



II-134 – UTILIZAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COMO ÁGUA DE AMASSAMENTO E CURA DE CONCRETO

Jorge Luis Melo da Silva

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará.

Suetônio Mota ⁽¹⁾

Doutor em Saúde Ambiental. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Membro da Academia Cearense de Ciências.

Endereço ⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – UFC. Campus do Pici, Bloco 713. Fortaleza, Ceará. Fone: 3366.96.24 e-mail: suetonio@ufc.br

RESUMO

O consumo de água nas obras de construção civil é elevado e custa caro. Um custo não só financeiro, mas, acima de tudo, ambiental. Há necessidade que se busquem outras fontes de água, que não a água tratada, potável, para execução de atividades e processos nas obras, como as “águas de reúso”. Estudou-se, neste trabalho, a viabilidade, sob o ponto de vista técnico, da utilização de um efluente de esgoto predominantemente doméstico oriundo de sistema de tratamento por lagoas de estabilização da ETE da CAGECE, localizada no município de Aquiraz-CE, como água de amassamento e cura de concreto produzido em escala laboratorial. Em análise química preliminar, o efluente estudado mostrou-se adequado à utilização para a produção de concreto. Os resultados obtidos nos ensaios de determinação de pH a 25°C, sólidos totais, ferro total, cloretos e sulfatos solúveis mostraram-se dentro dos limites exigidos. Não foi constatada diferença significativa entre os resultados obtidos nos ensaios de tempo de pega realizados com pasta de cimento produzida com o efluente analisado e os obtidos com a água potável, obedecendo ao limite de diferença exigido de 30 minutos. Também não foi constatada diferença significativa entre os resultados alcançados nos ensaios de resistência à compressão aos 07 e 28 dias, realizados com corpos-de-prova cilíndricos moldados e curados com o efluente analisado e os obtidos com a água potável, obedecendo ao limite de diferença exigido de 10%. Embora o efluente tratado tivesse um odor característico não muito agradável, a pasta de cimento, o concreto produzido e os corpos-de-prova moldados não sofreram alterações perceptíveis em relação ao seu odor. Comprovou-se que, baseando-se nos requisitos exigidos pela norma NM 137, o esgoto tratado analisado foi adequado para a utilização proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso de águas; uso de esgoto na preparação de concreto; reúso na construção civil.

INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar da aparente abundância de recursos hídricos, o reúso de água vem conquistando espaço, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a escassez representa altos investimentos e custos operacionais para captação e adução de águas a grandes distâncias.

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, quando houver escassez, o uso prioritário da água deverá ser para o abastecimento humano e a dessedentação de animais, o que induz a repensar as estratégias de abastecimento para os diversos outros fins (VITORATTO; SILVA, 2004).

É sabido que a construção civil emprega quantidades significativas de água em praticamente todas as suas atividades. Nos serviços executados nos canteiros de obras, embora a água não seja vista e nem tratada como material de construção, o consumo é bastante elevado. Por exemplo, para a produção de um metro cúbico de concreto, se gasta, em média, de 160 a 200 litros e, na compactação de um metro cúbico de aterro, podem ser consumidos até 300 litros de água. É inadmissível fazer uso da mesma água necessária para fins de higienização, limpeza, preparo de alimentos e consumo humano e de animais, na realização de processos construtivos que podem e devem empregar águas de qualidade inferior.

Desse modo, uma alternativa bastante válida é utilizar esgotos tratados (domésticos ou industriais) na execução de serviços e processos na construção civil, que não necessitem de uma água com padrão de



qualidade elevado, desde que haja uma prévia certificação de que essa alternativa seja viável sob determinados aspectos, principalmente no tocante aos padrões de segurança nas edificações.

O trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade, sob o ponto de vista técnico, da utilização de um esgoto predominantemente doméstico, oriundo de sistema de tratamento por lagoas de estabilização, como água de amassamento e cura de concreto produzido em escala laboratorial.

O que se pretendeu verificar foi se o esgoto tratado utilizado podia ser usado na construção civil como água de amassamento e cura de concretos (simples, armado, protendido etc.).

MATERIAIS E MÉTODOS

O esgoto tratado utilizado na pesquisa foi oriundo da estação de tratamento de esgoto - ETE pertencente à CAGECE, localizada no município de Aquiraz-CE. Essa estação foi projetada para tratar o esgoto bruto predominantemente doméstico produzido pela população dos municípios de Aquiraz-CE e Eusébio-CE, por meio de um sistema de quatro lagoas de estabilização em série: uma anaeróbia; uma facultativa e duas de maturação. Na pesquisa, foi utilizado o efluente da última lagoa de maturação.

Na Figura 1 mostra-se uma vista do sistema de lagoas de estabilização cujo efluente foi utilizado na pesquisa.



Figura 1 – Vista do sistema de lagoas de estabilização em série. Aquiraz, CE. 2007.

A NM 137 (Norma Mercosul) foi utilizada para se determinar se o efluente utilizado atendia os requisitos mínimos necessários para poder ser usado na elaboração do concreto ensaiado, no lugar da água potável. A NM 137, editada em 1997 e adotada pela ABNT, especifica as características para a água destinada à preparação de argamassa e concreto de cimento Portland (ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1997).

As coletas do efluente para os traços foram realizadas durante os meses de outubro a dezembro de 2007. Essas coletas foram feitas semanalmente, totalizando 10 (dez) amostras. Essas amostras foram trazidas para o Campus da Universidade Federal do Ceará, onde foram analisadas no Laboratório de Materiais de Construção do DEECC e no NUTEC, com relação aos parâmetros físicos e químicos exigidos pela NM 137.

A NM 137 foi utilizada para se determinar se o efluente utilizado atende os requisitos mínimos necessários para poder ser utilizado na elaboração do concreto ensaiado, no lugar da água potável. Com base nos ensaios descritos na NM 137, as seguintes determinações foram realizadas para cada uma das 10 (dez) amostras coletadas do efluente de esgoto tratado:



- pH a 25°C (valor adimensional);
- Teor de Sólidos Totais (expresso em mgST/L);
- Teor de Ferro total (expresso em mgFe/L);
- Teor de Cloretos (expresso em mgCl/L);
- Teor de Sulfatos (expresso em mgSO₄²⁻/L);

Segundo a NM 137, as duas últimas determinações mencionadas devem ser levadas em conta apenas para o concreto produzido. Entretanto, realizou-se uma análise prévia para constatar se apenas o efluente atendia esses requisitos, pois, se não os atendesse, de nada adiantaria proceder com a produção do concreto.

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Ensaios com agregados miúdo e grão: determinação das composições granulométricas; determinação das massas unitárias e massas específicas.
- Determinação do tempo de pega da pasta de cimento.
- Ensaios com o concreto produzido: determinação de consistência; determinação da resistência à compressão.

Os valores obtidos nos ensaios de determinação de tempos de pega inicial e final e de resistência à compressão aos 07 e 28 dias, utilizando o esgoto tratado e a água potável, foram analisados estatisticamente por teste de comparação entre valores médios utilizando-se o Teste T de Student ($n \leq 30$), admitindo-se que a população analisada segue uma distribuição normal (Teorema Central do Limite). Adotou-se $\alpha = 5\%$ (0,05).

RESULTADOS

Características do esgoto tratado

O efluente da ETE de Aquiraz - CE foi submetido às análises químicas exigidas pela NM 137. Foram realizadas, ao todo, 10 produções de concreto. Para cada produção foi coletada uma determinada quantidade de efluente e desta quantidade foi retirada uma amostra para realização de análises químicas preliminares. Tais análises tiveram como objetivo verificar se o efluente atendia os requisitos exigidos por norma. Cada amostra foi analisada em tréplica. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas do esgoto tratado*

Data do ensaio	Parâmetro				
	pH a 25°C**	Sólidos Totais (mgST/L)	Ferro total (mgFe/L)	Cloretos (mgCl/L)	Sulfatos (mgSO ₄ ²⁻ /L)
19/10/07	6,56	412	0,4	301,1	12,0
26/10/07	7,02	298	0,6	199,6	10,1
02/11/07	7,41	307	0,7	200,8	14,5
09/11/07	6,92	288	0,5	245,3	13,2
15/11/07	8,00	344	0,6	186,2	12,6
23/11/07	7,77	380	0,3	225,9	11,3
30/11/07	6,84	247	0,3	223,4	10,2
06/12/07	6,95	395	0,4	189,6	11,6
13/12/07	7,94	313	0,5	212,5	11,0
20/12/07	7,17	253	0,3	195,8	10,8

(*) média dos valores das tréplicas. (**) valores adimensionais.



Não foram realizadas análises para a água potável, haja vista que essa água é a mesma utilizada para todos os ensaios realizados no Laboratório de Materiais, oriunda da rede de abastecimento da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará).

Como se pode observar na Tabela 1, nas determinações de pH a 25°C para as 10 amostras de efluente analisadas foram obtidos valores dentro da faixa de aceitabilidade exigida na NM 137 (entre 5,5 e 9,0). A média dos valores foi igual a 7,26.

Nas determinações de sólidos totais, foram obtidos valores bem abaixo do limite máximo de tolerância (5000 mgST/L) para todas as amostras analisadas. A média dos valores foi igual a 324 mgST/L.

Nas determinações de ferro, para todas as amostras analisadas, foram obtidos valores abaixo do valor limite (1,0 mgFe/L). A média dos valores foi igual a 0,46 mgFe/L.

Vale ressaltar que esse limite só é aplicado quando houver restrições estéticas ao possível manchamento do concreto. Como o controle tecnológico de concreto nas obras civis é bastante rigoroso, esse requisito foi levado em consideração nesta pesquisa.

Nas determinações de cloretos solúveis, todas as amostras atenderam os requisitos da norma para os três tipos de concreto considerados: simples (até 2000 mgCl⁻/L), armado (até 700 mgCl⁻/L) e protendido (até 500 mgCl⁻/L). A média dos valores obtidos foi igual a 218,02 mgCl⁻/L.

Nas determinações de sulfatos solúveis, todas as amostras encontraram-se bem abaixo do limite estabelecido pela norma (2000 mgSO₄²⁻/L). A média dos valores foi igual a 11,73 mgSO₄²⁻/L.

Segundo a NM 137, os limites de cloretos e sulfatos solúveis devem ser levados em conta no concreto já elaborado. Entretanto, realizou-se uma análise prévia para constatar se apenas o efluente atendia a esses requisitos, pois, se não os atendesse, de nada adiantaria proceder à produção do concreto.

Esses limites consideram o aporte de sulfatos e cloretos trazidos ao concreto ou à argamassa pela água de amassamento e cura, bem como pela utilização de aditivos químicos, agregados e cimento utilizados na mistura.

Nesta pesquisa, não se utilizaram aditivos químicos para elaboração do concreto e considerou-se o aporte de sulfatos e cloretos oriundos dos agregados e do cimento utilizados igual a 50% da média dos valores obtidos nas determinações realizadas para o efluente, levando em consideração o tipo de cimento utilizado (CP II Z 32) e a origem dos agregados (areia e brita). Não se realizou determinação do teor de sulfatos e cloretos no concreto produzido.

Existem normas para determinação do teor de sulfatos e cloretos nos agregados e no cimento. São elas: NBR NM 16 (2004) e NBR 9917 (1987), respectivamente. Entretanto, as determinações dessas normas não foram realizadas para esse estudo.

Comparando os resultados obtidos com os requisitos químicos de aceitabilidade da NM 137, constatou-se que o esgoto tratado analisado atende os padrões exigidos pela norma, sendo possível proceder-se à produção do concreto.

Determinação das composições granulométricas dos agregados

As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados dos ensaios de determinação de composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo, respectivamente, de acordo com a NBR NM 248.



Tabela 2 – Composição granulométrica do agregado miúdo utilizado

Abertura da malha da peneira (mm)	Porcentagem retida média (%)	
	Individual	Acumulada
12,5	0,8	1
9,5	0,2	1
6,3	1,2	2
4,75	1,0	3
2,36	7,6	11
1,18	22,6	33
0,6	35,6	69
0,3	22,3	91
0,15	7,0	98
< 0,15	1,7	100

Tabela 3 – Composição granulométrica do agregado graúdo utilizado

Abertura da malha da peneira (mm)	Porcentagem retida média (%)	
	Individual	Acumulada
19,0	3,7	4
12,7	77,2	81
9,5	15,3	96
6,3	3,6	100
4,75	0,1	100
> 4,75	0,1	100

Com base nesses resultados, e nas definições de Dimensão Máxima Característica e Módulo de Finura, constantes na NBR NM 248, obtiveram-se os seguintes valores (Tabela 4):

Tabela 4 – Dimensão Máxima Característica e Módulo de Finura dos agregados miúdo e graúdo utilizados

Tipo de agregado	Dimensão Máxima Característica (mm)	Módulo de Finura*
Miúdo	4,75	3,06
Graúdo	19,0	7,00

(*) valores adimensionais

Determinação das massas unitárias e específicas dos agregados

A Tabela 5 mostra os resultados das determinações de massas unitárias, no estado solto e compactado, e massas específicas para os agregados miúdo e graúdo utilizados na pesquisa:



Tabela 5 – Valores de massa unitária (estado solto e compactado) e massa específica dos agregados miúdo e graúdo utilizados

Tipo de agregado	Massa unitária no estado solto (kg/dm ³)	Massa unitária no estado compactado (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)
Miúdo	1,47	*	2,61
Graúdo	1,39	1,57	2,66

(*) determinação não necessária.

Definição da massa específica do cimento

Utilizou-se o tipo de cimento mais usado nas obras de construção civil realizadas no Estado do Ceará, sobretudo nas obras verticais, o cimento Portland CP II – Z 32 RS (fabricante: Nassau®), de massa específica previamente conhecida, igual a 2,91 kg/m³.

Definição da relação água cimento (a/c)

Em função da durabilidade do concreto, definiu-se a relação a/c como igual a 0,45. Embora o cimento utilizado seja resistente a sulfatos, optou-se por não se acrescentar nada a esse valor. Relações a/c elevadas aumentam a permeabilidade do concreto produzido e favorecem o ataque de agentes externos agressivos, acarretando perda de sua durabilidade, bem como podem diminuir o valor da resistência final do concreto.

Definição da consistência requerida

Definiu-se a consistência requerida para o concreto igual a 100 mm. Consistências próximas a 100 mm são usualmente utilizadas para obtenção de concretos de melhor trabalhabilidade. Para obras verticais, onde a necessidade de bombeamento de concreto para alturas elevadas (concretagem de pavimentos superiores de edifícios em construção) é grande, concretos mais “fluidos” são mais recomendados.

Estimativa do consumo inicial de água

Considerando os valores para um abatimento de tronco de cone igual a 100 mm e DMC do agregado graúdo (brita) igual a 19,0 mm, tem-se um consumo de água inicial estimado em 205 L/m³ de concreto.

Estimativa do consumo inicial de cimento

O consumo de cimento inicial é calculado dividindo-se o consumo de água pela relação a/c. Portanto, para uma relação a/c igual a 0,45 e um consumo aproximado de água igual a 205 L/m³ de concreto, tem-se um consumo inicial de cimento de aproximadamente 456 kg/m³ de concreto.

Estimativa do consumo inicial de agregados graúdo e miúdo

O MF do agregado miúdo obtido em laboratório, segundo a NBR NM 248, foi de 3,06. Para uma DMC do agregado graúdo igual a 19,0 mm, tem-se um volume compactado seco de agregado graúdo de aproximadamente 0,650 m³/m³ de concreto.

A determinação do consumo de agregado graúdo é feita multiplicando-se o valor do volume compactado por metro cúbico de concreto pelo valor da massa unitária compactada do agregado graúdo, obtida com base na NBR NM 45. O valor de massa unitária compactada obtido em laboratório foi de 1,57 kg/dm³ (1570 kg/m³). Portanto, o consumo aproximado de brita foi igual a 1020,5 kg/m³ de concreto. Para obter-se o volume inicial de agregado graúdo por metro cúbico de concreto, dividiu-se o consumo inicial pela massa unitária no estado solto (1390 kg/m³). O volume inicial no estado solto obtido foi de aproximadamente 0,734 m³/m³ de concreto.

O valor da massa específica do cimento (ρ_c) informado pelo fabricante é de 2,91 g/cm³ (2910 kg/m³). O valor da massa específica do agregado graúdo (ρ_g) igual a 2,66 kg/dm³ (2660 kg/m³) foi obtido segundo a NBR NM 53. A massa específica da água (ρ_a) foi adotada como sendo aproximadamente 1000 kg/m³. Portanto, o volume inicial de agregado miúdo (V_m) no estado compactado obtido foi igual a 0,254 m³/m³ de concreto.

O consumo inicial de agregado miúdo será igual à sua massa específica multiplicada pelo seu volume. A massa específica do agregado miúdo (ρ_m) igual a 2,61 kg/dm³ (2610 kg/m³) foi obtida segundo a NBR NM 52. Portanto, o consumo inicial estimado de agregado miúdo obtido foi de 664 kg/m³ de concreto. Para obter-se o



volume inicial de agregado miúdo no estado solto, divide-se o consumo pela sua massa unitária no estado solto (1470 kg/m^3). O volume no estado solto inicial obtido foi de $0,452 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto.

Determinação do traço experimental e ajustes no traço obtido

Com base nos valores anteriormente obtidos, o traço experimental teórico, em massa, obtido com base nos valores iniciais estimados foi $1 : 1,46 : 2,24 : 0,45$.

Ao se realizar o ensaio de abatimento de tronco de cone para determinação da consistência do concreto produzido (NBR NM 67), verificou-se que a consistência de 100 mm requerida inicialmente não foi conseguida. Procedeu-se, então, a uma adição de água (205 L/m^3 iniciais para 210 L/m^3). Com essa adição, conseguiu-se chegar a uma consistência de aproximadamente 100 mm.

Com a relação a/c mantida em 0,45, o consumo do cimento passou de 456 kg/m^3 iniciais para 467 kg/m^3 . O consumo de brita não foi alterado, permanecendo em $1020,5 \text{ kg/m}^3$ ($0,734 \text{ m}^3/\text{m}^3$).

Já o consumo de areia mudou, pois ele é obtido diminuindo-se do consumo total os consumos de cimento, água e brita. Obteve-se o volume de areia (V_m) no estado compactado igual a $0,246 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto.

O consumo de areia após as alterações será igual à massa específica da areia (2610 kg/m^3) multiplicada pelo novo volume obtido. O consumo de areia passa de 664 kg/m^3 iniciais para 642 kg/m^3 . Para obter-se o volume de areia no estado solto, dividiu-se o consumo pela massa unitária da areia no estado solto (1470 kg/m^3). O volume no estado solto obtido foi de $0,437 \text{ m}^3$ de areia por metro cúbico de concreto.

Com isso, o traço experimental, em massa, utilizado para a produção do concreto foi $1 : 1,38 : 2,19 : 0,45$.

O traço final de concreto obtido foi reproduzido 20 (vinte) vezes em quantidades suficientes para moldagem do número necessário de corpos-de-prova para cada uma das 20 (vinte) análises de resistência à compressão realizadas, sendo 10 (dez) análises utilizando corpos-de-prova moldados e curados com água potável e outras 10 (dez) análises utilizando corpos-de-prova moldados e curados com o efluente tratado analisado. Cada análise necessitava de 03 (três) corpos-de-prova, totalizando os 120 (cento e vinte) corpos-de-prova moldados para a pesquisa. Todo o concreto produzido foi rodado em betoneira elétrica com capacidade de 30 L.

Análise do tempo de pega da pasta de cimento produzida

Procedeu-se à realização de 20 (vinte) determinações de tempo de pega, sendo 10 (dez) utilizando pasta elaborada com água potável e cimento e 10 (dez) usando pasta elaborada com o efluente analisado e cimento. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de determinação do tempo de pega utilizando água potável e esgoto tratado

Data do ensaio	Água potável		Esgoto tratado	
	Tempo de início de pega (min)	Tempo de fim de pega (min)	Tempo de início de pega (min)	Tempo de fim de pega (min)
20/10/07	130	170	132	165
27/10/07	145	182	130	180
03/11/07	132	180	135	175
10/11/07	130	167	140	170
17/11/07	137	189	145	174
24/11/07	135	185	138	168
01/12/07	140	175	130	178
08/12/07	142	168	125	175
15/12/08	129	183	132	167



A NM 137 exige que a diferença entre os tempos de início de pega para as pastas feitas com água potável e esgoto tratado não sejam superiores a 30 minutos. O mesmo vale para os tempos de fim de pega. Pode-se observar, na Tabela 6, que, para os ensaios realizados, tal diferença foi obedecida.

Análise da resistência à compressão do concreto produzido

De posse do traço experimental, foram realizadas 20 determinações de resistência à compressão, utilizando-se o mesmo tipo de cimento e agregados e água potável. Foram moldados 06 (seis) corpos-de-prova em formato cilíndrico com 30 cm de altura por 15 cm de diâmetro (área nominal da seção transversal igual a 17672 mm²) para cada uma das 10 (dez) análises utilizando água potável, totalizando 60 (sessenta) corpos-de-prova. Desses 60, 30 (trinta) foram rompidos com 07 (sete) dias e os outros 30 (trinta) foram rompidos com 28 dias. Tais corpos-de-prova passaram por processo de cura, ficando imersos em tanques contendo água potável.

Paralelamente, foram realizadas 20 determinações de resistência à compressão, utilizando-se o mesmo tipo de cimento e agregados e o esgoto tratado. Foram moldados 06 (seis) corpos-de-prova em formato cilíndrico com 30 cm de altura por 15 cm de diâmetro (área nominal da seção transversal igual a 17672 mm²) para cada uma das 10 (dez) análises utilizando o esgoto tratado, totalizando 60 (sessenta) corpos-de-prova. Desses 60, 30 (trinta) foram rompidos com 07 (sete) dias e os outros 30 (trinta) foram rompidos com 28 dias. Esses corpos-de-prova passaram por processo de cura, ficando imersos em tanques contendo esgoto tratado. Os resultados das análises de resistência à compressão aos 07 dias, para água potável e efluente tratado são mostrados na Tabela 7.

A NM 137 exige que a diferença entre os valores de resistência à compressão aos 07 dias, dos corpos-de-prova moldados com água potável e esgoto tratado, não sejam superiores a 10%. Pode-se observar, pelos dados da Tabela 7, que para os 60 (sessenta) corpos-de-prova rompidos, tais diferenças foram obedecidas.

O valor médio de resistência utilizando água potável foi igual a 23,73 MPa. O valor médio de resistência utilizando o efluente tratado foi igual a 23,63 MPa. Não houve diferença significativa entre os valores médios de resistência à compressão aos 07 dias utilizando o efluente tratado e a água potável.

Os resultados das análises de resistência à compressão com 28 dias, para água potável e efluente tratado, são mostrados na Tabela 8.

A NM 137 exige que a diferença entre os valores de resistência à compressão aos 28 dias dos corpos-de-prova moldados com água potável e efluente de esgoto tratado não sejam superiores a 10 %. Pode-se observar, pelos dados da Tabela 8, que para os 60 (sessenta) corpos-de-prova rompidos, tais diferenças foram obedecidas.

O valor médio de resistência utilizando água potável foi igual a 26,76 MPa. O valor médio de resistência utilizando o esgoto tratado foi igual a 27,40 MPa. Não houve diferença estatística entre os valores médios de resistência à compressão aos 28 dias utilizando o efluente tratado e a água potável.

Usualmente, na maioria das obras realizadas em Fortaleza e Região Metropolitana de Fortaleza, o valor de resistência à compressão do concreto aos 28 dias varia entre 25 e 30MPa. Pode-se verificar que, tanto para a água potável como para o efluente analisado, os valores de resistência obtidos ficaram dentro dessa faixa.

Levando-se em consideração o tempo de pega e a resistência à compressão aos 07 e aos 28 dias, pode-se verificar que o efluente analisado obedece aos padrões exigidos pela NM 137, podendo ser utilizado como água de amassamento e cura de concreto.



Tabela 7 – Resultados dos ensaios de determinação de resistência à compressão aos sete dias utilizando água potável e esgoto tratado

Data da moldagem	Data do ensaio	Água potável			Esgoto tratado		
		Corpo-de-prova	Limite de resistência (MPa)	Média dos 03 valores (MPa)	Corpo-de-prova	Limite de resistência (MPa)	Média dos 03 valores (MPa)
20/10/07	27/10/07	01	24,00	24,03	07	22,80	23,23
		02	24,20		08	22,90	
		03	23,90		09	24,00	
27/10/07	03/11/07	01	23,80	23,47	07	24,20	24,27
		02	23,40		08	24,70	
		03	23,20		09	23,90	
03/11/07	10/11/07	01	22,90	23,23	07	22,50	23,10
		02	22,80		08	23,70	
		03	24,00		09	23,10	
10/11/07	17/11/07	01	23,70	24,00	07	23,60	24,00
		02	23,50		08	24,10	
		03	24,80		09	24,30	
17/11/07	24/11/07	01	24,50	24,37	07	24,50	24,30
		02	24,70		08	24,40	
		03	23,90		09	24,00	
24/11/07	01/12/07	01	23,80	23,73	07	23,60	23,53
		02	23,40		08	23,00	
		03	24,00		09	24,00	
01/12/07	08/12/07	01	24,50	24,17	07	24,60	24,47
		02	24,10		08	24,70	
		03	23,90		09	24,10	
08/12/07	15/12/08	01	23,70	23,67	07	22,20	22,77
		02	23,20		08	22,70	
		03	24,10		09	23,40	
15/12/08	22/12/07	01	22,90	22,87	07	23,50	23,43
		02	22,70		08	24,00	
		03	23,00		09	22,80	



Tabela 8 – Resultados dos ensaios de determinação de resistência à compressão aos 28 dias utilizando água potável e o efluente de esgoto tratado

Data da moldagem	Data do ensaio	Água potável			Efluente de esgoto tratado		
		Corpo-de-prova	Limite de resistência (MPa)	Média dos 03 valores (MPa)	Corpo-de-prova	Limite de resistência (MPa)	Média dos 03 valores (MPa)
20/10/07	17/11/07	04	28,80	27,73	10	29,60	28,27
		05	27,50		11	27,00	
		06	26,90		12	28,20	
27/10/07	24/11/07	04	24,80	26,77	10	25,20	25,37
		05	27,00		11	24,90	
		06	28,50		12	26,00	
03/11/07	01/12/07	04	26,60	26,17	10	25,80	26,40
		05	26,20		11	25,40	
		06	25,70		12	28,00	
10/11/07	08/12/07	04	25,20	25,53	10	27,00	26,47
		05	25,40		11	26,30	
		06	26,00		12	26,10	
17/11/07	15/12/07	04	24,30	26,10	10	30,10	29,43
		05	27,20		11	29,50	
		06	26,80		12	28,70	
24/11/07	22/12/07	04	25,40	25,10	10	28,40	28,80
		05	25,00		11	28,90	
		06	24,90		12	29,10	
01/12/07	29/12/07	04	29,90	29,03	10	30,00	29,17
		05	28,70		11	28,70	
		06	28,50		12	28,80	
08/12/07	05/01/08	04	24,90	25,43	10	25,40	25,57
		05	25,00		11	24,80	
		06	26,40		12	26,50	
15/12/08	12/01/08	04	29,20	29,13	10	25,30	25,80
		05	29,50		11	25,00	
		06	28,70		12	27,10	
22/12/07	19/01/08	04	30,00	26,63	10	29,10	28,70
		05	25,80		11	26,10	
		06	24,10		12	30,90	



CONCLUSÕES

Nas análises químicas do efluente usado na pesquisa (pH a 25°C, Sólidos Totais, Ferro total, Cloretos e Sulfatos solúveis) verificou-se que o efluente adequou-se aos requisitos exigidos por norma e pode ser utilizado para a produção de pasta de cimento e do concreto.

Pode-se verificar também a adequabilidade do referido efluente para a produção de concreto, em escala laboratorial, baseado nos resultados obtidos nas análises de tempo de pega e resistência à compressão exigidos pela NM 137.

Com base no que foi exposto, sob o ponto de vista técnico, considerando-se os requisitos exigidos pela NM 137 e os resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se verificar que é possível utilizar o esgoto tratado oriundo do sistema de tratamento em quatro lagoas de estabilização em série da ETE da CAGECE em Aquiraz-CE.

Embora o efluente tratado tivesse um odor característico não muito agradável, a pasta de cimento, o concreto produzido e os corpos-de-prova moldados não sofreram alterações perceptíveis em relação ao seu odor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 248 – Agregados - Determinação da Composição Granulométrica. CB-18 / CSM-05, 2001, 6 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. CB-18 / CSM-05, 2006, 8 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 52 – Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. CB-18 / CSM-05, 2003, 5 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 53 – Agregado graúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente e absorção de água. CB-18 / CSM-05, 2003, 8 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. CB-18 / CSM-05, 1998, 8 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 16 – Cimento - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. CB-18 / CSM-05, 2004, 3 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 65 – Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. CB-18 / CSM-05, 2003, 4 p.
8. ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 137 – Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. CSM-05, 15 p., 1997.
9. VITORATTO, ELSON; SILVA, JOSÉ ORLANDO PALUDETTO. Reúso de água na indústria. Informativo CRQ-IV. Edição Março/Abril – Versão Resumida. 2004. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) à realização da pesquisa.