



## **I-528 - O USO DOS “Rs” DO CIDADÃO, COMO FERRAMENTA NA REMOÇÃO DE FERRO DISSOLVIDO EM ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO REALIZADO NO MUNICÍPIO DE SEABRA, UM NOVO MODO DE AGIR**

### **Elvilson Pires Sá Teles**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Especialista em Engenharia de Saneamento Básico e Ambiental pela Universidade Cidade de São Paulo (UNICID). Desenvolve suas atividades profissionais na Embasa na Gestão da Divisão Operacional de água de Itaberaba-BA.

**Endereço:** Rua Wenceslau Brás - Bairro São João - Itaberaba - Ba - CEP: 46880-000 - Brasil - Tel: +55 (75) 3251-8305 - e-mail: [elvilson.teles@embasa.ba.gov.br](mailto:elvilson.teles@embasa.ba.gov.br).

### **Aridson Canário França**

Engenheiro Ambiental pela Faculdade de Tecnologia e Ciências e Especialista em Gestão Ambiental.

### **Antonio Inácio Santiago Neto**

Químico pela Universidade do Estado da Bahia e Mestre em Química pela Universidade Federal da Bahia

## **RESUMO**

Seabra é um município brasileiro do estado da Bahia que vem enfrentando redução na oferta de água potável para consumo humano devido à estiagem e à degradação das margens dos seus principais rios, afetando também a recarga dos aquíferos subterrâneos que são utilizados para atender a população local. A partir de 2014, Seabra começou a sentir os primeiros sinais daquilo que pode ser a maior crise hídrica da história do Brasil. Nos últimos quatro meses, a disponibilidade de água fornecida à população sofreu uma redução de aproximadamente 38%, passando de 90 m<sup>3</sup>/h para 55 m<sup>3</sup>/h, o que levou a frequentes reclamações na cidade devido às manobras de abastecimento que chegam a durar até 15 dias.

Para atender às 8.822 economias do município, a EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento perfurou novos poços para captação de água subterrânea. No entanto, o conjunto de poços conhecido como Campestre, responsável por 21% do abastecimento de água potável, apresentou uma elevada concentração de ferro dissolvido, comprometendo a qualidade da água a ser ofertada.

Este trabalho teve como objetivo apresentar o uso do conceito de sustentabilidade com foco nos 5Rs: repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar, para a instalação de uma unidade de tratamento do tipo floco-decantação em manto de lodo para remoção do teor de ferro presente na água do poço do Campestre, com vazão de 25m<sup>3</sup>/h. O objetivo é viabilizar a oferta de água dentro dos padrões estabelecidos na Portaria 2914/11 MS, com menor impacto sobre os recursos naturais do planeta.

O sistema implantado apresentou resultados expressivos quando comparado com a filtração direta ascendente, tecnologia amplamente utilizada pela EMBASA para tratar água com presença de ferro solúvel.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Água, Reuso, Reciclagem, Reutilização, Sustentabilidade.

## **INTRODUÇÃO**

Em 1984 através da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, surge o relatório Brundland, citando a expressão Desenvolvimento Sustentável, definido como aquele que atende as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem a sua necessidade e aspirações, BOFF(2015). Da forma como o desenvolvimento aflora em quase todas as comunidades, este não pode ser considerado sustentável, porém necessitamos viver, dessa forma necessitamos produzir com certo nível de crescimento e desenvolvimento, beneficiando a todos e principalmente os seres humanos, com um bem viver suficiente e decente, pressupondo que a médio e longo prazo possamos manter o capital necessário para a presente e futura geração.

Para alcançar este objetivo se busca a sustentabilidade, através de um novo modo de agir, refazendo os conceitos e as práticas em relação ao consumo de energia; uso de substâncias agressivas ao meio ambiente; consumo de água por habitante; tomar a sério o uso dos cinco “Rs” da sustentabilidade, que são: repensar, recusar, reduzir,

reutilizar e reciclar os bens consumidos, acrescentando ainda o respeitar e o redistribuir; e de fortalecer a mudança de hábitos e de consumo de produtos.

Partindo dessas premissas, nos deparamos com a necessidade de atender a demanda do município de Seabra, município brasileiro do estado da Bahia, considerada a capital da Chapada Diamantina por sediar os mais diversos órgãos estaduais e federais. Está situada a aproximadamente 930 m de altitude acima do nível do mar, apresentando em seu solo a formação e riqueza diamantífera das outras municipalidades, além de quartzolitos e metais como ferro, magnésio e barita.

A cidade é privilegiada, está situada a importante cruzamentos rodoviários com a BR 242. Em relação à hidrografia, os rios principais são o rio Cochó, rio Tejuco, rio da Prata, esse último, principal manancial que abastece o SLA de Seabra, responsável por 62% da produção de água para consumo humano, e vem apresentando redução da sua vazão em decorrência da estiagem e da degradação das suas margens devido as atividades antrópicas, afetando também a recarga dos aquíferos subterrâneos que são utilizados para o atendimento a população local, ocasionando uma redução significativa do volume ofertado, principalmente após a desativação de seis poços nos últimos 10 anos.

O município de Seabra passou a sentir, a partir de 2014, os primeiros grandes sintomas daquilo que pode ser a maior crise hídrica da história do Brasil. Nos últimos quatro meses, de acordo Tabela 01 e Tabela 02, a disponibilidade de água ofertada a população sofreu uma redução de aproximadamente 33%, passando de 123 m<sup>3</sup>/h para 83m<sup>3</sup>/h, culminando com a redução do volume ofertado e maior intermitência no abastecimento, com realização de manobras de até 15 (quinze) dias, implicando em frequentes reclamações por falta d'água.

**Tabela 01 – Situação da água ofertada no SLA Seabra**

SITUAÇÃO MANANCIAIS - SAA DE SEABRA - 02/06/2016					
LOCALIZAÇÃO	REPRESENTATIVIDADE	TIPO DE CAPTAÇÃO	VAZÃO PROJETO m <sup>3</sup> /h	OFERTA ATUAL m <sup>3</sup> /h	STATUS EM 02/06/2016
RIO DA PRATA		CAPTAÇÃO	108	0	DESATIVADO
PRATA	22%	POÇO 7	25	18	APRESENTANDO ALTO TEOR DE FERRO
LARANJEIRAS	78%	POÇO 2	34	0	PARADO POR REBAIXAMENTO DO NÍVEL DINÂMICO
		POÇO 4	12	8	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 5	18	5	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 9	18	4	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 10	6	3	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 11	9	5	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 12	40	23	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
		POÇO 18	18	0	AGUARDANDO ORDEM DE SERVIÇO PARA INICIAR OBRA
MOCAMBO		POÇO 13	25	17	EM OPERAÇÃO APRESENTANDO REDUÇÃO DE VAZÃO
CAMPESTRE	0%	POÇO 14	30	0	PARADO APRESENTANDO ALTO TEOR DE FERRO
		POÇO 16	40	0	APRESENTANDO ALTO TEOR DE FERRO
		POÇO 20	30	0	APRESENTANDO ALTO TEOR DE FERRO
<b>TOTAL</b>			<b>413</b>	<b>83</b>	

**Tabela 02 – Análise oferta e Demanda no SLA Seabra**

ANÁLISE OFERTA X DEMANDA			
SAA:	SEABRA		
<b>DEMANDA:</b>			
	jul/16		
Economias existentes	8.822		
Economias Inativas	887	10,05%	
Economias Ativas	7.935	89,95%	
Número de Economias existentes =	8822,0	unidades	
População a ser abastecida =	41463,4	habitantes	
Consumo "per capita" residencial médio anual =	100,0	L/hab.*dia	
Coefficiente de variação diária (K1) =	1,0	adimensional	
Coefficiente de variação horária (K2) =	1,0	adimensional	
Vazão de projeto (Qp) =	48,0	l/s	
	<b>172,8</b>	<b>m³/h</b>	
<b>OFERTA ATUAL:</b>			
			Vazão Média
Volume Produzido Anual	717.120 m³		83,00 m³/h
Volume Produzido Trimestral	179.280 m³		83,00 m³/h
<b>Percapita trimestral</b>		<b>48,04 l/hab.dia</b>	

Com o intuito de minimizar o impacto decorrente do desabastecimento de água na cidade de Seabra, a EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento, vem realizando uma série de investimentos com a instalação de novos poços para captação de água subterrânea, objetivando o atendimento a 8.822 economias, contudo o conjunto de poços denominados de Campestre, responsável pela oferta de 21% de água para consumo humano, apresenta elevada concentração de ferro dissolvido (Fe<sup>2+</sup>), em média 4,3 mg/L, o que compromete a qualidade da água ofertada.

A importância da água subterrânea como fator de desenvolvimento já é conhecida, uma das principais vantagens decorre do fato de ser naturalmente filtrada e depurada pelos mecanismos físicos e biogeoquímicos que ocorrem no solo e subsolo. De acordo com a visão sistêmica, as características essenciais da água subterrânea surgem das interações e das relações entre as partes componentes do sistema hídrico global.

## OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é o de apresentar o uso do conceito da sustentabilidade, com foco voltado para os 5 “Rs” da sustentabilidade, que são: repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar os bens consumidos, objetivando a remoção do teor de ferro presente na água dos poços do sistema Campestre, pertencente ao sistema local de abastecimento de Seabra-BA, com vazão de operação de 25m³/h, através da tecnologia tratamento de água por floco-decantação em manto de lodo, seguida de filtração rápida, viabilizando a oferta de água dentro dos padrões estabelecidos na Portaria 2914/11 MS, com implantação imediata e de baixo custo, de um sistema de tratamento alternativo e fácil montagem.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O projeto de uma estação de Tratamento de Água (ETA) deve ser baseado em dados de estudos de laboratório. Ainda que a qualidade da água bruta seja conhecida, podem ocorrer erros ao selecionar a tecnologia de tratamento ao adotar arbitrariamente parâmetros de projeto, Di Bernardo (2005).

Vários aspectos técnicos devem ser considerados quando da implantação de uma unidade de tratamento de água: os econômicos, ambientais, sociais, além dos recursos locais de onde será instalada a ETA. Devendo-se levar em consideração as alternativas tecnicamente sustentáveis.

A partir das técnicas existentes para remoção de ferro solúvel em águas subterrâneas, e considerando que a filtração direta ascendente proporciona a redução das dimensões da estação de tratamento, redução da quantidade de insumos químicos aplicados ao processo, filtração no sentido do grão menor para o maior (filtração perfeita), foi sugerido para o tratamento da água do poço Campestre / SLA de Seabra, devido alto teor de ferro, 4,3 mg Fe<sup>2+</sup>/L, a instalação de uma unidade de tratamento por filtração direta ascendente padrão EMBASA, de acordo Figura 01, constituída de torre de equilíbrio, filtro em aço carbono com diâmetro de 3,0 m, altura total 3,4 m, dotado de material filtrante (seixos rolados e areia selecionada), com barrilete em ferro fundido flangeado DN 200mm e válvulas de controle tipo borboleta. A vazão aduzida de 25m<sup>3</sup>/h, algo em torno de 7,0 L/s, com descargas de fundo intermediárias e lavagem do leito filtrante por conjunto motor bomba, durante quinze minutos, gerando um volume médio de efluente (água de lavagem e descargas de fundo) de 92,4 m<sup>3</sup> - 8,4m<sup>3</sup> proveniente das descargas de fundo e 84 m<sup>3</sup> para lavagem, utilizando conjunto motor bomba, centrífugo, 220/380 V, 25 CV, Q – 324 m<sup>3</sup>/h.



Figura 01 – Estação de tratamento em aço carbono padrão EMBASA – Filtração Direta Ascendente

O custo médio da unidade de tratamento do referido porte é de R\$ 100.000,00 (Cem mil reais), não estando incluso os valores referente ao sistema de lavagem e tratamento dos efluentes, tendo prazo estimado para instalação do equipamento (em caráter emergencial) de 90 dias.

#### DO SISTEMA DE TRATAMENTO IMPLANTADO

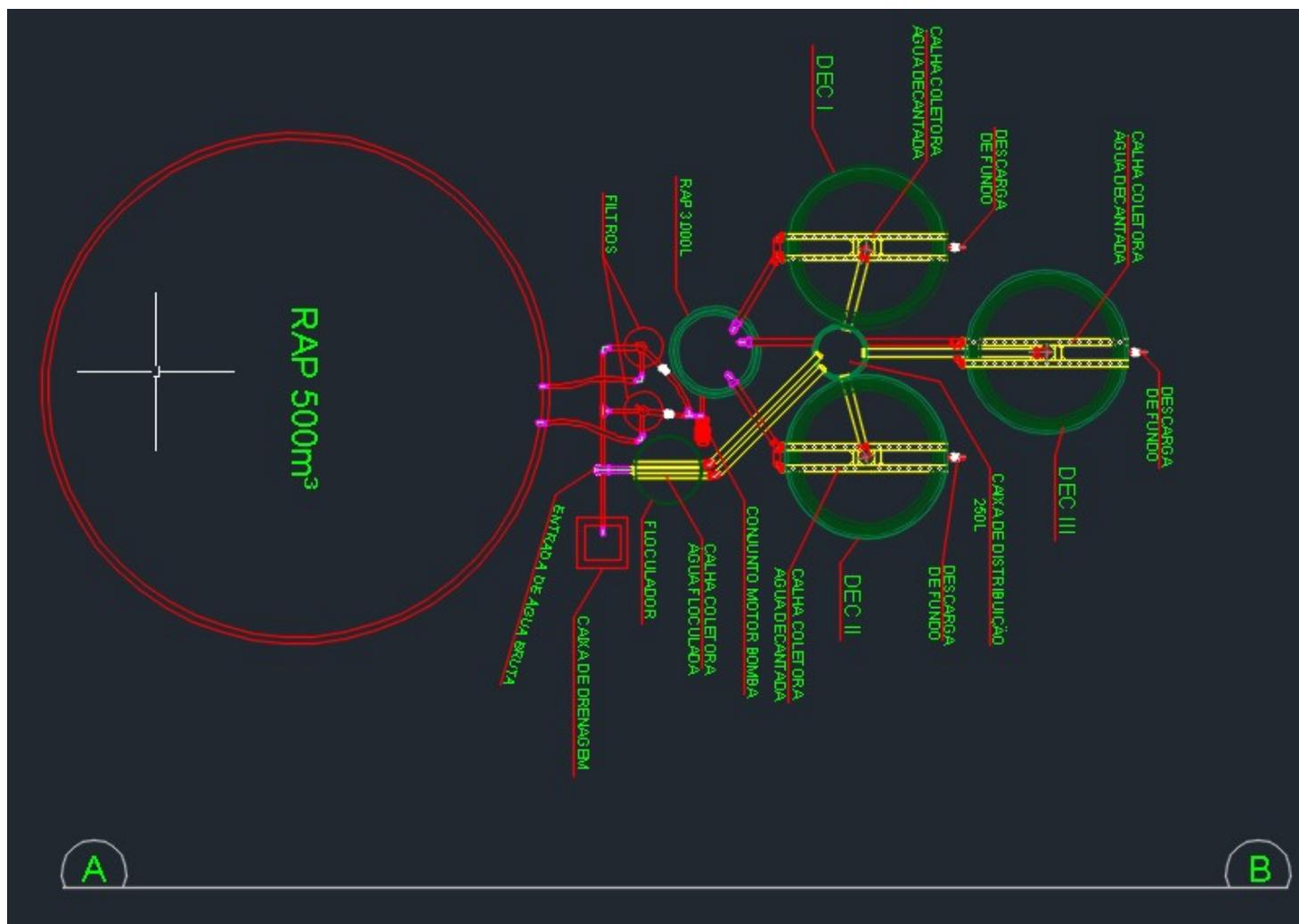
Em atendimento às necessidades de imediata implantação do sistema de tratamento e utilizando os conceitos de sustentabilidade através dos “Rs” do cidadão, a equipe de técnicos da EMBASA – Unidade Regional de

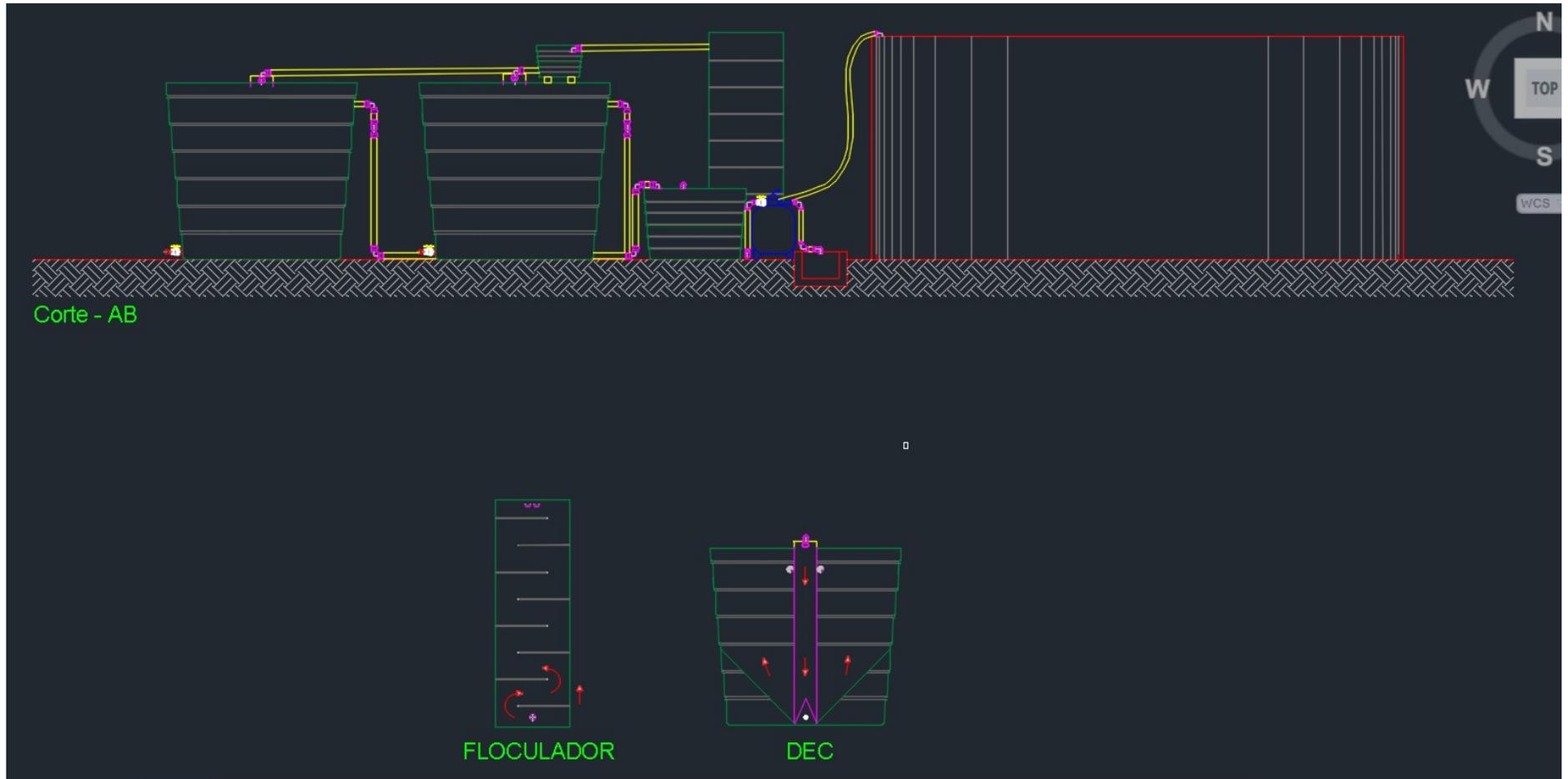


Itaberaba (UNE) em conjunto com a Unidade Regional de Feira de Santana (UNF), elaboraram um projeto de forma a agilizar a implantação do sistema e minimizar os impactos ambientais, buscando a racionalização do uso dos recursos de material, energia e água. Para tanto optou-se pelo uso da tecnologia de tratamento por floco-decantação em manto de lodo, Figura 02.

Segundo Cavazzana et al (2008) que embora por vezes empregados no tratamento de águas para fins industriais, os decantadores de manta de lodos ou floco-decantadores, nos quais a floculação e decantação ocorrem na mesma unidade, raramente encontram aplicação nos sistemas públicos de abastecimento brasileiros. Constituem-se em alternativa para redução dos custos de implantação, via redução de área, pois, nestas unidades, a água coagulada aflui em escoamento ascendente na zona de lodo, favorecendo os choques entre as partículas desestabilizadas e a conseqüente formação dos flocos.

Figura 02 – Croqui do sistema de tratamento projetado





Os floco-decantadores de manto de lodos assumem a forma prismática ou, mais comumente, de tronco de pirâmide, operando com taxas de escoamento superficial superiores aos decantadores de escoamento horizontal, atingindo 50 a 100 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> /dia, dependendo das características da água bruta, da eficiência da coagulação e do eventual uso de polímeros como auxiliares de coagulação. O projeto hidráulico dos floco-decantadores tende a reduzir a ocorrência de curtos-circuitos, a favorecer a dispersão uniforme da água coagulada e a remoção de lodo, Cavazzana et al (2008).

As unidades de floco-decantação apresentam limitações para água bruta de baixa turbidez pela dificuldade de formação do manto. Uma segunda limitação refere-se à significativa redução do tempo de detenção, usualmente inferior a 30 min, comparado ao que se verifica quando do emprego de unidades de floculação e decantadores de escoamento horizontal (2,5 h). Desta forma, eventual coagulação inadequada rapidamente manifesta-se no afluente às unidades filtrantes. Uma terceira, e menos relevante, limitação reporta-se à grande dificuldade para alteração dos gradientes de velocidade de floculação, que também vigora na quase totalidade das unidades de floculação hidráulica. Mesmo nas estações dotadas de floculação mecanizada – nas quais torna-se mais facilmente exequível a variação dos gradientes de velocidade, são raríssimos os exemplos no País e no exterior deste tipo de adequação às variações das características da água bruta, Matsumoto (2000).

Em vertente semelhante, a relevância da eficiência da coagulação eleva-se com o emprego desta tecnologia, tanto pelo menor tempo de floculação, ou de detenção no floco-decantador, quanto pela menor probabilidade da ocorrência da sedimentação diferencial no interior da unidade, este fenômeno pode suceder tanto na entrada do decantador, próximo à cortina de distribuição, quanto no interior da própria unidade. A coleta de água decantada realiza-se por tubos perfurados ou calhas de seção retangular, e a extração de lodo por descarga hidráulica. Esta concepção é praticamente inédita no Brasil, Cavazzana et al (2008).

Di Bernardo (1993) recomenda as seguintes especificações para unidades de floco-decantação:

- ✓ A adoção de velocidades da ordem de 0,15 a 0,30m/s na entrada dos decantadores e gradiente de velocidade médio menor que 20s;
- ✓ O decantador com remoção manual de lodo deve: ser provido de descarga(s) de fundo para que o esvaziamento seja efetuado em tempo menor que 6 horas; ter as descargas de fundo localizadas, preferencialmente, na zona de maior acumulação de lodo; ter o fundo com declividade mínima de 5% no sentido do local de descarga;
- ✓ Nos decantadores convencionais, com remoção de lodo, deve ser prevista uma altura adicional suficiente para acumular o lodo resultante de 60 dias de funcionamento;
- ✓ A remoção hidráulica do lodo acumulado exige o fundo inclinado com ângulo superior a 50° (com o plano horizontal) formando poço em formato de tronco de pirâmide ou de cone invertido, devendo a descarga ser localizada na sua extremidade inferior;
- ✓ A descarga deve possibilitar que o lodo seja observado;

## DA MANTA DE LODO

Quando a entrada do decantador é feita na zona de lodo, os mesmos são chamados de decantadores de manto de lodo, os quais trabalham com taxas de escoamento superficiais normalmente maiores que os de escoamento horizontal. Esse processo apresenta certas dificuldades de formação e manutenção do manto já que a há dificuldades de formação do manto para águas de turbidez menor que 50uT (Di Bernardo, 1993).

Os sistemas com unidades de decantação e floculação conjunta possuem uma zona, em meio ao manto de lodo formado, com alta taxa de encontros entre partículas, o que depende da água bruta, da eficiência da coagulação e do uso de polímeros, embora sejam encontradas ETA operando com taxas até 240 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> /dia (Di Bernardo e Dantas, 2005).

## FILTRAÇÃO

Após a passagem da água pelas etapas de mistura rápida, floculação e decantação é indispensável a utilização de filtros de areia no tratamento de água para abastecimento. Existem as técnicas de filtração lenta ascendente e descendente, filtração rápida descendente e dupla filtração. O objetivo dessa etapa consiste em remover partículas suspensas, coloidais e microorganismos pela passagem da água por um meio poroso, a areia. De forma geral os filtros podem remover partículas através de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento. O bom desempenho dessas unidades depende basicamente de um arranjo adequado à água e à taxa de filtração e técnica que se deseja trabalhar, bem como de uma boa coagulação (Di Bernardo e Dantas, 2005 e Di Bernardo et al., 2003).

## DESCRIÇÃO DO SISTEMA IMPLANTADO E CÁLCULOS HIDRÁULICOS

A unidade idealizada e instalada através dos conceitos dos “Rs” do cidadão, é constituída de sistema de recalque de água a partir do Poço Campestre, onde se aplica a solução a base de hipoclorito de cálcio a 65% de cloro ativo, como oxidante do ferro solúvel, com preparo da solução em reservatório de 100L, a uma concentração de 1,3 % (relação massa/ massa), sendo dosado 4,0 mg/L de cloro livre através de bomba dosadora injetado na adutora em DN 150mm em DEfofo, saída do poço.

Ao chegar à unidade de tratamento é adicionada uma solução de sulfato de alumínio líquido comercial, com dosagem média de 95mg/L. Em seguida o fluxo é direcionado para uma câmara de mistura que foi idealizada a partir do reaproveitamento de um reservatório tipo garrafa, assentado sobre uma estrutura de madeira para ganhar nível e permitir a melhor distribuição do fluxo para unidades subsequentes, possuindo as seguintes dimensões: diâmetro 1,4 m, altura 3,5 m, Figura 01. No seu interior foram instaladas 05 placas na forma de chicanas, afastadas a 0,5m, sendo a partir da segunda câmara aplicada a solução de polímero não iônico, com dosagem de 0,09 mg/L, através de bomba dosadora e preparo da solução a uma concentração de 1% com mistura contínua.

Após a passagem pela câmara de mistura o fluxo é conduzido para um reservatório de 250L, reutilizado de uma unidade de preparo de soluções químicas de uma unidade de tratamento de água da UNE, e instalado sobre os floco-decantadores, o qual é dotado de dispositivos de distribuição da água que permite o ajuste da vazão para cada unidade de floco-decantação, Figura 01.

As três unidades de floco-decantação foram adaptadas a partir do reuso de reservatórios cap. 25m<sup>3</sup>, desativados de sistemas de abastecimento de água pertencentes a UNE, sendo encaminhados para uma fábrica de compósitos em fibra para montagem dos cones invertidos de troco pirâmide, com angulação de 500, altura de 1,6m, descarga de fundo em DN 110mm, de forma a possibilitar a remoção do excesso do lodo de fundo. As descargas de fundo foram montadas reaproveitando os tocos de tubos, sobras de serviços de manutenção das rede de distribuição do SIAA de Seabra.

No interior dos floco-decantadores foram instalados tocos de tubos DEfofo, DN 400 mm, danificados e reutilizados como duto distribuidor, assentados na vertical para proporcionar um fluxo ascendente no interior das unidades de tratamento. Os condutos são dotados de 03 janelas inferiores para distribuição do fluxo de forma simultânea, nas dimensões 0,25m x 0,4m, possibilitando uma velocidade de 0,023 m/s na saída do tubo distribuidor, Figura 02.

Os equipamentos possuem dimensões desuniformes, sendo elas: uma com 3,0 m de diâmetro e 3,3 m de altura; o segundo com 2,80 m de diâmetro e 3,5 m de altura, já o terceiro com 2,9m de diâmetro e 3,6m de altura. Dessa forma foi estabelecida uma área média para e calculado uma taxa de escoamento superficial, de acordo Equação 06.

Taxa de escoamento superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d):

$$Txs = Q \text{ (vazão m}^3\text{/d)} / A \text{ (área média em "m"}^2\text{)} \quad \text{equação (06)}$$

Área média: 6,6 m<sup>2</sup>/módulo;

Vazão: 600m<sup>3</sup>/d.

Taxa de escoamento superficial média: 30,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

Os filtros dimensionados em função da obtenção da baixa taxa aplicada nas unidades de floco-decantação, o que permitiu aplicar velocidades de filtração bem mais elevadas, permitindo o reuso de filtros utilizados em piscinas, dotados de leito simples, com material de tamanho efetivo (Te) variando entre 0,6 a 0,9 mm e coeficiente de uniformidade (Cu) < 1,6, e área total de 0,73m<sup>2</sup>, para uma taxa de filtração, conforme Equação 06, de 827,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. As unidades de filtração são acionadas por manuseio válvula de múltiplas vias, tipo alavanca, utilizando o mesmo sistema de recalque de água decantada para lavagem das unidades de filtração, Figura 04.



Figura 01 – Montagem da unidade de tratamento



Figura 02 – Estrutura de distribuição do fluxo nos floco-decantadores e Tronco de pirâmide invertido



Figura 03 – Sistema de preparo das soluções químicas, tanque de preparo através do reuso de bombonas utilizadas para armazenar azeítonas.



Figura 04 – Unidades de filtração reutilizadas e sob a bancada da unidade de mistura o conjunto motor bomba recuperado no Núcleo de Seabra.

O sistema de recalque de água decantada e lavagem das unidades de filtração foi disponibilizado pela equipe avançada da UNE/Seabra, e montado sob a bancada de sustentação do módulo de mistura, Figura 04, constituído de motor trifásico 220/380 V, vazão de recalque de 25 m<sup>3</sup>/h para altura de 20 m.c.a.

Em toda a unidade de tratamento foram utilizados tubos, em PVC, branco, DN 100, espessura da parede 3,0 mm, reaproveitados a partir da disponibilidade no almoxarifado da UNE, e que estavam sem perspectiva de uso.

Para obtenção das dosagens de coagulantes foram feitos ensaios de bancada (jarro teste) e ajustadas à vazão de tratamento, a partir das correlações hidráulicas de cada uma da etapa do tratamento. Na determinação geral para cálculo das características hidráulicas - gradientes de velocidade e tempos de detenção, foram dimensionados, como descrito a seguir;

### UNIDADE DE MISTURA

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \text{Área m}^2 \times \text{Altura H (m)} \quad \text{equação (07)}$$

$$\text{Volume: } 5,23 \text{ m}^3$$

Gradiente de velocidade em um compartimento hidráulico é dado por:

$$G = \sqrt{gh / Vt} \quad \text{equação (08)}$$

Onde: G: gradiente de velocidade, s<sup>-1</sup>; g: aceleração da gravidade, s<sup>-1</sup>; h: soma das perdas de carga na estrada do compartimento, m; V: velocidade cinemática m<sup>2</sup>/s; t: tempo de detenção no compartimento, s.

$$h = K \times v^2 / 2g \quad \text{equação (09)}$$

$$v = 0,0354 \text{ m/s na câmara de mistura (05 câmaras)}$$

$$K = 1,0$$

$$h = 6,394 \times 10^{-5} \text{ ou } 3,197 \times 10^{-4} \text{ m para o módulo}$$

Tempo de detenção no tronco de pirâmide conforme equação (TDH):

$$\text{TDH : Volume (m}^3\text{)} / Q \text{ (m}^3\text{/h)} \quad \text{equação (10)}$$

$$\text{TDH} = 12,55 \text{ minutos ou } 753 \text{ s ou } 150,6 / \text{ câmara}$$

Aplicando equação 08: Gradiente de velocidade na entrada do tronco de pirâmide será:  $G = 4,56 \text{ s}^{-1}$

### FLOCO-DECANTADOR EM MANTA DE LODO:

Número de floco-decantadores: 03

Volume do tronco de pirâmide:

$$V = h / 3 \times (A_B + \sqrt{A_B \cdot A_b} + A_b) \quad \text{equação (07)}$$

Onde: h: é a altura do tronco de pirâmide; A<sub>B</sub>: Área da base maior; A<sub>b</sub>: Área da base menor.

$$A_B = 4,91 \text{ m}^2; A_b = 0,28 \text{ m}^2; h = 1,6 \text{ m}$$

$$\text{Volume médio} = 3,4 \text{ m}^3$$

Gradiente de velocidade em um compartimento hidráulico é dado por:

$$G = \sqrt{gh / Vt} \quad \text{equação (08)}$$

Onde: G: gradiente de velocidade, s<sup>-1</sup>; g: aceleração da gravidade, s<sup>-1</sup>; h: soma das perdas de carga na estrada do compartimento, m; v: velocidade cinemática m<sup>2</sup>/s; t: tempo de detenção no compartimento, s.

$$h = K \times v^2 / 2g \quad \text{equação (09)}$$

$$K = 1,0$$

$$h = 1,65306 \times 10^{-5}$$

$$v = 0,018 \text{ m/s no tronco de pirâmide.}$$

Tempo de detenção no tronco de pirâmide conforme equação (TDH):

$$\text{TDH} : \text{Volume (m}^3\text{)} / Q \text{ (m}^3\text{/h)} \quad \text{equação (10)}$$

$$\text{TDH} = 24,5 \text{ minutos ou } 1470 \text{ s}$$

Aplicando equação 08: Gradiente de velocidade na entrada do tronco de pirâmide será:  $G = 3,7\text{s}^{-1}$

Tempo de detenção médio nas unidades de floco-decantação, considerando a equação 10, é de 2,64 horas

## RESULTADOS

O sistema instalado foi dimensionado para operação com baixas taxas de escoamento superficial, utilizando a metodologia de decantação tipo Dortmund, associada à floco-decantação em manta de lodo. Em uma das unidades foram instalados módulos tubulares com o objetivo de viabilizar o estudo com o uso de taxas mais elevadas.

O sistema por floco-decantação vem se comportando em conformidade ao especificado nas literaturas mencionadas, atendendo aos requisitos recomendados da NBR 12216, para o tempo de detenção de floculação hidráulicos de 37,4 minutos, com gradiente de floculação menor que  $10 \text{ s}^{-1}$ . Por se tratar de água de manancial subterrâneo se fez necessário o uso de um auxiliar de floculação, pois a tecnologia proposta apresenta melhores resultados quando da presença de sólidos suspensos (turbidez) na água bruta.

A operação em baixas velocidades possibilita a formação do manto de lodo mais adensado, contribuindo para um menor número de descargas de fundo nos floco-decantadores, além do uso da filtração em alta taxa e carreiras de filtração mais longas – realizado 36 horas. Consequentemente menor perda no processo, mesmo não contando com sistema de tratamento dos efluentes, e maior oferta de água tratada.

O bom funcionamento da unidade de tratamento, em conformidade com os parâmetros recomendados possibilitaram uma redução do consumo de energia, pois se levamos em consideração o pressuposto para uma unidade de filtração ascendente, além da necessidade de termos um sistema para recalque da água tratada, também será necessário o uso de uma elevatória para realização dos procedimentos de lavagem da unidade de filtração, demonstrado na Tabela 04 e evidenciado na Figura 05.

**Tabela 03 – Parâmetros de qualidade**

Parâmetro	Água Oxidada	Água Decantada			Água Tratada
		Floco-Dec. 01	Floco-Dec. 02	Floco-Dec. 03	
Cor (mg/L)	120	15	12,5	12,5	< 10
pH	6,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Alcalinidade(mg/L)	95,0	68	68	68	6,8
Turbidez (uT)	8,7	2,4	1,8	1,6	0,3
Ferro solúvel	4,3	0,2	0,15	0,15	0,1



Figura 05 – Saída de água da unidade de filtração

É importante que se busque uma reavaliação dos insumos químicos aplicados ao processo, pois o ferro na forma que se encontra no poço do Campestre, é facilmente oxidado pelo oxigênio atmosférico, e o uso de um venture na saída do sistema de recalque de água bruta, utilizando o potencial hidráulico do sistema, poderá ser suficiente para a completa oxidação do  $Fe^{2+}$ . Salientamos a necessidade de correção do pH de saída do sistema de tratamento, passando a atender ao que recomenda a Portaria 2914/11 do MS – pH: 6,0 a 9,5.

A Tabela 04 apresenta um comparativo da unidade instalada com a proposta de instalação de um sistema por filtração direta ascendente.

Tabela 04 – Comparativo entre as tecnologias de tratamento

Tipo de Tratamento	Custos Diretos com a Implantação do Sistema R\$	Volume de Efluente Gerado (m³)	Consumo de Insumos Químicos			Prazo para Instalação	Consumo Médio de Energia - Operação 24 horas (KWh/mês)
			Oxidante (Kg/mês)	Coagulante (Kg/mês)	Polímero (Kg/mês)		
Floco-Decantação em Manto de Lodo	31.000,00	11,0	432	1710	1,6	15 dias	3744
Filtração Direta Ascendente	140.000,00	92,4	432	1111	-	90 dias	3863

Comparado a alternativa implementada com a filtração direta ascendente, são evidentes os ganhos ambientais e como necessitamos viver e produzir, os dispêndios econômicos também foram levados em consideração, como os evidenciados na Tabela 04, onde verifica-se que com o uso dos “Rs” do cidadão obtivemos uma economia significativa de matérias e recursos, além do menor consumo energético na operação do sistema de tratamento implantado.

O teor de cloro livre na saída do decantador de 1,0 mg/L, confirma o observado por Di Bernardo (2003), uma vez que a dosagem aplicada na água bruta é de 4,0 mg/L, com demanda de 3,0 mg/L, que é compatível com teor de ferro solúvel presente na água captada - 4,3 mg/L, Tabela 02.

É importante que se realize a montagem do sistema de tratamento de efluentes e repense o tipo de coagulante que está sendo utilizado. O resíduo da remoção de ferro associado a um coagulante orgânico pode ser utilização para a fertirrigação em culturas que são ávidas por ferro, a exemplo do coco, soja, café, cacau e dendê.

É importante testes com a substituição do leito de areia dos filtros rápidos, por zeólito, elemento mineral utilizado em unidades de filtração com o objetivo de proporcionar melhor qualidade do efluente filtrado, em especial em águas que apresentam ferro solúvel.



**Figura 06 – Descarga de lodo do floco-decantador**

## **CONCLUSÕES**

A colaboração entre os técnicos da Unidade Regional de Itaberaba e Unidade Regional de Feira de Santana da EMBASA permitiu o uso de técnicas de tratamento de água já difundidas na empresa, mas com uma nova abordagem, focada na sustentabilidade. A introdução dos conceitos dos cinco "Rs" da sustentabilidade possibilitou resultados extremamente satisfatórios, considerando o baixo custo de investimento e a qualidade da água obtida, além dos ganhos ambientais com menor consumo energético, uso reduzido de matérias-primas e impacto ambiental minimizado.

É fundamental acompanhar o sistema instalado e realizar melhorias contínuas para reduzir ainda mais o impacto ambiental e aumentar a produção de água, o que ajudará a minimizar a deficiência do sistema de abastecimento de água de Seabra. A abordagem sustentável apresentada nesse estudo pode servir de exemplo para outras empresas e municípios enfrentando desafios semelhantes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. NBR 12216. ABNT. Rio de Janeiro-RJ. 1992;
2. BOFF, L. Sustentabilidade – O que é. O que não é. Editora Vozes, Rio de Janeiro, 2015;
3. DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água - 2 vol, ABES, Rio de Janeiro, 1993.;
4. DI BERNARDO, L. Tratamento de água por filtração direta - ABES, Rima, Rio de Janeiro, 2003;
5. DI BERNARDO, L. e DANTAS, A. D. - Métodos e técnicas de tratamento de água - 2 vol, Rima. 2ed. São Carlos, São Paulo, 2005;
6. FENZL, Nobert. Introdução à hidrogeoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém, 1986;
7. GIAMPÁ, Carlos E. et al. Águas subterrâneas e poços tubulares profundos, São Paulo, Signus Editora, 2006;
8. LIBÂNIO, M.. Técnicas de tratamento de água. 2008;
9. LIBÂNIO, M. et al. Avaliação das perspectivas de remoção de pesticidas organo clorados Estações de Tratamento de Água - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXIII, 19 a 23 de setembro, Campo Grande, MS, Anais em CD-ROM. 2005.
10. LIMA, J. D. L. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil, João Pessoa, Inspira Comunicação e Design. 2005;
11. MATSUMOTO, T. e GUILHERME, C. M. Comportamento do decanto-floculador de manta de lodo e Decantador de Alta Taxa no Tratamento de Água de Abastecimento Utilizando Sulfato de Alumínio e Diferentes Polieletrólitos - In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre, Brasil, Anais em CD ROM. 2000
12. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2011) - Portaria nº2914. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências;
13. VIANNA, Marcos Rocha. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. Nova Lima, 2014.