

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THALITA PEREIRA DELDUQUE

**REAPROVEITAMENTO DE QUEBRAS DE BLOCOS DE CERÂMICA  
VERMELHA COMO ELEMENTO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

THALITA PEREIRA DELDUQUE

**REAPROVEITAMENTO DE QUEBRAS DE BLOCOS DE CERÂMICA  
VERMELHA COMO ELEMENTO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para graduação do curso superior de Engenharia ambiental da Coordenação de Ambiental – COEAM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão – PR, como requisito para obtenção do título Engenheira Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Morgana Suszek  
Gonçalves  
Co-Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**REAPROVEITAMENTO DE QUEBRAS DE BLOCOS DE CERÂMICA VERMELHA  
COMO ELEMENTO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

por

**THALITA PEREIRA DELDUQUE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 17 de dezembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Morgana Suszek Gonçalves

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maricir Cristina de Souza

---

Prof Dr Rafael Montanhini Oliveira

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus o qual me guia com discernimento em todos os passos da minha vida, agradeço por não me deixar desanimar.

À minha família pelo apoio, em especial aos meus pais, Hugues Delduque e Maria Inez Pereira Delduque, pela confiança, dedicação e que inúmeras vezes me confortaram com sábias palavras em momentos de angústia. Espero um dia poder retribuir por tudo que fizeram e fazem por mim.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Eudes José Arantes e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Morgana Suszek Gonçalves, pela confiança, orientação, ensinamentos, atenção e dedicação durante o tempo que trabalhamos juntos, sempre disponíveis a compartilhar experiências comigo.

Em especial a minha ex-orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elizabete Satsuki Sekine pelos ensinamentos nos primeiros anos de pesquisa, sempre com muita paciência e dedicação em todo tempo que estávamos trabalhando juntas, por toda admiração e carinho.

À banca examinadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maricir Cristina de Souza e Prof. Dr. Rafael Montanhini Oliveira, sempre por perto durante a pesquisa contribuindo com novas ideias, sugestões e contribuição.

Aos professores da Coordenação de Engenharia Ambiental, assim como de outras coordenações pela boa vontade e ensinamentos transmitidos.

Aos companheiros de laboratório Amanda Zuntini e Maiko Cristian Sedoski pela colaboração e toda paciência durante o experimento.

Aos meus amigos Henrique, Mariana, Gabriele, Hemily, Suzana e Letícia que pude conviver diariamente tornando essa jornada mais divertida sobretudo nos momentos difíceis, obrigada pelo companheirismo e colaboração, principalmente nos últimos períodos da graduação, contribuindo sempre com palavras de incentivo.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão, que forneceu estrutura física para que este trabalho fosse realizado.

A todos, muito obrigada!

## RESUMO

DELDUQUE, T. P. **Reaproveitamento de quebras de blocos de cerâmica vermelha como elemento filtrante no tratamento de água.** 2014. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

O presente trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade da utilização de cerâmica vermelha como elemento filtrante para o tratamento de água, a fim de comparar com o carvão antracito e areia, material usualmente não renovável. Os ensaios foram realizados em um módulo experimental que simula as fases de uma estação de tratamento de água (coagulação, floculação, sedimentação e filtração). O filtro 1 funcionou com filtração direta de fluxo descendente, em uma caixa acrílica com largura e comprimento de 12 cm e altura de 30 cm, enquanto o filtro 2 funcionou em uma seção de tubo de PVC com 60 cm de comprimento, com diâmetro interno de 19 mm. O sistema que operou sobre o filtro foi alimentado com vazão constante na sua extremidade superior para evitar variações no nível da água, realizada pelo sistema interno do simulador. A partir de quatro ensaios realizados no filtro 1 e cinco ensaios no filtro 2. Observou-se que as quebras de blocos de cerâmica vermelha apresentam possível potencial para o emprego como elemento filtrante no tratamento de água. Nos dois filtros estudados os resultados demonstraram que os leitos de cerâmica britada com auxílio de carvão antracito atingiram até 99,27% de eficiência global, apresentando desempenho superior na remoção de turbidez em relação ao uso de areia ou areia com antracito. Dos nove ensaios realizados quatro apresentaram enquadramento parcial à Portaria N<sup>o</sup> 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Recomenda-se que os experimentos sejam testados em escalas reais com maior precisão.

**Palavras-chave:** Tratamento de água, filtração, cerâmica vermelha.

## ABSTRACT

DELDUQUE, T. P. **Reuse of red ceramic blocks broken as filtering element for water treatment.** 2014. 55f. Completion of Course Work (Bachelor of Environmental Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2014.

This study aimed to verify the possibility of using red ceramic as filters for water treatment in order to compare with the anthracite coal and sand, resource usually not renewable. The tests were performed in an experimental simulation module phases of a water treatment (coagulation, flocculation, sedimentation and filtration). The filter 1 operated with direct downward flow filtration in an acrylic box, width and length of 12 cm and 30 cm, while the filter 2 operated in a PVC pipe section of 60 cm in length with an internal diameter of 19 mm. The system, which operated on the filter, was fed with a constant flow rate at its upper end to prevent variations in the water level, performed by the internal simulator system. After four trials carried out on the filter 1 and five trials on filter 2, it was verified that 4 of 9 tests performed fell into place partially in N° 2.914/2011 Decree. It was observed that the red ceramic blocks breaks could have potential for use as filters for water treatment. In both filters studied the results showed that the crushed ceramic beds with anthracite coal aid amounted to 99.27% overall efficiency, with superior performance in removing turbidity regarding the use of sand or sand with anthracite. It is recommended for the experiments to be tested in realistic scales with greater accuracy.

**Keywords:** water treatment, filtration, red ceramic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triturador de solos para britagem da cerâmica vermelha.....	20
Figura 2 - Malhas granulométricas utilizadas para a construção dos filtros 1 e 2. ....	21
Figura 3 – Granulometria do carvão antracito utilizado na percolação posterior da cerâmica vermelha.....	21
Figura 4– Disposição do material granulométrico separadamente no filtro 1 para os ensaios 1A e 1B. ....	23
Figura 5 - Estrutura do filtro 1 com cerâmica vermelha e carvão antracito dos ensaios 2A e 2B.....	23
Figura 6 – Materiais utilizados para a construção do segundo filtro piloto.....	25
Figura 7 – Estrutura do filtro 2. ....	25
Figura 8 – Equipamento para experimento de Sedimentação.....	27
Figura 9 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 1A.....	29
Figura 10 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 1A. ....	31
Figura 11 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 1A.....	31
Figura 12 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 1B.....	32
Figura 13 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 1B. ....	33
Figura 14 - Eficiência global do sistema para o Ensaio 1B. ....	34
Figura 15 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 2A.....	35
Figura 16 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 2A. ....	35
Figura 17 – Eficiência global do sistema no Ensaio 2A.....	36
Figura 18 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 1: 2B. ...	37
Figura 19 - Vazão após o filtro observada durante o ensaio 2B. ....	38
Figura 20 – Eficiência global do sistema no Ensaio 2B.....	38
Figura 21 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 2: 3A.....	39
Figura 22 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 3A. ....	40
Figura 23 – Eficiência global do sistema no Ensaio 3A.....	40
Figura 24 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: 3B. ....	41
Figura 25 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 3B. ....	42
Figura 26 – Eficiência global do sistema no Ensaio 3B.....	42
Figura 27 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: 4A. ....	43
Figura 28 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 4A. ....	44
Figura 29 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 4A.....	44
Figura 30 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: Ensaio 5A.....	45
Figura 31 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 5A. ....	46
Figura 32 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 5A.....	46
Figura 33 - Turbidez da água no reservatório, sedimentador e Filtro 2- Ensaio 6A.....	47
Figura 34 - Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 6A. ....	48
Figura 35 – Eficiência total do sistema no Ensaio 6A.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica

ETA – Estação de Tratamento de água

E.G. – Eficiência global do sistema (%)

PMMA – Polimetil-metacrilato (acrílico)

RCC – Resíduo da Construção Civil

T. Cerâmica – Turbidez após percolação do filtro de cerâmica (uT)

T. Cerâmica e C. A. – Turbidez após percolação do filtro de cerâmica e carvão antracito (uT)

T. inicial – Turbidez no sedimentador (uT)

T. final – Turbidez no filtro (uT)

uT – Unidade de Turbidez

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
3.1 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS.....	12
3.2 TRATAMENTO NÃO CONVENCIONAL DE ÁGUAS.....	12
3.3 CLASSIFICAÇÕES DE SISTEMAS DE FILTRAÇÃO .....	13
3.3.1 Filtração Rápida Descendente e Ascendente .....	13
3.3.2 Pré filtro.....	14
3.3.3 Filtração Lenta.....	14
3.4 MATERIAIS FILTRANTES .....	15
3.5 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	15
3.6 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA.....	16
3.6.1 Impactos Ambientais da Cerâmica Vermelha.....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
4.1 PREPARAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA.....	19
4.2 ACONDICIONAMENTO E MANIPULAÇÃO DO MEIO FILTRANTE .....	22
4.3 MONTAGEM DOS FILTROS .....	22
4.4 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO .....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
5.1 FILTRO 1: ENSAIOS 1A E 1B.....	29
5.1.1 Ensaio 1A .....	29
5.1.2 Ensaio 1B .....	32
5.2 FILTRO 1 : ENSAIO 2A E 2B.....	34
5.2.1 Ensaio 2A .....	34
5.2.2 Ensaio 2B .....	37
5.3 FILTRO 2 – ENAIOS: 3A, 3B, 4A, 5 A e 6A .....	39
5.3.1 Ensaio 3A .....	39
5.3.2 Ensaio 3B .....	41
5.3.3 Ensaio 4A .....	43
5.3.4 Ensaio 5A .....	45
5.3.5 Ensaio 6A .....	47
5.4 RESULTADOS GERAIS.....	49
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>51</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Entre os problemas da sociedade atual, destaca-se o alto crescimento populacional, como consequência encontra-se a geração demasiada de resíduos, os quais nem sempre possuem disposição final adequada, como exemplo os resíduos de construção civil. A valorização do preço do resíduo de construção civil e o descarte inadequado no meio ambiente lançam um desafio em busca de opções sustentáveis, a fim de reduzir custos para as empresas e viabilizar estudos de formas alternativas de reaproveitamento destes resíduos no tratamento da água (ZANATTA, 2013).

Com o reuso da cerâmica vermelha no emprego para meio alternativo no tratamento de água, destaca-se a diminuição dos impactos ambientais na extração de argila e na sua fabricação, reduzindo o custo de mineração do material filtrante convencional (areia e carvão antracito) e impactos gerados na fabricação dos blocos de cerâmica vermelha, assim como a diminuição do volume descartado dos resíduos da construção civil.

Segundo Zanatta (2013), o setor cerâmico tem vantagens, pois grande parte de seus resíduos é sólida e proporcionam facilidade de transformação, sendo comum empresas cerâmicas utilizarem seus próprios resíduos em substituição a matérias-primas, o que se torna uma opção atrativa do ponto de vista tanto ambiental quanto econômico. Como exemplo, Modesto et. al. (2006) comentam que em diversos países, a totalidade dos resíduos sólidos gerados é reempregada no processo produtivo, atingindo maior eficiência com custos reduzidos, diminuindo também o uso das matérias-primas não renováveis.

A água é uma substância indispensável para todo ser vivo, e seu tratamento tem por finalidade adequar as características físico-químicas e biológicas visando eliminar riscos à saúde humana (DI BERNARDO et al, 2003).

Segundo Zanatta (2013), a alta demanda pela qualidade de água, juntamente com a dificuldade de atendimento e escassez, tem atingido proporções alarmantes, impulsionando formas alternativas para a aplicação e desenvolvimento de outros materiais sustentáveis como elementos filtrantes no tratamento, enfocando na viabilidade e redução de custos para a eliminação de agentes patogênicos.

Segundo o documento elaborado pelo Rio + 20 em 2012, apesar de 89% da população mundial utilizar fontes tratadas de água, 783 milhões de pessoas não tem

acesso à água potável, onde 80% da população mundial vive em áreas com alto risco de ameaça à segurança da água, onde as ameaças mais graves afetam 3,4 bilhões de pessoas, quase todas nos países em desenvolvimento (ONU, 2012).

Apesar da diversidade técnica para o tratamento da água, percebe-se que todas as tecnologias de tratamento englobam basicamente as mesmas etapas, sendo a mais tradicional conhecida como “tratamento completo”, denominada assim, pois grande parte das tecnologias de tratamento em maior ou menor grau, descende desta, composto das seguintes fases: mistura, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Assim, o que diferencia o “tratamento completo” das tecnologias dele derivadas são os parâmetros operacionais aplicados ou não nas etapas (LEME, 1979).

Nesta perspectiva, este trabalho vem por objetivo avaliar o reaproveitamento de quebras de bloco de cerâmica vermelha, conhecido popularmente como tijolo, como elemento filtrante, no tratamento de água.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a possibilidade da utilização de resíduos de cerâmica vermelha como elemento filtrante para o tratamento de água.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar dois aparatos experimentais para um sistema de filtração, utilizando como meio filtrante quebras de cerâmica vermelha, areia e carvão antracito;
- Avaliar comparativamente a eficiência de remoção de turbidez entre os filtros com antracito, areia e cerâmica vermelha;
- Verificar se os resultados obtidos se enquadram aos padrões de potabilidade da Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS

No tratamento convencional de águas de abastecimento, a primeira alteração após captação da água bruta, ocorre pela adição do agente oxidante, o cloro ou produto similar, para tornar insolúveis os metais presentes como o ferro e manganês e oxidar a matéria orgânica para facilitar a remoção das próximas etapas (JULIAO, 2011).

Após, ocorre a coagulação, com a dosagem de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, com a finalidade de coagular as matérias particuladas, desestabilizando os coloides presentes na água, e permitindo que se aglutinem e formem flocos, sendo separados na sedimentação ou na filtração (ALCANTRA, 2010).

Os ensaios de floculação também podem ser realizados em laboratórios utilizando os aparelhos de Jar Test ou Teste de Jarros, que permitem a escolha do tipo de coagulante e dosagem ideal, auxiliando na escolha para cada condição ensaiada, permitindo a análise da qualidade da água tratada após a separação dos sólidos floculados, pela sedimentação ou filtração (PIVELI, 2010).

Posteriormente na fase de decantação, os flocos formados na floculação são separados da água ao se sedimentar pela força gravitacional, ocorrendo a separação dos sólidos da água decantada que é encaminhada para os filtros, classificados em função do sentido do fluxo, em descendentes ou ascendente, e em função da velocidade de filtração em rápidos ( $120$  a  $360\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) ou lentos ( $3$  a  $14\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) (BOTELHO, 2003).

#### 3.2 TRATAMENTO NÃO CONVENCIONAL DE ÁGUAS

Segundo Di Bernardo (2003), o uso da filtração direta no Brasil é a tecnologia que possui maior alcance, onde os filtros são as únicas unidades

responsáveis pela retenção do material em suspensão na água. Entretanto, nas ETAs de ciclo completo, ocorre a retenção das partículas não removidas nos decantadores ou flutuadores, sendo que a filtração direta é dupla: ascendente e descendente.

Relacionando a filtração direta com o tratamento convencional, as vantagens ocorrem pela menor quantidade de unidades, pois no tratamento convencional há unidades de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação e filtração, enquanto a filtração direta possui apenas coagulação, floculação e filtração. Além do menor espaço de instalação, diminui a utilização de produtos químicos, custos de operação, manutenção e geração de lodo (DI BERNARDO, 2003).

### 3.3 CLASSIFICAÇÕES DE SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

#### 3.3.1 Filtração Rápida Descendente e Ascendente

A filtração descendente é caracterizada pela percolação da água na camada filtrante de cima para baixo, e do material mais fino para o mais grosso, onde a lavagem do filtro é feita com intervalos de 20 a 40 horas dependendo das propriedades da água bruta, enquanto a filtração de fluxo ascendente funciona em sentido contrário, com fluxo de baixo para cima, dispensando a floculação e a decantação, sendo adicionado um coagulantes pouco minutos antes da filtração, a lavagem é realizada com uma corrente de água no mesmo sentido da filtração (BOTELHO, 2003).

Na filtração rápida, surge a necessidade de uma maior vazão no caso de maior demanda de atendimento, a retenção das impurezas ocupa o meio filtrante ao longo de toda sua profundidade, não se concentrando apenas no topo como na filtração lenta, classificadas em: filtração de fluxo descendente de camada simples (areia) e de camada dupla (areia e antracito) (JULIAO, 2011).

Na filtração rápida descendente, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, e no processo de clarificação a filtração se torna essencial, denominada barreira sanitária do tratamento (BOTELLO, 2003).

### 3.3.2 Pré filtro

O pré-filtro é considerado como pré-tratamento para a filtração lenta, pois retém partículas sólidas e impurezas, diminuindo a carga bacteriológica da água bruta. É usualmente empregado junto às captações e pode ser classificado segundo a direção e o sentido do fluxo, em pré-filtro de fluxo horizontal, pré-filtro de fluxo vertical descendente e pré-filtro de fluxo vertical ascendente (BOTELLO, 2003).

### 3.3.3 Filtração Lenta

A filtração lenta, não possui instalações para o manuseio de produtos químicos, caracterizado pelas baixas taxas de filtração (3 a 9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), distinto ao desempenho de filtros rápidos devido à camada superficial do filtro ser responsável pelo principal mecanismo de filtração. A baixa taxa permite a formação de uma camada biológica, composta por bactérias, algas e plâncton, tendo função bactericida (BOTELHO, 2003).

### 3.3.4 Carreira de Filtração

Durante a filtração, pode ocorrer a interrupção por uma carreira de filtração, que consiste no tempo entre o início da operação e o momento da retirada do filtro para lavagem, ocorre em função da transparência da turbidez (ou outra característica da água filtrada), e pela igualdade entre a perda de carga total e a carga hidráulica disponível. A carga hidráulica disponível ideal da filtração corresponde para a qual o final da carreira de filtração ocorre simultaneamente com a perda de carga-limite e turbidez-limite (DI BERNARDO, 2003).

### 3.4 MATERIAIS FILTRANTES

Entre os meios utilizados no processo de filtração encontra-se o de areia ou antracito, de camada simples (única camada), antracito e areia (camada dupla) e antracito, areia e granada (tripla camada), ocorrendo em meio granular de acordo com a necessidade do tratamento.

A Norma ABNT EB-2097 (1990), caracteriza as condições para o recebimento e colocação de material filtrante (areia, antracito e pedregulho) como camada de suporte em filtros de abastecimento público de água, estabelecendo o uso de parâmetros físicos na classificação desses componentes.

O desempenho melhor se encontra no filtro de antracito, possui função superior aos outros, devido sua alta retenção de materiais sólidos em suspensão, como algas, materiais orgânicos, areias finas e partículas de silte. Devido a sua capacidade de coletar esses contaminantes ao longo da trajetória percorrida nas camadas, possuindo vantagens ao se comparar com filtros de poliuretano e disco, apesar de requerer maior número de retrolavagens (TESTEZLAF, 2008).

### 3.5 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução nº 307 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, provenientes de reformas, reparos e demolições de obras de construção, assim como resultantes de preparação e da escavação de terrenos, como: tijolos, blocos de cerâmica, concreto em geral, rochas, metais, tintas, madeiras e compensados, etc.

O alto índice de crescimento da indústria de construção civil traz consigo a geração demasiada de RCC (Resíduos da Construção Civil), onde a disposição de maneira inadequada causa impactos negativos no meio ambiente como poluição do solo, assoreamento de córregos, enchentes, proliferação de vetores de doença entre outros, sendo assim sendo considerado um problema de saneamento ambiental.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2012 os municípios brasileiros coletaram 35 milhões de toneladas resíduo de construção e demolição, visto que a quantidade total desses resíduos é maior, pois a coleta é apenas realizada na disposição em logradouros públicos (ABRELPE, 2012).

Segundo Zanatta (2013), o setor cerâmico tem vantagens, pois grande parte de seus resíduos é sólida e proporcionam facilidade de transformação, sendo comum empresas cerâmicas utilizarem seus próprios resíduos em substituição a matérias-primas. Se torna uma opção atrativa do ponto de vista tanto ambiental quanto econômico. Como exemplo, Modesto et. al. (2006) comentam que em países como Itália, a totalidade dos resíduos sólidos gerados é reempregada no processo produtivo, atingindo maior eficiência com custos reduzidos, diminuindo também o uso das matérias-primas não renováveis.

Ressalta-se a importância do reaproveitamento dos resíduos sólidos, diminuindo gastos para a disposição, tratamento e gerenciamento dos mesmos, assim como a minimização de impactos ambientais gerados no processo de extração e na mineração dos componentes.

### 3.6 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA

A cerâmica vermelha é caracterizada por produtos provenientes da argila ou misturas contendo argila, através de moldagem, secagem e queima do material, de onde vem a cor avermelhada que origina seu nome, é uma indústria de processo químico, onde as matérias-primas são submetidas por uma série de processamentos, alterando suas características físicas e químicas (IKEDA, 1980).

A fabricação de tijolos, blocos e telhas cerâmicas evoluiu pouco com o passar do tempo, onde o processo consiste basicamente a ser artesanal, com o uso apenas de equipamentos para reduzir o custo com mão de obra (MINEROPAR, 1997).

Na produção da cerâmica, os processos são tão variados quanto os produtos, desde os mais rudimentares até os automatizados. Para a produção de tijolos, blocos e telhas cerâmicas, três etapas fundamentais se tornam presentes:

preparação das matérias-primas, conformação e processamento térmico (IKEDA, 1980).

Em função das grandes variáveis no processo de produção de tijolos, blocos e telhas cerâmicas, se torna difícil inserir melhorias no processo produtivo, por ainda ser artesanal ou pouco automatizado, o controle se faz de forma visual, levando o grande descarte de produto que estão fora dos padrões adotados pela empresa, os problemas abrangem a tecnologia empregada e a capacidade ou nível de conhecimento de mão de obra nas atividades das indústrias (GRIGOLETTI, 2001).

Segundo Pracidelli (1997), a produção de tijolos e telhas depende diretamente das características de suas matérias-primas, onde a argila se torna composta de material argiloso e materiais não plásticos. Os materiais não plásticos, representados por areias, micas, óxido de ferro entre outros, atuam como agentes desplastificantes destas quando misturados com os materiais argilosos. As argilas plásticas, denominadas por “argilas gordas” apresentam granulometria muito fina, com grãos abaixo de 2  $\mu\text{m}$ , neste caso para o processamento de fabricação é feito a introdução de outras argilas denominadas por “argilas magras”, reduzindo a plasticidade da massa, com essa mistura entre as argilas juntamente com os materiais não plásticos moídos, tede-se a obter uma distribuição granulométrica adequada ao processamento e às características de qualidade do produto.

### 3.6.1 Impactos Ambientais da Cerâmica Vermelha

Segundo Grigoletti (2001), no Brasil, existem poucas pesquisas que avaliam e caracterizam os materiais de construção civil, que envolva a análise dos impactos no ciclo de vida dos materiais. A indústria de produtos para a construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais, ocasionando impactos ambientais desde a fase de implantação até funcionamento, pode-se agrupar os impactos gerados em três grandes categorias: recursos (energia, água e solo), danos ao ecossistema (emissões atmosféricas, chuva ácida, contaminação do solo e água) e saúde humana (impactos tóxicos e não tóxicos – incluindo o ambiente de trabalho).

Além do próprio esgotamento do recurso e da degradação local da argila, entre os principais impactos encontra-se a emissão de  $\text{CO}_2$  das maquinarias usadas

na extração e transporte, perda da biodiversidade devido à degradação da área, destruição da paisagem natural e consumo de energia na extração da argila, assim se faz necessário adotar padrões e limites para utilização desse recurso (GRIGOLETTI, 2001).

### 3.7 PORTARIA Nº 2914/2011 – MINISTÉRIO DA SAÚDE

A Portaria Nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Dentre os anexos presentes nesta portaria, para o presente trabalho destaca-se:

ANEXO II: Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez com valor máximo de 0,5 uT para água filtrada por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta).

ANEXO X: Padrões organolépticos onde se refere aos conjuntos de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde, que estabelece o valor máximo de 5 uT.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em quatro etapas distintas na seguinte ordem:

- a) Caracterização e preparação do meio filtrante a partir de blocos de cerâmica vermelha;
- b) Montagem de dois filtros com meio filtrante preparado a partir dos blocos de cerâmica vermelha, areia e carvão antracito;
- c) Ensaios de filtração de água após clarificação;
- d) Análise e interpretação de dados a partir de análises de turbidez sobre influência das diferentes proporções de camadas do elemento filtrante.

### 4.1 PREPARAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA

A preparação do meio filtrante tem como finalidade transformar o subproduto cerâmico em um material granulado com características semelhantes aos materiais filtrantes usualmente encontrados no mercado. O processo ocorre pela britagem e classificação granulométrica do material, utilizando um triturador de solos TECNAL Modelo TE330 (Figura 1), peneirado com a peneira de análise granulométrica, utilizando três padrões de granulometria para cada filtro piloto. Ambos os processos foram realizados no Laboratório de Solos F003 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Campo Mourão.



**Figura 1 - Triturador de solos para britagem da cerâmica vermelha.**

Os dois filtros piloto foram compostos por três malhas granulométricas diferentes (Figura 2), estipuladas para posterior comparação de modelo literário:

- a) Finos: grãos de tamanho entre 1,18 mm e 2,36 mm;
- b) Médios: grãos de tamanho entre 2,36 mm e 4,74; e
- c) Grossos: grãos de tamanho maiores que 4,75 mm.



**Figura 2 - Malhas granulométricas utilizadas para a construção dos filtros 1 e 2.**

No primeiro filtro piloto ocorreu a percolação sequencial por carvão antracito, utilizando composição granulométrica de 0,8mm já estipulada no mercado, em função de suas propriedades (Figura 3).



**Figura 3 – Granulometria do carvão antracito utilizado na percolação posterior da cerâmica vermelha.**

Os grãos maiores e menores que o padrão estipulado foram descartado, e os grãos escolhidos foram desumidificados em estufa a 125°C por 6 horas até peso constante (DI BERNARDO, 2003 - Adaptação). Com o material seco, o mesmo foi peneirado em um conjunto de malhas com o auxílio de vibrador de peneiras por 30 minutos com vibração máxima de velocidade 10, permitindo a obtenção da cerâmica vermelha classificada.

#### 4.2 ACONDICIONAMENTO E MANIPULAÇÃO DO MEIO FILTRANTE

As parcelas de cerâmica foram pesadas e alocadas em embalagens plásticas vedadas contra a entrada da umidade do ar, sendo estas abertas apenas no momento do uso do meio filtrante. Antes da disposição no interior dos filtros de laboratório, o material foi mergulhado em água destilada conforme orientação de Di Bernardo (2003) para limpeza das formulações.

#### 4.3 MONTAGEM DOS FILTROS

O Filtro 1 consiste em uma caixa de material polimetil-metacrilato (PMMA), com largura e comprimento de 12 cm e altura de 30 cm. Na parte interior do filtro há uma tela de inox que serve como suporte do leito filtrante, acoplada a uma placa de polimetilmetacrilato com aberturas para a percolação da água. No filtro 1 foram realizados dois tipos de ensaios. No ensaio 1 utilizou-se apenas quebras de bloco de cerâmica vermelha (Figura 4), enquanto no ensaio 2 utilizou-se posterior percolação em carvão antracito (Figura 5).



Figura 4– Disposição do material granulométrico separadamente no filtro 1 para os ensaios 1A e 1B.



Figura 5 - Estrutura do filtro 1 com cerâmica vermelha e carvão antracito dos ensaios 2A e 2B.

Segundo Zanatta (2013), aconselha-se que o material filtrante preencha aproximadamente 30 cm da altura do corpo de Filtração direta descendente (FDD), seguindo os seguintes passos:

- a) Dispor o meio filtrante em um béquer e adicionar água destilada até cobrir todo material, ao agitar com um bastão de vidro para manter o meio filtrante suspenso. Posteriormente dispor o material no filtro piloto, adicionando simultaneamente água destilada para auxiliar no assentamento do material no fundo do filtro;
- b) Após disposição do meio filtrante, compactar o material evitando bolsas de ar e espaços vazios, segurando o filtro pela parte superior e com ajuda de um bastão pressionar levemente o material;
- c) Com o material disposto corretamente, fixa-se o filtro do laboratório no suporte acoplando as mangueiras de entrada de água ao simulador de tratamento de água.

Em função da baixa área de entrada de água no Filtro 1, foi realizado a construção do Filtro 2 (Figura 6), visando a maior eficiência em função da pressão para a percolação da água (Figura 7). Para a construção do segundo filtro piloto utilizou-se os materiais:

1. PVC 100 mm com 60 cm de comprimento;
2. Duas juntas;
3. Duas flanges;
4. Dois capes;
5. Seis cotovelos de 20 mm com 90<sup>0</sup>;
6. Um tubo de 20 mm;
7. Dois anéis de vedação para cape de 100 mm;
8. Um tudo "T" para conexão.



Figura 6 – Materiais utilizados para a construção do segundo filtro piloto.



Figura 7 – Estrutura do filtro 2.

#### 4.4 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO

No quadro 1 são apresentadas as características dos ensaios realizados nos filtro 1 e 2.

Filtro	Meio filtrante	Ensaio	Dose de coagulante (mL/min)	Quantidade de argila verde (g)
1	Cerâmica vermelha	1A	3,5	5,0
	Cerâmica vermelha	1B	14,0	10,0
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	2A	3,5	15,0
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	2B	14,0	20,0
2	Cerâmica vermelha	3A	3,5	10,0
	Cerâmica vermelha	3B	14,0	20,0
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	4A	14,0	20,0
	Areia	5A	14,0	20,0
	Areia e carvão antracito	6A	14,0	20,0

**Quadro 1 – Disposição das características dos ensaios realizados.**

Os módulos de dosagem e mistura foram alimentados por floclantes e auxiliares de coagulação e floclação, dosados com auxílio de bombas peristálticas. Como coagulante utilizou-se o sulfato de alumínio com concentração a 10% em peso preparado do concentrado a 50%. Como auxiliar da coagulação foi utilizado hidróxido de sódio, auxiliar para o ajuste de pH e conferir alcalinidade ao meio, com concentração igual a 10% em peso preparado do concentrado a 50%. Um polímero aniônico foi usado como auxiliar de floclação, na concentração de 0,1g/L.

O funcionamento dos filtros foi realizado em filtração direta de fluxo descendente, com pré-tratamento da água bruta simulada no Equipamento para Experimento de Sedimentação (Figura 8), composto pelas fases de coagulação, floculação e sedimentação antes da filtragem da água, simulando uma estação de tratamento de água (ETA).



**Figura 8 – Equipamento para experimento de Sedimentação.**

No primeiro reservatório é anexada uma bomba centrífuga, que bombeia a vazão controlada por um registro para o módulo de dosagem e mistura. O restante é recirculado para a agitação hidráulica no próprio reservatório.

O sistema que operou sobre o filtro foi alimentado com vazão constante na sua extremidade superior para evitar variações no nível da água. A etapa de clarificação foi realizada em Jar-Test, etapa do experimento de sedimentação. A água utilizada no experimento foi modificada inicialmente, para aumento de turbidez, com a adição de argila verde de 200 mesh, sendo estabelecidos os padrões para mistura de 5 g, 10 g, 15 g e 20 g. A argila foi misturada no reservatório com 100 litros de água, realizando-se medições em intervalos de 20 min para controle de turbidez durante o procedimento experimental.

A coleta de amostras de água foi realizada no reservatório, no sedimentador e após filtração, em intervalos de 20 minutos, no período experimental total de 80 minutos. Em cada uma das amostras determinou-se a turbidez da água com o aparelho turbidímetro TD-300 Instrutherm disponível no laboratório de Fenômenos de Transporte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão.

Com os resultados obtidos para a turbidez foi calculada a eficiência global do sistema de tratamento da água a partir da equação:

$$\text{Eficiência global} = \left( \frac{T. \text{Inicial} - T. \text{final}}{T. \text{inicial}} \right) \times 100$$

Onde:

T. inicial: Turbidez no sedimentador (uT)

T. final: Turbidez no filtro (uT)

A medição de vazão foi realizada após a filtração, determinando o volume de escoamento da água em função do tempo, com auxílio de um becker e um cronômetro

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que seja apresentada melhor discussão dos resultados, este item foi dividido em tópicos, sendo agrupados os resultados referentes ao parâmetro de turbidez no reservatório, turbidez no sedimentador e turbidez após filtração, e analisando a influência da vazão em função do tempo de funcionamento e a eficiência global do sistema.

### 5.1 FILTRO 1: ENSAIOS 1A E 1B

#### 5.1.1 Ensaio 1A

Neste ensaio utilizou-se a dosagem de coagulante de 3,5mL/min com 5g de argila verde, e apenas a cerâmica vermelha como meio filtrante com altura de 25 cm. Na Figura 9 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 1A.

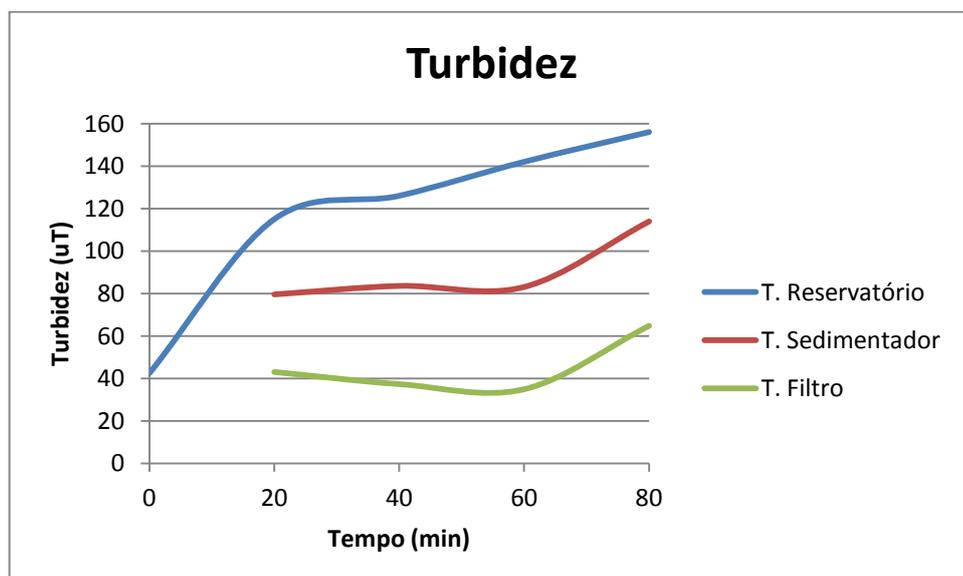


Figura 9 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 1A.

A turbidez inicial observada no reservatório que alimentava o sistema não se fez constante, ocorrendo variação de acordo com a dosagem inicial de argila verde e agitação do tanque devido ao funcionamento da bomba centrífuga. Observou-se que conforme ocorria a agitação no reservatório, a turbidez da água bruta aumentava, indicando a dissolução da argila e aumento dos sólidos em suspensão.

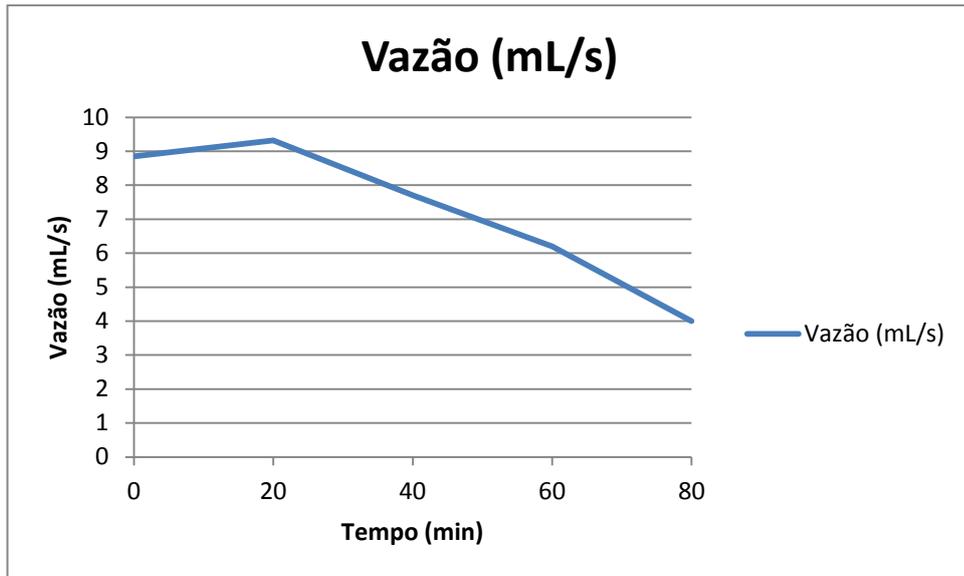
No sedimentador e após o filtro, observou-se que a turbidez diminui até aproximadamente 60 minutos. A partir deste tempo, analisa-se que a turbidez começa a aumentar, indicando a colmatação do leito filtrante, e o final da carreira de filtração, sendo necessário a sua lavagem.

À partir do funcionamento do filtro ocorre o acúmulo de impurezas entre as partículas do leito filtrante, aumentando progressivamente a perda de carga e a redução na sua capacidade de filtração. Quando a turbidez da água após passagem pelo filtro começa a aumentar, a eficiência de remoção diminui, sendo indicada a lavagem do leito filtrante. O tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra é denominada “carreira de filtração”, e ao final desse período é aconselhada a lavagem para a retirada da sujeira do leito de filtração (DI BERNARDO, 2003).

Segundo Richter e Azevedo Netto (1995), dois critérios para decidir o momento exato para a parada e limpeza do filtro são: quando a água sobrenadante atinge um nível elevado (o que indica que o filtro está entupido) ou quando a água filtrada apresenta aumento de turbidez. Nestes casos, Di Bernardo (1993) indica a lavagem com água filtrada no sentido ascensional com força para expandir e fluidificar o meio filtrante, liberando as impurezas nele retidas.

Em estudos realizados por Zanatta (2013), testando resíduos de chamote de porcelana como elemento filtrante no tratamento de água, o autor observou a tendência de redução de turbidez ao longo do tempo de operação pela passagem do leito filtrante, independentemente de tipo de elemento filtrante ou granulometria empregada. As três bateladas que não demonstraram tendência à diminuição de turbidez foram as que utilizaram areia de granulação média, e chamote de granulação grossa, indicando possíveis erros de calibração ou uso inadequado de granulometria para a turbidez inicial baixa.

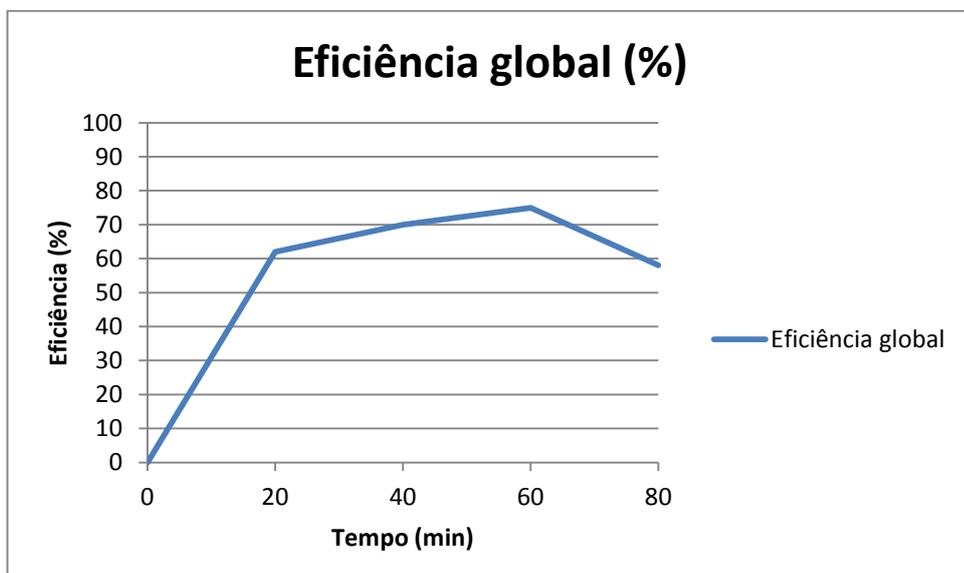
Na figura 10 são apresentados os valores de vazão ao decorrer do ensaio 1A.



**Figura 10 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 1A.**

A vazão permaneceu próxima aos 9 mL/s até aproximadamente 20 minutos de operação do filtro, a partir do qual observou o decaimento constante até 80 minutos. Observou-se comportamento inversamente proporcional entre turbidez e a vazão (Figuras 9 e 10), após 60 minutos de operação, indicando necessidade da lavagem do leito.

Na Figura 11 são apresentados os valores da eficiência global em função do tempo de operação do módulo experimental.



**Figura 11 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 1A.**

No início do processo a eficiência global do sistema aumenta atingindo um pico de 75,42% de remoção de turbidez aos 60 min, a partir do qual a mesma começa a decrescer, indicando o final da carreira de filtração, quando tem-se que parar a filtração e fazer lavagem do filtro.

Na eficiência máxima alcançada, a turbidez da água foi de 34,9 uT. Ao se comparar com a Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a água não se enquadra nos padrões de turbidez para água pós-filtração (valor máximo permitido de 0,5uT). Dessa forma observa-se que, nas condições experimentais do ensaio 1A, o uso do filtro com apenas a cerâmica vermelha com meio filtrante não foi eficiente para a remoção da turbidez da água.

#### 5.1.2 Ensaio 1B

No ensaio 1B, a dosagem de coagulante foi aumentada para 14 mL/min com 10 g de argila verde, e apenas a cerâmica vermelha como meio filtrante com altura de 25 cm. Na Figura 12 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 1B.

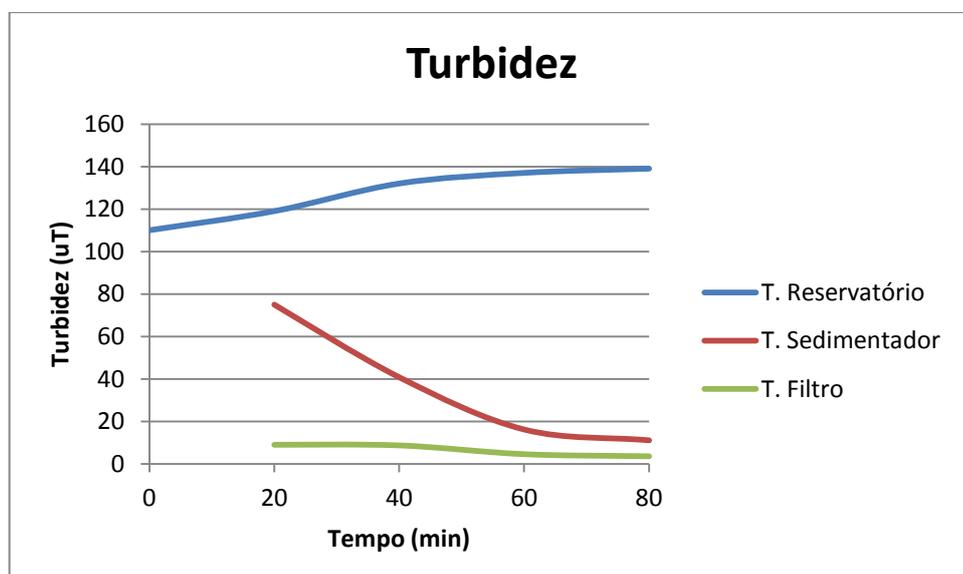


Figura 12 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 1B.

No sedimentador e após o filtro, observou-se que a turbidez diminuiu constantemente, não havendo momento em que a turbidez começa a aumentar, indicando a necessidade de maior tempo de análise das amostras. Porém na Figura 13 pode-se observar vazão nula após o filtro no tempo 80 min, indicando a colmatação total do leito filtrante.

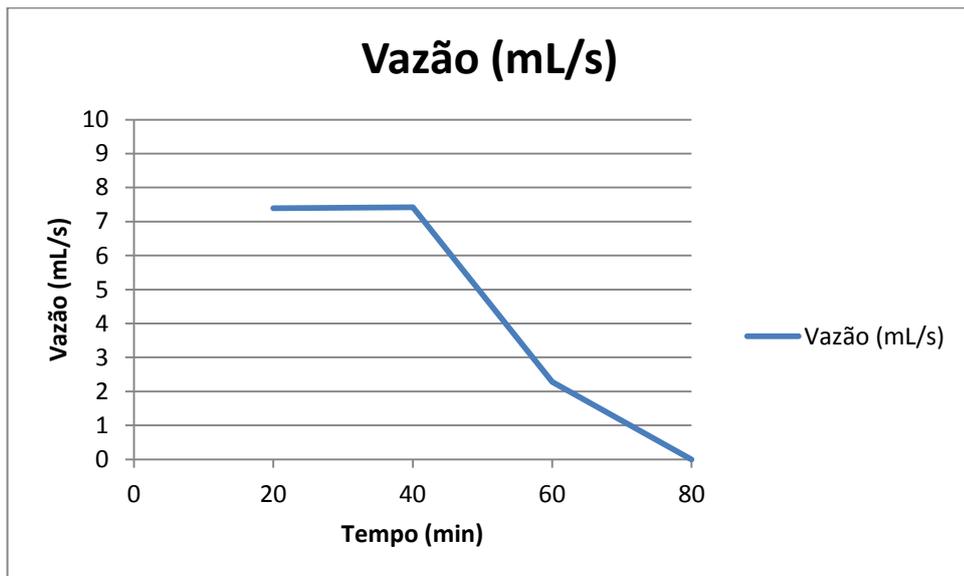
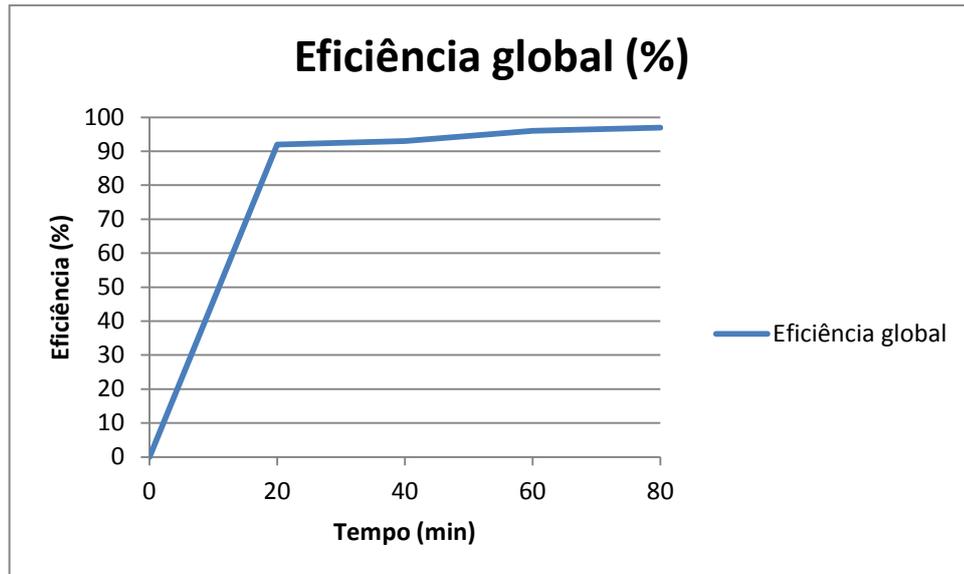


Figura 13 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 1B.

Em comparação ao ensaio 1A, pode-se observar que a eficiência global do sistema (Figura 14) obteve resultados de até 97,48% de remoção de turbidez da água, indicando uma melhor eficiência em função da maior dosagem de coagulantes utilizados.



**Figura 14 - Eficiência global do sistema para o Ensaio 1B.**

Na eficiência máxima alcançada, a turbidez foi de 3,5 uT. Em comparação com a Portaria N<sup>o</sup> 2.914/2011, a água não se enquadra nos padrões de turbidez para água pós-filtração. Porém no padrão organoléptico de potabilidade (Anexo X), onde a tolerância é de até 5 uT, torna-se aceitável.

O Ensaio 1B, com maior dosagem de coagulante, removeu quase dez vezes mais a turbidez que o Ensaio 1A.

## 5.2 FILTRO 1 : ENSAIO 2A E 2B

### 5.2.1 Ensaio 2A

Neste ensaio utilizou-se a dosagem de coagulante de 3,5 mL/min com 15 g de argila verde, tendo como meio filtrante a cerâmica vermelha (25 cm) e posterior percolação em carvão antracito (25 cm). Na figura 15 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 2A.

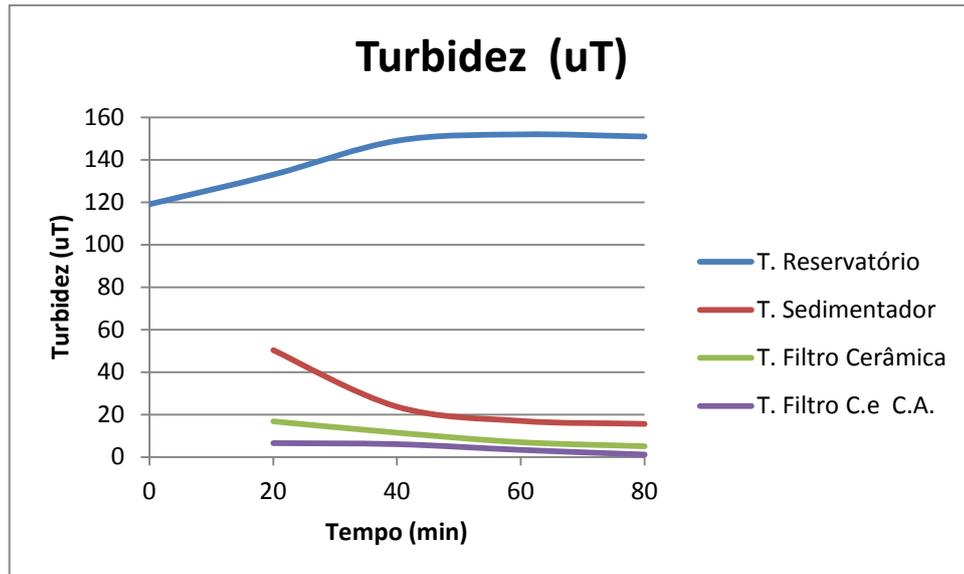


Figura 15 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 1: Ensaio 2A.

No ensaio 2A a turbidez inicial não se fez constante até os 40 minutos de ensaio, a partir do qual possivelmente houve a completa dissolução e homogeneização da argila verde com a água. No sedimentador e nos dois filtros, observou-se que a turbidez diminuiu constantemente, indicando a necessidade de maior tempo de análise das amostras. Porém na Figura 16 pode-se observar o nível baixo da vazão (1,47mL/s) no tempo de 80 min, indicando o início de colmatação do leito filtrante.

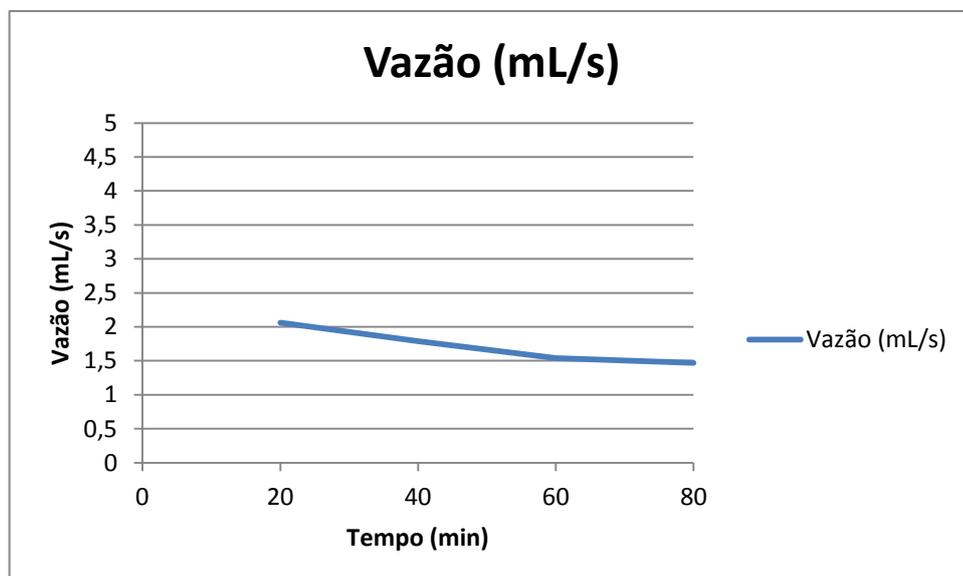


Figura 16 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 2A.

Observou-se que a turbidez teve um maior decaimento comparado com os ensaios anteriores, e apesar da diminuição gradativa da vazão ela não chega a se anular como no ensaio 1B, porém para a melhor eficiência do sistema indica-se a lavagem do filtro.

Na figura 17 são apresentados os valores de eficiência global para o ensaio 2A.

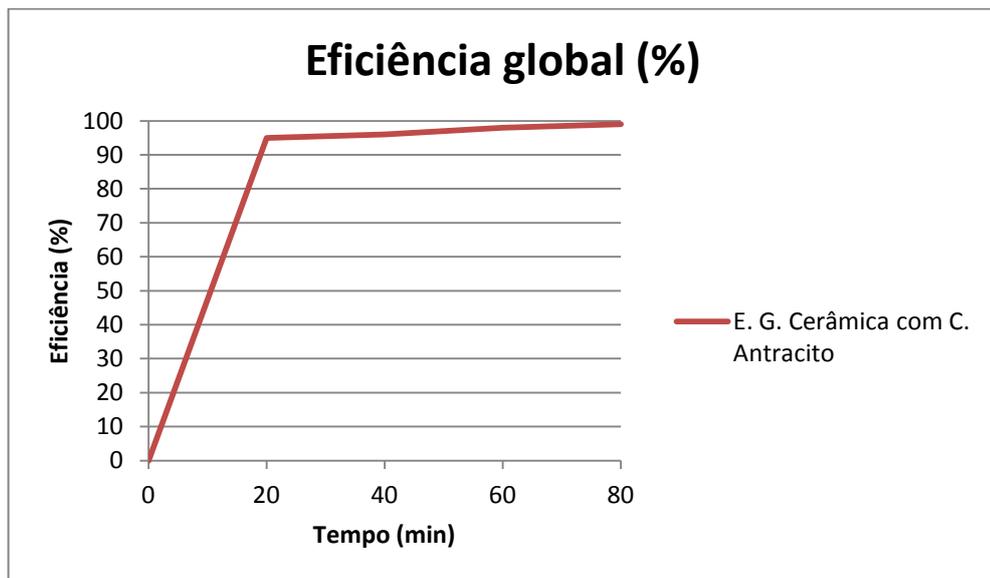


Figura 17 – Eficiência global do sistema no Ensaio 2A.

A eficiência global máxima alcançada foi de 99,27% com turbidez final da água de 1,09 uT. Ao se comparar com a Portaria N° 2.914/2011, a água não se enquadra aos padrões de turbidez para água pós-filtração, mas atende o padrão organoléptico de potabilidade (valor máximo permitido de 5,0 uT).

Ao se comparar com o ensaio 1B, que apenas utilizam a cerâmica vermelha, a eficiência global do ensaio 2A torna-se apenas 3% a mais.

### 5.2.2 Ensaio 2B

Neste ensaio utilizou-se a dosagem de coagulante de 14 mL/min com 20g de argila verde, meio filtrante de cerâmica vermelha (25 cm) e posterior percolação em carvão antracito (25 cm).

Na figura 18 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 2B. No sedimentador e no filtro, observou-se que a turbidez foi constante a partir de 50 min, e que a turbidez não alcança um valor mínimo indicando a necessidade de maior tempo de experimento.

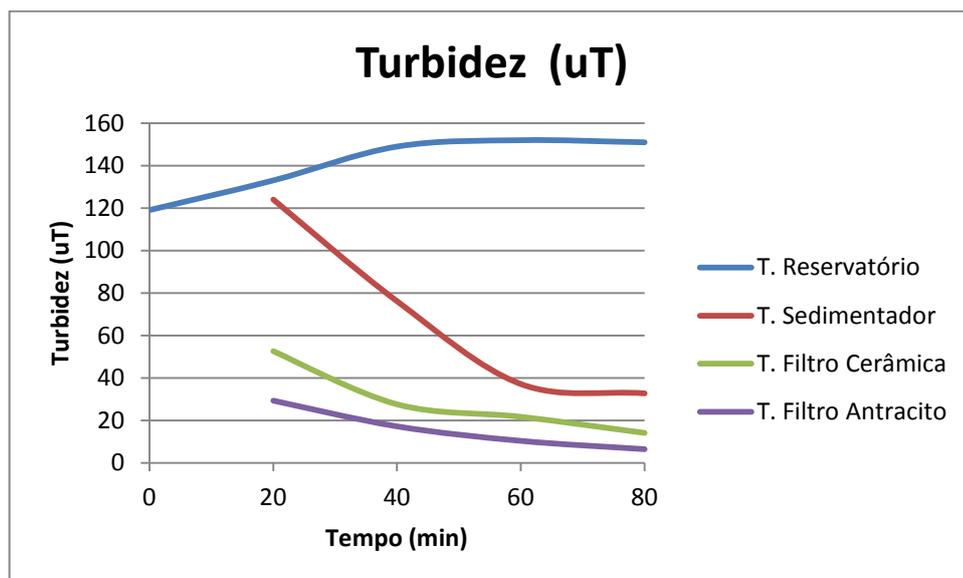


Figura 18 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 1: 2B.

Observou-se que aos 40 min (Figura 19) a vazão começa a diminuir, indicando a possível colmatação do leito, porém o filtro ainda funciona com vazão eficiente em relação a sua eficiência global (Figura 20) onde alcança 94% no filtro de cerâmica e 97,20% de eficiência após a percolação no carvão antracito.

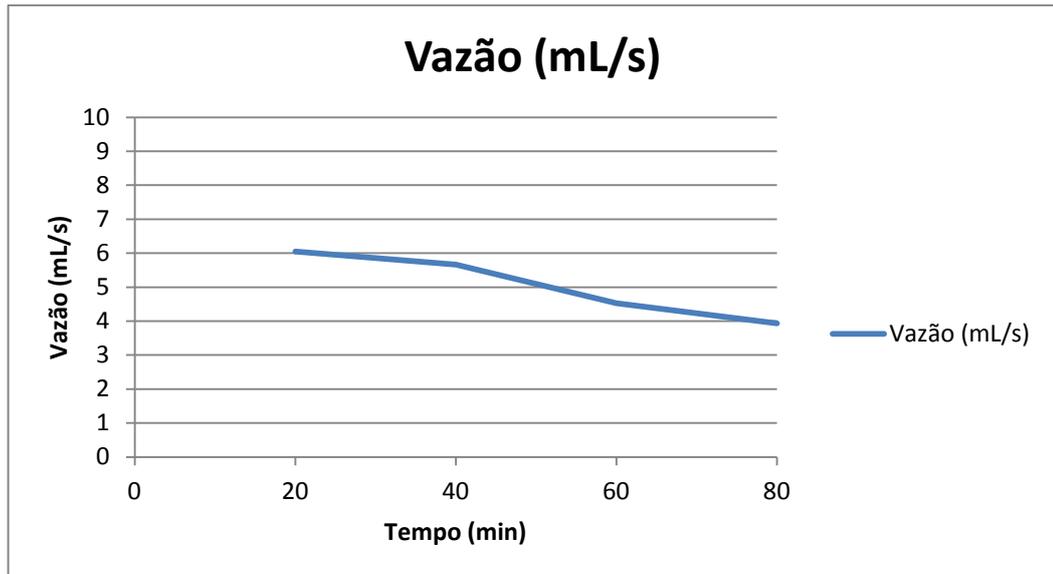


Figura 19 - Vazão após o filtro observada durante o ensaio 2B.

A eficiência global máxima do sistema de tratamento atingiu o pico de 97,20%. (Figura 20). Nessa eficiência a turbidez foi de 6,78 uT e ao se comparar com a Portaria N° 2.914/2011, a água não se enquadra nos padrões de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

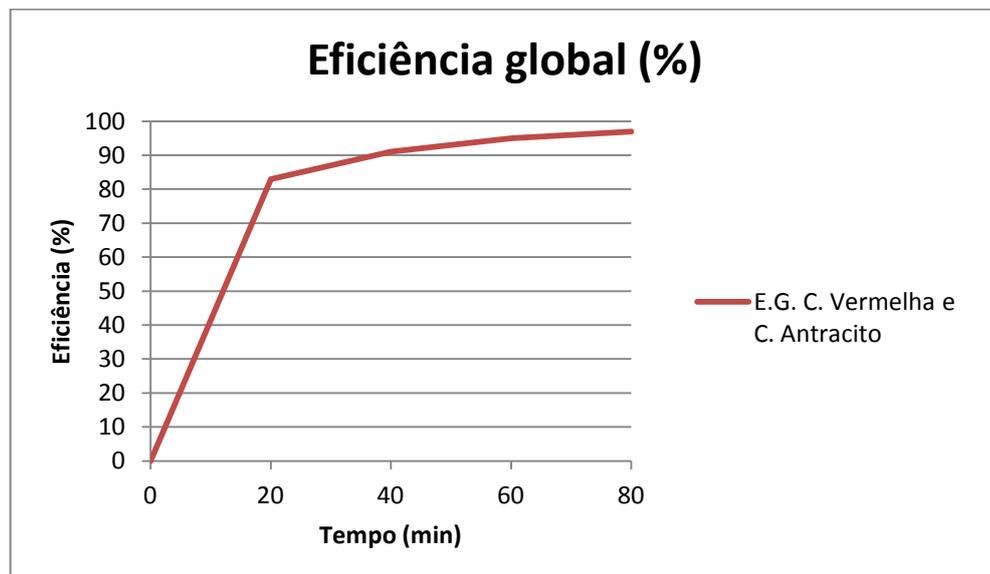


Figura 20 – Eficiência global do sistema no Ensaio 2B.

### 5.3 FILTRO 2 – ENAIOS: 3A, 3B, 4A, 5 A e 6A

#### 5.3.1 Ensaio 3A

No ensaio 3A, utilizou-se a dosagem de 3,5 mL/min com 10 g de argila verde, e apenas a cerâmica vermelha como meio filtrante com altura de 30 cm. Na Figura 21 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental.

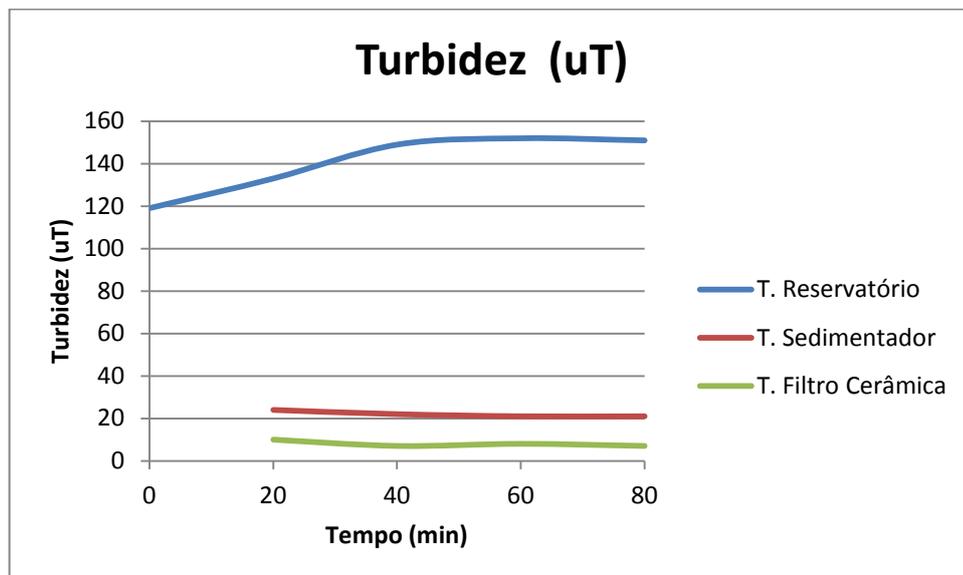
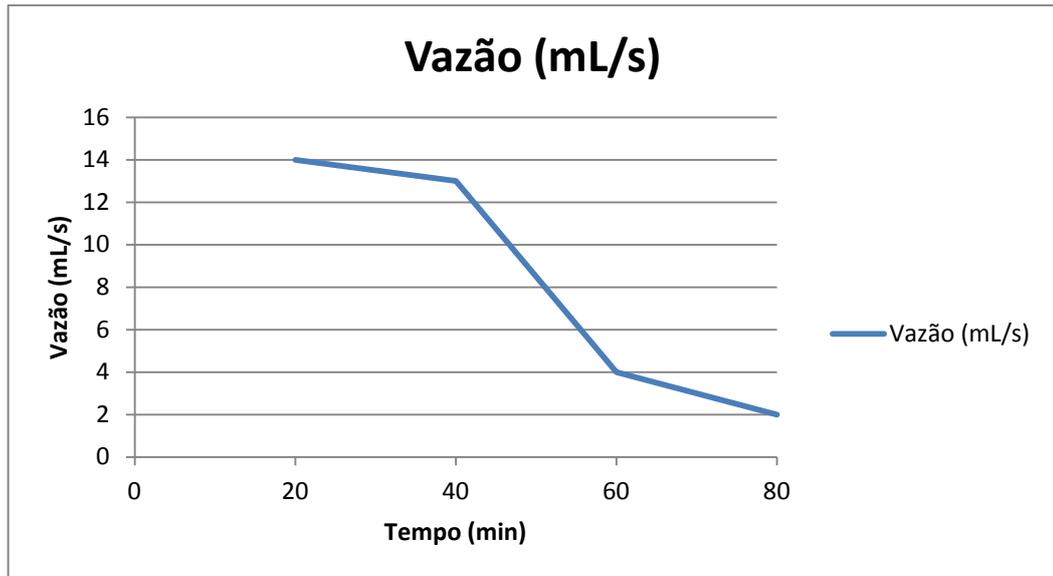


Figura 21 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e após Filtro 2: 3A.

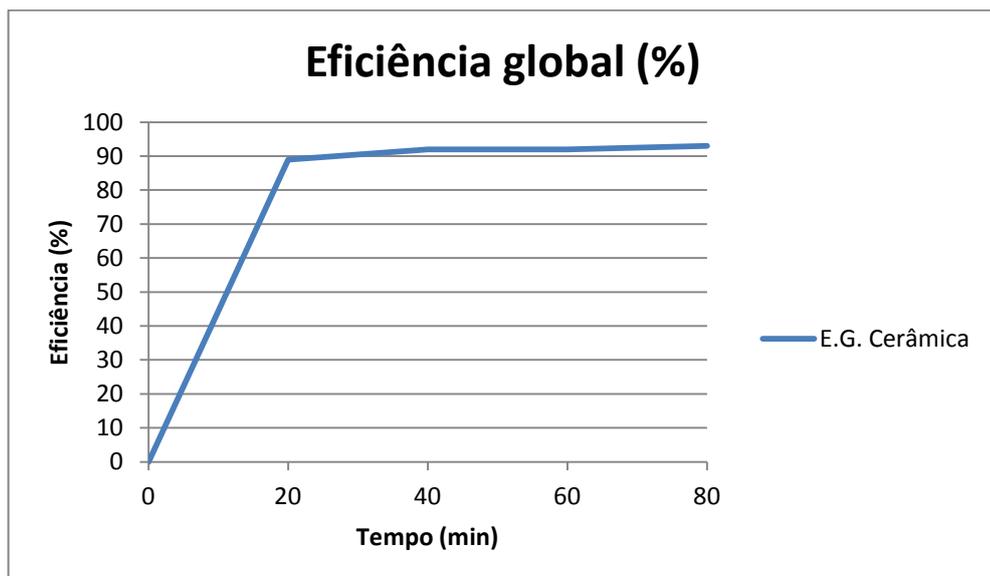
No ensaio do 3A para o filtro 2, a turbidez inicial se fez constante a partir de 40 min, chegando ao pico de 102 uT no reservatório. No sedimentador e no filtro, observou-se que a turbidez diminuiu e permaneceu constante a partir de 40 min, atingindo a turbidez mínima após o filtro de 7,75 uT.

A vazão apresentou decaimento acentuado aproximadamente aos 40 min de operação do filtro (Figura 22), a partir do qual observou-se o decaimento constante até 80 min.



**Figura 22 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 3A.**

A eficiência máxima alcançada neste ensaio foi de 93%, onde a turbidez era de 7,75 uT. De acordo com a Portaria N<sup>o</sup> 2.914/2011, a água não se enquadra nos padrões de turbidez para água pós- filtração ou pré-desinfecção, e nem nos padrões organolépticos de potabilidade.



**Figura 23 – Eficiência global do sistema no Ensaio 3A.**

### 5.3.2 Ensaio 3B

Neste ensaio utilizou-se a dosagem de 1 4mL/min com 20 g de argila verde, e apenas cerâmica vermelha como meio filtrante com altura de 30 cm. Na figura 24 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 3B.

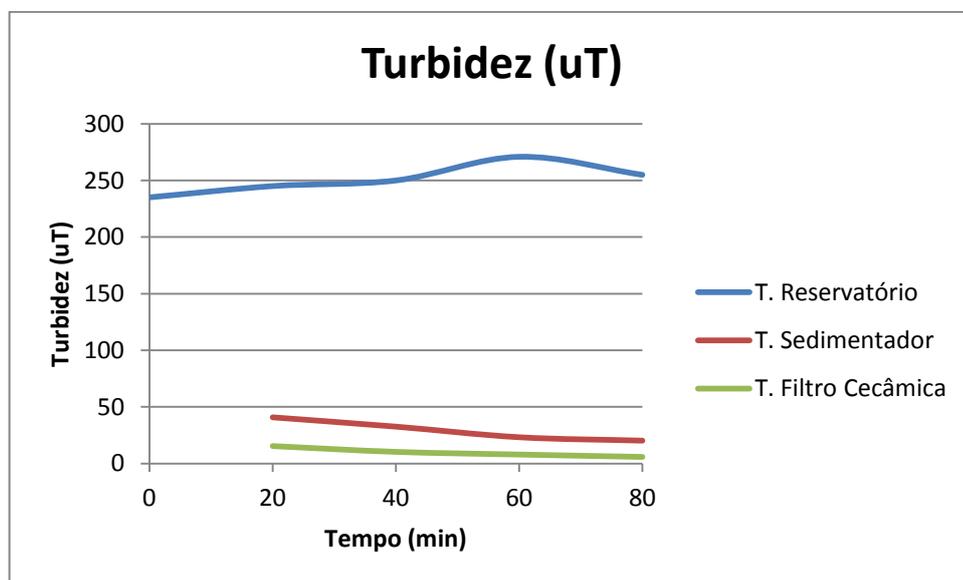
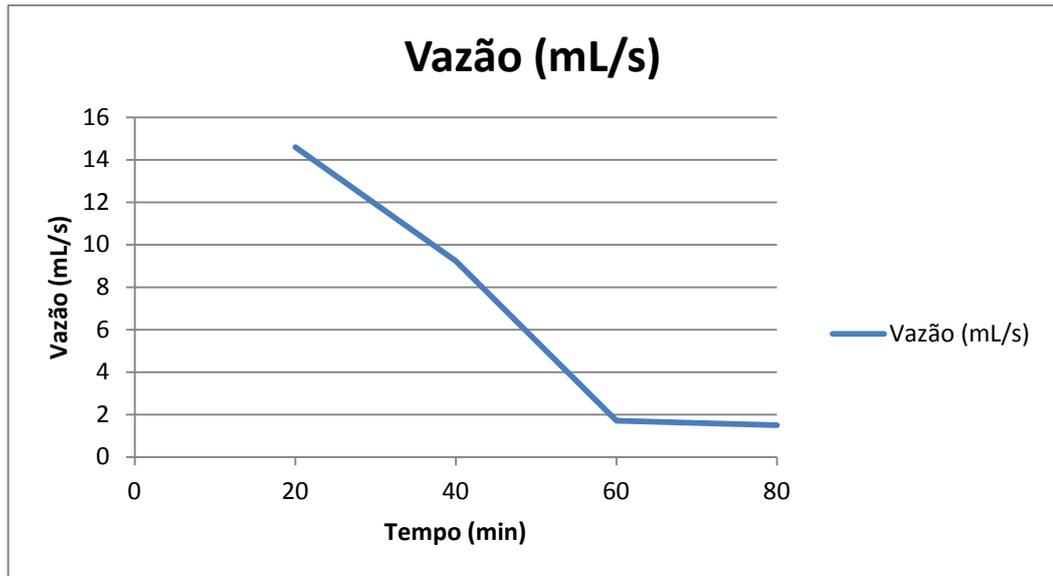


Figura 24 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: 3B.

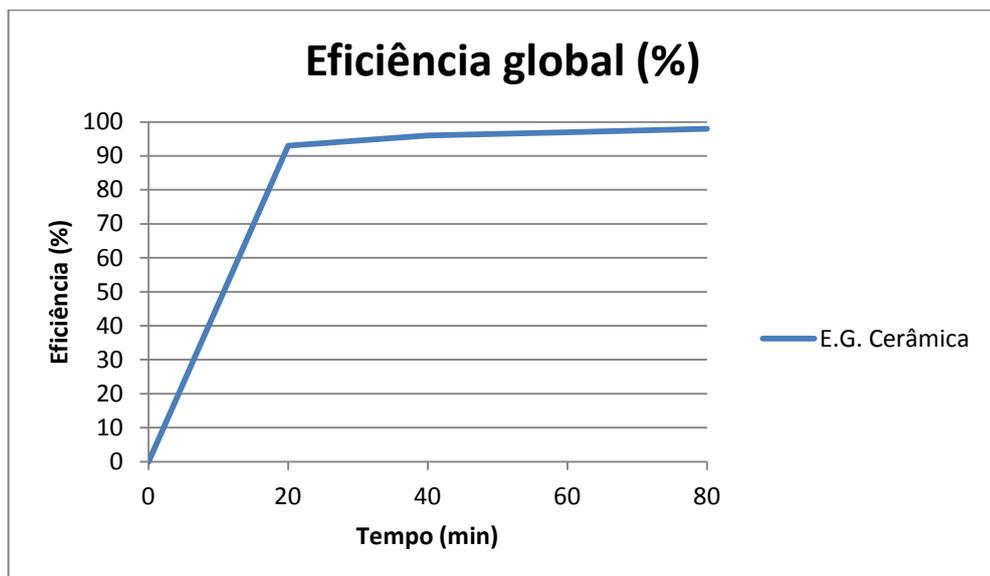
No ensaio 3B a turbidez inicial não foi constante, ocorrendo variação de acordo com a dosagem inicial de argila verde (20g) e agitação da bomba centrífuga chegando ao pico de 255 uT no reservatório. No sedimentador e no filtro, observou-se que a turbidez diminuiu gradativamente.

Observou-se o decaimento constante da vazão até 60 minutos (Figura 25), indicando a possível colmatação do leito, porém o filtro ainda funciona com vazão eficiente em relação a sua eficiência global (Figura 26) até os 80 minutos de operação.



**Figura 25 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 3B.**

Em sua maior eficiência global (97,70%) a turbidez mínima da água foi de 5,86 uT, não se enquadrando nos padrões de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, e nem nos padrões organolépticos de potabilidade, conforme a Portaria N° 2914/2011.



**Figura 26 – Eficiência global do sistema no Ensaio 3B.**

### 5.3.3 Ensaio 4A

No ensaio 4A utilizou-se a dosagem de 14 mL/min com 20 g de argila verde, utilizando-se como elemento filtrante a cerâmica vermelha com altura de 30 cm e carvão antracito com altura de 10 cm, totalizando 40 cm de leito filtrante. Na figura 27 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 4A.

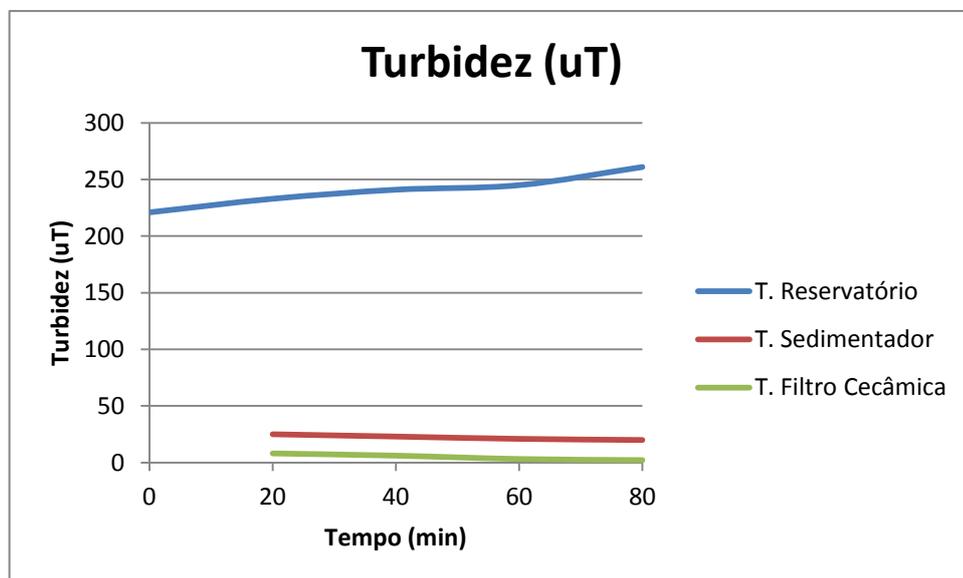
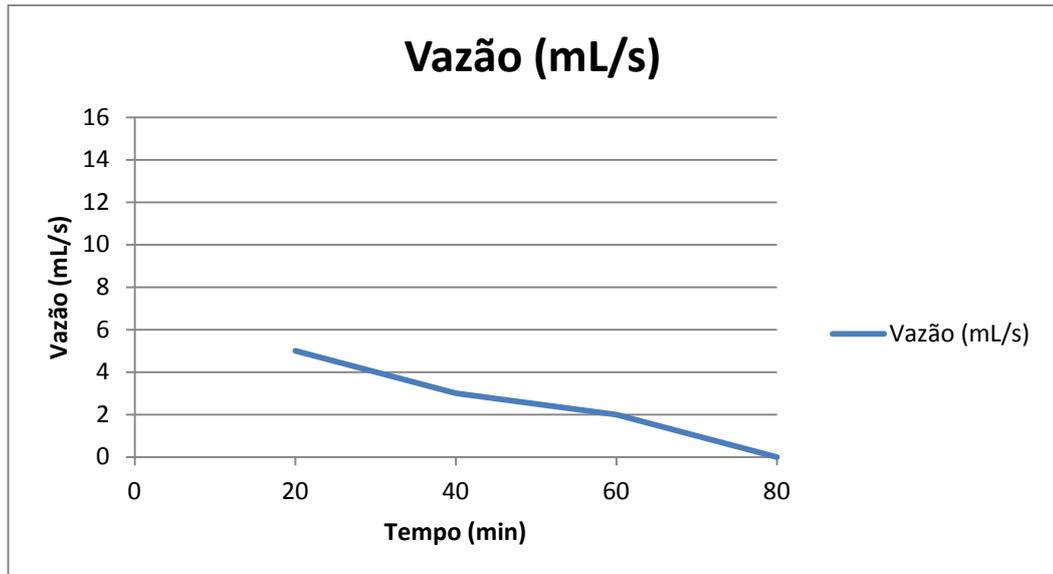


Figura 27 - Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: 4A.

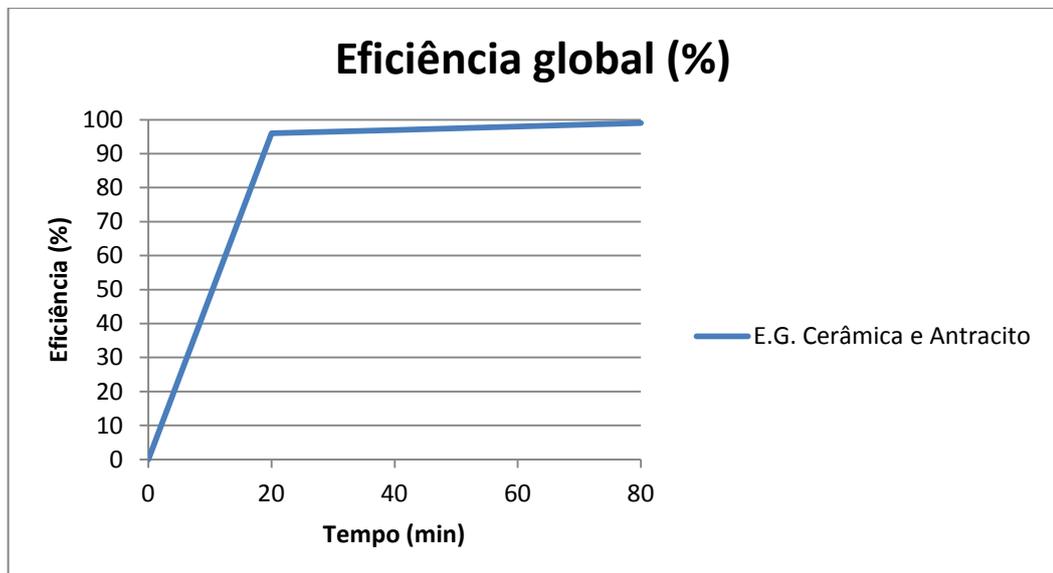
Observa-se que no ensaio 4A a turbidez inicial não se fez constante, ocorrendo variação de acordo com a dosagem inicial de argila verde (20g) e agitação da bomba centrífuga chegando ao pico de 261 uT no reservatório. No sedimentador e no filtro, observou-se que a turbidez diminuiu gradativamente, permanecendo constante ao final do ensaio.

Observou-se que a vazão se manteve em decaimento constante, se anulando em 80 minutos de operação (Figura 28), indicando a colmatação total do leito filtrante e o final da carreira de filtração.



**Figura 28 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 4A.**

Na eficiência máxima alcançada de 98,9%, a turbidez foi de 2,69 uT. Ao se comparar com a Portaria N<sup>o</sup> 2.914/2011, a água enquadra-se apenas no padrão organoléptico de potabilidade (valor máximo permissível de 5 uT).



**Figura 29 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 4A.**

### 5.3.4 Ensaio 5A

No ensaio 5A utilizou-se a dosagem de 14 mL/min com 20 g de argila verde, como elemento filtrante foi utilizado apenas areia com 30 cm de altura.

Na figura 30 observa-se que, conforme ocorria a agitação no reservatório, a turbidez sempre manteve-se em crescimento. No sedimentador e no filtro, a turbidez da água diminuiu até aproximadamente 60 minutos, a partir deste tempo, analisa-se que a turbidez começa a aumentar, indicando a colmatação do leito filtrante, sendo necessário a sua posterior lavagem.

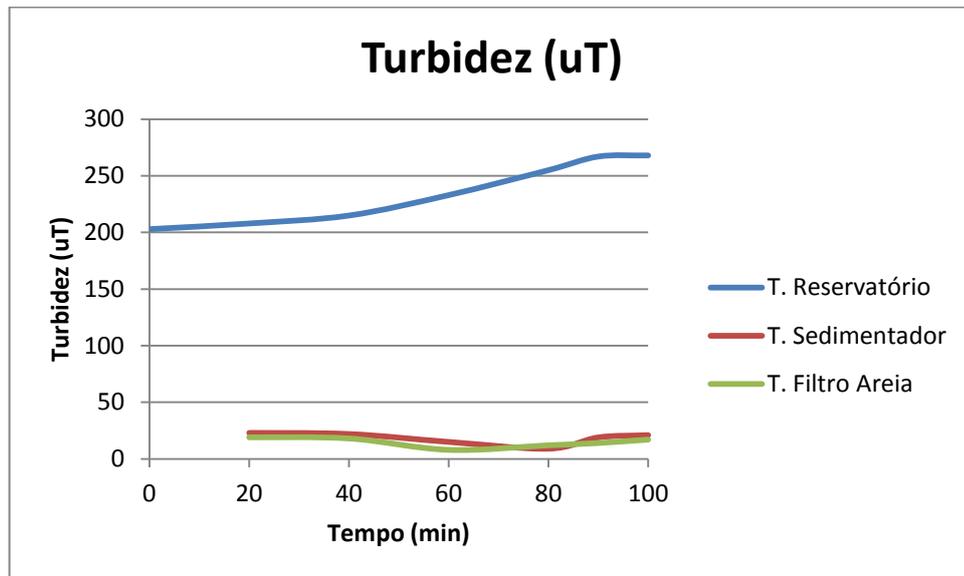


Figura 30 – Turbidez da água no Reservatório, Sedimentador e Filtro 2: Ensaio 5A.

Observa-se que a vazão do sistema decresce (Figura 31) em função do tempo de operação do sistema, indicando a colmatação do leito, onde ocorre a vazão zero e conseqüentemente o aumento da turbidez.

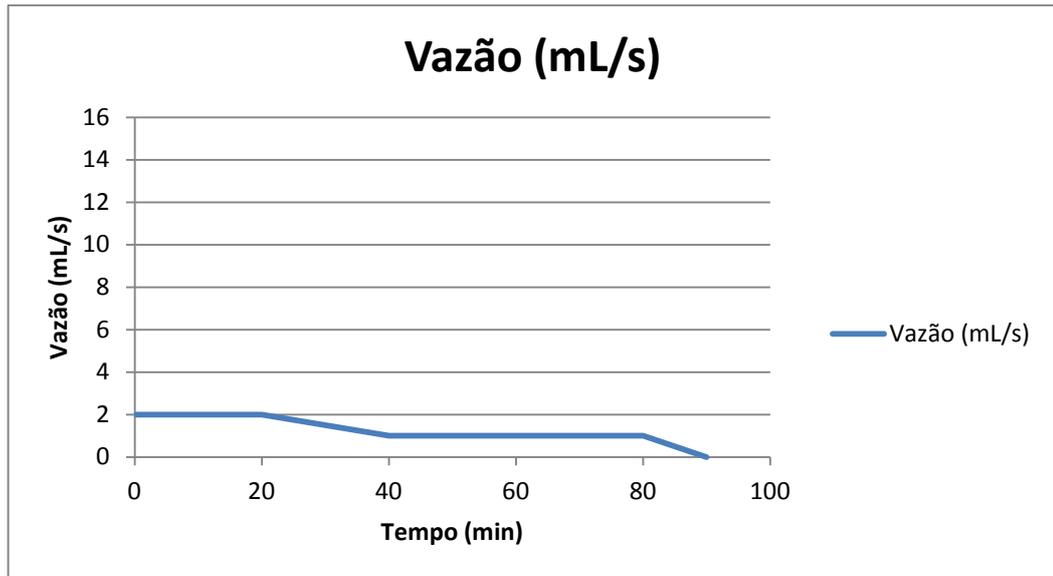


Figura 31 – Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 5A.

Na eficiência máxima alcançada (Figura 32), a turbidez foi de 7,82 uT,. Em comparação com a Portaria N° 2.914/2011, a água não se enquadra nos padrões de turbidez para água pós-filtração e nem aos padrões organolépticos de potabilidade não sendo indicada para o consumo.

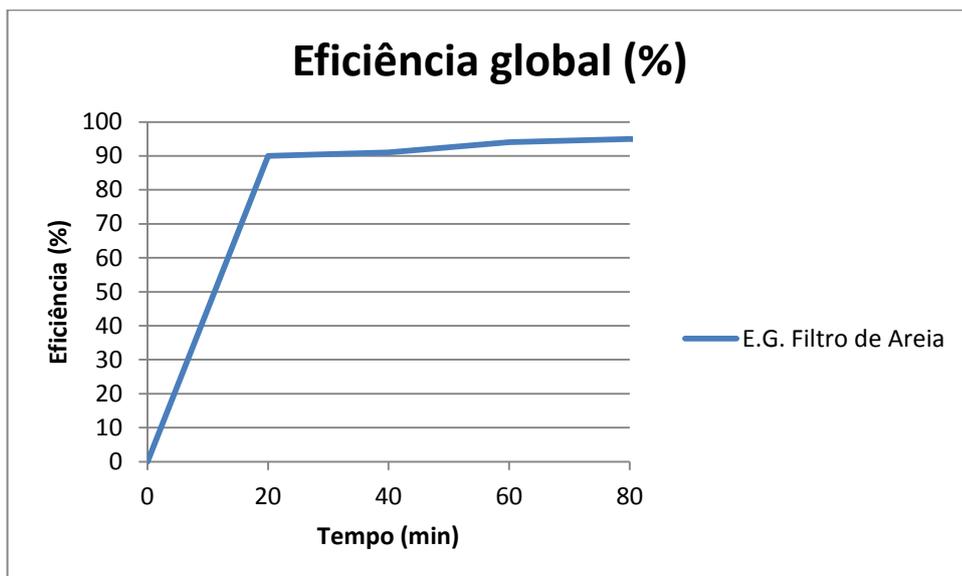


Figura 32 – Eficiência global do sistema para o Ensaio 5A.

### 5.3.5 Ensaio 6A

Neste ensaio utilizou-se a dosagem de coagulante de 14 mL/min com 20 g de argila verde, tendo como meio filtrante areia com 30 cm e carvão antracito com 10 cm, totalizando 40 cm. Na Figura 33 são apresentados os resultados obtidos para a turbidez nos diferentes compartimentos do módulo experimental, durante o ensaio 6A.

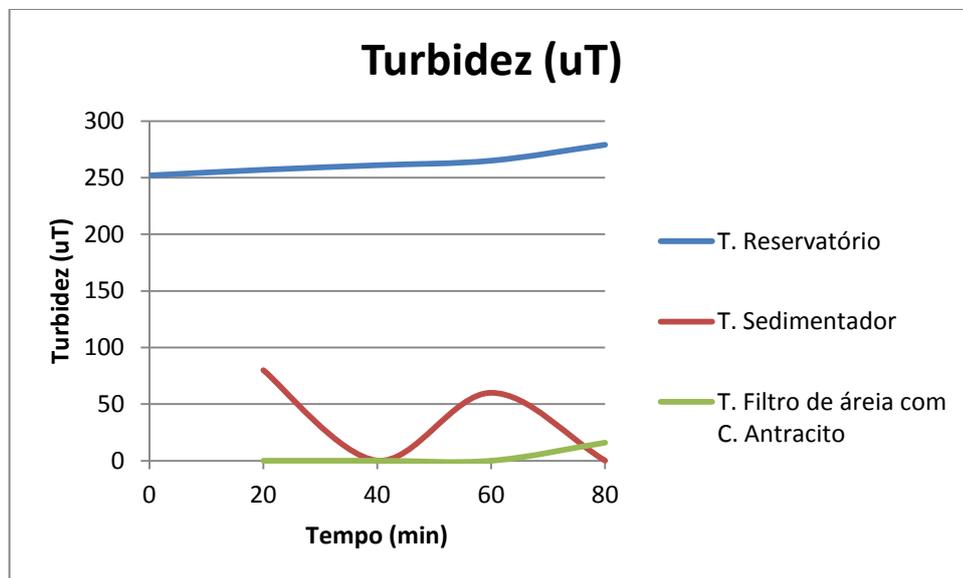


Figura 33 - Turbidez da água no reservatório, sedimentador e Filtro 2- Ensaio 6A.

Observa-se que no ensaio do Filtro 2 : 6A a turbidez inicial não foi constante chegando ao pico de 279 uT no reservatório. No sedimentador foi observado a possível interferência do acúmulo de sedimentos circulados pela raspagem, onde pode ter interferido nas amostragens, explicando assim o pico na Figura 33. No filtro, observou-se que a turbidez diminuiu até o tempo 60 min, e que após ocorre seu aumento, indicando a colmatação do leito com vazão de 0,9 mL/s (Figura 34) no final do ensaio.

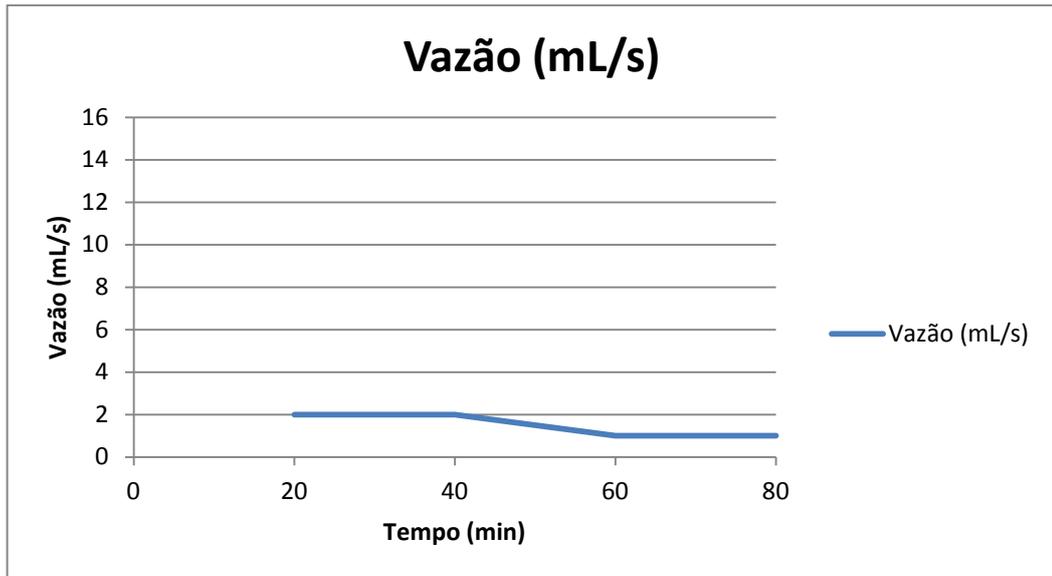


Figura 34 - Vazão após o filtro observada durante o Ensaio 6A.

A eficiência global do sistema permaneceu praticamente constante desde o início das medições (20 min), com eficiência final de 94%, com um leve aumento de turbidez, indicando o fim da carreira de filtração (Figura 35). Ao se comparar com a Portaria N<sup>o</sup> 2.914/2011, o parâmetro turbidez da água não atende aos padrões dos Anexos II e X.

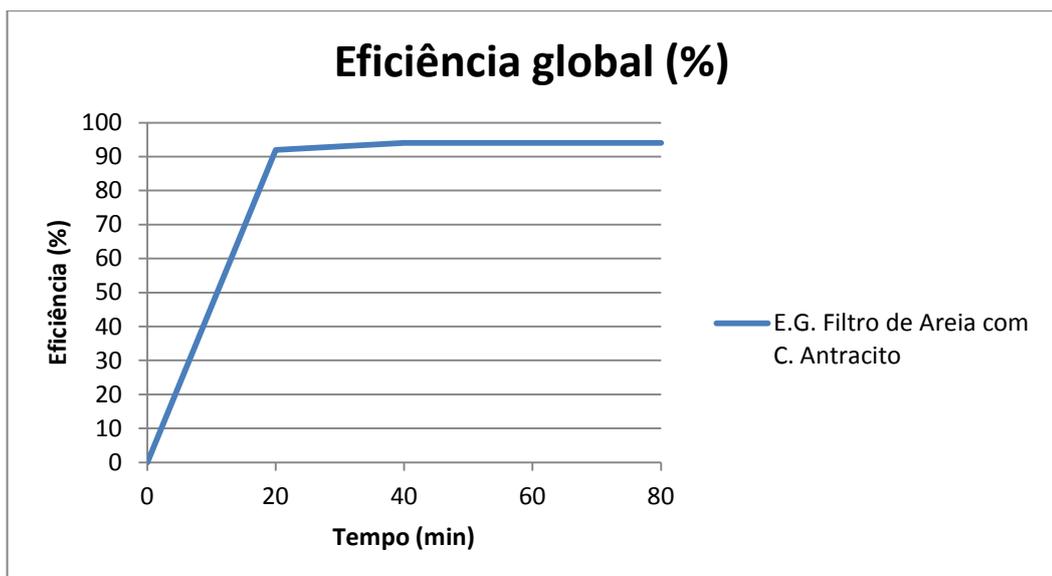


Figura 35 – Eficiência total do sistema no Ensaio 6A.

## 5.4 RESULTADOS GERAIS

No quadro 2 é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos nos ensaios experimentais.

Filtro	Meio filtrante	Ensaio	Dose de coagulante (mL/min)	Quantidade de argila verde (g)	Eficiência global máxima (%)	Turbidez média inicial (uT)	Turbidez mín. alcançada (uT)	Atendimento a Portaria 2914/2011	
								Anexo II	Anexo X
1	Cerâmica vermelha	1A	3,5	5,0	75,42	116,3	34,9	Não	Não
	Cerâmica vermelha	1B	14,0	10,0	97,48	127,4	3,5	Não	Sim
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	2A	3,5	15,0	99,27	134,8	1,09	Não	Sim
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	2B	14,0	20,0	94,26	211,4	6,38	Não	Não
2	Cerâmica vermelha	3A	3,5	10,0	93,00	97,04	7,75	Não	Não
	Cerâmica vermelha	3B	14,0	20,0	97,70	251,2	5,86	Não	Não
	Cerâmica vermelha com carvão antracito	4A	14,0	20,0	98,90	240	2,69	Não	Sim
	Areia	5A	14,0	20,0	95,00	222,8	7,82	Não	Não
	Areia e carvão antracito	6A	14,0	20,0	94,00	262,8	13,9	Não	Não

**Quadro 2. Resumo dos principais resultados experimentais.**

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o Filtro 1: Ensaio 2A com 3,5 mL/min de dosagem de coagulante e 15 g de argila, utilizando como meio filtrante a cerâmica vermelha e carvão antracito, obteve a maior eficiência em relação a remoção de turbidez entre os ensaios realizados. Entretanto, apesar da eficiência alcançada, a água tratada final não se enquadrou no padrão de turbidez para água pós-filtração (0,5 uT), mas ficou abaixo do valor máximo permissível de 5 uT dos padrões organolépticos de potabilidade.

De forma geral, e de acordo com as condições experimentais, as maiores eficiências para a remoção de turbidez foram obtidas nos filtros que utilizaram quebras de blocos de cerâmica vermelha com auxílio do carvão antracito, indicando que parte do carvão e areia em ETAs poderia ser substituído pela cerâmica vermelha, diminuindo assim custos com implantação e exploração de recursos minerais não renováveis. Entretanto, a continuidade das pesquisas com o uso da cerâmica vermelha para o tratamento de águas de abastecimento é de fundamental importância para comprovação dessa teoria.

## 6 CONCLUSÃO

Ao fim deste trabalho, observou-se que as quebras de blocos de cerâmica vermelha, uma vez britadas e classificadas granulometricamente apresentam possível potencial para o emprego como elemento filtrante no tratamento de água. Nos dois filtros estudados os resultados demonstraram que os leitos de cerâmica britada apresentaram desempenho superior na remoção de turbidez em relação ao uso de areia ou areia com antracito, materiais estes que são amplamente utilizados em escala mundial para a filtração no tratamento de água.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- I. Os experimentos foram realizados unicamente em laboratório em filtros de tubos de PVC e em caixas de polimetil-metacrilato (PMMA), incomum às filtrações praticadas nas ETA's, necessitando de testes em escalas reais com maior precisão;
- II. Os resultados foram coletados em apenas 9 filtrações de laboratório, o que é muito pouco, aconselha-se maior número de ensaios;
- III. Ampliar os parâmetros analisados, de modo a abranger mais parâmetros recomendados nos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde do Brasil;
- IV. Realizar avaliação do desgaste e durabilidade do leito filtrante a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ALCANTRA, F.J.V.; **Estudo comparativo de dois leitos filtrantes com porosidades distintas de dupla filtração para tratamento de água.** Universidade Federal de Alagoas – UFAL, programa de Pós-Graduação em recursos Hídricos e saneamento. Maceió, 2010. 115p.

BOTELHO, C.G. **Gestão da qualidade do tratamento e do abastecimento de água.** Universidade Federal de Lavras – 2003. Apostila Acadêmica. 179p.

CAMPOS, L.E.F.; PETTER,C.O.;KAUTZMANN,R.M. Filtro anaeróbio: Uso de resíduos de construção como material suporte. **Revista de Ciências Ambientais**, Conoas, v.2.n.1,p.5 a 13,2008.

**Disposição dos Resíduos de Construção e Demolição.** ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2012, p.116. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 20 de junho, 2014.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L.; Povinelli, J.; Andrade, C.;Pinto, D.; Montenegro,M.; Machado, A.; Bondarovsky, S.; Claper, J.; Figueiredo, C.; Rede Cooperativa de Pesquisas. **Filtração Direta Aplicada a Pequenas Comunidades.**PROSAB. São Carlos – São Paulo 2003, 480p.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de Água para abastecimento por Filtração Direta.** São Carlos – São Paulo, 2003. 479p.

**Equipamentos de medição laboratorial** Orçamento de equipamentos. Disponível em: <http://www.instrutherm.com.br/> Acesso em: 24 de julho 2014.

**Fatos sobre Água e Saneamento.** Departamento de informações Publica das Nações Unidas, junho de 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/temas-agua/>> Acesso: 20 de junho de 2014.

GRIGOLETTI, G.C. **Caracterização de Impactos Ambientais de Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escolha de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001. 154p.

IKEDA, S. **Conservação de energia na Indústria Cerâmica**: manual de recomendações. São Paulo: Instituto de pesquisas Tecnológicas (IPT), Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo (SEPLA), 1980. 214p.

JULIAO, C.F. **Avaliação das condições microbiológicas e físico químicas da água de reservatório domiciliar e predial: importância da qualidade dessa água no contexto da saúde pública**. Ribeirão Preto, 2011. 154p.

LEME, F. P. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. São Paulo: CETESB, 1979, 424.

MESQUITA, M.; **Avaliação dos Componentes Hidráulicos e do Material Filtrante em filtros de areia utilizado na irrigação**. Campinas, 2010. 104p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná. **O setor da cerâmica vermelha no Paraná**. Curitiba: Instituto Paranaense para o Desenvolvimento (IPARDES), 1997. 185p.

MURTHA, A.N.; HELLER, L. **Avaliação da influencia de parâmetros de projeto das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia**. Vol. 8 – N<sup>o</sup> 4 – outubro- dezembro 2003, 257-267.

NOVAIS, A.F. **Aulas Práticas – ECO Educacional. Equipamento para Experimento de Sedimentação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011. 149p.

PIVELI, R.P.; Curso: **Qualidade das águas e Poluição: Aspectos Físico – Químicos**. Aula 1: Revisão de química: Átomos e moléculas, cátions e anions, formulação química, reações químicas, estudo das soluções, 2010, p. 265. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Portaria N<sup>o</sup> 2.914, de 12 de Dezembro de 2011**. Dispõe os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Anexo I e Anexo X. Ministério da Saúde.

PRACIDELLI, S.;MELCHIADES, F.G.**Importância da Composição Granulométrica de Massas para a Cerâmica Vermelha.**Cerâmica Industrial, 02 (01-02) Janeiro-Abril, 1997.

RICE, E.W.;BAIRD,R.B;EATON,A.D.;CLESCERI,L.S.**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22ND Edition, 2012.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO N., **Tratamento de água:** tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991, 332p.

TESTEZLAF, R.; **Filtros de areia aplicados á irrigação localizada: Teoria e Prátoca.** v.28, n.3,p 604-613, jul\set 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n3/a20v28n3.pdf>>. Acesso em: 25\06\2014.

ZANATTA, T. **Reaproveitamento de Chamote de Porcelanato para uso como elemento filtrante em Tratamento de Água.** Florianópolis, 2013,172.