

I-016 - QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE MARCELA: PROPOSTA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO EM CARÁTER INDIVIDUAL OU DE COOPERATIVA, PARA FINS DE IRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS

Denise Conceição de Gois Santos Michelin⁽¹⁾

Professora do Departamento de Engenharia Civil (DEC/UFS) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (PROEC/UFS).

Anderson de Jesus Lima⁽²⁾

Engenheiro civil, mestrando do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (PROEC/UFS).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Marechal Rondon s/n, Bairro Jardim Rosa Elze, São Cristóvão /SE, CEP 49100-000 - denise_gois@yahoo.com.br

Endereço⁽²⁾: Avenida Marechal Rondon s/n, Bairro Jardim Rosa Elze, São Cristóvão /SE, CEP 49100-000 - andersoncivil2014@gmail.com

RESUMO

O açude Marcela em Itabaiana-SE/Brasil é o recurso hídrico utilizado no perímetro irrigado Marcela, onde se cultiva, predominantemente, hortaliças. Durante muitos anos, vem recebendo esgotos domésticos gerados nas mais diversas regiões da cidade. Este fato traz grandes prejuízos à qualidade da água, com expressiva concentração de DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, tornando inapropriada para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. Este trabalho propôs dois sistemas de tratamento da água do açude, norteando principalmente a remoção de coliformes termotolerantes. Um dos sistemas se baseou na coagulação/floculação com semente da *Moringa oleifera* seguida de filtração lenta: os tanques de coagulação com capacidade de 1,6m³ e necessita de 32g da semente da moringa no processo, retirando o lodo cada vez que realizá-lo; o filtro lento é alimentado em batelada por 10 horas, mas seu tempo de operação corresponde a 24 horas; e o outro sistema em 2 lagoas de maturação: onde a vazão é regularizada no tanque de equalização e enviada para lagoa de forma constante durante todo o dia, o efluente será retido por 8,5 dias em cada lagoa. Ambos os sistemas são eficientes na remoção de coliformes; o primeiro ocupa menor área, porém com operação presencial e trabalhosa, enquanto que o segundo necessita de área 16 vezes maior que o primeiro, mas se sobressai no quesito operação (necessita apenas que a bomba regularizadora de vazão esteja funcionando) e manutenção (a remoção do lodo é realizada depois de vários anos). Independentemente do sistema adotado é necessário acompanhar a qualidade da água resultante do sistema de tratamento e é interessante realizar teste em escala piloto. E, em uma eventual aplicação prática, buscar recursos nos órgãos públicos.

PALAVRAS-CHAVE: Hortaliça, recurso hídrico, coliformes termotolerantes.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos. Estima-se que passa pelo Brasil cerca de 260.000 m³/s de água. Desses, 205.000 m³/s pertencem à bacia hidrográfica do rio Amazonas, restando somente 55.000 m³/s para as demais bacias existentes no país. Isso demonstra a má distribuição dos nossos recursos hídricos. O nordeste brasileiro é quem mais sofre com a escassez de água. Fatores como baixos índices pluviométricos, elevadas temperaturas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração contribuem para o agravamento da situação (ANA, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2016), a seca que atingiu o semiárido nordestino em 2014 apresentou um período de retorno superior a 100 anos. O estado de Sergipe não ficou de fora desse panorama, 15 % dos municípios decretaram Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública por causa da seca. A diminuição da disponibilidade de recursos hídricos traz grandes prejuízos para região, seja no âmbito da saúde pública, da geração de energia, da produção industrial, da pecuária ou da agricultura. Este último é de extrema importância para o nosso país, que tem a economia baseada em *commodities*, o que torna a produção agrícola muito sensível à disponibilidade de água.

A irrigação brasileira demandou, em 2015, 55% da vazão retirada de forma consuntiva (ANA, 2016). É uma atividade que solicita recursos hídricos expressivos. Diante desse exposto, todo esforço para aumentar a disponibilidade de água é bem-vindo, seja na economia e uso consciente dos recursos hídricos, na preservação dos mananciais, no armazenamento de água: poços, cisternas, reservatórios, na reutilização de água, e/ou na despoluição dos corpos hídricos.

PROBLEMÁTICA DO AÇUDE MARCELA

Localizado no município de Itabaiana-SE/Brasil, o Açude Marcela foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) em 1957, possui capacidade de 2.710.000 m³ sendo 463.000 m³ de volume morto. Sua cota de sangradouro é de 100,00 m e sua tomada d'água ocorre na cota de 94,00 m, apresenta uma área superficial de 97 ha. Sua bacia hidrográfica mede 14 km², e faz parte da bacia hidrográfica do Rio Sergipe (DNOCS, 2005). A Figura 1 apresenta uma visão espacial deste corpo hídrico.

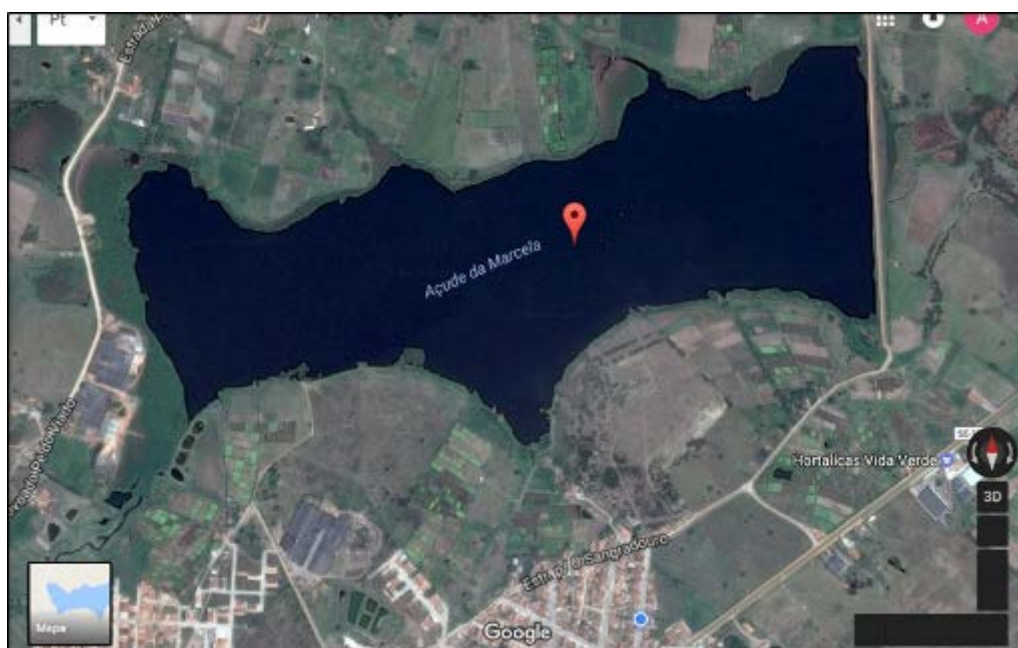


Figura 1: Localização espacial do Açude Marcela.

O açude foi criado para contribuir com abastecimento da cidade e para servir de recurso hídrico para o perímetro irrigado da Marcela. Segundo a Prefeitura Municipal de Itabaiana, existia em 2010, cerca de 24 propriedades agrícolas, ocupando a área de 55,5 ha no entorno do açude, onde se explora culturas como: quiabo, pepino, coentro, tomate, alface, brócolis, maxixe, salsa, hortelã, pimentão e cebolinha (ITABAIANA/SE, 2010).

Atualmente, o açude se encontra num estágio de poluição avançada, o aporte de efluente no açude é realizado há muitos anos pela cidade em diversos pontos. Na Figura 2 pode-se visualizar um canal que despeja esgoto doméstico no açude. Dessa forma, as características das suas águas foram totalmente alteradas, o que inviabiliza seu uso na irrigação de hortaliças. Além disso, já se registrou em diversas ocasiões a mortandade de diversas espécies de peixes, indicador de que as condições ambientais nesse reservatório estavam críticas, devido ao lançamento do esgoto doméstico sem tratamento prévio. Isso acarreta na alteração das características qualitativas da água, principalmente no que diz respeito à concentração de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.



Figura 2: Canal de lançamento de esgoto.

Apesar de poluído, o açude Marcela ainda é utilizado na irrigação de hortaliças. Estas são vendidas e consumidas em diversas regiões do Estado de produção. Diante disso, o presente trabalho buscou verificar o grau de poluição da sua água, bem como propor sistemas para tratamento da água de caráter individual ou cooperativo, que viabilize sua utilização na irrigação de hortaliças, tomando como referência os padrões exigidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 (BRASIL, 2005) no que diz respeito à concentração de coliformes termotolerantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados da qualidade da água do açude Marcela foram obtidos por meio de relatório de monitoramento da água expedidos pela a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) no período de dezembro/2015 a novembro/2016 (ADEMA, 2017).

Os sistemas de tratamento foram propostos conforme sua eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, capazes de atender a demanda hídrica de uma propriedade com um hectare de área cultivada com hortaliças, que segundo Pentead (2010) é de 80 m³/dia. Diante disso, foram sugeridas duas propostas de tratamento. Uma consiste em fazer a coagulação/floculação da água usando a semente da *Moringa oleifera* como coagulante natural e depois fazer passar a água coagulada com moringa seguido de filtro lento (CM + FL) (Figura 3).

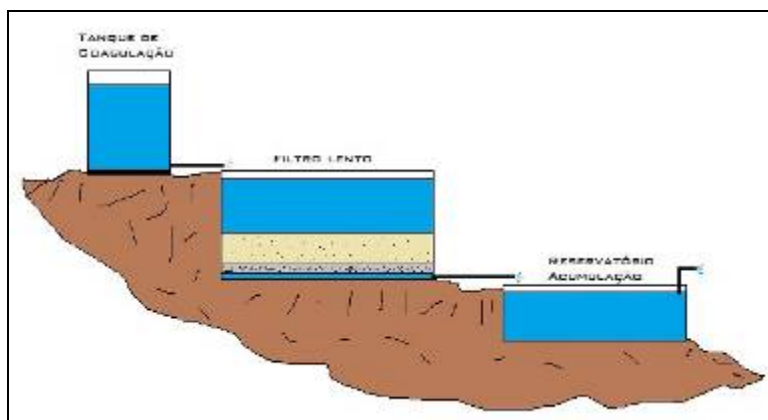


Figura 3: Esquema CM+FL.

E a outra sugestão recorreu-se à técnica de tratamento de esgotos que também possui boa eficiência na remoção de coliformes, as lagoas de maturação (Figura 4).

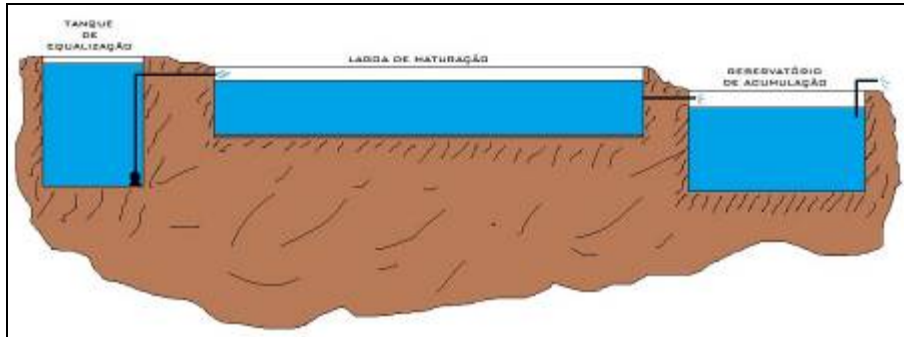


Figura 4: Esquema lagoa de maturação.

- **Sistema de tratamento CM+FL:**

O sistema de tratamento de água constitui-se de reservatório onde ocorre a coagulação e floculação com adição da semente da moringa, seguido de filtro lento de areia e brita, e por último um reservatório de acumulação da água tratada. O sistema funcionará, preferencialmente por gravidade, a depender da topografia da propriedade.

Para a coagulação foi proposto inicialmente a concentração de 0,04 g/L da semente da moringa com tempo de sedimentação de 1 hora, o que pode ser alterado caso a eficiência do sistema não atenda as expectativas. A fim de facilitar a adição e mistura da semente pode-se adotar um reservatório cilíndrico, com 1,30 m de altura total, sendo 5 cm de borda livre e 5 cm para o acúmulo do lodo facilitando sua remoção e envio para unidade de tratamento. O diâmetro do tanque de coagulação é determinado a partir de sua capacidade. Esta será uma fração do volume total diário requerido pela propriedade. Dessa forma, o filtro será alimentado em batelada, recebendo a água para a filtração em etapas.

Para o dimensionamento do filtro lento se considerou as premissas: cinco tanques de coagulação, com volume total coagulado em 10 etapas com duração de 1 h e tempo total de coagulação para o volume requerido será de 10 h/d; o tempo de operação do filtro corresponde à 24 h e a taxa de filtração adotada de 2,4 m³/m².dia. A área do filtro é determinada em razão entre a vazão a ser filtrada (volume demandado/tempo de operação do filtro) e a taxa de filtração.

Segundo McGhee (1991) apud Tomaz (2010), para filtros com taxa de filtração entre 0,4 a 1,5 m³/m².hora, indica-se profundidade mínima para a camada de areia de 0,70 m com diâmetro efetivo dos grãos com variação de 0,1 a 0,3 mm, a camada de pedras deve ser em torno de 0,30 m e a lâmina d'água de no mínimo de 0,50 m. Neste trabalho o meio filtrante proposto foi areia fina com tamanhos dos grãos de 0,15 a 0,60 mm, a camada suporte será de brita, dividida em três camadas: brita 1 (4,8 a 12,5 mm), brita 2 (12,5 a 25,0 mm) e brita 3 (25 a 50 mm). A drenagem da água tratada consiste em fundo falso de 20 cm de altura. A lâmina d'água no filtro deve ser suficiente para garantir o acúmulo de toda água coagulada no filtro, descontando o volume já filtrado no tempo que se gasta com a coagulação. Diante disso, a parte reservada para o líquido no filtro funcionará como tanque de equalização, com volume determinado pela Equação 1.

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s) \Delta t \quad \text{Equação (1)}$$

onde, V_{eq} é o volume de equalização (m³), Q_e a vazão de entrada (m³/h), Q_s a vazão de saída (m³/h), e Δt o tempo de duração da vazão de entrada no tanque (h).

- **Sistema de tratamento lagoas de maturação:**

O sistema é formado por um tanque de equalização (para regularizar a vazão de entrada na lagoa), por uma ou mais lagoas de maturação e um reservatório para armazenar a água tratada. Esse tanque com base quadrangular e altura útil de 2,00 m, conta com altura extra de 0,50 m para garantir volume mínimo no tanque de modo a

proporcionar vazão regularizada para o lago por bombeamento, com borda livre de 0,10 m. O volume de equalização é definido pela Equação 1 supracitada. Já o volume mínimo é determinado pela Equação 2:

$$V_{\min} = L^2 h_{\min} \quad \text{Equação (2)}$$

onde, V_{\min} é o volume mínimo no tanque de equalização (m^3), L a medida do lado da base quadrangular tanque (m), e h_{\min} é a altura extra definida para o bom funcionamento da bomba (m).

Segundo Mendonça (1990) a lagoa de maturação deve ter profundidade de 0,6 a 1,5 m e retenção de 3 a 10 dias. A remoção de coliformes termotolerantes é regida pela Equação 3.

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + k_b t)^n} \quad \text{Equação (3)}$$

onde, N_e é a concentração de coliformes no efluente (UFC/100mL), N_i concentração de coliformes no afluente (UFC/100mL), t é o período de retenção do afluente (dias), n é o número de lagoas e k_b coeficiente de velocidade de remoção de coliformes (1/dia). Esse coeficiente é determinado em função da temperatura (T em $^{\circ}C$) através da equação de Yanez (Equação 4).

$$k_b = 1,1(1,07)^{T-20} \quad \text{Equação (4)}$$

Quanto aos aspectos construtivos as lagoas de maturação devem possuir a relação largura:comprimento de 1:2 ou 1:3. A relação para inclinação do talude das paredes nas lagoas é de 2H:1V ou 3H:1V (Mendonça, 1990). A lagoa de maturação proposta nesse trabalho terá 1,00 m de profundidade, a relação largura:comprimento será de 1:3, a inclinação do talude será 2:1 e período de retenção do afluente de 8,5 dias. O fundo da lagoa será impermeabilizado com argila de maneira que a altura dessa camada garanta não haver poluição do lençol freático. A área da lagoa de maturação é determinada a partir da Equação 5.

$$A_L = \frac{Q_{\text{méd}} t}{h_L} \quad \text{Equação (5)}$$

onde, A_L é a área da lagoa (m^2), $Q_{\text{méd}}$ vazão média de entrada na lagoa (m^3/dia), t é o tempo de retenção na lagoa (dias), e h_L a altura da lagoa (m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros analisados estudados foram: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal, salinidade, fósforo total e coliformes termotolerantes. As amostragens foram feitas em três pontos distintos: um situado na margem direita (P1), um próximo ao vertedouro da barragem (P2) e o outro na margem esquerda (P3) (ADEMA, 2017). A Tabela 1 apresenta os valores médios dos parâmetros obtidos para cada ponto onde se coletadas as amostras, bem como os valores padrões exigidos pelo CONAMA para águas doce, classe 1 (exigida na irrigação de hortaliças que são consumidas cruas).

Tabela 1: Parâmetros analisados (dez/2015 - nov/2016) comparados com o exigido pelo CONAMA.

Parâmetro	Unidade	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	CONAMA
Temperatura da água	$^{\circ}C$	29	29	29	-
pH	-	6,97 a 8,72	7,05 a 8,18	7,12 a 8,73	6 a 9
OD	mg/L	6,69	4,51	5,58	6
DBO	mg/L	17,79	19,03	13,78	3
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,03	0,36	0,03	0,5
Salinidade	ppm NaCl	340	339	338	500
Fósforo Total	mg/L	2,93	2,95	2,87	0,02
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	96575	43250	50883	200

Fonte: adaptado da ADEMA (2017)

Os valores de pH obtidos para todos os pontos analisados estão de acordo com a faixa de 6 a 9 exigidos. Os valores de oxigênio dissolvido só foram satisfatórios para o ponto 1, nos pontos 1 e 2 foram observados valores de 4,51 mg/L e 5,58 mg/L, respectivamente, valores ligeiramente abaixo 6 mg/L de OD exigidos pelo CONAMA. No que diz respeito à DBO, todos os pontos apresentaram valores acima de 3 mg/L exigidos pela legislação vigente. Os parâmetros: nitrogênio amoniacal e salinidade estão de acordo com os máximos exigidos. Os valores de fósforo total foram insatisfatórios para os três pontos. Para destino de água para irrigação, os valores de oxigênio dissolvido não há grande interferência, mesmo assim, é bem possível que seja corrigido na etapa de captação e armazenamento na propriedade, onde a água passa a ter um contato maior com o ar. No que diz respeito à significativa concentração de DBO, fósforo e coliformes termotolerantes, é um claro resultado do aporte de esgoto doméstico no açude.

Recomenda-se a implantação do sistema de tratamento CM+FL por apresentar eficiência na remoção de coliformes de, no mínimo 99,8%. Combinando a eficiência da moringa: 95,6% (Monaco et al., 2010); e a do filtro: 99,9% (Murtha; Heller, 2003). A Tabela 2 traz as principais características e dimensões desse sistema proposto.

Tabela 2: Principais características e dimensões do sistema CM+FL.

Tabela 2: Principais características e dimensões do sistema CM/FL.

Tanque de coagulação/floculação										
Diâmetro (m)	Altura útil (m)	Borda livre (m)	Remoção do lodo (m)	Altura total (m)	Área (m²)	Área total (m²)	Sementes /tanque (g)			
1,30	1,20	0,05	0,05	1,30	1,33	6,64	160			
As paredes do tanque podem ser construídas de tijolinhos, impermeabilizadas, e amarradas com aço. O tubo de saída do lodo para o tratamento com 20 mm e o de alimentação para o filtro de 32 mm. O fundo do tanque deve ter uma pequena inclinação para facilitar a saída do lodo acumulado.										
Filtro lento										
Borda livre (m)	Coluna d'água (m)	Areia Fina	Brita 1 (m)	Brita 2 (m)	Brita 3 (m)	Fundo falso (m)	Altura (m)	Largura (m)	Comp. (m)	Área (m²)
0,10	1,60	0,90	0,05	0,05	0,20	0,20	3,10	4,00	8,50	34,00
As paredes podem ser construídas em concreto armado ou tijolinho; caso o filtro seja enterrado, devem ser impermeáveis. Recomenda-se construir abrigo para o filtro a fim de evitar ocorrência de poluição ou perturbação na água no filtro. O sistema proposto deve garantir sistemas que garanta a constância de lâmina d'água de no mínimo 5 cm. Para se recolher a água filtrada utilizar-se-á tubo de 50 mm ou canal até o reservatório de acumulação da água tratada.										

A Figura 5 mostra um corte desses elementos com dimensões em metro e na Figura 6 pode-se observar o *layout* da implantação desse sistema, no qual as dimensões estão em metros.

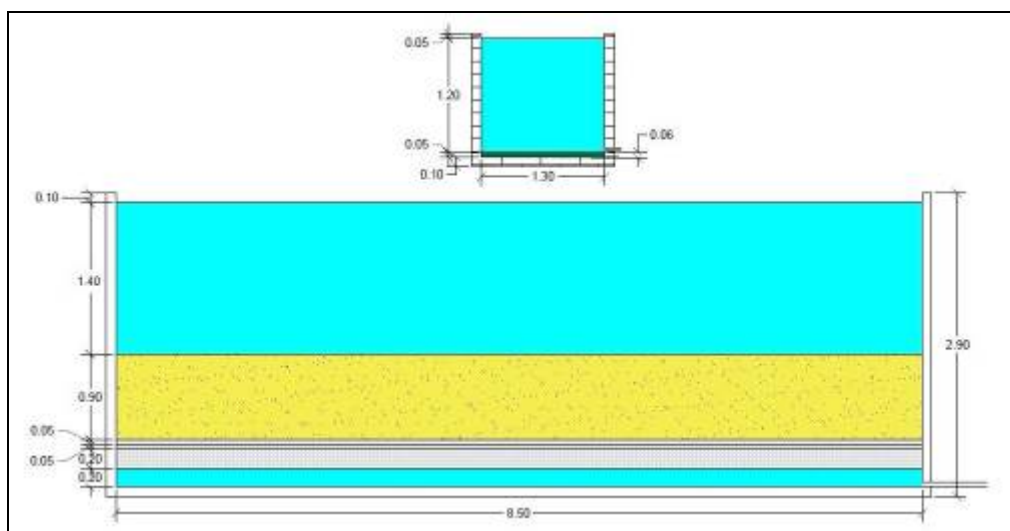


Figura 5: Cortes tanque de coagulação e filtro lento.

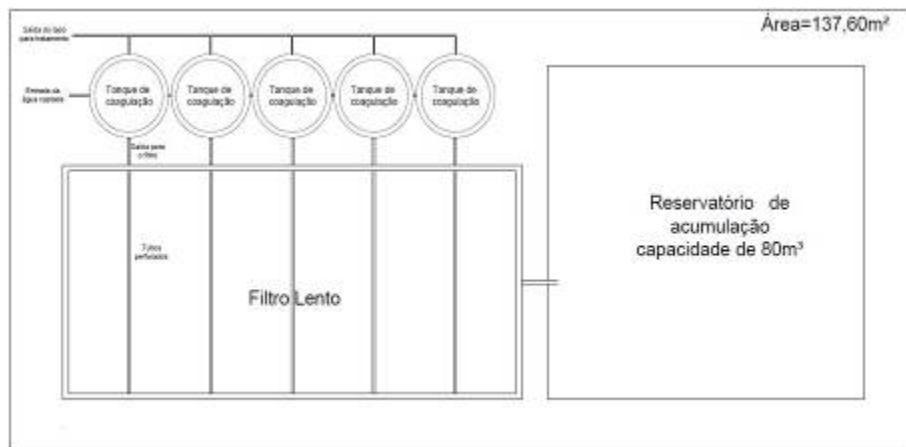


Figura 6: Layout sistema CM+FL.

Da mesma forma, as lagoas de maturação foram dimensionadas para que a concentração de coliformes termotolerantes para que, no final do processo seja menor ou igual a 200 UFC/100 mL. A Tabela 3 apresenta as principais características e dimensões desse sistema.

Tabela 3: Principais características e dimensões do sistema de lagoa de maturação.

Tanque de equalização							
Lado (m)	Área (m²)	Altura mínima água (m)	Altura máxima água (m)	Bora livre (m)	Altura total (m)	Volume mínimo (m³)	Volume máximo (m³)
5,80	33,64	0,50	2,50	0,10	2,60	16,82	84,10
Pode ser construído de concreto armado ou de tijolinho, caso seja enterrado. A bomba para levar a vazão regularizada até a lagoa deve ser dimensionada a partir da altura manométrica que ela deve vencer, podendo variar para cada situação. Para levar a água bombeada pode-se usar um tubo de 32 mm.							
Lagoa de maturação							
Nº lagoas	Tempo retenção (dias)	Altura (m)	Largura base (m)	Largura superfície (m)	Comprimento (m)	Área superficial (m²)	Área total - 2 lagoas (m²)
2	8,5	1,00	15,10	19,10	45,30	865,23	1730,46
A entrada e saída das lagoas serão feitas de forma diagonal, por meio de tudo de 50 mm. O escoamento da afluente pode ser por gravidade ou por bombeamento, a depender da topografia do local de implantação e do layout adotado.							

A Figura 7 mostra um corte desses elementos com dimensões em metro, e a Figura 8 um *layout* da implantação desse sistema, onde as setas indicam o sentido do fluxo.

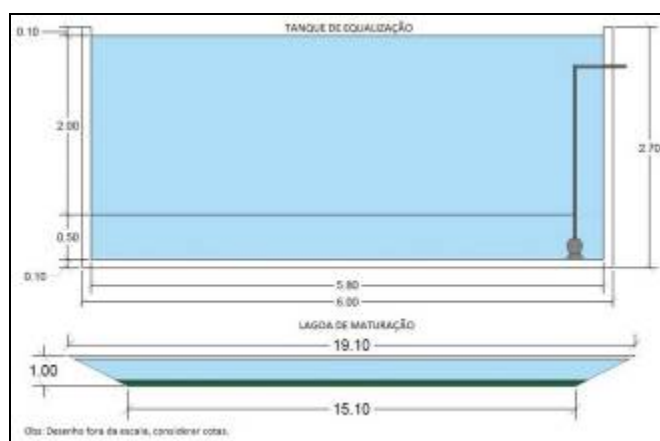


Figura 7: Cortes tanque de equalização e lagoa de maturação.

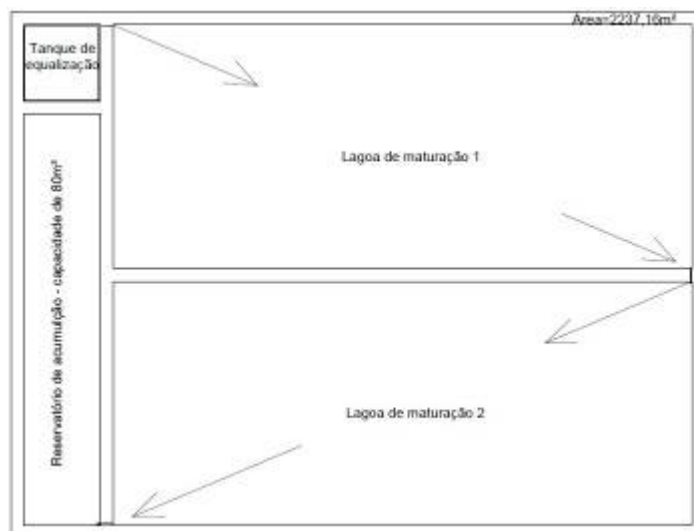


Figura 8: Layout sistema lagoas de estabilização.

CONCLUSÕES

Com as análises da água pode-se observar que o açude Marcela apresentou resultados para os parâmetros: oxigênio dissolvido, fosforo total, DBO e coliformes termotolerantes em desacordo com os padrões exigidos pelo CONAMA na resolução nº 357, para utilização da água na irrigação de hortaliças consumidas cruas. Apesar de poluído o açude é de extrema importância para os donos de propriedades em seu entorno. A qualidade das hortaliças irrigadas com a água desse reservatório está sempre sob suspeita, devido à elevada concentração de coliformes termotolerantes encontrada na água e recorrente aporte de efluentes. Representando assim não somente um problema ambiental como sanitário, caso as hortaliças forem consumidas com valores elevados de organismos patogênicos.

Ambos os sistemas propostos são capazes de remover os coliformes termotolerantes de maneira que sua concentração seja adequada para águas utilizadas na irrigação de hortaliças consumidas cruas. O sistema composto por coagulação com semente da Moringa oleífera demandará área equivalente a 1,40% da propriedade, enquanto o sistema composto por lagoas de maturação ocupa cerca de 22,40% da propriedade. Entretanto, no que diz respeito à operação o sistema com lagoas de maturação se sobressai ao sistema CM+FL. Enquanto o primeiro consegue acumular o lodo por vários anos e possui operação dependente apenas de bomba para regularizar a vazão, no segundo sistema, é necessário sempre remover o lodo no final do processo de coagulação/floculação; esse processo tem que se repetir diversas vezes no dia para que se possa atingir a demanda de água, o que necessita de operador presente durante boa parte do dia.

Para determinar qual sistema de tratamento utilizar é necessário conhecer a realidade da propriedade. Recomenda-se, antes de aplicar qualquer um dos sistemas, fazer um estudo da demanda hídrica das culturas na propriedade, topografia do terreno, características do solo, disponibilidade de área e recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEMA. Boletim de Análise. Administração Estadual do Meio Ambiente. Aracaju. 2017.
2. ANA. Conjuntura do Recursos Hídricos: Informe 2016. Agência Nacional de Águas - ANA. Brasília. 2016.
3. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. ed. Brasília: CONAMA, 2005.
4. MCGHEE, T. J. Water supply and sewerage. 6a. ed. Tulane University: McGraw-Hill, 1991 *apud* TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Guarulhos: Consultado eletronicamente, 2010. ISBN 85-87678-23-X.



5. MENDONÇA, S. R. Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos. João Pessoa: Mendonça, Sérgio Rolim, 1990.
6. MONACO, P. A. V. L. et al. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Tabaté, v. v n. 3, p. 222 - 231, 2010.
7. MURTHA, A.; HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. Engenharia sanitária e ambiental, v. 8 n.4, p. 257-267, 2003.
8. PENTEADO, S. R. Cultivo Ecológico de Hortaliças. 2º. ed. Campinas: Via Orgânica - Fraga Penteado & Cia Ltda, 2010. 288 p.
9. TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Guarulhos: Consultado eletronicamente, 2010. ISBN 85-87678-23-X.