

## **II-029 - REUSO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO**

**Rafael Melo Torres<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande Norte. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande Norte. Professor do Instituto Federal do Rio Grande do Norte.

**Fabíola da Costa Catombé Dantas<sup>(2)</sup>**

Ecóloga pela Universidade Federal do Rio Grande Norte. Gestora Ambiental pela Universidade Paulista. Mestre em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande Norte. Professora do Instituto Federal do Rio Grande do Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Senador Salgado Filho, 1559 - Tirol - Natal - RN - CEP: 59015-000 - Brasil - Tel: (84) 4005-9843 - e-mail: [rafael.torres@ifrn.edu.br](mailto:rafael.torres@ifrn.edu.br)

### **RESUMO**

Durante anos, a água foi considerada um recurso infinito. Atualmente, o mau uso, aliado à crescente demanda, vem preocupando especialistas no assunto, pelo evidente decréscimo das reservas de águas limpas em todo o planeta. Além de satisfazer necessidades biológicas, ela serve ao meio ambiente, à geração de energia, agricultura, pecuária, industrial, aquicultura, construção civil entre outros. A técnica de reuso de água está cada vez mais conhecida como uma das opções mais eficientes para racionalização da água. Na construção civil, o concreto é o material mais utilizado, e consequentemente utiliza a maior parte da água. O reuso direto planejado dos efluentes em concreto pode ser uma boa alternativa de viabilidade técnica e ambiental. Visando uma menor utilização da água no processo de fabricação de concreto, que é a mesma água para consumo humano e que está cada vez mais em escassez, esse estudo propôs o reuso de efluente tratado para produção de concreto com fins estruturais e/ou não estruturais. A pesquisa faz um comparativo das características físicas e mecânicas do concreto com água potável com efluente tratado, como também avaliou as características físico-químicas dos componentes líquidos utilizados para tal produção, de acordo com a NBR 15900-1, que estabelece dados de qualidade da água para amassamento do concreto. Ao término da pesquisa, pode-se destacar um excelente ganho de resistência à compressão do concreto produzido com o efluente tratado, comparado à água potável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reuso, efluente, concreto.

### **INTRODUÇÃO**

Os recursos hídricos são considerados como um recurso abundante e, por muitos, inesgotável. Sendo assim, há descuido com o controle dos mananciais. Hoje em dia, é cada vez mais comum ter exemplos de falta de água para consumo no mundo, por exemplo, o rebaixamento do nível dos lençóis freáticos e os baixos níveis de volume de água nos mananciais superficiais. Logo, vale salientar que inúmeras regiões do planeta possuem problemas, principalmente, com a falta de água doce, entretanto, a relação da oferta e demanda por água não é apenas das regiões secas, visto que vários locais do país sofrem com a escassez na atualidade. Dentre esses fatores, a construção civil consome 50% dos recursos naturais, valendo destacar a água como o recurso mais utilizado nesse espaço (VIEIRA, 2010). Com a escassez dos recursos hídricos, várias indústrias têm buscado um planejamento do reuso de água em suas atividades, entre elas a construção civil.

Buscando soluções sustentáveis na construção civil, destaca-se o uso de processos construtivos que minimizem os impactos ambientais negativos. Neste contexto, a reutilização é uma forma de enfrentar o problema da falta de água, pois é um processo com tecnologias eficientes e adequadas para utilização de diversos fins, trazendo resultados positivos para o meio ambiente (MOTA; VON SPERLING, 2009). Estudos mostram a viabilidade econômica e ambiental do reuso de água de chuva e efluentes na construção civil, por exemplo, na compactação de valas de esgotamento sanitário e abastecimento de água; leitos e subleitos de estradas. Um planejamento adequado desses serviços de engenharia demonstra ganhos econômicos significativos além de um bom desempenho técnico esperado.

Nesse sentido, o estudo foi desenvolvido em parceria com a Estação de Tratamento de Esgotos - ETE da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, que disponibilizou a coleta do efluente, seguindo para análise e por fim obter-se a viabilidade técnica de reuso.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A amostra do efluente tratado coletada na ETE – UFRN foi submetida às análises físico-química pela necessidade de enquadramento do efluente no cumprimento dos requisitos exigidos pela norma NBR 15900-1:2009 que trata de água de amassamento do concreto. O mesmo procedimento realizado com o efluente estendeu para a água potável que se usou no concreto de referência. A ETE consiste em uma estação com sistema de valo de oxidação (tanque onde ocorre o processo de degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos aeróbicos). O sistema ainda compreende a etapa de decantação (tanque onde ocorre o processo de remoção dos resíduos sólidos, formando lodo pela ação da gravidade), filtro anaeróbio (tanque que ocorre remoção de matéria orgânica dissolvida, tendo a brita como material de enchimento) e desinfecção (com o uso de cloro gasoso). A escolha deste sistema é devido a elevada eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio e sólidos em suspensão, além disso, a eliminação de agentes patogênicos na etapa final no tratamento pelo processo de desinfecção é importante para o manuseio do efluente na pesquisa. Após a coleta do efluente tratado para fins de reuso para água de amassamento de concreto, foram realizadas as seguintes análises: açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo, zinco, sulfatos, álcalis, cloretos, óleos e gorduras, detergentes, cor.

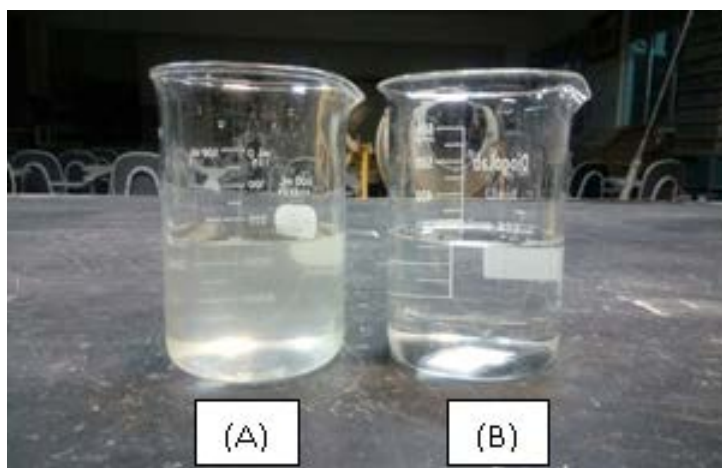
Foram realizados ensaios físicos dos elementos constituintes do concreto: granulometria do agregado miúdo; módulo de finura do agregado miúdo; diâmetro máximo do agregado miúdo; massa específica e aparente dos agregados miúdos, grãos e aglomerante; consistência e tempo de pega do cimento com a finalidade de realizar a dosagem do concreto. Esses materiais foram provenientes dos laboratórios de construção civil do IFRN, armazenados em quantidades suficientes para todo o desenvolvimento para a pesquisa. Para o concreto dosado em laboratório foi utilizado o cimento Portland CP II – Z – 32, com adição de até 6 a 14 % de pozolana. Foi utilizado agregado miúdo (areia de origem natural) e agregado graúdo (brita 1) de origem granítica. A dosagem do concreto foi baseada no método brasileiro ABCP/ACI, adaptado da American Concrete Institute para resistência característica de 25 MPa e abatimento de  $90 \pm 10$  mm, resultando no traço de referência 1: 1,62: 2,72: 0,50 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água/cimento).

Foram produzidos 30 corpos de prova, seguindo os padrões estabelecidos pela NBR 5739:2015, sendo 15 para referência, utilizando água potável no amassamento, e 15 produzidos com a substituição total da água potável pelo efluente da estação de tratamento de esgoto (Figura 01; Figura 02). Para a determinação da resistência à compressão axial utilizou-se uma prensa elétrica hidráulica que aplica uma carga gradual e o software compõe o diagrama de Tensão x Tempo à medida que a carga vai sendo aplicada e, ao final, gera o relatório com as informações retiradas do teste. Ensaios no concreto fresco também foram realizados: consistência normal e tempo de pega da pasta; consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Uma análise de variância (ANOVA) foi realizada, seguida de testes estatísticos a posteriori para comparação dos dados físico-químicos do efluente e dados dos ensaios físicos e mecânicos do concreto obtidos, com objetivo de que as características do concreto com água potável e com efluente tratado sejam estatisticamente iguais.



**Figura 1: Corpos de prova de concreto produzido com efluente.**



**Figura 2- Comparativo entre (A) efluente/ETE e (B) água potável**

## **RESULTADOS**

No mesmo dia de confecção do concreto com uso total do efluente foi retirada uma amostra para as análises solicitadas, tal ação deu-se pela necessidade de enquadramento do efluente no cumprimento dos requisitos exigidos pela norma. O mesmo procedimento realizado com o efluente estendeu para a água potável que se usou no concreto de referência, os resultados são apresentados conforme Tabela 01.

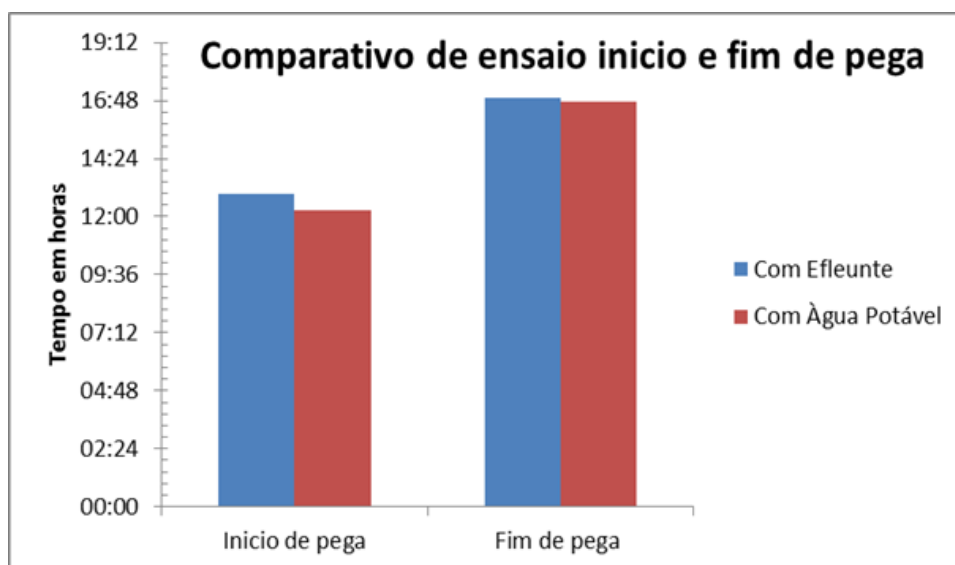
**Tabela 1 - Características físico-químicas do efluente tratado por ETE biológica, da água potável e requisitos da NBR 15900-1.**

Substância	Unidade	Efluente Tratado (ETE)	Água Potável	Requisitos NBR 15900-1 Limite Permissível
<b>Cloretos</b>	mg/L	121,86	26,97	250
<b>pH</b>	---	7,20	6,72	---
<b>Álcalis Solúveis em Água</b>	mg/L	141,06	4,58	1500
<b>Nitrato</b>	mg/L	3,36	14,76	500
<b>Fosfato</b>	mg/L	< 0,5	9,10	100
<b>Óleos e graxas</b>	---	Sem traços visíveis	Sem traços visíveis	Apenas traços visíveis
<b>Sulfato</b>	mg/L	0,24	19,98	2000
<b>Açúcar</b>	mg/ L	4,11	2,47	100
<b>Detergentes</b>	---	Sem espuma	Sem espuma	Sem espumas em 2min
<b>Sólidos Totais</b>	mg/L	314,00	186,00	50000
<b>Cor</b>	---	Incolor	Incolor	Amarelo claro a incolor
<b>Chumbo</b>	mg/L	< 0,10	< 0,10	100
<b>Zinco</b>	mg/L	0,015	0,009	100

Foi realizado o ensaio de consistência normal da pasta de cimento, com o objetivo de encontrarmos a pega do cimento. A pasta-teste é feita por uma mistura de cimento e água com quantidade aleatórias a fim de obter encontrar uma viscosidade específica e padronizada segundo a norma NBR NM 43: 2003. O ensaio realizado no laboratório foi submetido à comparação com o uso de água potável coletada pela rede distribuidora e com a amostra de efluente coletado. Após diversas tentativas na realização do ensaio, a relação água/cimento encontrada correspondeu ao valor de 0,272g de água, tanto da potável quanto do efluente, para a consistência normal da pasta conferida no aparelho de Vicat, ao qual após solta no molde plástico atingiu 6 mm.

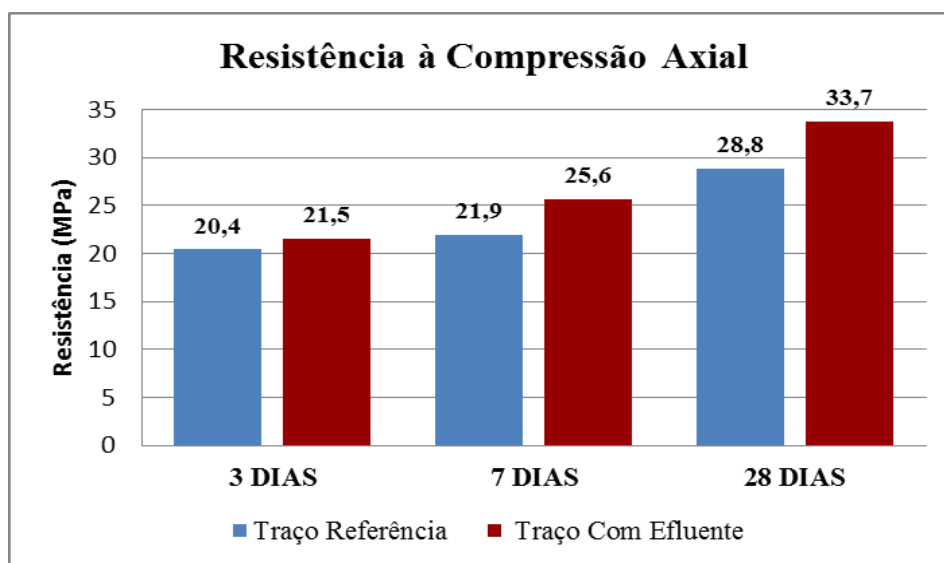
Com a finalização do ensaio de consistência normal conferida no aparelho de Vicat, o mesmo também é utilizado para determinar o tempo de pega do cimento, ou seja, a velocidade do seu endurecimento. Este ensaio é regulamentado pela NBR NM 65: 2003, que estabelece os parâmetros de realização do ensaio. Com o valor de água encontrado no ensaio de consistência normal da pasta, deu-se realização o ensaio de tempo de início e fim de pega, seguindo o mesmo comparativo com água potável e com o efluente coletado, com fins de obter divergências nos resultados, tendo em vista que usou-se o mesmo tipo de cimento para confecção da pasta.

A diferença de tempo para o início e fim de pega correspondeu a exatos 30 minutos de uma pasta para outra, onde a pasta confeccionada com o efluente teve seu início e fim de pega depois que a pasta produzida com água potável, apresentado na figura 3.



**Figura 3 - Comparativo de ensaio início e fim de pega**

Mediante a realização do ensaio de resistência a compressão do concreto comparando os resultados da média diagnosticou-se que houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) nos valores obtidos, e que consequentemente a resistência do concreto a compressão axial confeccionado com o efluente tratado é superior às amostras com água potável (Figura 04).



**Figura 04 - Valores obtidos no ensaio de resistência a compressão axial**

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A amostra do efluente tratado coletado na ETE – UFRN foi submetida, inicialmente, às análises físico-química, pois segundo Al-Jabr et al. (2011) que investigou o efeito da utilização de águas residuárias industriais nas propriedades de concreto mostra que as composições químicas das águas residuárias podem afetar a qualidade do concreto. Considerando que a quantidade de água no concreto é significativa, substâncias prejudiciais presentes na água em teores acima do que a norma estabelece, acabam resultando no concreto frágil, alteração do tempo de pega, diminuição de resistência e aparecimento de diversas patologias.

Comparando os resultados obtidos com os requisitos exigidos pela NBR 15900-1 que trata da água para amassamento de concreto, constata-se que o efluente atende aos padrões exigidos, onde todos os parâmetros avaliados se enquadra na norma, sendo possível sua aceitabilidade na produção de concreto. Ao discutir sobre a viabilidade do reuso do efluente constatamos a presença das seguintes vantagens: diminuição do custo do m<sup>3</sup> do concreto, ganho ambiental pelo seu reuso, boa resistência mecânica do concreto e qualidade físico-química do efluente satisfatória.

A consistência normal da pasta de cimento foi igual tanto para esgoto quanto para água potável, indicado que as viscosidades dessas pastas foram semelhantes, ou seja, as partículas orgânicas e inorgânicas ainda presentes no efluente tratado não afetou essa importante propriedade do cimento. No entanto o ensaio da pega do cimento mostra um retardo no tempo de endurecimento na pasta com o uso do esgoto que pode ter ocorrido devido à presença de substâncias no efluente que reagiram mais lentamente no processo de hidratação do cimento.

Mediante a realização da análise de variância comparando os resultados da média diagnosticou-se que houve diferença nos valores obtidos, e que consequentemente a resistência do concreto confeccionado com o efluente tratado é superior às amostras com água potável. Na pesquisa o tempo de pega e a resistência à compressão do cimento são inversamente proporcionais, porém é importante mencionar que a velocidade de pega e a rapidez do endurecimento, ou seja, o ganho de resistência, são independentes uma da outra (NEVILLE, 2016).

Relacionando nossos resultados com de outros estudos, verificou que a resistência à compressão com o efluente da ETE tem mostrado um aumento de 3 a 28 dias em relação à água potável. Esses resultados sugerem que a matéria orgânica do efluente pode estar agindo como um agente de dispersão, melhorando a dispersão das partículas de cimento e reduzindo a aglutinação (SILVA et al., 2010).

O ganho de resistência à compressão também é visto na produção de bloco de concreto vazado empregando efluente tratado por lodo ativado, na hipótese de que seja presente 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 (OLIVEIRA et al, 2016).

O aumento da resistência pode está relacionado também com as reações pelas quais o cimento Portland se torna um material aglomerante na mistura com água. Ou seja, a presença de materiais dissolvidos no efluente reagem com os silicatos (principais constituintes do cimento) formando produtos hidratados que resultam em uma massa firme e resistente (NEVILLE, 2013).

## **CONCLUSÕES**

Com a finalização das metas propostas da pesquisa, pode-se ressaltar que os primeiros resultados apresentados favorecem ao uso do efluente de esgoto tratado para a confecção de concreto estrutural, que proporcionou ganhos em sua resistência à compressão comparada ao uso da água potável.

Esse resultado possivelmente é originário da presença de matéria orgânica dissolvida no efluente, que promoveu uma maior interação interfacial entre o aglomerante e agregado, resultando em maior resistência, no entanto, essa hipótese poderá ser comprovada com posteriores avaliações na microestrutura interna do concreto confeccionado com o efluente, podendo ser obtido através de imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

O principal objetivo proposto foi verificado com êxito, após a avaliação dos resultados das análises físico-química do efluente, o mesmo apresentou baixos índices de poluentes, o que podemos concluir que o efluente pode ser utilizado para água de amassamento em concreto estrutural.

É oportuno enfatizar ganhos com a viabilização no reuso do efluente tendo como consequência o uso racional dos recursos hídricos, estimulando a execução de práticas favoráveis ao desenvolvimento sustentável da construção civil e à proteção ao meio ambiente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. 15900-1. Água para Amassamento do concreto. Rio de Janeiro. 2009.
2. ABNT. 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
3. ABNT.43. Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. 2003
4. ABNT.65. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. 2003.
5. AL-JABRI, K.S. ; AL-SAIDY, A.H. ; TAHA, R. ; AL-KEMYANI, A.J. Effect of using Wastewater on the properties of High Strength Concrete. Procedia Engineering. Volume 14. 2011.
6. BRAGA, B. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
7. MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (coord.). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009. cap. 4, p. 119-146
8. NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. Porto Alegre: Bookman, 2016. 5.ed. 888p.
9. NEVILLE, A.M. Tecnologia do Concreto. Porto Alegre: Bookman, 2013. 2.ed. 448p.
10. OLIVEIRA, D. D. Produção de blocos de concreto empregando efluente tratado por lodos ativados e por lagoas de estabilização. Revista Virtual de Química. 2016.
11. SILVA, M. ; NAIK, T. R.SILVA, M. ; NAIK, T. R. Sustainable Use of Resources – Recycling of Sewage Treatment Plant Water in Concrete. II International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. 2010.
12. VIEIRA, L. B. P. Implantação de modelo sustentável para centrais dosadoras de concreto: Redução do volume de resíduos com o uso de estabilizador de pega em centrais dosadoras de concreto. 52º Congresso Brasileiro do Concreto. 2010.