



Estudo de aproveitamento do lodo da ETA de Santa Rosa

Lucas Rafael Perini ¹, Leonardo Corrêa Dias ²

Tatiana Reckziegel ³, Bóris Casanova Sokolovicz ⁴

1 Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e das Missões Campus Santo Ângelo/
boriseng@urisan.tche.br

Resumo

O destino mais comum do lodo de estações de tratamento de água (LETA) são os mananciais. Sabe-se que o LETA deve ser tratado e disposto corretamente conforme a normatização brasileira, tal como é feito em outros países. No presente trabalho avaliou-se a incorporação do lodo de ETA in natura no concreto, substituindo a areia como agregado miúdo, utilizando, como estudo de caso, os resíduos da ETA do município de Santa Rosa/RS. Para os estudos de dosagem, utilizou-se um concreto-referência (sem adição de lodo) e traços de concreto com teores de 3%, 5%, 7,5% e 10% de lodo em relação ao peso de areia, e em substituição da mesma. O lodo é constituído de compostos de Si, Al e Fe. Nos ensaios de resistência a compressão, as dosagens até 7,5% apresentaram um Fc56 maior que 30 Mpa. Para a dosagem com teor de lodo de 10%, o Fc56 foi menor. Concluiu-se que os traços até 7,5% de lodo podem ser aplicados em situações que vão desde a fabricação de artefatos e blocos até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland. Quanto às misturas com teores acima de 7,5%, a sua utilização é restrita a aplicações em que a trabalhabilidade não é um parâmetro primordial.

Palavras-chave: Concreto, lodo de ETA, reutilização.

Área Temática: Tecnologias ambientais.

Study utilization of sludge of WTP from Santa Rosa

Abstract

The most common destination of sludge from water treatment plants (SWTP) is the water source. We know that SWTP has to be treated and willing correctly according to brazilian law, as like in other countries. Was performed the present work for to evaluate the incorporation of sludge from water treatment plants in natura in the concrete replacing the sand, using as a case study the waste from water treatment plant from WTP located in the city of Santa Rosa/RS. For the materials research, a reference concrete (with no addition of sludge) and four concrete mixtures with sludge contents of 3, 5, 7,5 and 10 wt.% (replacing fine aggregate) were produced. The sludge is composed by Si, Al e Fe. In compressive strength testing, dosages up to 7.5 % had a greater than 30 MPa Fc56. For dosing with 10% sludge content was the lowest Fc56. It was concluded that the mixtures with up to 7,5% sludge from WTP can be employed in applications ranging from the manufacture of concrete artifacts and bricks to the construction of Portland cement concrete floors. On the order hand, the use of more than 7,5% sludge in concrete is restricted to applications where the workability of concrete is not a required parameter.

Key words: concrete, sludge from water treatment plan, reuse.

Theme Area: Environmental technologies



1 Introdução

A sociedade está cada vez mais interessada no desenvolvimento da qualidade de vida, que tem direta relação com as condições de habitação e infraestrutura, tendo como serviços essenciais os sistemas de abastecimento de água e a coleta de esgotos sanitários. Dentro dos sistemas de abastecimento de água para a população urbana, são necessárias as estações de tratamento de água (ETA). As ETA's geralmente utilizam o sistema completo de tratamento, que contempla a remoção das partículas finas em suspensão presentes na água bruta e tem como finalidade produzir água biologicamente e quimicamente tratada e segura para o consumo da população (CORDEIRO, 1999).

Em decorrência do procedimento de decantação, o qual é imprescindível para o tratamento da água para consumo, há a geração de resíduos conhecidos por lodos. Dentro desse processo de purificação da água são utilizados diversos processos que necessitam a introdução de produtos químicos, sais de ferro e alumínio que desestabilizam as partículas em suspensão, formando assim flocos com tamanho necessário para que possa ser feita a retirada do material. O lodo representa cerca de 0,3% a 1,0% do volume de água tratada conforme Luciano (1998, citado por Bidone *et al*, 2001), e o tempo de retenção desse lodo depende do sistema utilizado pela ETA, nos sistemas tradicionais, podendo ficar retido durante vários dias (30,40,60) ou então algumas horas, dependendo da forma de limpeza dos tanques.

A introdução das séries de normas ISO 9000 e ISO 14000 tem propiciado a melhoria das empresas, no que se refere à prática e equilíbrio ambiental. Este fato se dá, em razão da exigência da legislação na implantação de métodos sustentáveis, tendo em vista à proteção do meio ambiente. No Brasil existem cerca de 5.564 estações de tratamento de água, dos quais 2.098 geram lodo em seu processo de tratamento. Destas ETA's que geram resíduos, a sua maioria despeja os resíduos de volta nos cursos d'água ou então é feita a disposição em terrenos. Apenas 2,4% possuem soluções para reaproveitamento.

A incorporação deste lodo em elementos de concreto de cimento portland faz com que este lodo seja reaproveitado e também reduz o consumo de agregados miúdos do concreto, haja vista que “o setor da construção civil é o maior consumidor individual de recursos naturais, demandando de 20 a 50% do total de insumos extraídos”. (HOPPEN. *et al*, 2005). Os principais componentes do cimento portland, cálcio (Ca), silício (Si), alumínio (Al), e ferro (Fe), são encontrados também no LETA, sendo assim, pode ser feita a substituição, das matérias-primas em quantidades específicas. Esta solução pode ser empregada na produção de argamassas e artefatos e blocos de concreto para a construção civil (RICHTER, 2001, apud HOPPEN *et al*. 2005).

2 Parte Experimental

A metodologia experimental foi feita em três etapas. A primeira etapa consiste na caracterização das matérias-primas (areia, brita 1, cimento e lodo da ETA); após foi realizado estudo de dosagem, baseado em outros trabalhos realizados (HOPPEN *et al*. 2005; HOPPEN *et al*. 2006), onde foram selecionados 5 traços de concreto, sendo quatro com teores variados de lodo, em relação ao peso seco de areia e um traço padrão (concreto-referência), sem complementação de lodo ao traço, concluindo a segunda etapa. Por último, a terceira etapa, na qual avaliou-se as propriedades das misturas no estado fresco e também o desempenho dos concretos no estado endurecido, a fim de determinar o comportamento dos protótipos de concreto com as adições de LETA em comparação ao concreto referência.



Foram desenvolvidos os seguintes traços: 04 (quatro) traços com substituição parcial do agregado miúdo (areia), com teores de 3% (L3); 5% (L5); 7,5% (L7,5); 10% (L10) de substituição, e 01 (um) traço de referência (R). Para que fosse possível avaliar o desempenho do LETA realizou-se ensaios de análise granulométrica, Limites de Atterberg e o Difratorômetro de Raio-X, a fim de caracterizar este lodo em sua composição. Também foram realizados simultaneamente para os protótipos combinados com lodo, ensaios de resistência à compressão axial, Módulo de Elasticidade, teor de água quimicamente combinada, Difratorômetro de Raio- X, com idades para os ensaios de 28 e 56 dias.

2.1 Materiais

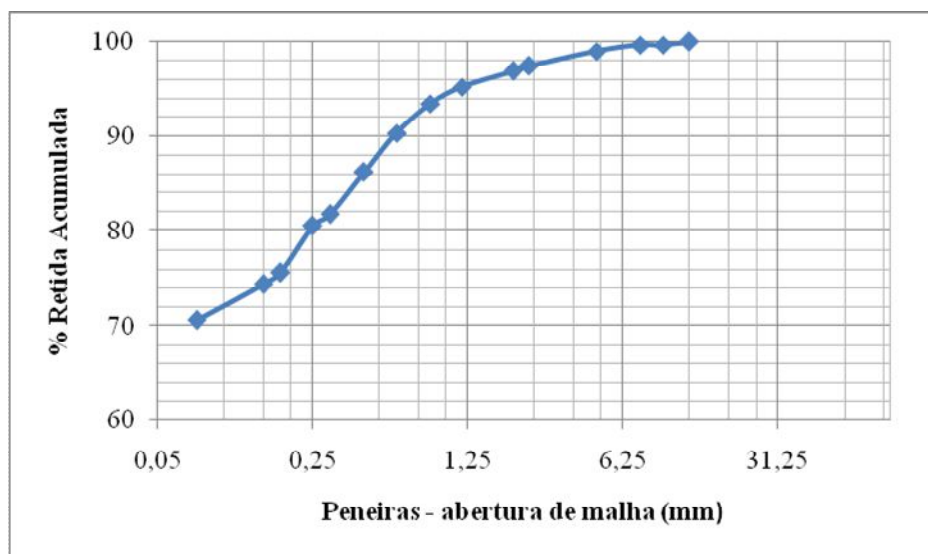
O aglomerante utilizado foi o cimento *portland* composto com adição de filler e $f_{c28} = 32$ MPa (CPII-F 32). O CPII-F 32 não apresenta adição pozolânica que possa prejudicar a análise do desempenho do concreto com LETA nos ensaios. Foram utilizados dois tipos de agregado miúdo na pesquisa: a areia natural de origem quartzosa e o lodo da ETA da cidade de Santa Rosa. O agregado graúdo utilizado foi a pedra britada de rocha diabásica.

2.2 Lodo da ETA

A ETA em questão produz cerca 15.000L/dia de água tratada e tem produção de 150l/s. O tratamento utilizado pela ETA de Santa Rosa adota a utilização de sulfato de alumínio, cal e flúor durante o seu processo de tratamento. O lodo foi coletado no momento da limpeza do decantador, sem sofrer qualquer outro tipo de tratamento ou mistura para a sua co-disposição no concreto. Para que não houvesse variabilidade dos componentes do concreto, foi realizado apenas uma única coleta de aproximadamente 6 kg do material. As amostras coletadas foram ao sol, e após foram destorroadas para as análises.

A granulometria do material foi realizado por peneiramento, seguindo a norma do DNER-ME 080/94, onde foi constatado que após a secagem ao sol, o lodo teve uma perda de massa significativa, pois foi eliminado um grande percentual da água adsorvida do lodo, assim o teor de umidade do lodo obteve um resultado de apenas 4,64%. Conforme a figura 1 também foi constatado que 70% da amostra passou na peneira #0,075mm, evidenciando assim grande quantidade de materiais finos, menor que #0,075mm.

Figura 1 – Análise granulométrica do LETA.





2.3 Dosagem

O estudo da dosagem do material seguiu o procedimento proposto por Helene e Terzian (1992). Para a relação aglomerante/agregados, foi determinado um traço padrão de 1:5 com teor de argamassa de 49% , tendo a proporção de 1: 1,6: 3,4 de cimento, areia e brita, e a relação de água/cimento de 0,53. A tabela 3 demonstra os traços utilizados para cada uma das amostras.

Tabela 2 – Dosagem.

Teor de lodo (% peso de areia)	0%	3%	5%	7,5%	10%
Traço	LT	L3	L5	L7,5	L10
Cimento	1	1	1	1	1
Areia fina	1,94	1,88	1,84	1,79	1,75
Brita 1	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06
Lodo de ETA	-	0,06	0,10	0,15	0,19

Foram moldados os protótipos de acordo com a norma NBR 5738/2003 em fôrmas metálicas com dimensão de 10x20cm, untadas com óleo para a desforma , foram vibrados com agulha vibratória em duas camadas com um tempo de 30 segundos por camada. Depois de realizada a moldagem, os corpos de prova ficaram à temperatura ambiente durante as 24 horas iniciais, após foram desmoldados os protótipos, e então foram colocados em uma câmara úmida com UR (umidade relativa) > 95%, sob a temperatura de 23+- 2°C, onde permaneceram até a data dos ensaios.

Os ensaios de resistência à compressão axial com os protótipos de concreto foram realizados aos 28 e 56 dias, conforme instrui a norma NBR 5739/2003. Os demais ensaios foram realizados através de amostras de pó e de fragmentos retirados dos corpos de prova ensaiados, tais amostras foram tratadas com álcool etílico absoluto para que fosse retirada a água livre e então o processo de hidratação fosse paralisado. Após a secagem as amostras foram acondicionadas apropriadamente em embalagens hermeticamente fechadas.

3 Resultados e Discussão

3.1 Limites de Atterberg

Após várias tentativas foi constatado que o material não possui consistência, estando assim em um estado não-plástico, não possuindo resistência necessária para aplicação do ensaio. Segundo Bidone *et al* (2001) o lodo geralmente possui um baixo conteúdo de sólidos, da ordem de 3.000 a 15.000 mg/L. Ainda conforme Bidone *et al* (2001), os sólidos suspensos representam cerca de 75% a 90% dos sólidos totais, enquanto os sólidos voláteis totais representam de 20% a 35%. Isto mostra a grande quantidade de matéria fina na composição do lodo, o estado não-plástico também se deve à sua estrutura de formação dos flocos durante o processo de coagulação-floculação. Estas características tornam o lodo uma substância extremamente gelatinosa que resiste à passagem de água através dele, devido a sua compressibilidade.

3.2 Resistência à compressão axial

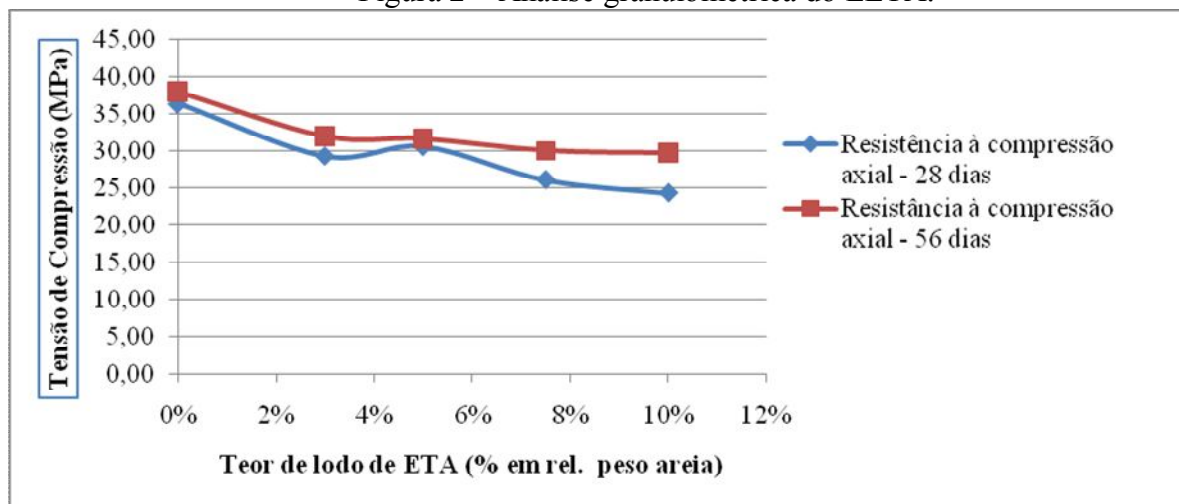
A moldagem e os ensaios de resistência à compressão axial seguiram as normas NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007 da ABNT, utilizando a máquina universal de ensaios com capacidade de carga de 2000KN. Foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos de 10x20cm



por idade de ensaio e teor de lodo incorporado. Para a resistência final, foi adotada a média aritmética das três determinações.

Para os ensaios aos 28 dias todos os traços com adição de LETA, percebe-se, na figura 14, que todas as amostras apresentaram valores de resistência à compressão, inferiores ao traço de referência.

Figura 2 – Análise granulométrica do LETA.



O traço L5 foi o que apresentou maior resistência, e o traço L10 foi o que menos apresentou resistência entre os protótipos com substituição de lodo. Sendo assim, a análise dos dados revela que o traço L5 ficou 15,9% abaixo da resistência do traço de referência, e já o traço L10 ficou 33,2% abaixo do traço de referência, tendo uma diferença de 17,3% na resistência entre os protótipos com LETA.

Após um tempo maior de cura do concreto, destacou-se a continuidade das reações de hidratação dos componentes do cimento e também, o progresso das reações pozolânicas dos traços com LETA, dando valores de resistência à compressão maiores que os valores registrados aos 28 dias.

O traço de referência continuou com maiores resultados, que os traços com incorporação de LETA, havendo uma homogeneização dos resultados, diminuindo proporcionalmente a resistência do concreto com LETA, ao modo que, foi se aumentando a porcentagem de lodo incorporado. Diferentemente do comportamento aos 28 dias, o traço com maior resistência entre os protótipos com LETA, foi o L3, ficando com resistência 16% menor que o traço referência. O traço L10 apresentou o maior aumento em sua resistência em comparação com o mesmo ensaio aos 28 dias, dando a porcentagem de 18,05% a mais de resistência à compressão. Já o traço L5 apresentou o menor aumento de resistência à compressão, tendo apenas 3,25% de aumento.

Os protótipos com incorporação de LETA apresentaram um aumento médio de 10,68% de resistência do ensaio aos 28 dias para o ensaio aos 56 dias, enquanto o protótipo com traço de referência apresentou aumento de 4,4% de resistência, isto se explica pelo fato do traço R apresentar uma reação de hidratação rápida até os 28 dias e mais lenta ao passar do tempo, tendo então os protótipos com incorporação de LETA uma reação de hidratação mais lenta de seus componentes.

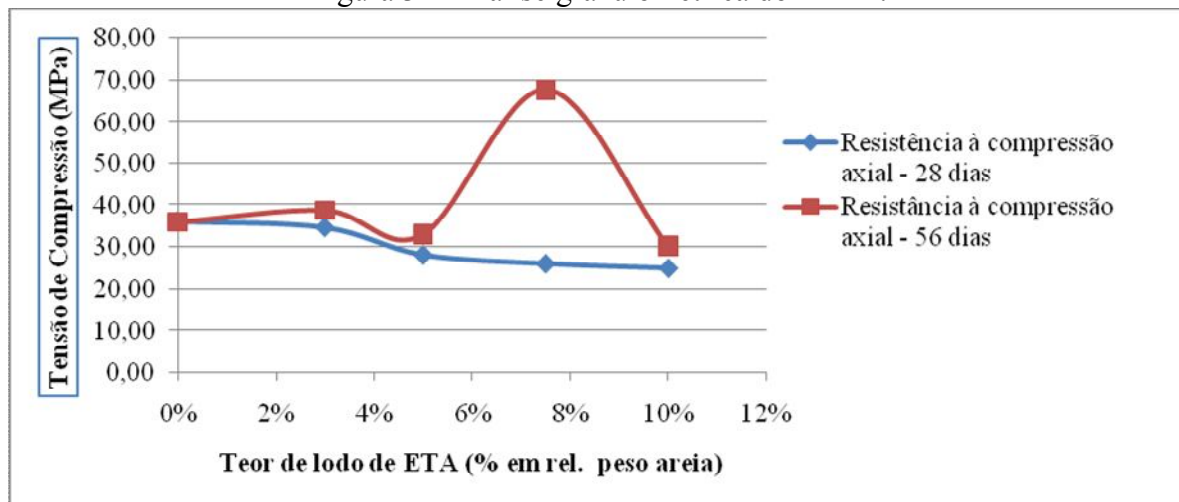
3.3 Módulo de elasticidade

O ensaio foi realizado conforme estipula a NBR 8522/2008 para a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto endurecido, em corpos-de-prova



cilíndricos. A moldagem e os ensaios do módulo de Elasticidade seguiram as normas NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007 da ABNT. Os traços com adição de LETA apresentaram uma diminuição no módulo de elasticidade comparando com o traço de referência, figura 3.

Figura 3 – Análise granulométrica do LETA.



O traço L3 foi o que apresentou melhor resultado entre os traços com adição de LETA, sendo apenas 4,10% menor a sua resistência com referência ao traço R, mostrando uma grande diferença para o restante dos traços, já que o traço com maior valor em sequência (L5) possui 22% a menos de resistência, uma diferença de 17,9%, o que mostra uma boa eficiência do traço L3. Os traços L7,5 e L10 tiveram diminuição de 27,8% e 30,75%, respectivamente.

Igualmente aos ensaios de compressão axial, houve uma tendência onde o módulo de elasticidade foi diminuindo conforme foi-se aumentando a porcentagem de lodo incorporado. Aos 56 dias, os resultados do ensaio do módulo de Elasticidade, apresentaram uma mudança significativa (figura 18), onde o traço L3, que possui adição de LETA, obteve resultado maior que o traço referência, houve uma diferença de 7,2% entre os traços. Este resultado mostra que a substituição de lodo em pequenas quantidades pode ser benéfico para as características do concreto. O traço L5 ficou 14,7% menor que o traço L3, e o traço L10 ficou 22,16% menor. O traço L7,5 obteve resultado muito superior aos demais, sendo então excluído da análise.

3.4 Difratorômetro de Raio-X (DRX)

Foram retiradas amostras do interior dos corpos de prova, que consistem de pó passante na peneira #0,075 mm (figura 11) e em seguida acondicionados em recipientes hermeticamente fechados. Os ensaios com Difratorômetro de Raio-X (Rigaku - MiniFlex 600) foram executados para caracterizar a microestrutura dos materiais cristalinos compostos no lodo, sendo eles orgânicos ou inorgânicos.

Através de uma análise superficial, os principais elementos químicos foram encontrados em forma de óxidos com as suas respectivas composições, estes resultados se devem a própria constituição do lodo e também ao fato de se utilizar o sulfato de alumínio ($Al_2SO_3^4$) como o coagulante na ETA de Santa Rosa. Pode se observar no difratograma várias ligações químicas diferentes envolvendo o composto alumínio, que deve ser observado, pois as ligações na forma de sulfato de alumínio são menos solúveis em água que qualquer outra, causando preocupação para se adequar aos limites estabelecidos quando o lodo é despejado em efluentes.



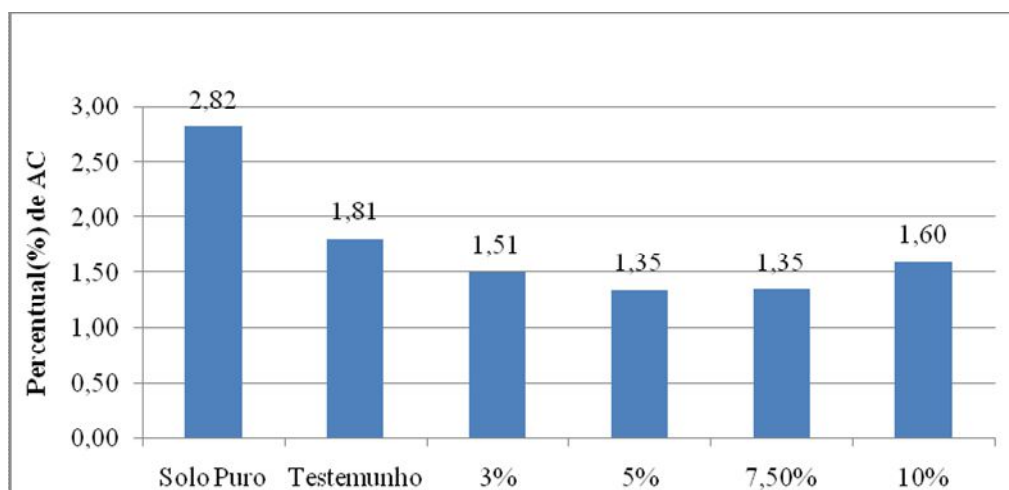
O difratograma da amostra de lodo obtido pelo ensaio de DRX, mostra compostos formados à base de alumínio (Al), ferro (Fe), sílica (Si), magnésio (Mg), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e fósforo (P), os compostos Al, Fe, Ca e Si também são encontrados nas principais composições do cimento *Portland*. Foi identificada uma grande quantidade de ferro na amostra, que se dá ao fato de que o rio onde se retira a água para o tratamento contém grande quantidade destes compostos. Os teores de metais pesados encontrados, tais como, Cd, Pb, Cr, Ni, e Zn são baixos, o que representa um risco ambiental baixo para a disposição de LETA em concretos. Nos difratogramas das amostras dos corpos-de-prova, o alumínio apresentou grande quantidade, juntamente com o ferro, fato que se deve pela incorporação do lodo e também pelo fato destes compostos se encontrarem no concreto normal.

3.5 Água Quimicamente Combinada (AC)

A determinação do teor de água combinada ocorre pela diferença de massa da amostra aos 105° (P105) e 550° (P550) e foi determinada segundo Marsh e Day (1988) e Sellevold e Justnes (1993 *apud* Isaia, 1995), sendo esta a quantidade de água não evaporável.

Após a análise dos resultados verificou-se que o traço que apresentou os maiores teores de AC foi o com solo puro. Esse comportamento era esperado, pois a AC é a água que fica incorporada nas moléculas que formam a estrutura cristalina ou amorfa. Quanto maior o teor de AC, maior é a ligação química entre as moléculas. Realizando a comparação dos traços com substituição com o traço referência, observa-se que todos ficaram com teor de AC abaixo do testemunho. Esse comportamento é coerente porque no testemunho o efeito de nucleação das partículas de cimento é mais efetivo que o lodo.

Figura 4 – Teor de AC.



4 Conclusões

Os resultados dos Limites de Atterberg constataram a não-plasticidade do lodo, o que vem de encontro com as características do material. O ensaio de granulometria por peneiramento ajuda a explicar a não-plasticidade do material, pois este indicou que o lodo é um material muito fino, tendo 70% da amostra do ensaio, passado na peneira #0,075mm.

A análise de DRX mostrou resultados compatíveis com os da bibliografia, tendo uma grande quantidade de alumínio, reflexo do uso de sulfato de alumínio como coagulante. A quantidade deste material é variável conforme a época do ano, sendo que em alguns períodos



se faz necessário a utilização de uma maior quantidade deste material para o tratamento da água.

Também foi relacionado uma pequena quantidade de metais pesados, o que se deve a preocupação para disposição deste lodo, isto mostra a importância da caracterização do lodo para cada situação antes da sua disposição.

Os resultados de resistência à compressão axial indicam que a substituição parcial da areia por lodo nos teores de 3% e 5% apresentaram diminuição de resistência média aos 56 dias, em comparação ao concreto de referência, de apenas 16% e 16,1%, respectivamente, já nos teores de 7,5% e 10% obteve-se uma diminuição de 21,2% e 22,1%. Isto demonstra que, conforme foi se aumentando a substituição de areia por lodo, foi diminuindo a sua resistência, isto se deve provavelmente, ao fato de que se tem uma elevada consistência do concreto, comprometendo assim o adensamento dos corpos-de-prova, e também consumindo uma maior quantidade de água para a hidratação do concreto.

Um ponto positivo da pesquisa foi o bom comportamento das misturas com o lodo, pois todas apresentaram teores de AC significativos, demonstrando a reatividade que a mistura promoveu.

Os resultados do ensaio de elasticidade do concreto obtiveram valores semelhantes aos do ensaio de compressão axial, o que confere boa elasticidade ao material.

De modo geral, a análise destas condicionantes demonstra que o concreto com o lodo de ETA pode ser utilizado desde a fabricação de artefatos, peça e blocos de concreto, até a construção de pavimentos em concreto, contrapisos, peças decorativas, calçadas, entre outros, dependendo do traço a ser utilizado.

Referências

BIDONE, F.R.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. PROSAB 2. ABES/RJ, 2001. desta citação vc deve tirar o luciano citado em apud na revisão.

CORDEIRO, João Sérgio. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1ª EDIÇÃO, ABES, Rio de Janeiro, 2001.

HOPPEN. C et al. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental**, Cerâmica, 85-95, 2005.

HOPPEN. C. et al. **Uso de lodo de Estação de Tratamento de Água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir impacto ambiental**. Sociedade Brasileira de Química, 2005.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo da durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 1995.

HELENE, P. R. L; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Ed. Pini, 1992.