



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**MARIA GABRIELLA NEGROMONTE BARBOSA**

**TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM  
COMUNIDADES RURAIS**

**CAMPINA GRANDE  
2022**

MARIA GABRIELLA NEGROMONTE BARBOSA

**TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM  
COMUNIDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Área de concentração:** Tratamento de água.

**Orientador:** Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**Coorientador:** Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

**CAMPINA GRANDE  
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B238t Barbosa, Maria Gabriella Negromonte.  
Tecnologia de baixo custo para tratamento de água em comunidades rurais [manuscrito] / Maria Gabriella Negromonte Barbosa. - 2022.  
27 p. : il. colorido.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2022.  
"Orientação : Prof. Dr. Weruska Brasileiro Ferreira ,  
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Saneamento rural. 2. Recursos hídricos. 3. Tratamento de água. I. Título

21. ed. CDD 628.162

MARIA GABRIELLA NEGROMONTE BARBOSA

**TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM  
COMUNIDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à/ao Coordenação /Departamento do Curso Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária E Ambiental.

**Área de concentração:** Tratamento de água.

Aprovada em: 19/07/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



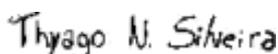
Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Welton Brito dos Santos (Coorientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. Thyago Nobrega Silveira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma das etapas do trabalho .....	8
Figura 2 – Desenho técnico da unidade de coagulação .....	12
Figura 3 – Desenho técnico da unidade de floculação .....	13
Figura 4 – Condutor retangular .....	13
Figura 5 – Desenho técnico da unidade de decantação .....	15
Figura 6 – Desenho técnico da unidade de filtração.....	16
Figura 7 – Desenho técnico da unidade de desinfecção .....	16
Figura 8 – Desenho técnico do sistema .....	17
Figura 9 – Unidade de coagulação .....	18
Figura 10 – Unidade de floculação.....	19
Figura 11 – Descarga do floculador (A) detalhe da tela de retenção das britas (B) granulometria das britas (C).....	19
Figura 12 – Unidade de decantação (A) detalhe dos módulos (B) unidade de decantação.....	20
Figura 13 – Unidade de filtração .....	20
Figura 14 – Unidade de desinfecção.....	21
Figura 15 – Leito de drenagem.....	21
Figura 16 – Sistema completo .....	22
Figura 17 – Custo por etapa.....	24
Figura 18 – Boxplot dos valores de turbidez da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B) .....	24
Figura 19 – Boxplot dos valores de cor aparente da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B) .....	25
Figura 20 – Boxplot dos valores de cor verdadeira da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B) .....	25
Figura 21 – Boxplot dos valores de ABS 254 nm da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B) .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da água bruta .....	10
Tabela 2 – Materiais utilizados.....	22
Tabela 3 – Custos por etapa.....	23

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Definição da tecnologia .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamento .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Vazão .....</i>	<i>10</i>
<b>3.2.2</b>	<i>Coagulação.....</i>	<i>11</i>
<b>3.2.3</b>	<i>Floculação.....</i>	<i>12</i>
<b>3.2.4</b>	<i>Decantação.....</i>	<i>13</i>
<b>3.2.5</b>	<i>Filtração .....</i>	<i>15</i>
<b>3.2.6</b>	<i>Desinfecção .....</i>	<i>16</i>
<b>3.3</b>	<b>Construção e orçamento .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>Validação .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS

### LOW COST TECHNOLOGY FOR WATER TREATMENT IN RURAL COMMUNITIES

Maria Gabriella Negromonte Barbosa<sup>1</sup>  
Weruska Brasileiro Ferreira<sup>2</sup>  
Whelton Brito dos Santos<sup>3</sup>

#### RESUMO

Quando se trata das condições de saneamento na zona rural, os cenários de saneamento são muito preocupantes, ainda mais se comparados aos centros urbanos. O abastecimento ocorre, na maioria das vezes, por poços rudimentares, córregos de pouco volume ou barreiros, e em outros casos, a água vem de localidades por meio de carros-pipa com procedência desconhecida com grandes chances de conter disseminadores de doenças de veiculação hídrica. Por isso, a tecnologia de baixo custo para tratamento de água em comunidades rurais se apresenta como uma Solução Alternativa de Água Individual para Consumo Humano projetada com vazão de 1500 L/h, compacta, eficiente e econômica, feita com materiais de baixo custo que são acessíveis para indivíduos de localidades remotas que não possuem o atendimento da companhia de abastecimento de água. A partir dos parâmetros da qualidade da água bruta, o sistema foi dimensionado com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, além do tratamento do lodo gerado. A primeira etapa consiste na coagulação, que possui compartimento para adição do produto que promove a desestabilização das partículas impuras da água, além de uma placa de orifício e registros para controle e regulação da vazão e da dosagem do produto. Em seguida, tem-se o floculador, responsável por promover o choque entre as impurezas e formar os flocos maiores para que sejam removidos na etapa seguinte, feito com gradiente de velocidade decrescente e uma descarga de fundo para limpeza. Feito isso, a água entra em sentido ascendente no decantador, desenvolvido para reter a maior parte das impurezas com a tecnologia de alta taxa, com módulos formando ângulo de 60 graus. Logo depois, é iniciada a etapa de polimento, feita por um filtro de areia, com objetivo de reter as impurezas não removidas na etapa anterior. Por fim, tem-se a unidade de desinfecção, muito semelhante ao da coagulação, nesse caso para que seja garantida a segurança da água com a eliminação de microrganismos com potencial patogênico com adição de cloro em pastilhas. Além disso, tem uma unidade de tratamento do lodo gerado, com a tecnologia de leito de drenagem para que sejam atendidas as legislações vigentes. O sistema reuniu custos de materiais total de R\$1.466,21 reais, apresentando-se como produto de baixo custo, principalmente se comparadas aos sistemas convencionais. No monitoramento realizado, a tecnologia foi capaz de tratar a água bruta e obter remoções de 90% de turbidez e 83% de cor aparente, e aproximadamente 90% de cor verdadeira e ABS 254 nm.

**Palavras-chave:** Tecnologia Compacta; Água Segura; Solução Alternativa Individual; Saneamento Rural.

<sup>1</sup> Estudante de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; Email: [gabriellanegromonteesa@gmail.com](mailto:gabriellanegromonteesa@gmail.com)

<sup>2</sup> Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; Email: [weruska\\_brasileiro2020@servidor.uepb.edu.br](mailto:weruska_brasileiro2020@servidor.uepb.edu.br)

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; Email: [whelton.brito@servidor.uepb.edu.br](mailto:whelton.brito@servidor.uepb.edu.br)

## ABSTRACT

When it comes to sanitation conditions in rural areas, sanitation scenarios are very worrying, even more so when compared to urban centers. The supply occurs, in most cases, through rudimentary wells, low-volume streams or barriers, and in other cases, the water comes from locations through water trucks of unknown origin with high chances of containing waterborne disease spreaders. . Therefore, the low-cost technology for water treatment in rural communities presents itself as an Alternative Individual Water Solution for Human Consumption designed with a flow rate of 1500 L/h, compact, efficient and economical, made with low-cost materials that are accessible to individuals from remote locations who do not have water supply company services. Based on the parameters of raw water quality, the system was dimensioned with the stages of coagulation, flocculation, decantation, filtration and disinfection, in addition to the treatment of the generated sludge. The first stage consists of coagulation, which has a compartment for adding the product that promotes the destabilization of impure particles in the water, in addition to an orifice plate and registers to control and regulate the flow and dosage of the product. Then there is the flocculator, responsible for promoting the collision between the impurities and forming larger flocs to be removed in the next step, done with a decreasing velocity gradient and a bottom discharge for cleaning. Once this is done, the water enters the decanter upwards, designed to retain most of the impurities with high-rate technology, with modules forming an angle of 60 degrees. Soon after, the polishing stage begins, carried out by a sand filter, with the objective of retaining the impurities not removed in the previous stage. Finally, there is the disinfection unit, very similar to the coagulation unit, in this case to guarantee the safety of the water with the elimination of microorganisms with pathogenic potential with the addition of chlorine in tablets. In addition, it has a treatment unit for the generated sludge, with drainage bed technology to comply with current legislation. The system gathered total material costs of R\$1,466.21 (BRL), presenting itself as a low-cost product, especially when compared to conventional systems. In the monitoring carried out, the technology was able to treat raw water and obtain removals of 90% of turbidity and 83% of apparent color, and approximately 90% of true color and 254 nm ABS.

**Keywords:** Compact Technology; Safe Water; Individual Alternative Solution; Rural Sanitation.

## 1 INTRODUÇÃO

A saúde pública está relacionada ao conjunto de fatores que garantem à população o bem-estar em termos físicos, mentais, sociais e melhora a sua qualidade de vida. A Organização Mundial de Saúde (OMS) juntamente com o governo dos países integrantes, buscam prevenir doenças, além de melhorar a qualidade do ar, da água e da alimentação.

Sabe-se que o saneamento está diretamente ligado a saúde dos indivíduos e o investimento nesse setor reduz drasticamente o emprego de recursos na área da saúde, reforçando as práticas da prevenção. Pesquisas da OMS evidenciam que o acesso a água, medidas de higiene e saneamento básico são capazes de evitar muitas das doenças registradas no mundo, por se tratarem de patologias de veiculação hídrica.

No Brasil, o saneamento básico é assegurado como direito na Constituição Federal de 1988, e a Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, alterada pela Lei 14.026/2020 que estabelece, entre outras coisas, as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Nela, define-se como saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

O índice de abastecimento de água total no Brasil é de 84,1% da população total do país de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020). Nele, os valores de atendimento por região são de 91,3% para região sudeste, 91,0% para o sul, 90,9% no centro oeste, 74,9% no Nordeste e 58,9% no norte do país.

Além disso, o Novo Marco Legal do Saneamento na Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 reforça a garantia de meios adequados para o atendimento da população rural, por meio da utilização de soluções compatíveis com as suas características econômicas e sociais peculiares. E a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 tem como fundamento que a água é um bem de domínio público, recurso natural limitado, dotado de valor econômico e em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

Ainda, a Portaria GM/MS nº 888, do Ministério da Saúde (MS) prevê os procedimentos de controle e monitoramento da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de consumo. Nela são classificados os tipos de abastecimento existentes, sendo: Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAA): destinada à produção e abastecimento coletivo de água potável através de uma rede de distribuição; Soluções Alternativas Coletivas de Abastecimento de Água para Consumo Humano (SAC): Uma abordagem de abastecimento coletivo que visa fornecer água potável sem rede de distribuição; e Soluções Alternativas de Água Pessoal para Consumo Humano (SAI): Um abastecimento de água para consumo humano que atende a residências unifamiliares.

Quando se trata das condições de saneamento na zona rural, os cenários de saneamento são ainda mais preocupantes, comparados aos centros urbanos. O abastecimento ocorre, na maioria das vezes, por poços rudimentares, córregos de pouco volume ou barreiros e, em outros casos, a água vem de localidades por meio de carros-pipa com procedência desconhecida, com grandes chances de conter disseminadores de doenças de veiculação hídrica.

Nesses casos, deve-se optar por soluções descentralizadas, como SAC e SAI, de forma que sejam asseguradas as condições adequadas de qualidade de água para consumo humano e ainda se enquadrem nas condições econômicas dessas comunidades. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma Solução Alternativa de Água Individual para Consumo Humano de baixo custo, a partir de adaptações de unidades já existentes em grande escala, convertendo-as para pequena escala, que proporcionem a adequada remoção dos componentes indesejáveis à saúde humana.

## 2 METODOLOGIA

As etapas desenvolvidas para a realização do trabalho estão esquematizadas de forma ilustrativa na Figura 1.



Fonte: Autoria própria (2022).

- **Etapa 1 – Definição da tecnologia:** Ao analisar os parâmetros da água, foi verificada a necessidade do tratamento convencional que incluem a clarificação (coagulação, floculação, decantação), polimento (filtração) e desinfecção;
- **Etapa 2 – Dimensionamento:** Seguiu-se algumas metodologias de referência da área como Richter (2009), Filho e Seckler (2017), Di Bernardo (2011), Kawamura (2000) e Libânio (2016) procedendo os ajustes pertinentes para adequar às condições de pequena escala.
- **Etapa 3 – Construção e orçamento:** A construção do protótipo foi feita considerando os materiais mais acessíveis e de baixo custo, a qual envolveu tubulações de PVC, acessórios, toneis em Polietileno, bem como os materiais filtrantes com brita de granulometrias variadas e a areia. O orçamento inclui a contagem de todos os materiais utilizados na construção, com valores de compra convencionais de acordo com o local de compra;
- **Etapa 4 – Validação:** A validação do protótipo se deu através do monitoramento do sistema no dia 19/03/2022 com duração de uma hora, utilizando o sulfato de alumínio como agente coagulante. Os parâmetros analisados foram os de cor aparente, cor verdadeira, turbidez e ABS 254 nm, da água bruta e nas etapas de clarificação e água tratada após o filtro.

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural localizada no município de Bananeiras no estado da Paraíba (LAT -6.756841930498631, LONG -35.63014691976516,) com o tratamento da água proveniente de um corpo hídrico superficial situado nas imediações da propriedade, captada e aduzida até o sistema por instalações já existentes. O local foi escolhido para implantação do protótipo por estar localizado na zona rural e não ser atendido pelo abastecimento de água da concessionária local.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Definição da tecnologia

O tipo de tecnologia adotada é dependente da qualidade em que a água se encontra. Por vezes, em locais remotos são utilizadas apenas a etapa de polimento (filtração em areia), o que não é suficiente para promover o tratamento e tornar a água potável, além de demandar lavagem frequente do filtro, que pode utilizar grande quantidade de água e tornar o sistema inviável economicamente.

De acordo com as características da água bruta de onde o sistema posteriormente foi instalado (Tabela 1), foram verificados que os parâmetros de cor e turbidez se apresentam consideravelmente altos, desencadeando a necessidade de um sistema de tratamento com etapas capazes de remover as impurezas existentes, que incluem as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Tabela 1 – Caracterização da água bruta

Parâmetro	Valor	Unidade
Cor aparente	437,67	uC
Cor verdadeira	432,00	uC
Turbidez	143,33	uT
pH	6,98	-
ABS 254 nm	2,35	cm <sup>-1</sup>
Condutividade	210,00	µS.cm <sup>-1</sup>
Salinidade	0,10	PSU
Sólidos totais dissolvidos	107,00	mg.L <sup>-1</sup>
Alcalinidade	28,00	mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>
Dureza	28,00	mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>

Fonte: Autoria própria (2022).

Para cada unidade de tratamento, foi adaptada a tecnologia que viabilizasse sua construção com materiais acessíveis e de baixo custo, além da manutenção simplificada, uma vez que, em tese, será realizada por indivíduos que não possuem nível técnico no assunto.

Por isso, as unidades foram definidas em:

- *Coagulação*: placa de orifício, com a aplicação do coagulante em pó através de um sistema adaptado do SALTA-z (FUNASA, 2017), com acréscimo de um esquema de válvulas de gaveta e de passagem que permitem o controle das vazões, regulando indiretamente a dosagem aplicada;
- *Floculação*: floculador ascendente com pedras de 3 granulometrias diferentes, alocadas da maior para menor a partir de baixo, que proporcionam a geração de três gradientes de velocidade diferentes;
- *Decantação*: decantador de alta taxa com módulos tubulares de fluxo ascendente;
- *Filtração*: filtro descendente em camada única (areia);
- *Desinfecção*: sistema para a aplicação do cloro em pastilha adaptado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014), com adição do mesmo sistema regulador de vazão da coagulação;
- *Destino do lodo*: leito de drenagem.

## 3.2 Dimensionamento

### 3.2.1 Vazão

Para que fosse possível a determinação da vazão de projeto ( $Q_d$ ), fez-se algumas considerações sobre o número de pessoas abastecidas na residência ( $Pop=10$  habitantes) e o consumo per capita ( $q$ ) 150 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Com esses valores, foi possível determinar, através da Equação 1, uma vazão de 1500 L.dia<sup>-1</sup>.

$$Q_d = Pop \cdot q \quad \text{Equação 1}$$

Em seguida, foi definida que a vazão diária poderia ser tratada em um tempo inferior as 24 horas. Assim, a quantia de horas de produção ( $h_p$ ) foi definida em 1 hora e gerou a vazão de produção ( $Q_p$ ) de 1500 L.h<sup>-1</sup> (Equação 2)

$$Q_p = Q_d \cdot \frac{24}{h_p} \quad \text{Equação 2}$$

Deste modo, foi possível determinar o diâmetro da tubulação de recalque pela fórmula de Forchheimer (Equação 3), resultando em 11,99 mm, no entanto foi adotado diâmetro comercial de PVC de 20 mm.

$$D = 1,3 \left( \frac{h_b}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \sqrt{Q_p} \quad \text{Equação 3}$$

### 3.2.2 Coagulação

Sobre a coagulação, inicialmente foi adotado o diâmetro de abertura da placa de orifício ( $D_o=10$  mm) que é responsável pela mistura rápida e posteriormente foram verificadas as condições hidráulicas para garantir seu adequado funcionamento. Para isso, determinou-se a princípio a área dessa seção ( $A_s$ ) que resultou em  $7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$  (Equação 4).

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Equação 4}$$

Logo em seguida, foi determinado o volume ( $V$ ) de água referente ao trecho entre a aplicação do coagulante e o início da floculação, que obteve valor de  $7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^3$  (Equação 5), considerando que o trecho possui 1,0 m de comprimento ( $L$ ).

$$V = L \cdot A_s \quad \text{Equação 5}$$

Dessa forma, foi possível calcular o tempo de mistura rápida ( $T_{mr}$ ) da placa de orifício, que resultou em 0,19 segundos (Equação 6). A ABNT NBR 12216/1992, cita algumas condições para dispositivo semelhante a este e recomenda que o tempo de mistura não seja superior a 5 segundos. Dessa forma, o  $T_{mr}$  encontra-se dentro da norma.

$$T_{mr} = \frac{V}{Q_{m(p)}} \quad \text{Equação 6}$$

Foi preciso verificar a velocidade da água ( $V_a$ ) para que se ajustasse as condições exigidas pela mesma norma mencionada anteriormente ( $V_a \geq 2 \text{ m.s}^{-1}$ ). Assim, ao calcular (Equação 7), o valor do parâmetro resultou em  $5,31 \text{ m.s}^{-1}$ .

$$V_a = \frac{Q_{m(p)}}{A_s} \quad \text{Equação 7}$$

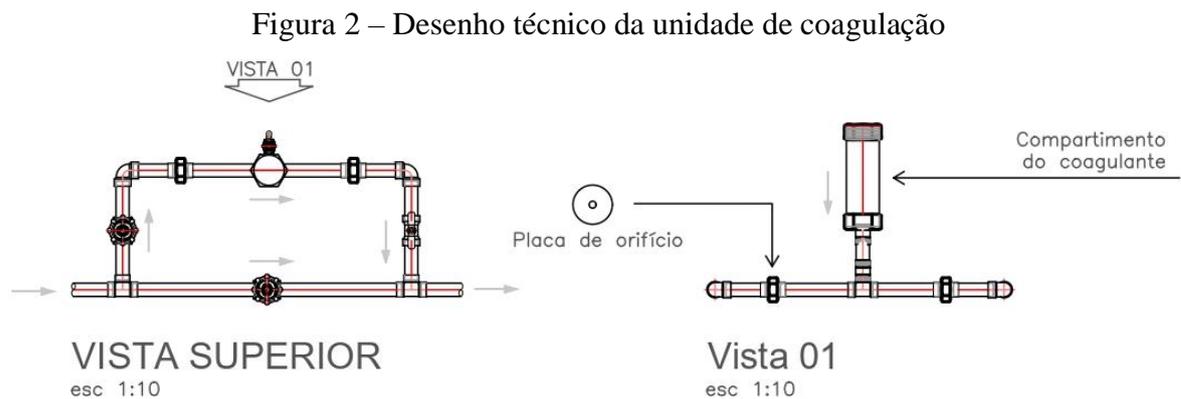
Para verificar o gradiente de velocidade atingido na abertura da placa de orifício, fez-se inicialmente o cálculo da perda de carga ( $H_f$ ) que resultou em 1,43 m (Equação 8)

$$h_f = \frac{V_a^2}{2g} \quad \text{Equação 8}$$

Assim, foi possível calcular o gradiente de velocidade (Equação 9) com resultado de  $2753 \text{ s}^{-1}$ .

$$G_{mr} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_f}{\mu \cdot T_{mr}}} \quad \text{Equação 9}$$

Na Figura 2, observa-se os detalhes projetados para a unidade de coagulação.

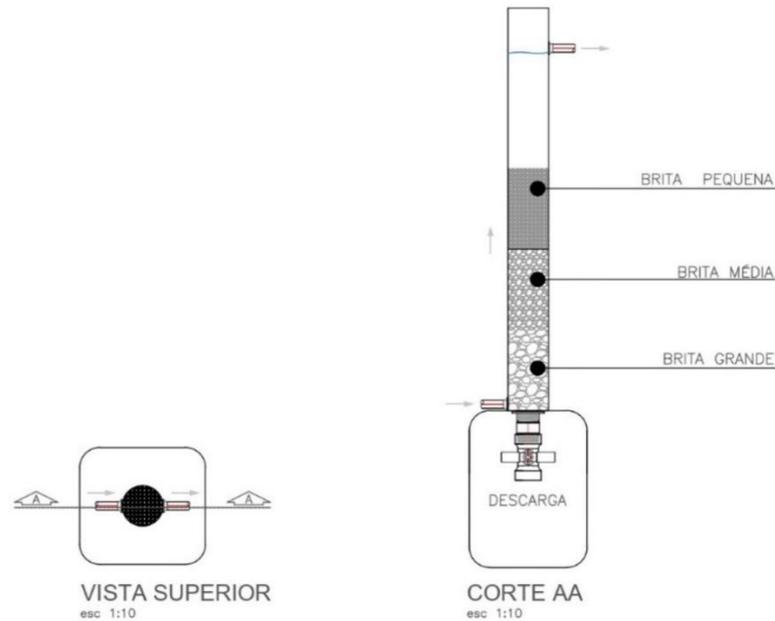


Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2.3 Floculação

As condições hidráulicas para a etapa de floculação não foram calculadas. Somente foi pensado em um sistema simples que fizesse a função de formar os flocos através dos choques entre as partículas com três gradientes de velocidades decrescentes e distintos, conforme pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Desenho técnico da unidade de floculação

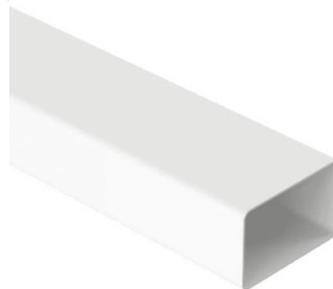


Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2.4 Decantação

Para proceder o dimensionamento do decantador de alta taxa, inicialmente foi preciso determinar a relação entre o comprimento das placas ( $C_p$ ) e o espaçamento entre placas ( $E_p$ ), ambos estabelecidos de acordo com a peça utilizada para a construção dos módulos do decantador (Figura 4), nesse caso, possui valores de 0,5 m e 6 cm, respectivamente. O resultado da relação ( $L$ ) obteve valor de 8,33 (Equação 10).

Figura 4 – Conductor retangular



Fonte: Tigre (2022)

$$L = \frac{C_p}{E_p}$$

Equação 10

Em seguida, foi realizado o cálculo da velocidade de escoamento entre as placas ( $v_0$ ) (Equação 11). Para isso, foi necessária a adoção de parâmetros importantes como o ângulo das placas com a horizontal ( $\theta$ ) definido em  $60^\circ$ , velocidade de sedimentação dos flocos ( $v_s$ ) igual a  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e o fator de correlação das placas ( $S_c$ ) com valor igual a 1. Richter (2009) recomenda que o ângulo de inclinação das placas estejam especialmente entre  $50^\circ$  e  $60^\circ$  para que ocorra o escoamento do lodo continuamente. O resultado obtido a partir do cálculo foi de  $201,31 \text{ m} \cdot \text{dia}^{-1}$ .

$$v_0 = \frac{v_s \cdot (L \cdot \cos\theta + \text{sen}\theta)}{S_c} \quad \text{Equação 11}$$

Foi preciso determinar a vazão por fileira ( $Q_f$ ), uma vez que a adaptação na construção demandou que os módulos estivessem dispostos em formatos de colmeias, sendo possível alocá-las em 2 fileiras ( $N_f$ ), resultando (Equação 12) na vazão de  $2,08 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$Q_f = \frac{Q_p}{N_f} \quad \text{Equação 12}$$

Verificou-se a área útil entre as placas ( $A_u$ ) com quantia igual a  $0,09 \text{ m}^2$  (Equação 13).

$$A_u = \frac{Q_f}{v_0} \quad \text{Equação 13}$$

Também, foi calculada a área superficial útil entre as placas ( $A_{su}$ ) (Equação 14), que resultou no valor de  $0,10 \text{ m}^2$ .

$$A_{su} = \frac{A_u}{\text{sen}\theta} \quad \text{Equação 14}$$

Com isso, foi determinada a largura do decantador ( $L_d$ ) a partir da adoção da relação entre comprimento e largura ( $C/L$ ) de 3 correspondente a 1 fileira. Assim, a largura calculada (Equação 15) foi de  $0,19 \text{ m}$  e adotou-se  $0,20 \text{ m}$ .

$$L_d = \sqrt{\frac{A_{su}}{C/L}} \quad \text{Equação 15}$$

A partir da definição da largura, foi possível estimar (Equação 16) o número de espaçamento entre as placas ( $N_E$ ), que resultou em aproximadamente 3 unidades.

$$N_E = \frac{L}{E_p} \quad \text{Equação 16}$$

Depois, foi calculado o número de placas ( $N_p$ ) necessárias (Equação 17), que obteve quantia de 4 unidades.

$$N_p = (N_E + 1) \quad \text{Equação 17}$$

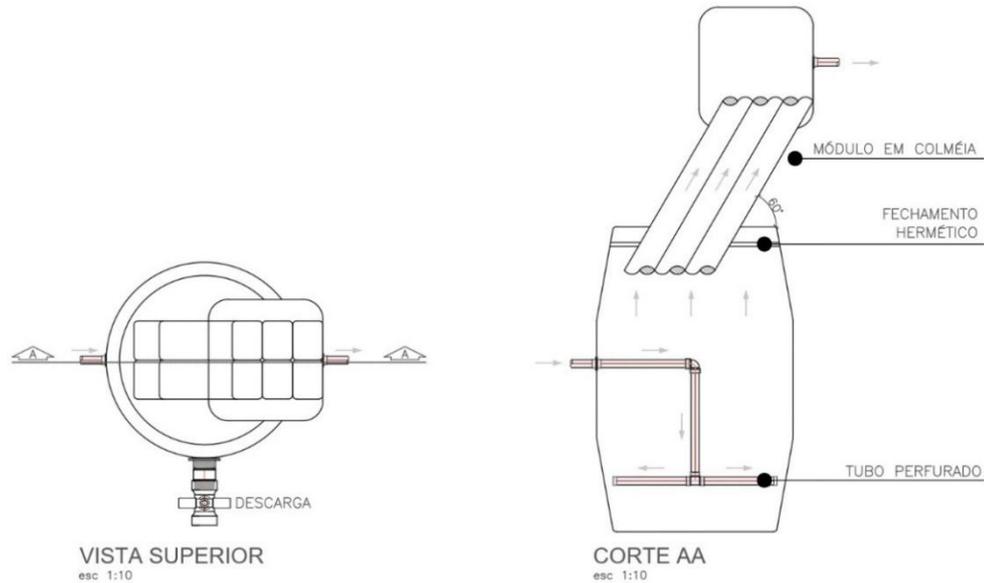
Por fim, constatou-se o comprimento do decantador perpendicular as placas ( $C_d$ ), considerando-se a espessura das placas ( $e_p$ ) de  $0,5 \text{ cm}$ . Com isso, foi verificado (Equação 18) o comprimento de  $0,20$ .

$$C_d = N_E \cdot E_p + N_p \cdot e_p$$

Equação 18

Verifica-se na Figura 5 o desenho esquemático referente a unidade de decantação.

Figura 5 – Desenho técnico da unidade de decantação



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2.5 Filtração

O número de filtros ( $N_f$ ) necessários para o sistema foi estimado (Equação 19), e o cálculo resultou na quantia de 0,12, sendo adotado 1 unidade.

$$N_f = 1,2 \cdot Q^{0,5}$$

Equação 19

A partir disso, foi calculada (Equação 20) a área demandada pelo filtro ( $A_f$ ), considerando a taxa de filtração ( $q$ ) para filtros rápidos por gravidade de camada simples de  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ , de acordo com as considerações de Kawamura (2000). O cálculo resultou em  $0,30 \text{ m}^2$ .

$$A_f = \frac{Q_f}{q}$$

Equação 20

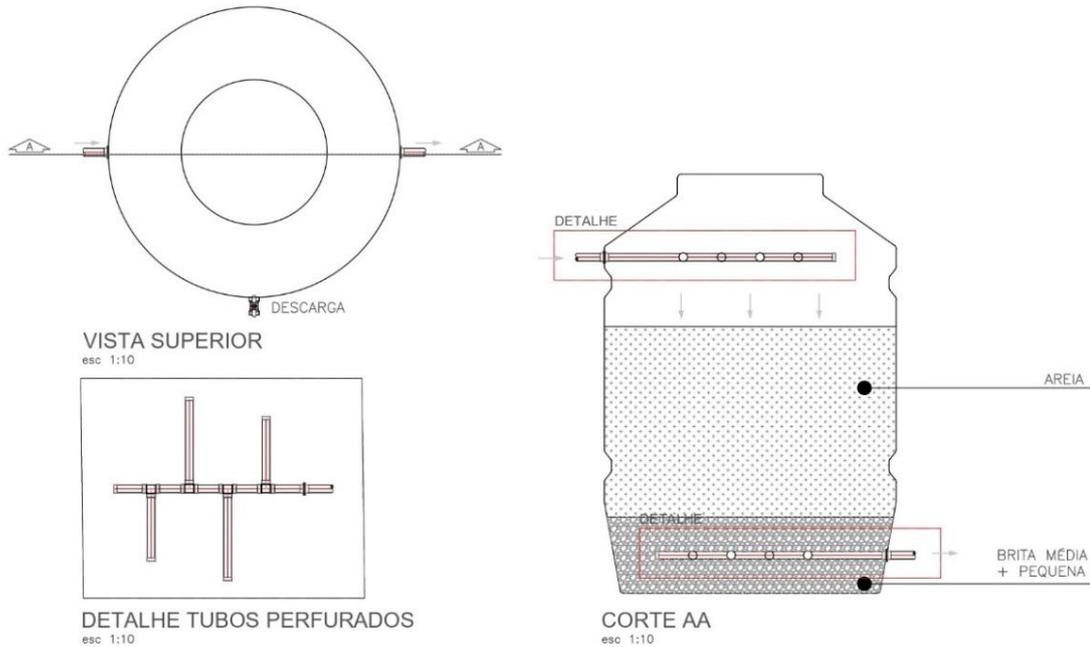
Dessa forma, foi possível conhecer o diâmetro do filtro ( $D_f$ ), que resultou na quantia de 618 mm. No entanto, foi admitido valor de diâmetro igual a 600 mm que condiz com o diâmetro da bombona utilizada na construção.

$$D_f = \sqrt{\frac{4 \cdot A_f}{\pi}}$$

Equação 21

Visualiza-se o desenho referente à unidade de filtração na Figura 6, com os detalhes referentes ao sistema de distribuição e coleta da água através de tubos perfurados, este determinado segundo as recomendações de Libânio (2016).

Figura 6 – Desenho técnico da unidade de filtração

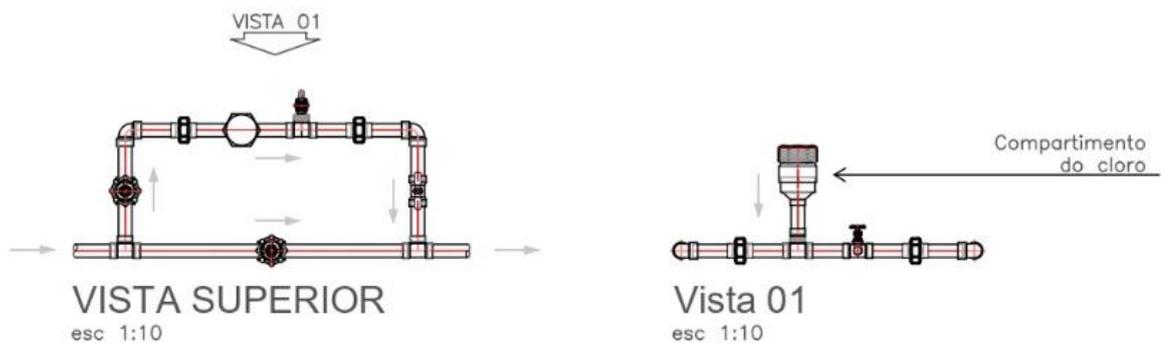


Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2.6 Desinfecção

Para o sistema de desinfecção, não foi necessário calcular nenhuma condição hidráulica. Somente foi pensado um sistema o qual desempenhasse a função de aplicar o cloro em pastilha e proporcionasse a quantidade de cloro livre requerida. É possível visualizar o esquema para essa etapa na Figura 7.

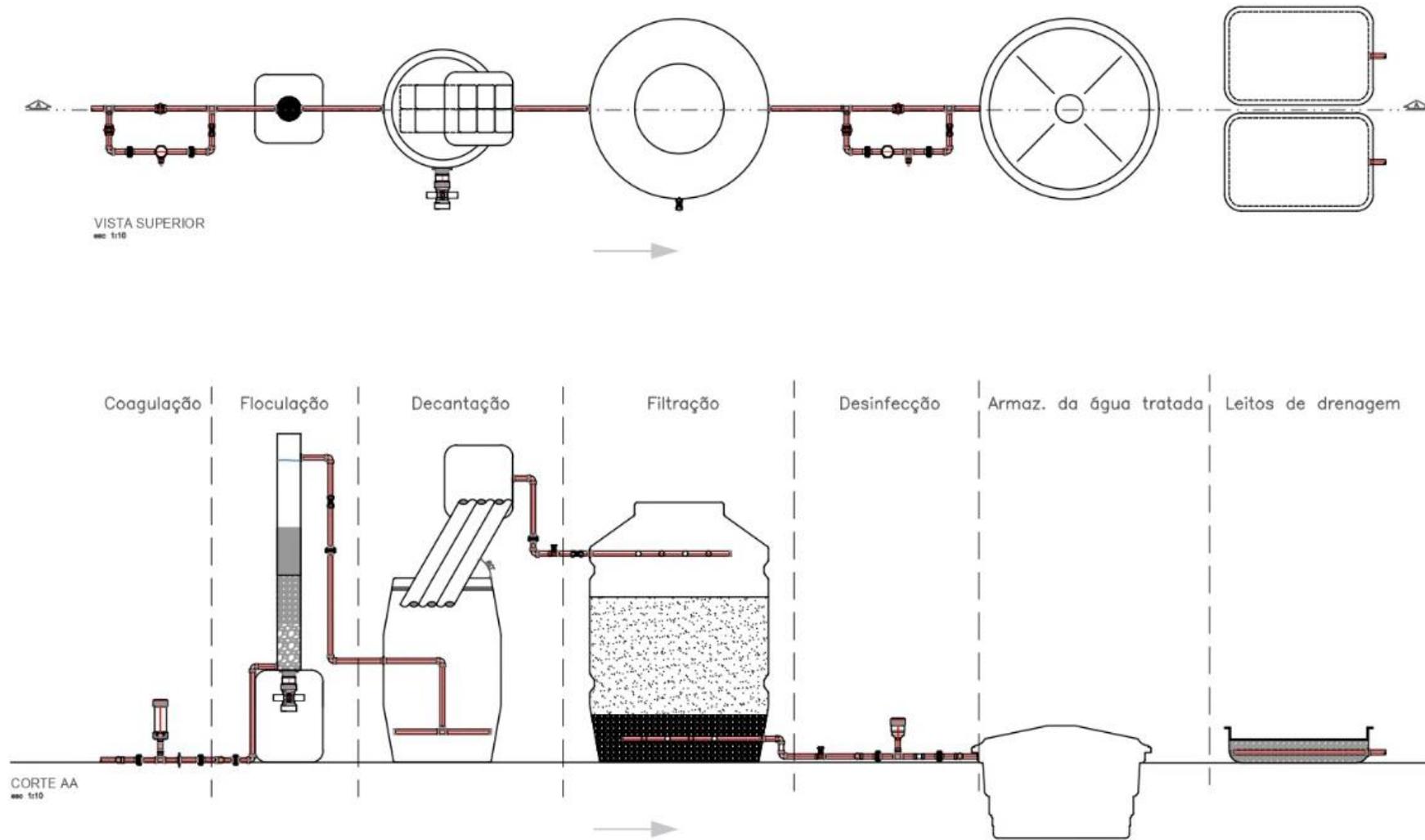
Figura 7 – Desenho técnico da unidade de desinfecção



Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se o desenho técnico do sistema completo, integrando todas as unidades mencionadas na Figura 8.

Figura 8 – Desenho técnico do sistema



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.3 Construção e orçamento

Observa-se na Figura 9 a unidade de coagulação, com duas uniões para as questões de retirada para manutenção. Uma delas contém a placa de orifício conforme fora dimensionada. O sistema possui três registros, dos quais dois são do tipo de gaveta, utilizados para que seja possível realizar o controle da água de passagem e regulação mais acurada da vazão e então manipulação da indireta da dosagem aplicada. O terceiro registro funciona para auxiliar na manutenção e possível isolamento do sistema, se necessário.

Figura 9 – Unidade de coagulação



Fonte: Própria (2022)

Para aplicação do coagulante, foram utilizados acessórios como bucha de redução, tê de passagem roscável, torneira de jardim, redução (50x20), luva (50), tubo PVC de 50 mm, adaptador de 50 mm e cap de 50 mm, formando um compartimento onde a água entra em contato com o agente de coagulação. A torneira possui função de retirada do vácuo existente, além de permitir a limpeza da unidade.

A placa de orifício foi confeccionada através da perfuração de um fragmento de PVC plano utilizando furadeira com broca no diâmetro desejado e uma serra copos de 32 mm. A alocação dele em uma união permite a sua manutenção, além de tornar possível a troca com placas de outros diâmetros diferentes.

No que se refere a construção da unidade de floculação, foram utilizadas como materiais tubo PVC de 100 mm, alocado verticalmente com sentido do fluxo ascendente, contendo britas de granulometrias grandes, médias e pequenas que proporcionaram um gradiente de velocidade decrescente para que as partículas desestabilizadas na coagulação pudessem se chocar e formar os flocos (Figura 10).

Figura 10 – Unidade de floculação



Fonte: Própria (2022)

Para que o lodo em excesso seja removido de forma mais eficiente, foi inserido um sistema de descarga de fundo com um cap de 100 mm, perfurado com diâmetro de 50 mm para que pudesse ser instalada uma flange protegida com tela para que as britas não saiam com a descarga, além disso, um adaptador e registro de gaveta com o mesmo diâmetro (Figura 11). Ainda foi utilizado um tonel de 20 L para apoiar essa unidade e favorecer o sentido do fluxo do sistema por gravidade.

Figura 11 – Descarga do floculador (A) detalhe da tela de retenção das britas (B) granulometria das britas (C)



Fonte: Autoria própria (2022).

Sobre o decantador, foram utilizados toneis de 100 e 15 litros para compor a zona de chegada de água floculada e a parte superior da saída, respectivamente. Os módulos foram feitos com um condutor retangular de PVC, dividido em 6 partes de 50 cm de comprimento. Em cada um deles foi demarcado e removido quantia proporcional ao ângulo de 30°, o que permitem que os módulos fiquem com ângulo de 60° com a base, quando apoiados pela base inclinada (Figura 12). O sistema foi unido através de cola estruturante de alta resistência a água e uma braçadeira reforçada com borracha da própria bombona de maior volume, em virtude da alta pressão a qual a mesma recebe do fluxo ascendente da água, tornando-a hermética. Ainda, conta com registro para limpeza e retirada do lodo sedimentado para ser adequadamente destinado.

Figura 12 – Unidade de decantação (A) detalhe dos módulos (B) unidade de decantação



Fonte: Autoria própria (2022).

Já com relação à etapa de polimento, foram utilizados para a construção uma bombona de 240 L, tubos PVC de 20 mm para os tubos perfurados, além de tês de passagem e cap para as extremidades (Figura 13). Para as camadas de suporte e meio filtrante foram usadas respectivamente britas com granulometrias médias e pequenas com 15 cm de altura cada e a areia com diâmetro efetivo menor/igual a 0,50 mm (obtido através da passagem por uma peneira com esse diâmetro). Essa camada possui 30 cm de altura, recomendadas por Sidney Seckler e ajustadas de acordo com as condições de implantação da unidade. Além disso, a etapa possui registro de passagem localizado na parte mais inferior da bombona, destinada para esgotamento e limpeza.

Figura 13 – Unidade de filtração



Fonte: Autoria própria (2022).

Muito semelhante à coagulação, o sistema de desinfecção conta com um compartimento destinado exclusivamente para inserir as pastilhas de cloro, que utilizou adaptadores, redução 50x20 mm e cap 50 mm, além da torneira para remoção do vácuo e eventual limpeza (Figura 14). A logística dos registros foi a mesma aplicada ao da coagulação.

Figura 14 – Unidade de desinfecção



Fonte: Autoria própria (2022).

No que se refere ao tratamento do lodo gerado, a construção do leito de drenagem se deu por meio de um tonel de 50 L, serrado longitudinalmente, permitindo duas unidades de drenagem, nela foi alocado um tubo perfurado para o recolhimento da água drenada, seguido de uma camada de brita de 0,10 m e, por fim, uma manta geotêxtil 100% poliéster, onde será colocado o efluente líquido a qual permitirá a drenagem do líquido e a retenção e concentração do lodo, para que seja possível sua disposição final adequada (Figura 15).

Figura 15 – Leito de drenagem



Fonte: Autoria própria (2022).

Além disso, foram inseridos entre cada unidade registro de globo e uniões para facilitar a manutenção de cada unidade separadamente. Dessa forma é possível isolar cada etapa e proceder os devidos reparos (Figura 16). Ainda, foram inseridas torneiras de jardim em locais específicos para a coleta da água para o monitoramento, sendo estas alocadas depois do decantador e depois do filtro.

Figura 16 – Sistema completo



Fonte: Autoria própria (2022).

Sobre os custos envolvidos na construção do sistema, foram contabilizadas todos os acessórios e materiais em nas etapas, totalizando R\$1466,21 (Tabela 2), incluindo uma unidade de equalização da água (demandada para regular a vazão recalçada pela bomba), além das etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e as duas unidades de tratamento do lodo.

Ressalta-se que todos os valores envolvidos e apresentados se referem aos preços de mercado encontrados na localidade e que podem ser reduzidos com maiores pesquisas de preço. Ainda é possível proporcionar o decaimento desse valor a partir da aquisição dos materiais a preço de custo caso seja demandada a produção de várias unidades do sistema.

Tabela 2 – Materiais utilizados

Discriminação/ especificação	Unidade	Quantidade	Preço unidade	Preço Total
Adaptador soldável curto (20x1.2)	Unidade	19	0,80	15,20
Adaptador soldável curto (25x1.2)	Unidade	1	0,86	0,86
Adaptador soldável curto (32x1.2)	Unidade	1	1,39	1,39
Adaptador soldável curto (50x1.1/2)	Unidade	4	5,00	20,00
Adesivo selante	Unidade	1	27,90	27,90
Areia	Metro	1	30,00	30,00
Bombona 240L	Unidade	2	160,00	320,00
Brita	Metro	0,25	30,00	7,50
Bucha de redução longa soldável (50x20 mm)	Unidade	2	3,00	6,00
Cap 100 mm	Unidade	2	7,00	14,00
Cap 20 mm	Unidade	18	1,00	18,00
Cap 50 mm	Unidade	2	15,39	30,78
Cola PVC	Unidade	1	6,00	6,00
Cola PVC com pincel	Unidade	1	15,00	15,00
Condutor de PVC Retangular 100 x 65 mm	Unidade	1	89,90	89,90
Curva soldável 90° (20 mm)	Unidade	4	3,00	12,00
Fita veda rosca	Unidade	1	4,00	4,00
Flange 50 mm	Unidade	2	28,00	56,00
Flanges PVC 20 mm	Unidade	9	13,00	117,00
Flanges PVC 32 mm	Unidade	1	27,15	27,15
Joelhos de 45°	Unidade	2	1,25	2,50
Joelhos de 90°	Unidade	12	0,80	9,60
Lixa de Ferro	Unidade	1	3,00	3,00
Luva soldável 50mm	Unidade	1	3,50	3,50
Mangueira	Metro	2	8,00	16,00
Manta de drenagem	m <sup>2</sup>	2	1,67	3,33

Continua...

Continuação...

<b>Discriminação/ especificação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unidade</b>	<b>Preço Total</b>
Pedregulho	Metro	0,4	30,00	12,00
Peneira 5 mm	Unidade	1	20,00	20,00
Registro de esfera (50 mm)	Unidade	2	26,00	52,00
Registro esfera soldável (20 mm)	Unidade	5	7,00	35,00
Registro gaveta soldável (20 mm)	Unidade	5	19,50	97,50
Tê soldável (20 mm)	Unidade	16	1,20	19,20
Tê soldável LR (20 mm)	Unidade	6	2,20	13,20
Tonel (20 L)	Unidade	1	25,00	25,00
Tonel (10 L)	Unidade	1	13,00	13,00
Tonel (100 L)	Unidade	1	120,00	120,00
Torneira jardim	Unidade	4	4,00	16,00
Tubo PVC (100mm)	Metro	1	15,50	15,50
Tubo PVC (50 mm)	Metro	0,2	17,00	3,40
Tubo PVC soldável (20 mm)	Metro	10	3,33	33,30
Tubo PVC soldável (32 mm)	6 m	1	80,50	80,50
União soldável (20 mm)	Unidade	9	6,00	54,00
			<b>TOTAL</b>	<b>1466,21</b>

Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda, foram utilizadas ferramentas que auxiliaram em toda execução, como o ferro de solda (utilizado para demarcar os furos correspondentes aos tubos perfurados do decantador e do filtro), além do arco de serra para o corte dos tubos, serra elétrica para cortes maiores e a furadeira com serra copos.

Assim, foram gerados os custos por unidade construída (Tabela 3). Destaca-se que a etapas de câmara de chegada de água bruta é demandada segundo a particularidade de captação da água e que nesse caso foi necessário porque a bomba existente no local possui potência superior à necessária para o sistema. As interligações referem-se as tubulações, registros uniões e outros acessórios que fizeram a ligação de uma unidade a outra e a quantia dos comuns representam itens como cola de cano, lixa e veda rosca que foram utilizados em todo conjunto.

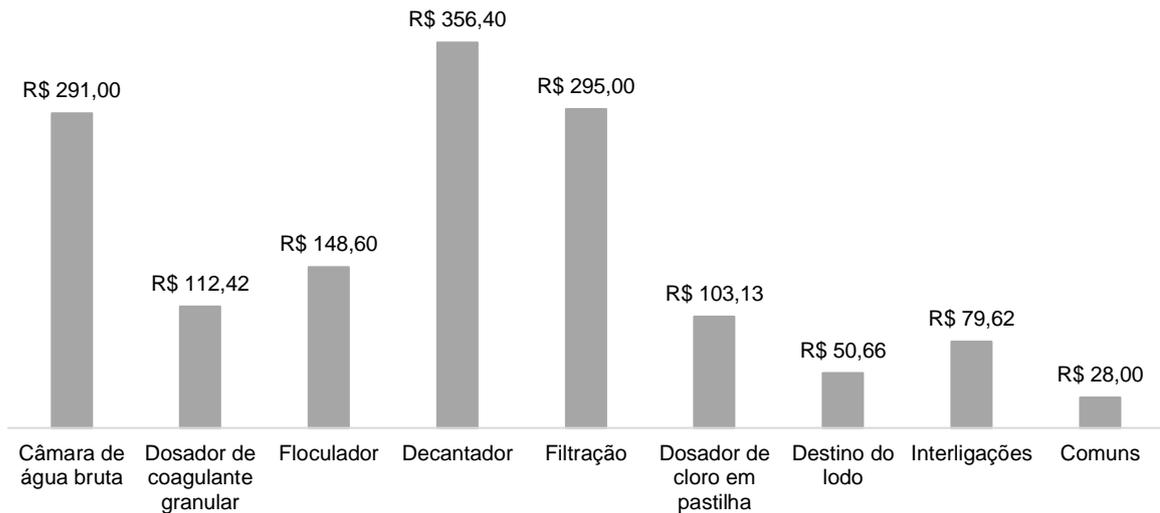
Tabela 3 – Custos por etapa

<b>ETAPAS</b>	<b>Valor</b>
Câmara de água bruta	R\$ 291,00
Dosador de coagulante granular	R\$ 112,42
Floculador	R\$ 148,60
Decantador	R\$ 356,40
Filtração	R\$ 295,00
Dosador de cloro em pastilha	R\$ 103,13
Destino do lodo (2 unidades)	R\$ 50,66
Interligações	R\$ 79,62
Comuns	R\$ 28,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.466,21</b>

Fonte: Autoria própria (2022).

É possível verificar (Figura 17) que as etapas que apresentaram os maiores custos foram o decantador, filtro e câmara de água bruta com R\$ 356,40, R\$ 295,00 e R\$ 291,00, respectivamente. Evidencia-se que todos eles utilizaram bombonas que fizeram com que o preço fosse elevado consideravelmente.

Figura 17 – Custo por etapa



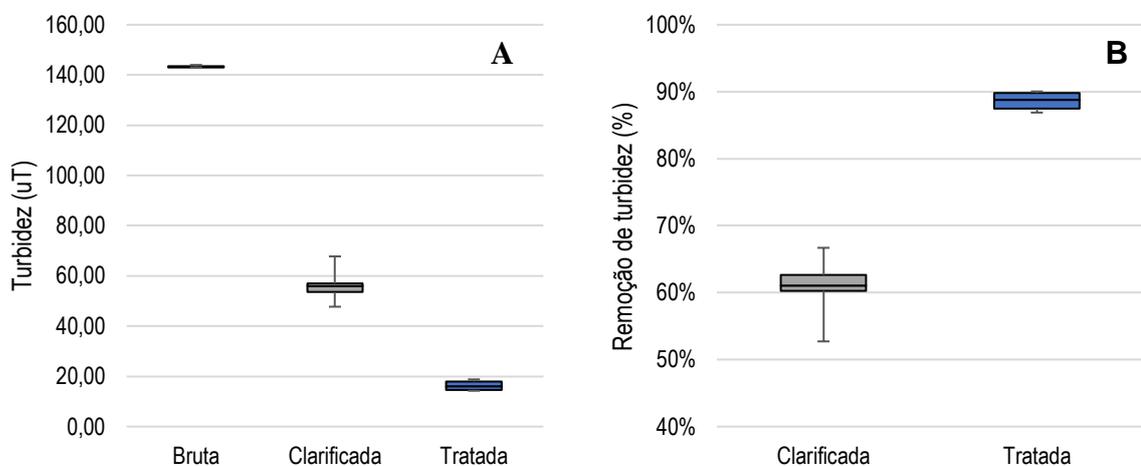
Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.4 Validação

Sobre a verificação da funcionalidade do sistema desenvolvido, é possível observar os resultados dos parâmetros avaliados nas Figuras de 18 a 21.

A princípio, observa-se os valores que fazem referência ao parâmetro turbidez (Figura 18) o qual possuía na água bruta valor próximo a 140,0 uT. No que se refere à água clarificada, foram observados resultados que variaram entre 47,0 e 67 uT, enquanto que para as condições da água filtrada tratada foram obtidas quantias entre 15,0 e 18 uT. Ao fim do tratamento, o percentual de remoção de turbidez na água clarificada foi entre 52 e 66%, enquanto na água tratada os valores foram na faixa de 87 e 90%, todos com relação ao valor inicial de turbidez da água bruta.

Figura 18 – Boxplot dos valores de turbidez da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B)

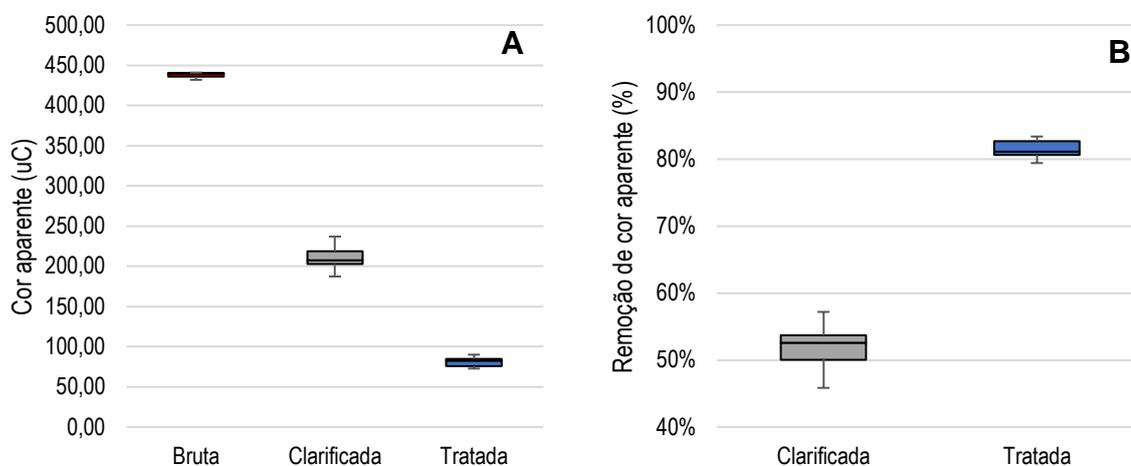


Fonte: Autoria própria (2022).

Já no que se refere ao parâmetro cor aparente (Figura 19), a água bruta apresentou valor em torno de 440 uC. Ao passar pelas etapas de coagulação, floculação e decantação obteve valor que variou de 190 uC até 240 uC e após o tratamento apresentou valores sempre inferiores

a 90 uC, chegando até próximo 70 uC. As remoções com relação a água bruta ocorridas nessas etapas foram, respectivamente, entre 45 e 57% na água clarificada e 79 e 83% na água tratada.

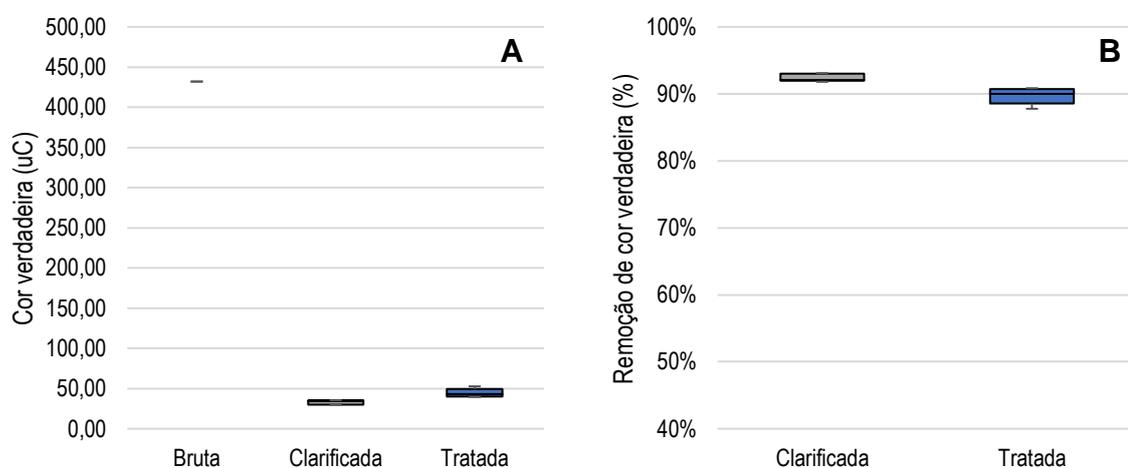
Figura 19 – Boxplot dos valores de cor aparente da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B)



Fonte: Autoria própria (2022).

Agora sobre o monitoramento da cor verdadeira no sistema, é observado que o valor da água bruta para esse parâmetro situa-se perto também de 440 uC (Figura 20), assim como a cor aparente, o que implica que a mesma corresponde predominantemente a sólidos dissolvidos. Os valores observados na água clarificada estão entre 30 e 35 uC, enquanto na água filtrada, as quantias se situaram entre 40 e 54 uC. As remoções obtidas nessas etapas com relação a água bruta foram de 92 e 93% na água clarificada e de 88 e 91% na tratada.

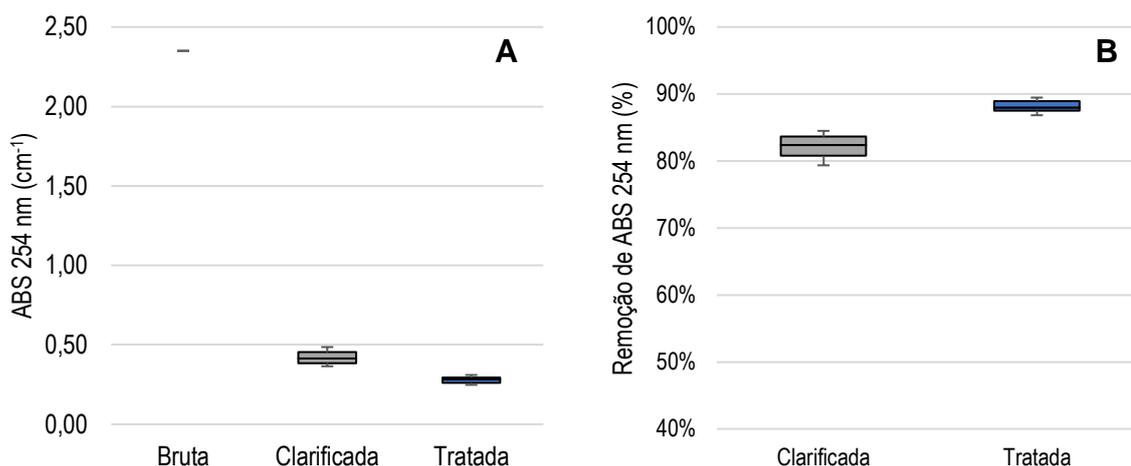
Figura 20 – Boxplot dos valores de cor verdadeira da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B)



Fonte: Autoria própria (2022).

Já com relação a ABS 254 nm da água (Figura 21), o valor inicial obtido na análise da água bruta esteve próximo a 2,40. Ao passar pela etapa de clarificação, os valores situaram-se entre 0,36 e 0,48 e após o tratamento essas quantias caíram para entre 0,25 e 0,32. Essas quantias geraram remoções com relação água bruta de aproximadamente 80 e 85% na clarificada, enquanto as porcentagens obtidas na água tratada foram próximas de 87 e 90%.

Figura 21 – Boxplot dos valores de ABS 254 nm da água bruta, clarificada e tratada (A) e da remoção na água clarificada e tratada (B)



Fonte: Autoria própria (2022).

A Portaria GM/MS nº 888, do Ministério da Saúde (MS) preconiza que, em filtração rápida, o valor de turbidez seja de 0,5 uT e da cor aparente de 15,0 uC para que a água possa ser considerada potável. Ainda que os valores obtidos no monitoramento estejam fora da faixa dos padrões recomendados, é possível fazer uso da água para fins menos nobres, enquanto as adaptações e melhorias estão sendo desenvolvidas para que esses parâmetros sejam atendidos e permitam o uso pleno da água para todas as atividades requeridas, incluindo a validação em termos microbiológicos com o monitoramento de cloro livre e Coliformes totais pós desinfecção.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de baixo custo para tratamento de água em comunidades rurais, tem vazão de produção de 1500 L.h<sup>-1</sup> compacta, eficiente e econômica, garantindo segurança hídrica para aqueles que a consomem foi capaz de tratar a água bruta e obter remoções de 90% de turbidez e 83% de cor aparente e aproximadamente 90% de cor verdadeira e ABS 254 nm. Todo o sistema configura-se como de baixo custo visto que contou com a quantia de R\$1.466,21 reais para aquisição dos materiais de construção.

Ainda, ressalta-se a pretensão de otimizar todas as etapas e adequá-las a norma vigente, sobretudo no que se refere aos aspectos microbiológicos.

#### 5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1992). **NBR 12216 - NB-592 “Projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público”** ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei das Águas – Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997. Recursos Hídricos: conjunto de normas legais**. 3. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. **Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará**. 2017.

BRASIL. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Anexo XX trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017c.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2018**. Brasília: SNIS, 2020.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tecnologias de Tratamento, Processos e Operações**. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDiBe, 2011. p. 97-153.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Como montar e usar o clorador de pastilhas em residências rurais**. Brasília, 2014.

FILHO, Ferreira; SECKLER, Sidney. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. – 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

KAWAMURA, S. **Intefrated design and operation of water treatment facilities**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Wiley, 2000.691 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água/Marcelo Libânio**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016.

RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 340 p.