

## **XI-097 - ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE MINI-HIDRELÉTRICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA COM EFLUENTE TRATADO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

**Walter Gomes de Sousa Neto<sup>(1)</sup>**

Estudante de engenharia civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e estudante de Especialização em dimensionamento, patologia, terapia e tecnologia de estruturas de concreto no Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

**Micheline Damião Dias Moreira<sup>(2)</sup>**

Professora do Departamento de Engenharia Civil da UFRN. Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Especialista em Engenharia de Instalações Prediais pela Universidade Potiguar (UNP). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

**Maria Eduarda Pereira de Almeida<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

**Ana Carolina Galvão Silva Reginaldo<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pós-graduanda em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São José, 2167 – Lagoa Nova – Natal - RN - CEP: 59063-150 - Brasil - Tel: (84) 99654-5005 - e-mail: waltergsousa@ufrn.edu.br

### **RESUMO**

Desde o seu surgimento, a energia hidráulica se tornou um dos recursos mais importantes no mundo, dadas algumas características como sua disponibilidade, a facilidade de aproveitamento e principalmente pelo seu caráter renovável, transformando-a na principal fonte geradora de energia elétrica para mais de 30 países. No entanto, também é válido atentar para outra possível fonte hidrelétrica muito pouco explorada, mas com imenso potencial gerador de energia, que acaba sendo esquecida pela sociedade. Trata-se, pois, dos efluentes advindos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que, na maioria dos casos, possuem qualidade suficiente para o propósito, como por exemplo o esgoto doméstico tratado, podendo, portanto, se tornar numa eficiente fonte produtora de energia hidrelétrica. A princípio, o esgoto não possui nenhuma função benéfica à sociedade ou ao meio ambiente, mesmo assim é uma fonte hídrica já existente e de extrema abundância em todo o mundo que pode ser usufruída sem gerar consequências negativas diferentes das que já são causadas. Assim, através da utilização de uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH) foi analisada e provada a viabilidade da geração de energia elétrica por meio do efluente tratado de uma ETE que, apesar de não ser um conceito novo no mundo, é predecessor no Brasil. Com efeito, trouxe-se uma solução executável e rentável para o país lidar com um dos grandes problemas do mundo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto, Geradora, Energia Elétrica, Geração, Viabilidade.

### **INTRODUÇÃO**

A história da humanidade é repleta de marcos e descobertas que sempre ajudaram a espécie em sua sobrevivência, perpetuação e melhoria da qualidade de vida. Beluco (1994) relata que acontecimentos como a descoberta do fogo na pré-história e o desenvolvimento de máquinas a vapor impactaram a vida na terra de forma tão intensa que foram indispensáveis para a atual conjuntura do planeta, como relata Eick (2010). Desde a sua descoberta, a energia elétrica se tornou um instrumento de tal importância que vincula estritamente a vida do homem à sua utilização, ao ponto de poder considerar que o suprimento de energia hoje, é uma necessidade básica em qualquer corpo social (BELUCO, 1994), e sua influência no mundo chega ao ponto do consumo de energia elétrica se tornar um mensurador indispensável da qualidade de vida e desenvolvimento econômico de todos os países.

Inevitavelmente, a utilização de energia elétrica sempre esteve atrelada à capacidade de produção de matéria-prima que cresce ao passar do tempo, e cada vez se torna mais eficiente e de maior escala. No começo a forma mais ampla de produção era através da utilização de combustíveis fósseis não renováveis como o carvão mineral e derivados do petróleo, que se apresentaram como alternativas viáveis e satisfatórias à época. Logo depois novos meios de produção de energia foram sendo desenvolvidos e começaram a ser postas em prática.

Desde o seu surgimento, a energia hidráulica se tornou um dos recursos mais importantes no mundo, dadas algumas características como sua disponibilidade, a facilidade de aproveitamento e principalmente pelo seu caráter renovável, transformando-a na principal fonte geradora de energia elétrica para mais de 30 países. O Brasil é um dos países com maior potencial hídrico no mundo, e de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008), atinge 260GW de potencial a ser explorado. De toda energia elétrica gerada no ano de 2018, 74,2% se dá por meio de hidrelétricas (ANEEL, 2018). Apesar de ser uma porcentagem expressiva, o país acaba utilizando apenas cerca de 104,14 GW (ANEEL, 2018) de capacidade de geração instalada, deixando ainda uma margem de quase 40% do seu potencial hídrico aberto à exploração.

É inegável que as hidrelétricas, independentemente do seu porte, necessitam de água como fonte geratriz para suas turbinas, porém a qualidade dessa água pouco importa para o funcionamento da central, caso não prejudique a estrutura ou componentes da mesma. Sendo assim, uma matéria muito pouco explorada, mas com imenso potencial gerador de energia acaba sendo esquecida pela sociedade: O esgoto. Os efluentes advindos de estações de tratamento que se dirigem para mananciais e que não possuam grandes quantidades de sólidos suspensos ou metais pesados, como o esgoto doméstico tratado, podem se tornar uma abrangente fonte produtora de energia hidrelétrica. A princípio, as águas residuárias não possuem nenhuma função benéfica para a sociedade ou meio ambiente, mesmo assim representam é uma fonte hídrica já existente e de extrema abundância em todo o mundo, que pode ser usufruída sem gerar consequências negativas diferentes das que já são causadas.

## **OBJETIVO GERAL**

A presente pesquisa tem o objetivo de realizar um estudo de caso na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Jaguaribe, ainda em construção, em Natal/RN, Brasil, comandada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), visando a implantação de uma CGH movida através do efluente proveniente da estação para a geração de energia elétrica, a fim de diminuir o consumo atendido pela concessionária e consequentemente os custos gerados, acrescentando uma função nobre sustentável ao efluente tratado antes de sua destinação final.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Análise física da área de estudo;
- Análise físico-química do efluente tratado;
- Escolha do modelo de geradora que se adeque ao caso;
- Elaboração do estudo de implementação física;
- Análise de viabilidade econômica da instalação da geradora.

## **METODOLOGIA**

A transformação de energia em seus diversos modos sempre foi um aliado do desenvolvimento da humanidade, mas nos últimos tempos, o aparecimento do estilo de vida moderno resultou em uma dependência dos seres às formas de energia que suprissem as necessidades humanas.

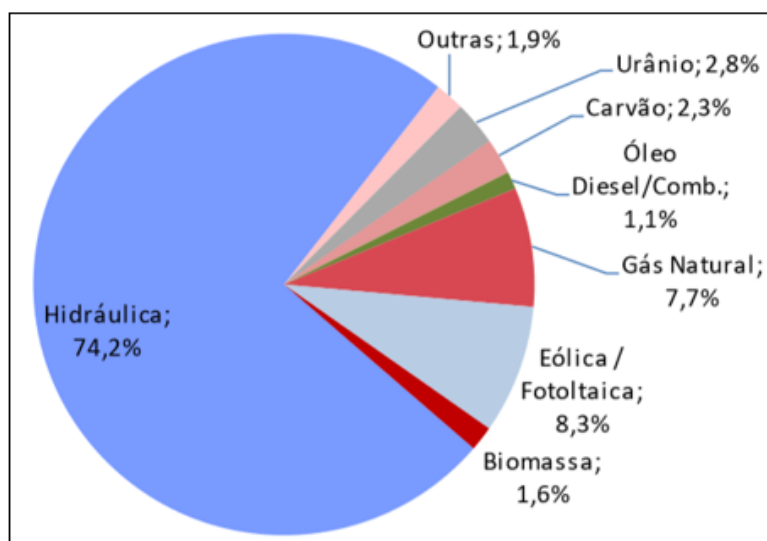
Nos primórdios, Goldemberg e Lucon (2007) nos apresentam que a energia era obtida da lenha das florestas, para aquecimento e atividades domésticas. Durante a Idade Média, as energias de cursos d'água e dos ventos foram utilizadas para tentar suprir a necessidade das sociedades da época de forma ainda insuficiente. Na revolução industrial, surge uma forma mais eficiente de produção de energia com a utilização de carvão, petróleo e gás para gerar vapor para munir as carências, mas a um custo muito elevado.

A utilização da força hídrica como auxílio nos afazeres da humanidade através da transformação de energia potencial em mecânica também não é um conceito novo, essa ideia foi concebida e já era utilizada na China, no período da dinastia Han entre 202 A.C. e 9 D.C. De forma geral, nessa época utilizavam-se as rodas d'água para transporte vertical, moagem de grãos e até produção de papel (IHA, 2019).

Muito tempo depois, o surgimento do primeiro protótipo de produção de energia elétrica através da força hídrica se deu inicialmente através de rodas sob pressão, creditadas ao francês Benoît Fourneyron em 1827 de forma que “instalada numa queda de 1,4m na ponte sobre o rio Ognon, em Haute-Saône, ela produziu 4,5kW com um rendimento de 83%, mais do que o triplo das antigas rodas de palhetas” (PEREIRA, 2015). Embora a descoberta da produção de energia elétrica através do eletromagnetismo remonte ao ano de 1831, após a criação de Fourneyron, com a descoberta de Michael Faraday, a sua produção em larga escala tardou a ocorrer de forma viável, surgindo quase meio século depois.

Foi somente em 30 de setembro de 1882 que entrou em operação a primeira usina hidrelétrica do mundo, situada em Appleton, Wisconsin nos Estados Unidos da América. A *Vulcan Street Plant*, de 12,5kW, no *Fox River*, foi a predecessora de uma das mais comuns formas de produção de energia para grandes populações, segundo Pereira (2015), ao ser a primeira hidrelétrica a utilizar o gerador de Thomas Edison de 1880 que criava uma corrente contínua.

Já no Brasil, de acordo com Garibello (2015), as primeiras usinas hidrelétricas surgiram no final do século XIX com a finalidade de suprir as demandas energéticas dos setores industriais, em processo de consolidação na época, e para alavancar os meios de transportes elétricos e iluminação pública. Apesar de hoje existirem diversas formas sustentáveis e não sustentáveis de produção de energia como energia eólica, fotovoltaica, biogás, nuclear, termoeletricas, etc., ela ainda é a maior responsável pela geração de energia elétrica no país, correspondendo a 74,2% de toda a produção nacional, como apresenta a Figura 1, e com a previsão de crescimento graças ao enorme potencial hidrelétrico brasileiro.



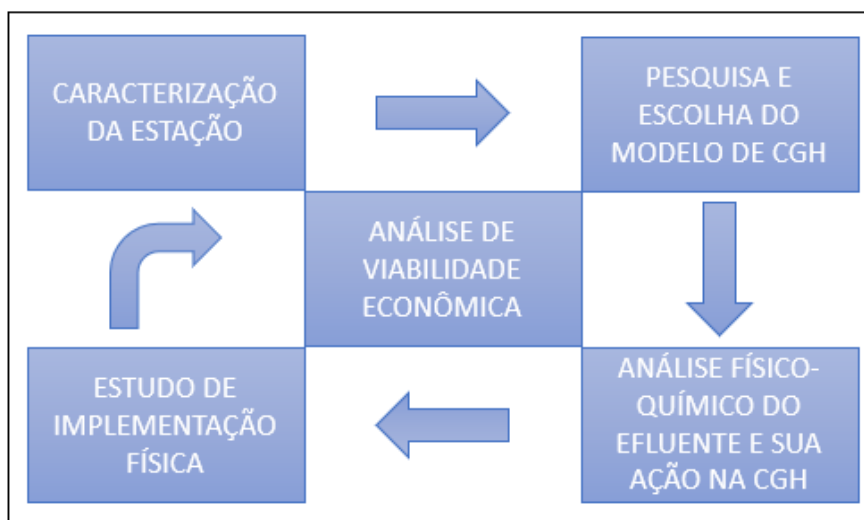
**Figura 1: Participação de cada fonte geradora brasileira no total - Jan-Dez/2018. Fonte: ANEEL (2018).**

Em termos atuais, segundo o anuário da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), “em 2017, após dois anos de queda, o consumo de eletricidade no país cresceu 1,2% em relação a 2016, alcançando 467 TWh”, tendo a capacidade de geração ampliada em 4,5% no mesmo período com contribuição majoritária do setor de geração hidráulica, apesar de ter decaído 2,6%.

O anuário nos apresenta também que as maiores altas na geração se deram no setor eólico (+26,5%) e de gás natural (+16,1%). Ademais, com influência principal da expansão eólica as emissões de gases de efeito estufa caíram 4,9% no Sistema Interligado Nacional e 5,1% na geração elétrica no país.

Diante dos fatos é inegável a importância da geração hidráulica energética no Brasil e no mundo, tornando imprescindível a pesquisa na área, visando a procura por novos meios de geração que agreguem capacidade aos já existentes, atrelados a um viés ecológico de forma a, cada vez mais, manter uma existência harmônica com o ecossistema. De forma geral, é uma demanda incessante da sociedade moderna que tende a procurar meios de satisfazer suas necessidades sem comprometer o modo de vida das futuras gerações.

Esse projeto, portanto, tem a finalidade de trazer à sociedade brasileira uma nova forma de produção de energia elétrica ainda não utilizada no país, eficiente e isenta de consequências negativas ao ecossistema em sua volta, ao passo que possibilita a existência de uma utilização nobre e valorosa ao esgoto tratado que é descartado no meio ambiente. Para isso, o estudo baseou-se na pesquisa e análise de diversos artigos técnicos pertinentes para o estudo de viabilidade do projeto bem como análise de documentos técnicos de referências confiáveis em suas respectivas áreas. O mesmo seguiu basicamente cinco etapas estipuladas para que atinja seus objetivos da forma mais coesa, como são apresentadas no fluxograma da Figura 2 e destrinchadas em seguida.



**Figura 2: Fluxograma esquemático da metodologia aplicada. Fonte: Autor.**

### **PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO DA ETE JAGUARIBE**

A ETE Jaguaribe é uma estação de responsabilidade da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, ainda em construção, com a finalidade de receber a contribuição de esgoto de toda a Zona Norte da cidade com exceção do bairro da Redinha que conta com tratamento próprio como preconiza o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário de Natal (PDES-RMF). Localizada na Rua Presidente Itamar, no bairro da Redinha, Zona Norte da cidade e terá área de 77.000 m². A mesma será composta de 05 módulos que incluem todas as etapas de tratamento, beneficiando 69.000 residências e 276.000 pessoas (CAERN, 2018).

Por ainda estar em fase de construção, toda a análise física da ETE foi feita a partir do projeto disponibilizado pela concessionária.

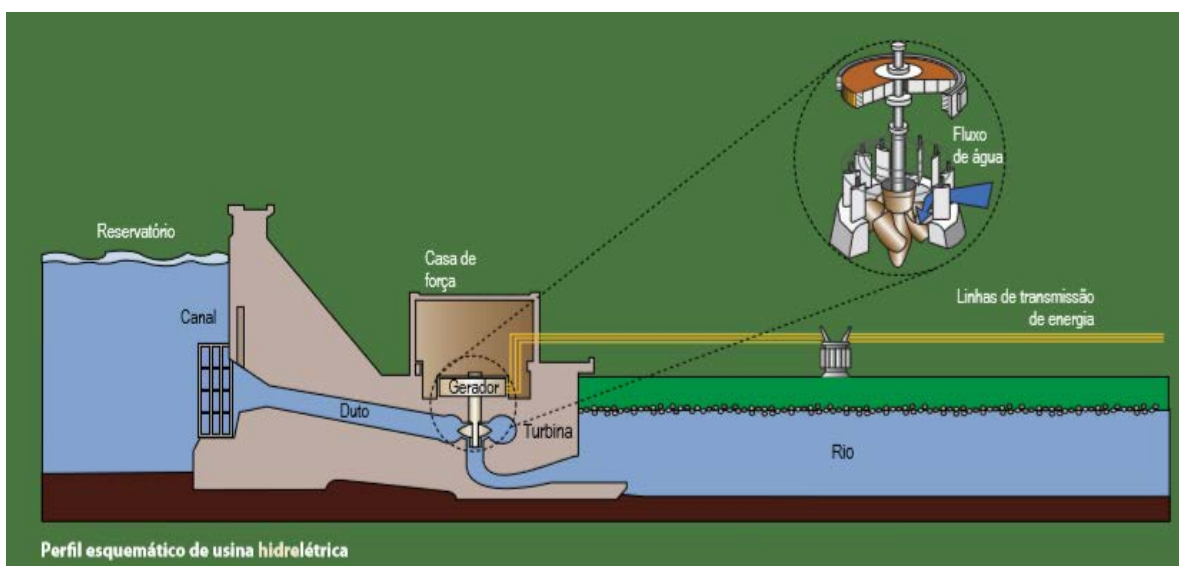
### **SEGUNDA ETAPA: PESQUISA E ESCOLHA DO MODELO DE CGH**

Para a escolha do sistema de produção elétrico foram pesquisados os diferentes modelos de hidrogeradores disponíveis no mercado, sendo contemplados nessa análise, projetos executados por empresas renomadas no ramo à CGHs compactas e com foco na produção e consumo individualizado, comercializadas no mercado. Entre elas foi selecionada a que mais se enquadram com as disponibilidades físicas da estação estudada de forma que pudesse ser inserida no caso de estudo.

Quanto a sua composição, as hidrelétricas de modo geral, não possuem grandes variações, tendo sua estrutura principal mostrada na Figura 3 e, sendo definida pela ANEEL (2008) como:

Composta, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada. A barragem tem por objetivo interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório. Além de “estocar” a água, esses reservatórios têm outras funções: permitem a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica, a captação da água em volume adequado e a regularização da vazão dos rios em períodos de chuva ou estiagem.

Todavia, entende-se que apesar de se tratar de uma forma de geração considerada renovável, as hidrelétricas resultam em grandes danos sociais e ambientais, como o alagamento de extensas áreas, destruição de faunas e floras, relocação de pessoas, mudança de cursos hídricos naturais, interferência no fornecimento de água em algumas regiões e até morte de mananciais naturais. Em sua grande maioria, esses problemas são gerados pelo tamanho desses empreendimentos que são criados para fornecer energia a várias cidades, estados e até a países, como mostra ANEEL (2008). Para que essas grandes obras sejam concebidas devem existir condições ideais atendidas que justifiquem todos os outros problemas, como a necessidade de integrar a vazão do rio, haver quantidade suficiente de água disponível em determinado período e serem respeitados os desníveis necessários do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d’água, ou criados artificialmente (ANEEL, 2008).



**Figura 03: Perfil esquemático de usina hidrelétrica. Fonte: ANEEL (2008).**

Por muito tempo os cursos hídricos menores acabaram sofrendo negligência e sendo mal aproveitados por não propiciarem as características necessárias em grande escala. Por esses motivos, foram sendo desenvolvidas novas formas de aproveitamento desses cursos para produção de energia em pequena ou média escala que traziam ainda o benefício de gerar impacto muito menor ao meio ambiente e distribuir de forma mais ampla o fornecimento elétrico.

É nesse cenário que entram as chamadas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) como uma forma de geração elétrica pelo aproveitamento dos cursos hídricos sem impactar amplamente o meio ambiente. Em sua resolução 673, ANEEL (2015) estabelece as Pequenas Centrais Hidrelétricas como:

Empreendimentos com características de PCH aqueles empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia elétrica, cuja potência seja superior a 3.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área de reservatório de até 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio. O aproveitamento hidrelétrico com área de reservatório superior a 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio, será considerado como PCH se o reservatório for de regularização, no mínimo, semanal ou cujo dimensionamento,



comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

Ainda segundo a ANEEL, as CGHs são reconhecidas como produtoras de energia elétrica que são movidas pelo potencial hídrico com potencial gerador menor que as PCHs. Existem alguns pontos positivos quando comparadas essas geradoras às grandes hidrelétricas. Segundo a Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas – ABRAPCH (2019), as PCHs e CGHs fornecem uma grande ajuda na conservação e recuperação da fauna e flora ao seu redor, visto que atividades de conservação, manutenção e vigilância constantes são previstas em lei; ajuda no impedimento de deposição de resíduos nos cursos d'água por barra-los ao descer rio abaixo e ainda por cima ajuda no estudo; e divulgação de dados de APPs (Áreas de Preservação Ambiental) junto com as autoridades. Fora isso ainda há o fato do reduzido impacto na fauna, flora e vida de comunidades locais e na ausência de emissão de poluentes. Por fim, o art 8º, caput, da Lei Federal 13.360/2016 define que o aproveitamento de potenciais hidráulicos com potência igual ou inferior a 5.000 kW estão dispensados de concessão, permissão ou autorização, devendo apenas ser comunicados ao poder concedente de sua instalação e potência.

### **TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE TRATADO E SUA AÇÃO NA CGH**

De acordo com os dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o volume de esgoto coletado em 2016 totalizou 5.678.755,46 x 1.000 m³, enquanto o total de esgoto tratado atingiu 4.047.556,63 x 1.000 m³. No ano de 2017, por sua vez, o sistema permitiu estimar 5.678.755,46 x 1.000 m³ de esgoto coletado e 4.130.536,38 x 1.000 m³ de esgoto que passaram por processos de tratamento. Estabelecendo-se uma comparação entre os valores é possível observar que a cada ano os volumes de esgoto produzidos e tratados sofrem um incremento, isso porque as cidades crescem consideravelmente e necessitam de sistemas de coleta, tratamento e disposição final de efluentes cada vez mais eficientes e ambientalmente corretas.

O consumo energético para tratamento do esgoto no ano de 2017 alcançou o patamar de 1,3TWh, que equivale ao consumo de energia elétrica doméstico anual de cerca 18,2 milhões de habitantes. Isso faz com que o esgoto não impacte somente o meio ambiente diretamente com o seu lançamento, mas também indiretamente com a necessidade de uma produção energética alta para seu tratamento e operação.

Com o desenvolvimento acelerado das cidades e a crescente instalação de indústrias em perímetro urbano, o aumento do volume de esgoto se tornou uma problemática que merece atenção. Isso porque, segundo Von Sperling (2014), ao introduzir matéria orgânica em um corpo d'água os processos que permitem a sua estabilização consomem o oxigênio disponível no meio líquido e, conseqüentemente, causam diversos problemas relacionados à qualidade e à manutenção da vida não só nos corpos receptores, mas também no meio ambiente. Ademais, Von Sperling (2014) também defende que o crescente volume de dejetos despejados em cursos hídricos torna possível a contaminação da água por uma ampla gama de agentes transmissores de doenças (especialmente as bactérias do grupo coliforme) e compostos químicos como nitrogênio e fósforo os quais são apontados como os maiores responsáveis pela eutrofização, isto é, o crescimento excessivo de plantas aquáticas capazes de impedir a penetração de luz solar no corpo aquático e a redução do oxigênio dissolvido obtido através da fotossíntese.

À vista disso, e da necessidade de desenvolver fontes de energia limpas e ecologicamente corretas, a utilização de esgoto para a geração de energia ganhou espaço no cenário internacional, principalmente devido ao aproveitamento do biogás (formado em estações de tratamento de esgoto que utilizam processos anaeróbios) e a introdução de tecnologias mais inovadoras como hidrelétricas movidas a esgoto. Esta última alternativa, embora menos difundida, já foi aplicada em países como Austrália, França, Suíça, Bélgica, Espanha e Romênia, no entanto, a principal recomendação é a seleção de materiais resistentes à corrosão para a composição das turbinas, pois o esgoto tem alta carga de elementos contaminantes que podem prejudicar a durabilidade do sistema.

Um caso de sucesso foi a instalação de uma turbina Pelton em 1992 com capacidade para produção de 700Kw a partir do fluxo de esgoto não tratado derivado da estação de Ski Vrbier em Le Châble, Suíça pela empresa

austríaca VA Tech Hydro. O projeto utilizou a descida natural da montanha, tirando proveito de uma altura de queda total de 447m entre a estação e a usina, apesar de alguns problemas encontrados a implementação foi considerada viável (WATER & WATERWASTE INTERNATIONAL, 2006), sendo um exemplo a ser seguido.

Apesar de poder atingir uma longa vida útil, materiais empregados na construção civil como concreto e aço, principalmente, estão sujeitos à degradação ao longo do tempo que pode ser potencializada a depender da agressividade do ambiente ao qual estão inseridos.

Sabe-se que o esgoto é um dos ambientes mais agressivos aos quais esses materiais podem estar sujeitos ao contato constante, e por isso estruturas de estações de tratamento e sistemas de esgoto no geral, tem sua durabilidade comprometida frente a outras em condições mais amenas.

Uma estação hidrelétrica no geral é composta primordialmente de concreto armado e metais de suas turbinas, e por isso são os materiais de maior interesse na pesquisa. Dias (2018) alerta que quando se analisa os aspectos de durabilidade do concreto, é necessário de forma mais completa quais são os constituintes, do esgoto em questão, visto que as análises de monitoramento do mesmo são direcionadas pelos órgãos ambientais e nem sempre os parâmetros considerados são os responsáveis pela redução da vida útil das estruturas. Um exemplo disso é a existência das bactérias do gênero *Thiobacillus*, uma das mais comuns em sistemas de tratamento de esgoto. Ela se reproduz em temperaturas entre 25°C e 35°C e são capazes de produzir ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (STANASZEK-TOMAL; FIERTAK, 2016), grande potencializador do desgaste do concreto e aço através da degradação e redução do PH, mais sensíveis quando em PH mais ácido.

Outra forma de degradação também apresentada por Stanaszek-Tomal e Fiertak (2016) é através da produção de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) em microrganismos contidos no lodo do esgoto tratado, com maior atividade em temperaturas superiores a 15°C e PH ácido. Os ácidos em contato com a superfície básica do cimento presente no concreto reagem e passam por uma reação denominada neutralização, produzindo como resultado soluções aquosas de sais, no geral cálcicas. O ácido também afeta diretamente os agregados presentes no concreto, reagindo com os mesmos e dissolvendo-os mesmo que a longo prazo.

Os metais em contato com o esgoto também sofrem degradação. Da mesma forma que o concreto sofre com a ação de ácidos, os metais têm sua corrosão potencializada quando estão em ambientes de menores pH, o que ocasiona perda de seção e redução de sua resistência e, conseqüentemente, diminuição da vida útil. Esse processo ocorre não só nos metais em contato direto com o esgoto, mas também com o aço presente dentro do concreto, apesar de levar um maior tempo.

Levando em conta a importância dessa etapa para a viabilidade do projeto e visto que a estação ainda não se encontra em operação, a análise se deu baseada nos parâmetros disponibilizados pela CAERN de qualidade do efluente de saída da ETE do Baldo em Natal/RN, a maior em operação no estado atualmente, juntamente com a base em pesquisas científicas anteriores da ação de diferentes qualidades de esgotos em materiais como concreto armado e dos mais diversos metais, a fim de entender a implicação que o efluente teria na instalação da CGH e seu impacto na mesma.

#### **QUARTA ETAPA: ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA**

O estudo de implementação física foi feito através da inclusão da CGH no projeto da ETE disponibilizado pela concessionária e tem a função de facilitar no levantamento dos serviços necessários para a preparação do local escolhido para a instalação da estrutura e dos equipamentos da geradora, e, conseqüentemente a quantificação dos serviços e dos seus custos para essa implementação.

#### **QUINTA ETAPA: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

A etapa de análise econômica da pesquisa é de extrema importância, visto que a partir dela o investimento será quantificado para a comprovação da viabilidade do projeto, validando ou não todo o estudo. Os custos de compra e instalação dos equipamentos necessários para a operação da mesma foram levantados segundo os

custos médios por quilowatt instalado disponibilizados pela fabricante já com inclusão de frete. Os valores em Euro foram convertidos para a moeda Real através da consideração de conversão de 4,35 reais por euro do dia 03/04/2019. Foram levantados também os custos dos materiais e execuções dos serviços necessários para a construção da estrutura em concreto armado da geradora, bem como outros serviços necessários para preparo do local à sua construção e garantia de durabilidade, através da base orçamentária da própria CAERN de novembro de 2018 (vigente). Por fim, foi adicionado o valor da administração da obra através da contratação de um engenheiro civil, considerando um valor médio da classe para 8 horas de trabalho diário e a duração de um mês do serviço. Foi incluído também nos custos um salário mínimo a cada seis meses para a limpeza dos equipamentos e estrutura.

Visto que clientes com grandes demandas de consumo elétrico geralmente tem taxas de cobrança exclusivas, foram utilizadas as tarifas atualmente cobradas à própria concessionária de águas em uma estação de tratamento em operação, a ETE do Baldo em Natal, enquanto enquadradas na bandeira vermelha. Tal consideração foi utilizada como parâmetro para o cálculo do retorno financeiro anual da geração de energia elétrica pela CGH instalada e seu período de retorno do investimento, bem como a economia de energia elétrica gerada pela realização do projeto em questão.

O consumidor em questão se enquadra na categoria de fornecimento elétrico A4 com abastecimento em tensão de 13,8 kV ou superior e tem a necessidade de contratação de demanda. Em virtude dessas condições, a companhia paga dois tipos distintos de taxa por consumo elétrico, pelo consumo na ponta (horário de pico), considerado entre 17:30 e 20:30 pela Companhia Elétrica do Rio Grande do Norte (COSERN) e o consumo fora da ponta, que enquadra os demais horários do dia. Como o esgoto tem variação de vazão muito baixa durante o dia, pode-se considerar que a CGH terá uma geração de energia constante e assim produzirá energia ao preço da tarifa de ponta durante três horas e vinte e uma horas pelo preço fora da ponta.

Outro fator considerado foi a amortização do valor investido, levando em conta sua valorização fictícia caso estivesse em um investimento bancário com rendimento mensal estipulado de 1,2%, aumentando assim o tempo de retorno.

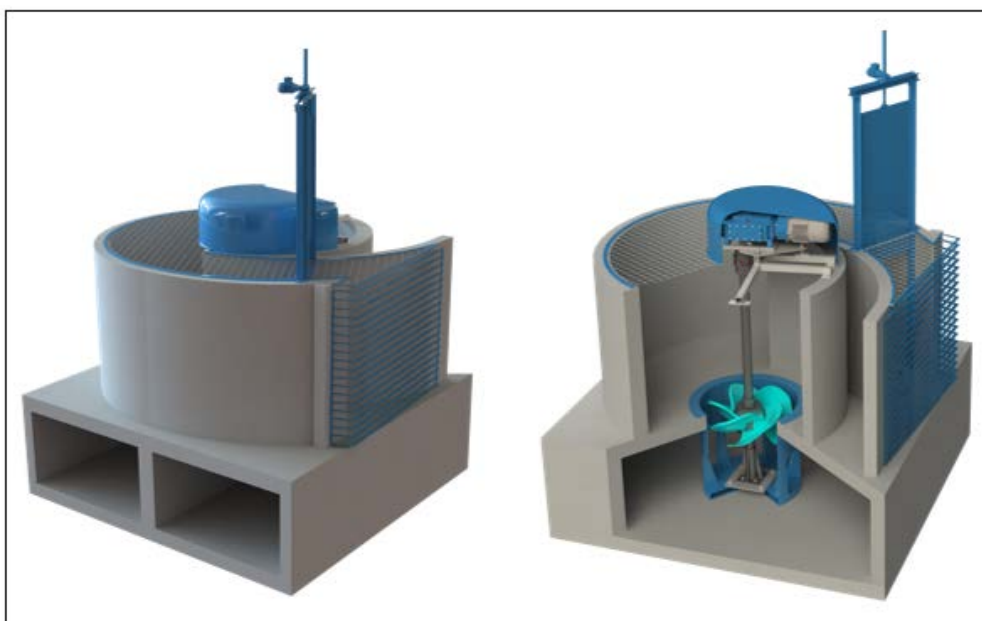
## **RESULTADOS OBTIDOS**

### **ESCOLHA DA CGH E PARÂMETROS DA ETE PARA IMPLEMENTAÇÃO**

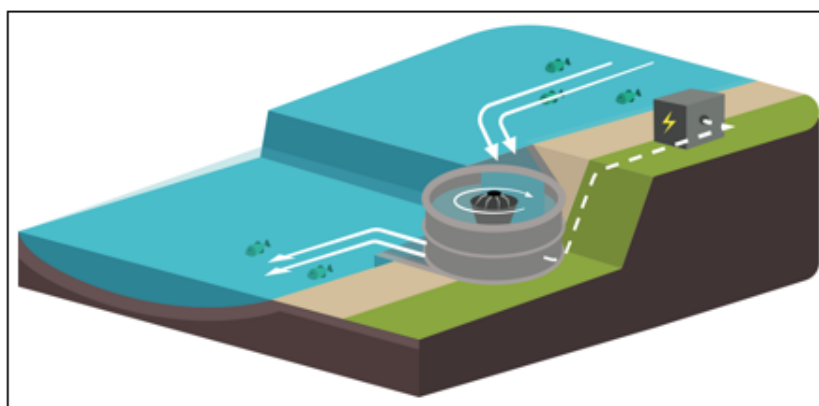
As informações da estação foram analisadas a partir dos dados para os dimensionamentos e projetos da ETE disponibilizados pela concessionária. A ETE Jaguaribe localiza-se às margens da área alagada do Rio Potengi com sua saída do efluente tratado desaguando, através de um emissário final de 1200 mm de diâmetro, em um dos córregos que alimentam o rio. A mesma contará com um desnível máximo de 3,35 m entre a saída do tratamento terciário até seu desague e possuirá uma vazão média de 1.050l/s e máxima de 1.681,45l/s. Tais características apontaram limitações na escolha da geradora hídrica pois apresentaram valores inferiores aos padrões mínimos da grande maioria dos projetos executados no que se refere na altura de queda, baixa vazão e impossibilidade de alagamento de grandes áreas para represar água ou o próprio esgoto tratado. Desse modo surgiu a necessidade uma vasta pesquisa por um modelo de CGH que se encaixe nas condições limitadas do caso.

Após extensa pesquisa nos modelos encontrados no mercado e em projetos já executados por diversas empresas especializadas, a geradora encontrada capaz de atender as condições ofertadas pela ETE de forma mais satisfatória e eficiente foi o modelo básico da empresa belga Turbulent. De acordo com a Turbulent (2019) o modelo adotado é composto de sua estrutura em concreto armado e rotor de ferro fundido com proteção anticorrosiva, turbina geradora de baixa rotação (média de 100 rpm) e lâminas fabricadas em aço inoxidável com design para menor acúmulo de partículas entre elas como apresentado nos cortes da Figura 4. Suas dimensões de base são de aproximadamente 3,8 m x 3,8 m (totalizando 14,44 m<sup>2</sup>) e altura desde sua base de 3,10 m. A estrutura completa seca chega a pesar cerca de 1,0 t, permitindo a sua instalação em locais sem grandes disponibilidades de espaço e sem grandes necessidades de reforço para resistir ao seu peso, possibilitando sua locação dentro do próprio manancial de despejo do esgoto, esquematizado na Figura 5.





**Figura 04: Corte frontal e posterior da CGH escolhida. Fonte: Turbulent (2019).**



**Figura 5: Localização da CGH em um manancial. Fonte: Disponível em: <<https://www.turbulent.be/installation>> Acesso em 29 ago. 2018.**

Quanto aos seus parâmetros elétricos, a mesma é adequada para geração de energia na tensão de 380V e frequência de 50Hz através de um gerador de indução trifásico submersível resfriado por água com rendimento de 55% a 60% tendo seu controle e acompanhamento remoto.

A CGH selecionada necessita minimamente de uma altura de queda de 1,5 m em conjunto com uma vazão de 1,0 m<sup>3</sup>/s para se tornar viável. Com as condições disponibilizadas pela ETE, espera-se obter uma central geradora com potencial estimado em 20 kW através da utilização da vazão máxima de projeto da estação e altura de queda de 3,0 m. Estima-se uma produção mínima de energia de 264.828,38 kWh/ano, dividido entre 33.103,55 kWh/ano de produção na ponta e 231.724,83 kWh/ano fora da ponta.

### **AÇÃO DO ESGOTO NA CGH E PLANO DE MANUTENÇÃO**

É notório o impacto negativo do esgoto na vida útil dos materiais que compõem o sistema. Em decorrência, prevê-se que o plano de manutenção seja diretamente afetado, no sentido da redução dos intervalos entre manutenções e consequentemente diminuição na periodicidade das substituições de seus componentes.

Não havendo imprevistos ou acidentes que comprometam a vida útil dos equipamentos, a manutenção sugerida pelo fornecedor para a geradora, que é comumente movida à água limpa, é a troca de óleo e a lubrificação do

rolamento após 3 anos, manutenção ou troca (se necessário) das lâminas após 5 anos e inspeção geral da turbina e dos elementos elétricos para averiguar suas condições e possíveis necessidades de trocas, bem como trocar os rolamentos e a caixa de transmissão após 15 anos de instalada. A empresa também indica que com a manutenção correta a vida útil da estrutura e do sistema como um todo podem atingir respectivamente, 100 e 70 anos quando utilizado para geração com água limpa, devendo-se considerar a sua redução ao utilizar o esgoto.

Por ser movida por esgoto, mesmo que tratado, a geradora está em contato com um ambiente extremamente agressivo. Estima-se que a vida útil total e de cada material reduza em cerca de 30%, bem como a necessidade de suas manutenções aumente sua recorrência nesse patamar. As lâminas de aço inox são os componentes que sofre degradação mais aceleradamente no sistema por estar em constante contato com o esgoto e sujeitas a impactos de materiais particulados de dimensões consideráveis presentes no efluente tratado. Maçaneiro et al. (2018) estudou a corrosão de diferentes metais em contato com esgoto bruto de uma ETE e observou que o aço inox AISI 304, similar ao utilizado nas lâminas da central, obteve perda de apenas 0,59% de massa após 460 dias submerso, concluindo que sua durabilidade mesmo frente ao ambiente de extrema agressão é satisfatória. Porém, recomenda-se que as lâminas sejam inspecionadas após 3 anos e substituídas se necessário. É recomendado também a impermeabilização de todo o concreto da geradora com reposição trienal, tendo em vista prolongar cada vez mais sua vida útil.

## **VIABILIDADE ECONOMICA**

A Tabela 1 apresenta o custo total de implementação da CGH, com a especificação de todos os itens considerados no cálculo.

**Tabela 1: Planilha de custo total de implementação da CGH.**

ITEM	SERVIÇO	UND	QUANT.	UNT.	TOTAL
01	CUSTO MÉDIO DE AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA GERADOR ELÉTRICO	VB	1,00	R\$ 295.800,00	R\$ 295.800,00
02	ADMINISTRAÇÃO DE OBRA INCLUSO ENGENHEIRO CIVIL	MÊS	1,00	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00
03	LIMPEZA MANUAL DO TERRENO (C/ RASPAGEM SUPERFICIAL)	M²	15,00	R\$ 2,93	R\$ 43,95
04	CORTE E ATERRO COMPENSADO	M³	5,19	R\$ 5,29	R\$ 27,46
05	CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHAO BASCULANTE 5,0M3 (11T) E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS, INCLUSIVE TRANSPORTE LOCAL COM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3, RODOVIA PAVIMENTADA ATÉ 20,00 km	M³	4,56	R\$ 33,07	R\$ 150,80
06	ATERRO COM EMPRÉSTIMO DE AREIA PARA ATERRO COMPACTADO MANUALMENTE EM CAMADAS DE 20CM AF_11/2014	M³	4,56	R\$ 104,19	R\$ 475,11
07	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5 CM. AF_08/2017	M²	16,81	R\$ 20,02	R\$ 336,54
08	CONCRETO ARMADO PARA PILAR, VIGA E LAJE Fck=40MPa USINADO EM CENTRAL, INCLUSIVE FÔRMA, LANÇAMENTO E BOMBEAMENTO	M³	13,04	R\$ 2.218,88	R\$ 28.934,20
09	IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFICIE, COM IMPERMEABILIZANTE FLEXIVEL A BASE ACRILICA.	M²	192,98	R\$ 75,54	R\$ 14.577,71
10	LIMPEZA FINAL DE OBRA	M²	15,00	R\$ 1,78	R\$ 26,70
<b>CUSTO TOTAL DE EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO</b>				<b>R\$</b>	<b>295.800,00</b>
<b>CUSTO TOTAL DA CONSTRUÇÃO COM BDI 25,00%</b>				<b>R\$</b>	<b>64.465,56</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$</b>	<b>360.265,56</b>

**Fonte: Autor.**

O custo total de implementação da CGH é de R\$ 360.265,56 sendo dividido em R\$ 295.800,00 para compra, instalação e frete dos equipamentos necessários para seu funcionamento como turbina, cabeamento, grades de proteções metálicas, lâminas, suportes, etc. O valor de R\$ 64.465,56 refere-se aos custos civis totais.

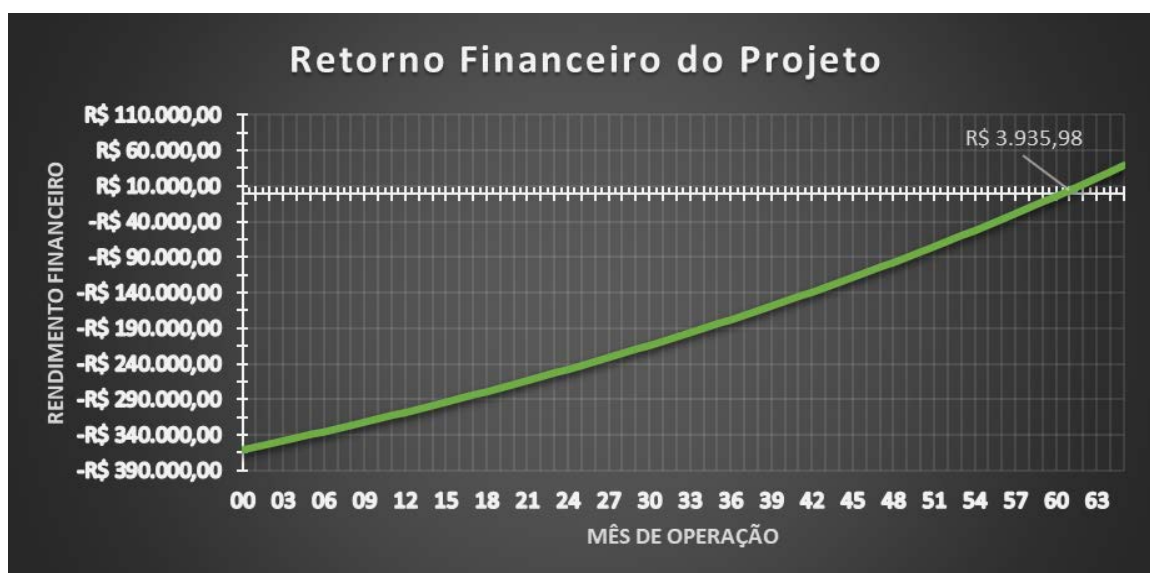
Como mencionado a CGH produz energia durante 3 horas do dia à taxa de consumo na ponta e 21 horas à taxa de consumo fora da ponta, a geração elétrica diária e mensal levando em conta essa proporção está inserido na Tabela 2 a seguir, juntamente com o seu retorno financeiro.

**Tabela 2: Retorno elétrico e financeiro do empreendimento.**

PRODUÇÃO ANUAL TOTAL (KWh)	264.828,38
PRODUÇÃO ANUAL NA PONTA (KWh)	33.103,55
PRODUÇÃO ANUAL FORA DA PONTA (KWh)	231.724,83
TARIFA NA PONTA (R\$)	0,52615956
TARIFA FORA DA PONTA (R\$)	0,36329551
RETORNO FINANCEIRO ANUAL (R\$)	101.602,34
RETORNO FINANCEIRO MENSAL (R\$)	8.466,86

**Fonte: Autor.**

Levando em conta todas as considerações e valores mencionados juntamente com o valor de um salário mínimo (R\$ 998,00) a cada seis meses para limpeza da geradora e a amortização mencionada de 1,2% ao mês sobre o saldo do investimento, foi obtido o período de retorno de toda a implementação de 61 meses (5,08 anos) restando ainda um saldo positivo de R\$ 3.935,98 ainda nesse mês como apresentado no gráfico da Figura 6.



**Figura 06: Gráfico representativo do retorno financeiro da implementação do projeto com abatimento mensal do investimento. Fonte: Autor.**

## ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA

A Figura 7 representa o estudo de implementação física da CGH através da sua inclusão no projeto de situação da ETE analisada. Por meio dele, foi constatada a sua viabilidade ao comprovar a existência das condições mínimas de área livre e altura de queda do efluente disponíveis, garantindo a exequibilidade do estudo.

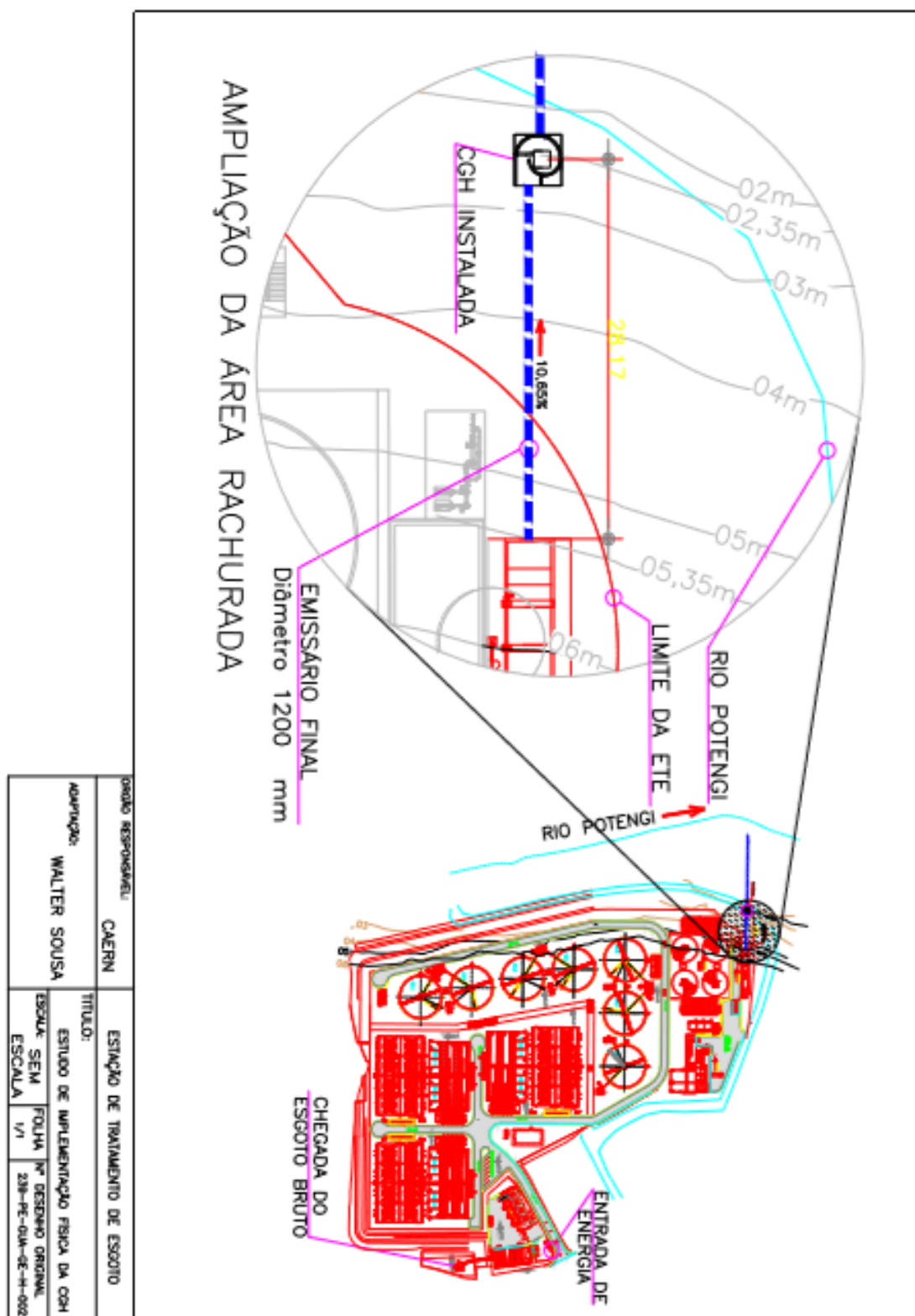


Figura 07: Estudo de implementação física da CGH. Fonte: Adaptado de CAERN.



## CONCLUSÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A presente pesquisa surgiu com a finalidade de trazer à sociedade brasileira uma nova forma de produção de energia elétrica ainda não utilizada no país, eficiente e isenta de consequências negativas ao ecossistema em sua volta, ao passo que possibilita a existência de uma utilização nobre e valorosa ao esgoto tratado que é descartado no meio ambiente.

A comprovada viabilidade do projeto, aponta um novo panorama no país para a expansão da rede produtiva elétrica sem investimentos de grande aporte e principalmente com uma visão sustentável e preocupação com preservação do meio ambiente. A geração de energia apresentada pode não ser expressiva para grandes populações, porém deve-se levar em conta as condições limitadas disponíveis e a utilização de uma fonte até então pouco usual para o país.

A CGH proverá uma economia de R\$ 101.602,4/ano para a concessionária de águas (CAERN) e consequentemente para o estado do Rio Grande do Norte e sua população. Apesar do montante ser pequeno para a escala de consumo da própria ETE, é uma economia financeira considerável quando levar em conta a vida útil do sistema. O período de retorno calculado mostrou-se aceitável para o tipo de investimento e a necessidade de manutenção do sistema proposto, sendo um facilitador para a instalação e operação da geradora ao longo dos anos.

Assim a presente pesquisa comprovou a eficácia da implementação de CGH em ETEs, podendo servir de incentivo daqui para frente a novos estudos, mais aprofundados na área, afim de aprimorar e efetivar a geração de energia no país através de uma nova proposta do uso do esgoto tratado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008.
2. TURBULENT (Bélgica) (Org.). Turbulent, changing the way we think about hydropower. Hasselt: Turbulent, 2018. Color.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 673, de 4 de agosto de 2015, Brasília.
4. EICK, Guilherme. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DE UMA PEQUENA CENTRAL
5. HIDRELÉTRICA NO BRASIL.2010. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
6. TURBULENT (Bélgica) (Org.). Calculate Your Potential. 2018. Disponível em: <<https://www.turbulent.be/>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
7. MAKARON, Paula Matos. Análise de viabilidade de projetos de pequenas centrais hidrelétricas: pontos críticos de sucesso a partir de estudos de caso no estado de Santa Catarina. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
8. BELUCO, Alexandre. VIABILIDADE de microcentrais hidrelétricas baseadas no emprego de equipamentos de mercado. 1994. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
9. ANEEL. Resolução Normativa nº 673, de 04 de agosto de 2015. Brasília, DF: Aneel.
10. CIÊNCIA, Mundo. História da Eletricidade. 2016. Disponível em: <<https://www.mundociencia.com.br/fisica/historia-da-eletricidade/>>. Acesso em: 26 set. 2018.
11. GEOGRAFALANDO.HIDROGRAFIA BRASILEIRA: Bacias hidrográficas e o potencial hidrelétrico. 2008. Disponível em: <<https://geografalando.blogspot.com/2013/05/ola-pesoal-nessa-aula-vamos-estudar.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.
12. GERIBELLO, Denise Fernandes. Hidrelétricas no início do século XX: tratadística e periódicos. Labor e Engenho, Campinas, SP, v. 9, n. 1, p. 82-92, mar. 2015. ISSN 2176-8846. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/labore/article/view/2096/2229>>. Acesso em: 12 mar. 2019. doi: <https://doi.org/10.20396/lobore.v9i1.2096>.

13. PEREIRA, Geraldo Magela. Projeto de usinas hidrelétricas: passo a passo. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 520 p.
14. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. FONTES HIDRELÉTRICAS.2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
15. INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION - IHA (Inglaterra). A brief history of hydropower. Disponível em: <<https://www.hydropower.org/a-brief-history-of-hydropower>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
16. GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.
17. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Boletim de Informações Gerenciais 4º trimestre de 2018. Brasília: ANEEL, 2018.
18. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018.
19. DIAS, Nayara Gracyelle. Avaliação da deterioração das estruturas de concreto de estações de tratamento de esgoto.2018. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
20. JORDÃO, Eduardo Pacheco. Eficiência energética em tratamento de esgotos. Revista Dae, [s.l.], v. 56, n. 177, p.15-19, 2008. Editora Cubo Multimídia.
21. Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas - ABRAPCH. PCHs e o Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.abrapch.org.br/pchs/pchs-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
22. TURBULENT (Bélgica). Meet the most profitable micro hydropower plant.: Hasselt: Turbulent, 2019. 20 slides, color.
23. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Série Histórica. Disponível em: <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
24. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: SNIS, 2017. 226 p.
25. WATER & WATERWASTE INTERNATIONAL. HYDRO TECHNOLOGY EXTRACTS ENERGY FROM SEWAGE WATER. 2006. Disponível em: <<https://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-2/regional-focus/hydro-technology-extracts-energy-from-sewage-water.html>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
26. VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
27. SOARES, Renan Barroso; GONÇALVES, Ricardo Franci. Consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 1., 2017, São Paulo. Artigo. São Paulo: ABES, 2017. p. 1 - 7.
28. STANASZEK-TOMAL, E.; FIERTAK, M. Biological Corrosion in The Sewage System and The Sewage. Procedia Engineering, 2016.
29. MAÇANEIRO, M. et al. Ensaio de corrosão de longa duração de metais expostos ao ambiente das estações de tratamento de esgoto. Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, Ponta Grossa, v. 5, n.1, p. 01-13, maio de 2018.
30. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE - CAERN. Governo constrói duas novas ETEs para sanear 100% de Natal. 2018. Disponível em: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=174328&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Materia>>. Acesso em: 27 mar. 2019.
31. CAERN – Tabela de Preços base Novembro/2018. Disponível em: <http://www.caern.rn.gov.br>. Acesso em 29 de março 2019.