

Artigo

Produção de Blocos de Concreto Empregando Efluente Tratado por Lodos Ativados e por Lagoas de Estabilização

Oliveira, D. D. N.;* Almeida, E. S.; Cardoso, L. S. P.; Viana, J. D.

Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (4), 1054-1066. Data de publicação na Web: 7 de agosto de 2016

<http://rvq.sbq.org.br>

Production of Concrete Blocks Using Treated Effluent for Activated Sludge and Stabilization Lagoons

Abstract: The estimated consumption of water is of 9,000 L on production of about 12,000 concrete blocks with 14x19x39 cm, approximately 60 m³ of concrete. The aim of this study was to evaluate the use of treated effluent for two different biological STS - Sewage Treatment Stations - (activated sludge and stabilization lagoons) in the production of hollow blocks of simple concrete compared with the use of groundwater. To this were analyzed the characteristics of groundwater and wastewater for use in the production of the blocks and was made a comparative analysis, in accordance with the technical standard ABNT NBR 6136, of physical and mechanical characteristics (dimensional, absorbing, compression) obtained in blocks manufactured with groundwater and wastewater. Images were also captured by Scanning Electron Microscopy (SEM) of all samples of blocks produced and compared to the results of mechanical properties obtained. It was observed that both physical and mechanical characteristics of the blocks manufactured with the treated effluents meet completely the requirements established by this technical standard. The better results for blocks manufactured were using groundwater, which can enable the reuse of water from the treated effluent in the manufacture of hollow concrete blocks to masonry.

Keywords: Reuse of water; treated effluent; concrete block.

Resumo

Na produção de cerca de 12.000 blocos de concreto de 14x19x39 cm, aproximadamente 60 m³ de concreto, o consumo estimado é 9.000 L de água. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do efluente tratado por duas diferentes ETEs - Estações de Tratamento de Esgoto biológicas (lodos ativados e lagoas de estabilização) - na produção de blocos vazados de concreto simples em comparação com o uso da água subterrânea. Para isto foram analisadas as características da água subterrânea e dos efluentes tratados para utilização na produção dos blocos e foi feita uma análise comparativa, de acordo com a norma técnica ABNT NBR 6136, das características físicas e mecânicas (dimensional, absorção, compressão), obtidas nos blocos fabricados com água subterrânea e com os efluentes tratados. Foram ainda capturadas imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de todas as amostras de blocos produzidos e comparadas aos resultados de propriedades mecânicas obtidas. Observou-se que as características físicas e mecânicas dos blocos fabricados com os efluentes tratados atendem totalmente aos requisitos estabelecidos pela referida norma técnica, tendo sido, inclusive, obtidos melhores resultados do que os dos blocos fabricados com a água subterrânea, o que pode viabilizar o reuso de água, a partir do efluente tratado, na fabricação de blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

Palavras-chave: Reuso de água; efluente tratado; bloco de concreto.

* Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

✉ denisen@fieb.org.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20160075](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160075)

Produção de Blocos de Concreto Empregando Efluente Tratado por Lodos Ativados e por Lagoas de Estabilização

Denise D. N. Oliveira,* Edna S. Almeida, Larissa S. P. Cardoso, Josiane D. Viana

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

* denisen@fieb.org.br

Recebido em 6 de agosto de 2016. Aceito para publicação em 6 de agosto de 2016

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

- 2.1.** Caracterização das Etes
- 2.2.** Fabricação dos Blocos
- 2.3.** Caracterização Física e Mecânica dos Blocos
- 2.4.** Ensaio de solubilização
- 2.5.** Análise Morfológica

3. Resultados e Discussão

- 3.1.** Análise das Características Químicas
- 3.2.** Análise Dimensional dos Blocos
- 3.3.** Ensaio de Absorção
- 3.4.** Ensaio de Resistência à Compressão
- 3.5.** Ensaio de Solubilização
- 3.6.** Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura

4. Conclusão

1. Introdução

Em um contexto em que regiões do Brasil e do mundo vêm sofrendo com a escassez de água potável, devido à poluição dos mananciais, ao crescimento da população e ao uso indevido dos recursos naturais, o reúso de água apresenta-se como uma alternativa sustentável a ser empregada por diversos setores da sociedade, entre eles o

setor industrial.^{1,2}

Para o reúso de água é importante considerar a quantidade e a qualidade necessária ao uso que será feito da mesma, o que determina os padrões de qualidade da água de reúso². Por definição, a água de reúso é a “água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas”.³

Neste sentido, a Resolução n.54/2005, do

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH³ estabelece “modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional”, buscando um melhor gerenciamento e o uso sustentável da água como forma de regular a oferta e a demanda, maximizando o uso dos recursos hídricos para abastecimento da população e protegendo o meio ambiente ao reduzir o lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Weber *et al.*⁴ descrevem a expressão “uso de efluentes” como a utilização de água de menor qualidade que a água potável requerida para o consumo humano constituindo, portanto, uma alternativa para atender as demais demandas de água não potável.

Assim, para o reuso de água não potável podem ser empregados os mais variados tipos de efluentes tratados, a exemplo de esgoto doméstico. Neste sentido, conforme Michael-Kordatou *et al.*⁵, o reuso de esgoto tratado se constitui como um importante componente das práticas para o gerenciamento sustentável de esgoto tratado sendo, para tal, necessário o emprego de tecnologias de tratamento adequadas.^{1,5,6,7}

Para Visvanathan e Asano⁸, os avanços tecnológicos tem possibilitado o desenvolvimento de tratamentos adequados à utilização do esgoto para uma variedade de reutilizações industriais.

Neste contexto, o uso de esgoto tratado, em substituição à água no preparo do concreto para fabricação dos blocos vazados para alvenaria, revela-se como uma possibilidade de reuso para fins industriais que não exigem água potável, além de representar uma inovação para o setor da construção civil, ampliando os benefícios no processo de racionalização da alvenaria ao agregar o valor da utilização de componentes mais sustentáveis, abrangendo os aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Segundo informações de uma empresa produtora de blocos de concreto, o consumo médio diário de água para uma produção de

60 m³ de concreto (aproximadamente 12.000 blocos de 14 x 19 x 39 cm) é de 9.000 litros, o que significa um consumo médio de 150 L/m³⁹. Sendo assim, a utilização de efluente tratado em ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) biológica para a fabricação de blocos vazados de concreto para alvenaria pode ser uma alternativa para a redução do consumo de água potável em atividades industriais.

A ABNT NBR 15900-1¹⁰, que especifica os requisitos para a água de preparo de concreto, traz as seguintes considerações para a água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto:

“Água de reuso é a água tratada por diversos processos, como filtração e flotação, em estações de tratamento de esgotos, a partir do afluente já tratado para uso não potáveis.

Até o momento de publicação desta Norma não havia antecedentes suficientes para garantir viabilidade de uso generalizado deste tipo de água.

O uso deste tipo de água está condicionado a aplicações específicas em comum acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, devendo ser atendidos todos os requisitos desta Norma”.¹⁰

Neste contexto, esta pesquisa buscou avaliar a possibilidade de utilizar efluente tratado para a fabricação de blocos de concreto por meio da comparação dos resultados relativos às propriedades do bloco de concreto vazado quando confeccionados com água subterrânea (poço) e com efluente tratado por duas ETEs biológicas.

2. Materiais e Métodos

A pesquisa teve início com a coleta do efluente tratado de duas ETEs biológicas de uma concessionária do município de Salvador, Bahia. Foi realizada a coleta da

amostra de água subterrânea, atualmente empregada pela empresa fabricante de bloco. Em seguida, foram analisadas as características físico-químicas e biológicas da água subterrânea e dos efluentes tratados pelas ETEs de lodos ativados e de lagoas de estabilização.

Com as amostras dos efluentes tratados, foi realizada a fabricação de blocos vazados simples de concreto utilizando água subterrânea e efluente tratado, os agregados utilizados para fabricação dos blocos foram coletados em uma pedreira pertencente ao mesmo grupo da fábrica.

Após a cura, nas idades (7, 14 e 28 dias) estabelecidas pela ABNT NBR 12118¹¹ (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: métodos de ensaio) foram executados os ensaios de resistência à compressão, análise dimensional, absorção e área líquida, para avaliar as características físicas e mecânicas dos blocos fabricados com água subterrânea e com efluente tratado.

Além dos ensaios de caracterização física e mecânica, foram realizados ensaios de solubilização para avaliação dos possíveis riscos à saúde humana. E, posteriormente, para um melhor entendimento das características físicas e morfológicas, foram realizados ensaios de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras estudadas. Ao final, foi realizada a comparação dos resultados obtidos com os blocos fabricados com água subterrânea e com os fabricados com o efluente tratado.

2.1. Caracterização das ETEs

As ETEs, onde foram executadas as coletas, estão situadas na região da Bacia do Trobogy, no município de Salvador – Bahia, e atendem a uma população de 3.400 habitantes (ETE 1- Muriçoca) e 4.885 habitantes (ETE 2 – Mocambo).

Na primeira ETE, como pode ser observado na Figura 1, o esgoto bruto chega por duto forçado (elevatória), passa por uma grade que retém materiais de dimensões maiores e segue para a caixa de areia, onde a areia é removida por sedimentação, enquanto a matéria orgânica permanece em suspensão e segue por uma calha para os tanques que irão proporcionar oxigênio por meio de aeradores para os microrganismos aeróbicos (bactérias, protozoários, etc.) que se alimentam do material orgânico dos efluentes. Depois o efluente segue para os decantadores, onde é separado o efluente tratado do lodo ativado, que é recirculado ao tanque de aeração para manter a concentração de microrganismos. O efluente líquido, clarificado, retorna então ao meio ambiente.

Na segunda ETE biológica visitada, a matéria orgânica em suspensão é tratada por duas lagoas de estabilização aeradas (Figura 2) onde aeradores fornecem o oxigênio para degradação biológica. As lagoas ficam em níveis diferentes e funcionam por gravidade.

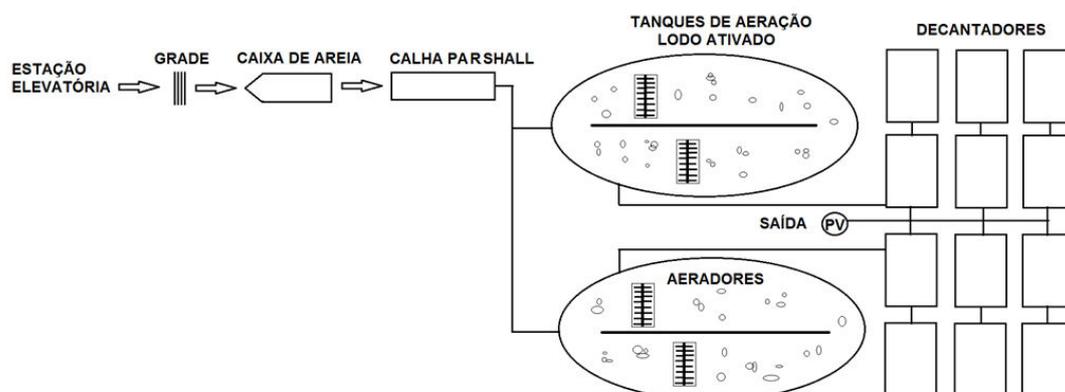


Figura 1. Esquema gráfico da ETE 1. Fonte: Oliveira⁹

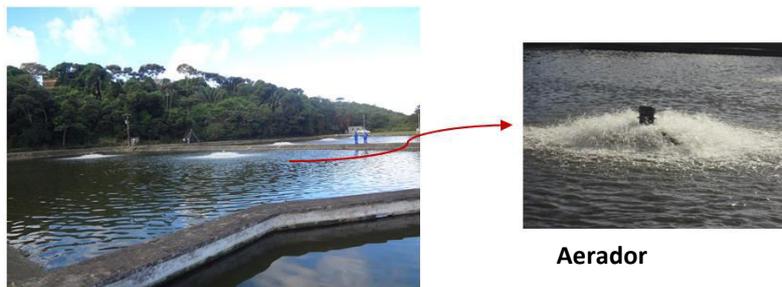


Figura 2. Imagens das Lagoas da ETE visitada. Fonte: Oliveira⁹

Em seguida, a amostra foi encaminhada para o laboratório, onde foram realizadas as análises das características físico-químicas e biológica do esgoto tratado segundo os parâmetros cloretos, sulfatos, coliformes totais, surfactantes, sólidos em suspensão, dureza total, pH, DBO, DQO. As análises destes parâmetros foram realizadas de acordo com os métodos padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater SMEWW*.¹²

O passo seguinte foi a realização da coleta da água subterrânea (água de poço) utilizada na fábrica de blocos e a análise dos mesmos parâmetros no laboratório.

2.2. Fabricação dos blocos

Para este estudo, a fabricação dos blocos foi realizada em uma fábrica de pré-

moldados, situada na região metropolitana de Salvador, Bahia, onde a produção é realizada em um processo automatizado e contínuo, sem o contato direto com o efluente, o que praticamente elimina a possibilidade de contaminação dos operários por algum microrganismo potencialmente patógeno.

Diariamente são produzidos de 50 a 70 m³ de concreto. Como pode ser observado na Figura 3, o cimento é estocado em um silo com capacidade para 105 toneladas e o agregado é distribuído em cinco compartimentos com capacidade para 40 m³ cada, sendo dois para a areia, um para pó de pedra, um para areia de brita e um para brita 9,5 mm.

A Tabela 1 apresenta a dosagem de materiais utilizados na composição do traço para a fabricação dos blocos.

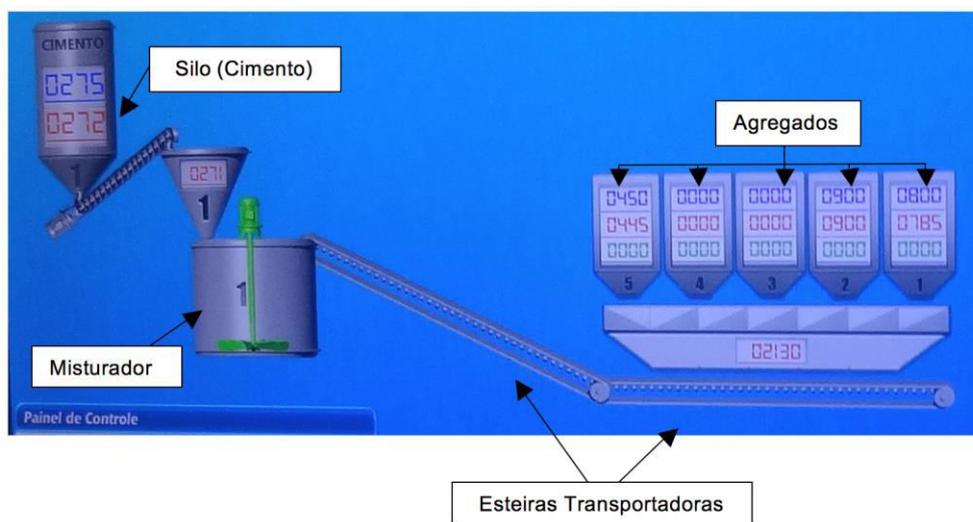


Figura 3. Distribuição e mistura dos agregados. Fonte: Oliveira⁹

Tabela 1. Dosagem dos materiais para fabricação dos blocos. Fonte: Oliveira⁹

Material	Unidade	Quantidade
Cimento CP II – 40	kg	133
Areia de brita	kg	445
Brita 9,5 mm	kg	210
Pó de brita	kg	133
Água	L	66
Aditivo	L	1

A dosagem dos materiais para a experiência resultou em um volume de 0,5m³ de concreto e a produção de aproximadamente 90 blocos.

Inicialmente foram produzidos blocos com a água subterrânea, que foram denominados Blocos A (amostra controle). Em seguida, foram produzidos os blocos com o esgoto tratado da ETE 1(Muriçoca), denominados de Blocos B. E, por último, foram produzidos os blocos com o esgoto tratado da ETE 2 (Mocambo), os Blocos C.

Os blocos foram acomodados em prateleiras, transportados e armazenados nas câmaras de cura por 24 horas. Após a cura, foi feito o transporte para análise em laboratórios de caracterização.

2.3. Caracterização Física e Mecânica dos Blocos

2.3.1. Análise Dimensional

A análise dimensional foi realizada conforme a Norma NBR 12118:2011¹¹ e verificado as dimensões do bloco (largura, comprimento, altura e espessura das paredes). Para este ensaio foi utilizado um paquímetro digital, cuja precisão corresponde a 1 mm. Foram utilizados cinco blocos, de cada amostra A, B e C, para cada série (7, 14 e 28 dias). O resultado final foi obtido através do cálculo da média das dimensões encontradas e o desvio padrão.

As dimensões dos blocos devem corresponder às dimensões nominais

estabelecidas pela NBR 6136:2014,¹³ ou seja, para o meio bloco (que foi utilizado nesta experiência) devem ser: 90 mm (largura) x 190 mm (altura) x 190 mm (comprimento), com tolerância de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento.

2.3.2. Ensaio de absorção e área líquida dos blocos

Foram utilizados três unidades para cada série de blocos (Blocos A, B e C). Os blocos foram pesados em uma balança Modelo KN-60, com capacidade para 60 kg, com dimensões (LAP mm) - 460 X 130 X 365. Em seguida, foram levados à estufa para a secagem, a uma temperatura de 112 °C, onde permaneceram por 24 horas. A NBR 12118:2011¹¹ determina que a temperatura seja de 110 \pm 5 °C. Após o resfriamento, os blocos foram levados à balança e registrados os valores da massa seca.

2.3.3 Análise Mecânica

Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada uma prensa hidráulica da marca EMIC, cuja capacidade máxima é de 200 tf, precisão é de $\pm 1\%$ nas faixas de utilização e sistema de medição de carga transdutor de pressão hidráulica com capacidade de 350 bar e precisão de $\pm 0,5\%$ do fim de escala. Foram utilizados cinco blocos para cada série (7, 14 e 28 dias) conforme NBR 12118:2011¹¹ totalizando 45 blocos ensaiados.

2.4. Ensaio de solubilização

Com a finalidade de avaliar a possibilidade de riscos à saúde humana e a presença de substâncias agressivas ao concreto utilizado na fabricação dos blocos, o ensaio de solubilização foi realizado de acordo com a NBR 10006:2004¹⁴ – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. As substâncias analisadas no solubilizado foram cloreto, sulfato e coliformes totais, determinadas de acordo com métodos padrões *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – SMEWW.¹²

2.5. Análise Morfológica

Para analisar o comportamento físico mecânico e a microestrutura dos blocos produzidos, após os ensaios mecânicos, as

amostras A, B e C foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura utilizando um equipamento da marca Jeol brand, model JSM - 6510LV. As amostras antes de ensaiadas foram recobertas com uma camada de Ouro (Au) e submetidas a 20Kv para melhor contraste e captura das imagens. Foram obtidas imagens com ampliação de 1000X, 1500X e 3000X.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise das características químicas

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos na análise das características químicas relativas às amostras obtidas nas ETE 1 (lodo ativado), ETE 2 (lagoa de estabilização) e da água subterrânea, além da comparação com os padrões estabelecidos NBR 15900-1.¹⁰

Tabela 2. Características físico-químicas do efluente tratado por ETE e da água subterrânea e requisitos da NBR 15900-1¹⁰

Ensaio	Efluente Tratado (ETE 1)	Efluente Tratado (ETE 2)	Água Subterrânea	Requisitos NBR 15900-1 (água para preparo de concreto)
Cloretos (mg/l)	102	10,9	4,76	Para concreto simples (sem armadura) não deve ser maior que 4500 mg/l
Sulfatos (mg/l)	42,5	6,18	1,29	> 2 000 mg/l
pH	6,34	7,63	6,76	--
Dureza Total (mg/l CaCO ₃)	47,3	73,7	< 1,0	--
Coliformes Totais (UFC/100 ml)	confluyente	2,2 x 10 ⁵	5,2 x 10	--
DBO – Demanda Biológica de Oxigênio (mg/l)	8,9	132	2,0	--
DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg/l)	88	399	36	--
Surfactantes (mgLAS/l)	0,10	0,08	< 0,01	--
Sólidos em suspensão (mg/l)	8,5	40,0	15,0	--

A análise dos cloretos e dos sulfatos indica que os efluentes tratados pelas ETEs biológicas 1 e 2 atendem aos requisitos de água para preparo de concreto, estabelecidos pela NBR 15900-1¹⁰ para os parâmetros cloreto e sulfato, o que pode viabilizar a utilização para a fabricação de blocos vazados de concreto. Com relação aos demais parâmetros não foram encontrados padrões ou recomendações na norma para o preparo do concreto.

O resultado do pH apresenta também um resultado satisfatório, uma vez que os valores estão bem próximos ao valor de neutralidade (pH=7).

Os resultados de dureza total e sólidos apresentaram valores mais elevados no efluente tratado. O valor alto encontrado no parâmetro dos coliformes totais deve-se ao fato de que a ETE não dispõe de processo de desinfecção do efluente tratado. No entanto, acredita-se, que em função do processo produtivo, estes fiquem imobilizados no bloco.

Segundo a Resolução n.430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA¹⁵ a DBO, ou seja, “a quantidade de

oxigênio necessária para oxidar qualquer matéria orgânica presente na água durante um dado período de tempo, geralmente cinco dias, deve ser de no máximo 120 mg/L para lançamento do esgoto tratado em corpos hídricos. No entanto os valores para DBO e DQO foram mais elevados para o efluente tratado das lagoas, o que pode ter relação com a quantidade de algas presentes na lagoa (pois o efluente apresentava-se esverdeado) e que permanecem neste. Cabe ressaltar que, para este estudo, foram realizadas coletas pontuais do efluente.

3.2. Análise dimensional dos blocos

Na análise dimensional, é importante observar que a regularidade das dimensões é fundamental para o bom desempenho da modulação da alvenaria. Como os blocos (A, B e C) passaram pelo mesmo processo de fabricação, não houve alterações significativas com relação à análise dimensional e os resultados ficaram dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela Norma, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação dos resultados da análise dimensional.

Dimensões Nominais (mm)	Blocos A			Blocos B			Blocos C		
	Média ₁	Média ₂	Média ₃	Média ₁	Média ₂	Média ₃	Média ₁	Média ₂	Média ₃
L = 90	91,11	91,05	90,62	91,27	91,26	90,99	91,74	91,79	91,28
A = 190	187,98	187,95	188,52	185,42	185,40	187,19	188,69	188,84	188,23
C = 190	191,00	190,97	191,17	191,36	191,54	190,67	191,27	191,48	190,85

L = largura; A = Altura; C = Comprimento;

Média¹ – Média das dimensões dos blocos da amostra aos 5 dias de idade; Média² – Média das dimensões dos blocos da amostra aos 12 dias de idade; Média³ – Média das dimensões dos blocos da amostra aos 25 dias de idade.

3.3. Ensaio de absorção

O ensaio de absorção de água está relacionado diretamente à impermeabilidade e a durabilidade dos blocos. A absorção é

mais alta, quanto mais poroso for o bloco. Os resultados demonstram que os blocos fabricados com efluente tratado estão em conformidade com a Norma Técnica ABNT NBR 6136:2014¹³ e apresentaram menor

índice de absorção, portanto menor aumento de carga na alvenaria quando houver ocorrência de chuvas (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação dos resultados do ensaio de absorção

Ensaio de Absorção						
CP	Blocos A					
	Indiv. (%) ¹	Média (%) ¹	Indiv. (%) ²	Média (%) ²	Indiv. (%) ³	Média (%) ³
01	6,9	7,0	6,8	6,9	7,3	7,3
02	7,0		6,8		7,3	
03	7,2		7,0		7,4	
CP	Blocos B					
	Indiv. (%) ¹	Média (%) ¹	Indiv. (%) ²	Média (%) ²	Indiv. (%) ³	Média (%) ³
01	6,8	6,7	6,9	6,8	7,3	7,1
02	6,5		6,6		7,0	
03	6,7		6,8		7,1	
CP	Blocos C					
	Indiv. (%) ¹	Média (%) ¹	Indiv. (%) ²	Média (%) ²	Indiv. (%) ³	Média (%) ³
01	5,8	6,1	5,4	5,7	5,8	6,0
02	6,3		6,1		6,3	
03	6,1		5,6		6,0	
NOTA ₁ - Indiv. = Absorção individual; (%) ¹ – Percentual de absorção dos blocos aos 5 dias de idade. (%) ² – Percentual de absorção dos blocos aos 12 dias de idade. (%) ³ – Percentual de absorção dos blocos aos 25 dias de idade. NOTA ₂ - Requisitos da ABNT NBR 6136:2014 para o ensaio de absorção, utilizando agregado normal:						

Os requisitos da ABNT 6136:2014¹² para o ensaio de absorção, como uso de agregado normal são:

- Blocos com função estrutural – Classe A – Individual < 8,0% - Média < 6,0%
- Blocos com função estrutural – Classe B – Individual < 10,0% - Média < 8,0%
- Blocos com ou sem função estrutural – Classe C – Individual < 12,0% - Média < 10,0%

Os resultados demonstram que os blocos fabricados com o esgoto tratado pelas ETE 1 (Blocos B) e ETE2 (Blocos C) estão em

conformidade com a Norma Técnica ABNT NBR 6136:2014.¹³

3.4. Ensaio de resistência à compressão

Considerando-se que o processo de fabricação, o traço (dosagem dos materiais) e o processo de cura foram os mesmos para as três amostras (A, B e C), os blocos fabricados com o esgoto tratado (Blocos B e C) superaram as expectativas atingindo valores de resistência à compressão superiores aos blocos da “amostra controle (Blocos A)”, já

aos 7 dias de idade. A amostra C foi a que apresentou maior resistência nas três idades (7, 14 e 28 dias), o que pode ser visualizado na Figura 4.

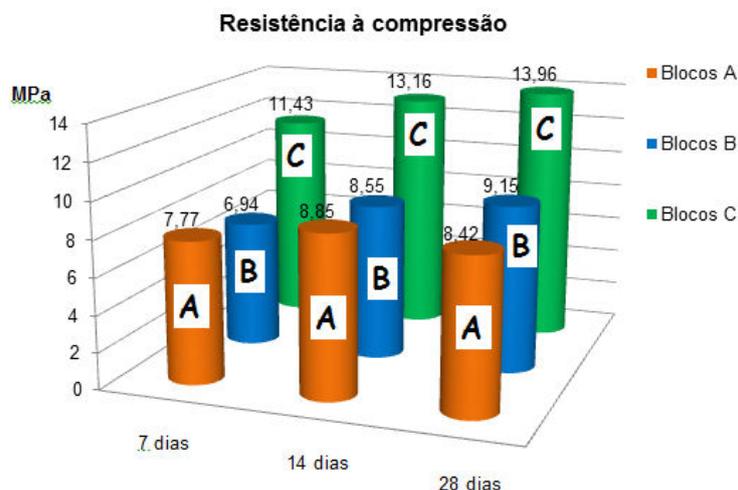


Figura 4. Resultados do ensaio de resistência à compressão para as amostras estudadas

Como a amostra C foi produzida com água proveniente da lagoa de estabilização facultativa, onde há presença de algas (o que pode ser comprovado pela coloração do efluente), é possível que estas, durante o processo produtivo dos blocos, liberem substâncias orgânicas que auxiliem no processo de coesão das partículas fortalecendo a microestrutura interna dos blocos, funcionando como aditivo aglutinador natural para aumento da resistência dos blocos.

Possivelmente a matéria orgânica presente na água promoveu uma interação interfacial entre os aglomerados resultando em maiores valores de resistência de compressão quando comparado com a amostra A.

3.5. Ensaio de solubilização

Na Tabela 5 encontram-se descritos os resultados obtidos no ensaio de solubilização,

realizado de acordo com a ABNT NBR 10006:2004¹⁴ (Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos).

Os resultados demonstram que os parâmetros cloreto e sulfato estão bem abaixo dos padrões normatizados pela ABNT NBR 10004:2004¹⁶, tornando viável a utilização dos blocos (B e C) produzidos com o esgoto tratado.

Cabe ressaltar que não foi encontrado na literatura dados ou estudos similares sobre aplicação de água de reuso para produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação, visando a comparação dos dados obtidos.

3.6. Ensaio de microscopia eletrônica de varredura

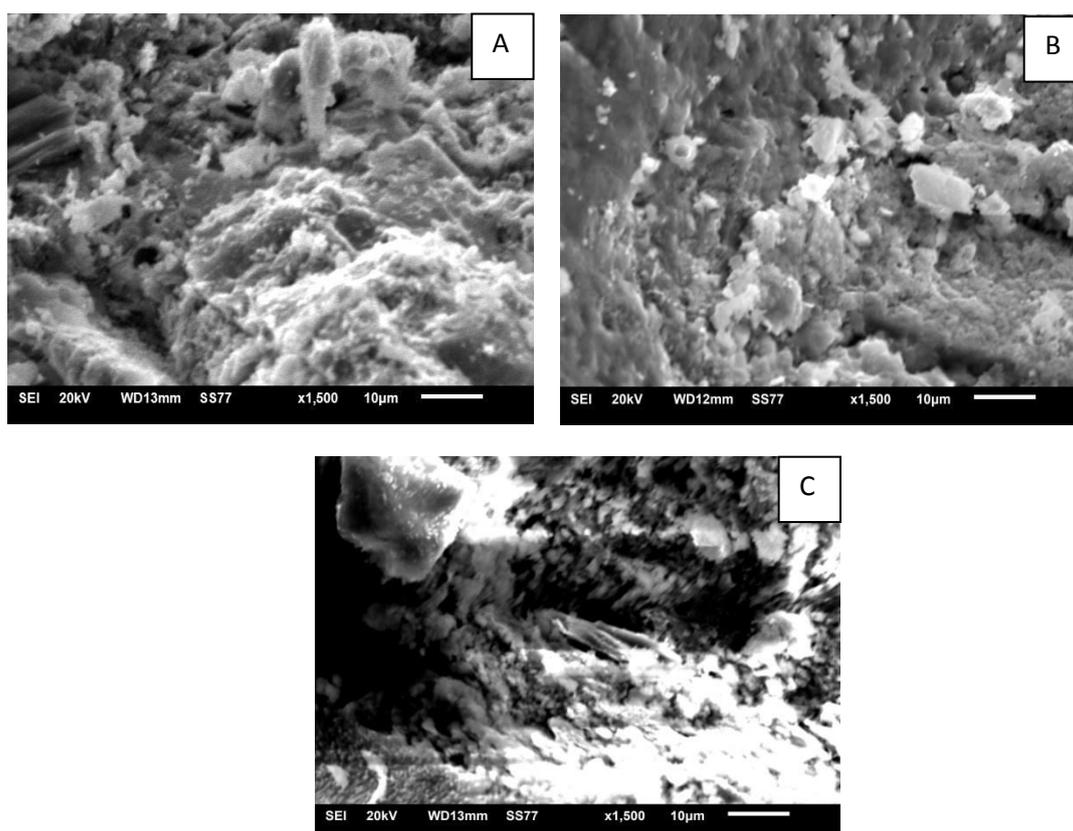
Na Figura 5 podem ser observadas as micrografias obtidas pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os três tipos de blocos estudados.

Tabela 5. Ensaio de Solubilização

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO					
Ensaio	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Unidade	Limite aceitável (NBR 10004:2004) ¹⁶
Cloretos	1,91	2,15	1,84	mg/L	250,0 mg/L
Sulfatos	22,9	23,7	15,7	mg/L	250,0 mg/L
Coliformes Totais	<1	<1	<1	UFC/100mL	--

Métodos:
 Cloreto – EM 138 QGI (EPA 300.1-1)
 Sulfato – EM 138 QGI (EPA 300.1-1)
 Coliformes Totais – EM 005 MIC (SMEWW 9222 A,B,C)

Legenda:
 SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition.
 UFC: Unidade formadora de colônia
 <X: Em ensaios microbiológicos indicam compatibilidade com ausência de crescimento microbiano na amostra analisada.

**Figura 5.** Imagens de MEV a) Blocos com água subterrânea, b) Blocos com água tratada da ETE 1 e c) Blocos com água tratada ETE 2

Nas imagens obtidas, é possível verificar a presença de duas fases, um substrato e uma fase mais floculada. Nas imagens 4b e 4c este fato deve-se a presença de fase orgânica na estrutura, visto que foi utilizada água de reuso tratada como ligante na fabricação dos blocos. Este fato foi confirmado quando forma comparadas as imagens obtidas com a análise química dos efluentes utilizados.

Este dado está de acordo com os resultados dos ensaios de resistência à compressão, ou seja, é possível que as substâncias orgânicas presentes no efluente atuem como um agente aglutinador natural. Sugere-se que esta hipótese futuramente seja melhor investigada.

De acordo com Braga *et al.*¹⁷ a viabilidade do reuso está diretamente associada a um planejamento adequado para a diminuição dos riscos à saúde e para alcançar o desempenho esperado onde está sendo aplicado. Em relação aos riscos à saúde, o processo utilizado para fabricação dos blocos, neste estudo, foi totalmente automatizado, ou seja, não houve contato manual do operário no processo de fabricação.

Em função desse processo produtivo, acredita-se que a carga orgânica e os coliformes fiquem imobilizados nos blocos, não havendo problemas no manuseio durante a utilização dos mesmos. Em caso de fabricação pelo processo manual, recomenda-se trabalhar com efluente tratado por ETEs eficientes em termos de remoção de carga orgânica e coliformes, ou utilizar equipamentos adequados de proteção individual, de modo a não haver contato manual do operário com o efluente.

4. Conclusão

Conforme os resultados apresentados, verificou-se que o efluente tratado pelas ETEs biológicas 1 e 2 atendem aos requisitos de água para preparo de concreto em relação aos parâmetros cloreto e sulfato, estabelecidos pela NBR 15900-1.¹⁰

De acordo com os critérios das análises realizadas, pode ser observado que os blocos produzidos com efluente tratado apresentaram conformidade com os requisitos da NBR 6136:2014¹³ e melhores resultados de resistência mecânica à compressão quando comparados aos fabricados com água subterrânea, utilizando o procedimento padrão. Os blocos produzidos com o efluente proveniente da lagoa de estabilização facultativa (blocos C) apresentaram resistência mecânica à compressão 47,1%, 48,7% e 65,8% superiores aos resultados apresentados pelos referidos blocos (amostra controle) para as três idades (7, 18 e 28 dias), respectivamente.

Estes resultados podem viabilizar o reuso do efluente tratado, tendo como consequência a maximização do uso dos recursos hídricos e práticas favoráveis ao desenvolvimento sustentável da construção civil e à proteção ao meio ambiente. O desempenho dos blocos fabricados com o esgoto tratado foi então satisfatório para sua aplicação na alvenaria.

Em função do processo produtivo dos blocos de concreto e de acordo com os resultados dos ensaios de solubilização e de MEV, acredita-se que a carga orgânica e os coliformes fiquem imobilizados nos blocos, não havendo problemas no manuseio durante a utilização dos mesmos.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho estimulem novas pesquisas para utilização de efluentes tratados também em outros componentes da construção civil, tais como os pré-moldados de concreto, entre outros.

Agradecimentos

Agradecemos a Embasa pelo fornecimento dos efluentes tratados e à empresa Civil Pré-moldados pelo apoio à pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ¹ Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial; Departamento Nacional. *Gestão de águas e efluentes*. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Nacional, Departamento Regional da Bahia, Brasília: SENAI/DN, 2013.
- ² Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. *Conservação e reuso de água*. Manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, v. 1, 2004. [\[Link\]](#)
- ³ Brasil, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). *Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005*. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. [\[Link\]](#)
- ⁴ Weber, C. C.; Cybis, L. F.; Beal, L. L. *Reuso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* **2010**, *15*, 119. [\[CrossRef\]](#)
- ⁵ Michael-Kordatou, I., Michael, C.; Duan, X.; He, X.; Dionysiou, D. D.; Mills, M. A.; Fatta-Kassinos, D. Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research* **2015**, *77*, 213. [\[CrossRef\]](#)
- ⁶ Ayaz, S. Ç; Aktas, O.; Akça, L; Nur Fýndýk, N. Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. *Journal of Environmental Management* **2015**, *156*, 115. [\[CrossRef\]](#)
- ⁷ Arslan-Alaton, I.; Tanik, A.; Ovez, S.; Iskender, G.; Gurel, M.; Orhon, D. Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluents in Turkey: a case study on selected plants. *Desalination* **2007** *215*, 159. [\[CrossRef\]](#)
- ⁸ Visvanathan, C.; Asano, T.; *The Potential for Industrial Wastewater Reuse*. Encyclopedia of Life Support Systems. UNESCO Publication, 2001. [\[Link\]](#)
- ⁹ Oliveira, D. D. N.; *Dissertação de Mestrado*, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.
- ¹⁰ Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Água de amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos: NBR 15900-1*. Rio de Janeiro, 2009. 11p.
- ¹¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio: NBR 12118*. Rio de Janeiro, 2011. 13p.
- ¹² American Public Health Association - APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 nd ed., Washington, American Public Health Association Pub., 2012. [\[Link\]](#)
- ¹³ Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos: NBR 6136*. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.
- ¹⁴ Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. NBR 10006*. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.
- ¹⁵ Brasil, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n. 430, 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. [\[Link\]](#)
- ¹⁶ Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Resíduos sólidos – classificação. NBR 10004*: Rio de Janeiro, 2004. 71p.
- ¹⁷ Braga, B.; *Introdução à engenharia ambiental*, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 6a. Reimpressão, 2010.