de infiltração e obras civis. Os custos de operação e manutenção do sistema dividem-se em gastos com energia elétrica, devido ao bombeamento, e custos de manutenção da lagoa de infiltração, que segundo Sharma e Kennedy (2017) equivale de 5% a 10% do valor de implantação da lagoa, para manutenção anual.

Quadro 1- Custos energéticos de operação do sistema elevatório.

Potência requerida pelo conjunto motor+bomba: P (HP)	288,60
Custo do KWh NA PONTA, CP (R\$/kwh) ATÉ 300 KW	0,4767
Custo KWH Fora de Ponta, FP (R\$/kwh) ATE 300 KW	0,3044
Custo da Demanda em Kw (R\$/Kw) ponta	53,72
Custo da Demanda em Kw (R\$/Kw) fora de ponta	18,62
Custo anual de energia elétrica (R\$/ano)	584.990,97

Quadro 2 – Custos totais para implantação e operação do sistema de reúso.

DESCRIÇÃO	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO
Área para bacias de infiltração	R\$ 5.400.000,00
Elevatória - bomba submersível 210 L/s, AMT 65 m, 300 CV, com quadro de comando e inversores de frequência	R\$ 408.950,13
Adução reúso DN 500 (material e serviço)	R\$ 1.541.562,72
Obras civis elevatória	R\$ 1.132.119,74
Subtotal	R\$ 8.482.632,58
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	CUSTOS ANUAIS
Custos energéticos	R\$ 584.990,97
Manutenção das BI	R\$ 270.000,00

ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO

Artigo submetido à Revista Sociedade & Natureza, qualis A2 para área de Ciências Ambientais.

The screenshot shows a web browser window displaying the submission management interface for the journal 'Sociedade & Natureza'. The browser's address bar shows the URL 'www.seer.ufu.br/index.php/sociedadenamezura/'. The page title is 'Sociedade & Natureza' and the user is logged in as 'jeantavares'. The main content area displays the submission details for the article 'VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUIFERO' by TEONIA CASADO DA SILVA and JEAN LEITE TAVARES. The submission is in the 'Submissão' stage. Below the article title, there is a section for 'Arquivos da Submissão' with a search bar and a list of files. The file list shows a document named 'jeantavares, Revista Sociedade e Natureza.doc' with a date of 'agosto 22, 2019' and a description of 'Texto do artigo'. There is an 'Editar' link and a 'Baixar Todos os Arquivos' button. At the bottom, there is a section for 'Discussão da pre-avaliação' with an 'Adicionar comentários' button and a table with columns for 'Nome', 'De', 'Última resposta', 'Respostas', and 'Fechado'. The Windows taskbar at the bottom shows the system clock as 12:52 on 22/08/2019.

Sociedade & Natureza

Submissões

Biblioteca da Submissão Ver metadados

VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUIFERO

TEONIA CASADO DA SILVA, JEAN LEITE TAVARES

Submissão Avaliação Edição de Texto Editoração

Arquivos da Submissão

207692-1 jeantavares, Revista Sociedade e Natureza.doc agosto 22, 2019 Texto do artigo

Editar

Baixar Todos os Arquivos

Discussão da pre-avaliação

Adicionar comentários

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
------	----	-----------------	-----------	---------

12:52 22/08/2019