

II-102 - UTILIZAÇÃO DO LODO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO TRAÇO DE CONCRETO DE BAIXA RESISTÊNCIA

Pedro Alves da Silva Filho⁽¹⁾

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Roraima - UFRR. Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Roraima. Engenheiro Sanitário e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutor em Engenharia Civil e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Pós-Doutor pelo Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Márcia Severino da Costa⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Roraima. Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Roraima.

João Ricardo Medeiros Filho⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Roraima.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Roraima, Centro de Ciências e Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil. *Campus do Paricarana*. Av. Ene Garcez, 2413 – Bloco V – Sala 505. Aeroporto – Boa Vista – RR. CEP: 69304-000. Telefone: (95) 36213142. E-mail: pedro.filho@ufr.br.

Endereço⁽²⁾: Rua Joca Farias, 1924. Caranã – Boa Vista – RR. CEP: 69313-702. Telefone: (95) 99112-6794. E-mail: marciaengciv@gmail.com.

Endereço⁽³⁾: Rua Poraquê, 1626. Santa Tereza 2 – Boa Vista – RR. CEP: 69314-087. Telefone: (95) 99127-2096. E-mail: fabricio.eng.civ@gmail.com.

RESUMO

As lagoas de estabilização apresentam-se como a alternativa mais viável para o tratamento de esgoto de diversas cidades Brasileiras. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma solução para a disposição final do lodo da lagoa de estabilização, que atualmente é lançado no aterro sanitário da cidade de Boa Vista/RR. Verificando a possibilidade de utilização desse resíduo na produção de concreto não estrutural, de baixa resistência. O uso do lodo pela construção civil vem se consolidando como uma prática comum para atenuar os impactos ambientais gerado pela disposição inadequada do lodo. A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, está localizada no bairro Professor Araceli Souto Maior divisa com bairro São Bento, tem capacidade de tratamento de 100% do esgoto coletado no Município de Boa Vista/RR, e com previsão para tratamento de efluentes domésticos em um horizonte de crescimento de demanda para 20 anos. O uso do lodo para a confecção de concreto só foi viável quando misturado com areia, apresentando uma resistência de, com idade de 28 dias, 8,61 Mpa, podendo ser aplicado na execução de artefatos de concreto, como bloquetes para pavimentos, alguns tipos de manilhas e calçadas de tráfego de pessoas. O concreto produzido somente com lodo não apresentou boa resistência aos 28 dias, atingindo a resistência de 2,28 Mpa, não sendo possível, nem aconselhável, encontrar aplicação para esse concreto.

PALAVRAS-CHAVE: ETE, Reúso de Esgoto, Lodo de esgoto, Concreto de baixa resistência estrutural.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais enfrentados pela sociedade atual está relacionado à destinação dada ao volume de resíduos, líquidos e sólidos, gerado nos grandes centros urbanos. No caso de resíduos líquidos, como esgoto doméstico e industrial, a solução encontrada para a deposição e tratamento, em regiões de clima quente, são as lagoas de estabilização, que se apresentam como uma técnica atraente para implantação em pequenas e médias comunidades (LIBÂNIO, 2005).

As lagoas de estabilização são “processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para a remoção de matéria orgânica, [...] onde podem ser alcançadas elevadíssimas eficiência de remoção de microrganismos patogênicos” (VON SPERLING, 2005, p. 328). As lagoas recebem o efluente gerado por uma cidade ou indústria e tratam o esgoto por meio de processos anaeróbios e aeróbios, posteriormente lançando o efluente

tratado em um corpo hídrico ou disponibilizando para o reuso em algumas atividades. O lodo é um subproduto sólido gerado nas estações de tratamento de esgoto doméstico ou industrial (ETEs), resultante da decantação dos sólidos que entram na rede de esgoto e da degradação da matéria orgânica. Devido ao volume de produção, difícil tratamento e disposição final, o lodo de esgoto se constitui em um sério problema enfrentado pela engenharia civil e sanitária (DUARTE, 2008), por possuir um alto volume produtivo que não corresponde à mesma quantidade tratada.

O acúmulo de lodo nas lagoas de estabilização é prejudicial tanto para a eficiência do tratamento do esgoto, pois o acúmulo no fundo das lagoas reduz o volume de esgoto que é tratado. Outro item prejudicado é o meio ambiente, pois o lançamento em locais inadequados causa danos irreversíveis à fauna e à flora. Além disso, o despejo incorreto do lodo causa problemas de saúde pública à toda sociedade, resultando na contaminação dos corpos hídricos e solo por bactérias, vírus, metais pesados e agentes patológicos. Isso tem motivado muitos pesquisadores da engenharia civil, sanitária e ambiental a estudar, propor e implantar meios eficazes de destinação do lodo proveniente de lagoas de estabilização.

O lodo pode ser reaproveitado para diversos fins, dentre eles está o uso na agricultura, na recuperação de áreas degradadas e na construção civil na fabricação de cimento (ASSUNÇÃO, 2012), na indústria da cerâmica, fabricação de telhas e tijolos (COSTA, 2008; TAY, 1987, LESSA, 2005) e como agrado grão e miúdo na produção de concreto não estrutural de baixa resistência (SANTOS, 1996; SIMONDI; YAMADA; SARDINHA, 1989).

Essas alternativas devem ser adotadas levando em consideração critérios que visem a segurança antes, durante e depois do manuseio do lodo. Algumas condições auxiliam na escolha da melhor alternativa a ser empregada ao lodo gerado. Dentre elas, pode-se considerar: qualidade do lodo, tecnologia adotada para o tratamento, escala de produção, a legislação ambiental e outros (ASSUNÇÃO, 2012). No município de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, ainda não há um controle sobre a produção, tratamento e descarte do lodo do efluente. O sistema de coleta de esgoto sanitário existente foi implantado na década de 70, e, na década de 90, foi inaugurada a Estação de Tratamento de Esgotos com capacidade de tratar a vazão de 350 L/s, possibilitando a depuração dos esgotos por processos naturais com a ação de bactérias e algas e seus efluentes lançados no igarapé Grande.

Com base nisso, este trabalho visa avaliar a aplicabilidade do lodo de lagoas de estabilização, que atualmente é despejado no aterro sanitário, como agregado alternativo no traço de concreto de baixa resistência, produzindo corpos de prova com agregado convencional e com lodo de esgoto, comparando suas resistências e avaliando o custo do m³ para obras de pequeno e médio porte em Boa Vista/RR. Isso despertará a população local quanto aos problemas ambientais causados pela destinação incorreta do lodo e desmistificará os pré-conceitos relativos ao uso deste material na indústria da construção civil no Estado de Roraima.

METODOLOGIA

A área de estudo compreende a cidade de Boa Vista, situada na porção centro oriental do Estado de Roraima, cujas coordenadas geográficas de latitude e longitude são 02° 49' 12" N e 60° 40' 23" W, respectivamente. Com altitude de 85 m e área de 5711,9 km², correspondendo a 2,54 % da área total do Estado. A população do município, no ano de 2015, é de 320.714 habitantes (IBGE, 2015).

A ETE do município (Figura 1) está localizada no bairro Profa. Aracelis Souto Maior, divisa com o bairro São Bento. Possui capacidade de tratamento de toda a totalidade do esgoto coletado em Boa Vista, prevendo o atendimento à população ao longo de 20 anos. Segundo Silva (2016), a ETE trata mais de 1.000 m³/h de esgoto doméstico.



Figura 1: Localização da lagoa de estabilização de Boa Vista/RR . Fonte: Google Earth (2016).

O sistema de lagoas de estabilização foi construído em 1994, desativada em setembro de 2011 e reativado em 2015, com área útil de 45 ha e volume de 783.859 m³, com capacidade de tratar a vazão de 350 L/s, possibilitando a depuração dos esgotos por processos naturais com a ação de bactérias e algas e seus efluentes lançados no rio Branco. A ETE Boa Vista é composta por um complexo de quatro lagoas de estabilização: duas lagoas facultativas e duas de maturação, cujas características físicas estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características físicas da ETE Boa Vista/RR.

Parâmetro	1ª Lagoa	2ª Lagoa	3ª Lagoa	4ª Lagoa
Tipo	Facultativa I	Facultativa II	Maturação I	Maturação II
Área de espelho (m²)	141.729	117.915	110.208	114.918
Profundidade (m)	2,10	2,10	1,50	1,80
Comp. (m)	856,32	856,32	856,32	856,32
Largura (m)	165,51	137,70	128,70	134,20

Fonte: CAER (2015).

A pesquisa se desenvolveu em três etapas (Figura 2). A coleta de lodo (1ª etapa) foi feita na lagoa facultativa da ETE Boa Vista no período diurno. Em seguida, o material foi seco em estufa. Na 2ª etapa, caracterizou-se os agregados (areia média e brita 2) a partir de ensaios de umidade, porcentagem de material pulverulento e granulometria. Através do método do IPT, determinou-se o traço de três tipos de concreto: convencional, mistura com areia e lodo e o com substituição da areia por lodo. Em todas as dosagens utilizou-se cimento CP IV-32.

Na 3ª etapa, partiu-se para a confecção dos corpos de prova (CPs) cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e submetidos à cura conforme NBR 5738 (ABNT, 2015). Os CPs foram rompidos com idades de 14 e 28 dias a partir do ensaio de resistência à compressão obedecendo a NBR 5739 (ABNT, 2007). Após as etapas experimentais e de coleta, realizou-se a avaliação do custo do m³ para obras de pequeno e médio porte em Boa Vista/RR. Em seguida, passou-se para o tratamento dos dados obtidos, discussão dos resultados e conclusão do trabalho.

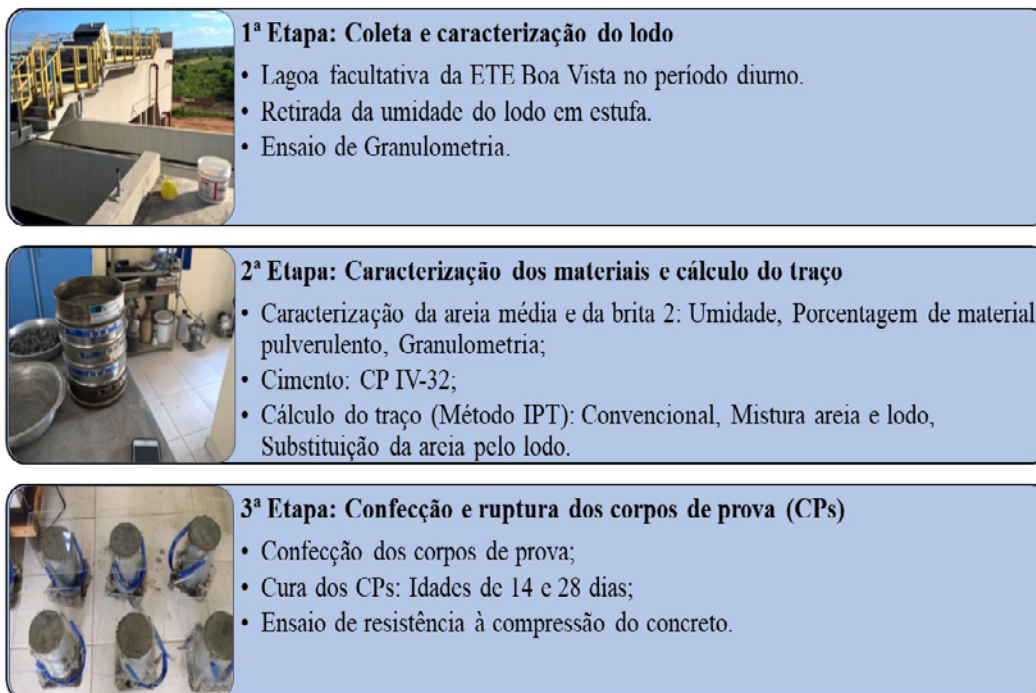


Figura 2: Etapas desenvolvidas na pesquisa. Fonte: Autores (2018).

O estudo de dosagem experimental foi feito seguindo o método de dosagem IPT/EPUSP. O traço adotado foi o mesmo usado por BARBOZA E BASTOS (2007). Vale ressaltar, que no trabalho citado acima, houve o uso de aditivo plastificante, e no presente estudo não foi utilizado, pois o objetivo do trabalho é fazer um comparativo de resistências. Portanto, o traço adotado foi 1:3,85:3,66 e relação água/cimento (a/c) 0,85. O cimento usado foi o Apodí, CP IV 32, sendo que no artigo de BARBOZA e BASTOS (2007), o cimento usado foi CP II 32.

Foram realizados três tipos de concreto, que se diferenciaram somente na composição do agregado miúdo, conforme descrito abaixo:

- A. Concreto produzido com areia: Esse concreto foi produzido normalmente, usando brita 02 como agregado graúdo, areia média como agregado miúdo, água e cimento. Foi usado 3 Kg de cimento, 11,55 Kg de areia média, Figura 03, e 10,98 Kg de brita, Figura 04. Com essa quantidade foi possível produzir seis corpos de prova. Esse concreto tem a função de servir de parâmetro de resistência para os outros concretos.
- A. Concreto produzido com a mistura areia/lodo: Para a produção desse concreto foi realizado uma mistura simples, metade da areia usada no primeiro experimento e a outra metade, para igualar a primeira quantidade de agregado miúdo usada, foi usado o lodo da lagoa facultativa. Resumindo, foi usado 3 Kg de cimento, 5,775 Kg de areia, 5,775 Kg de lodo e 10,98 Kg de brita.
- B. Concreto produzido com a substituição da areia pelo lodo: Nesse concreto, a areia foi totalmente substituída pelo lodo, seguindo a mesma proporção dos outros experimentos, 3 Kg de cimento, 11,55 Kg de lodo, Figura 05, e 10,98 Kg de brita. Devido a alta umidade do lodo, visível a olho nu, foi reduzida a quantidade de água adicionada para a produção do concreto. Foram produzidos 6 corpos de prova desse concreto.



Figura 03: Pesagem da areia. Fonte: Autores (2018).



Figura 04: Pesagem da brita. Fonte: Autores (2018).



Figura 05: Pesagem do lodo. Fonte: Autores (2018).

Os ensaios foram realizados utilizando a estrutura do laboratório do NUPENGE (Núcleo de Pesquisa de Engenharia) do departamento de engenharia civil da Universidade Federal de Roraima, campus Paricarana, com o auxílio do técnico responsável pelo laboratório.

Foram produzidos 18 corpos de provas, seis para cada agregado. Os corpos de prova foram moldados em cilindros com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com a ABNT NBR 5738:2003, que descreve os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Após um dia de cura, os corpos de prova foram retirados dos moldes e imergidos em água para a realização da cura úmida, conforme mostrado nas Figuras 06 e 07:

Figura 06: Moldagem dos corpos de prova.



Figura 06: Moldagem dos corpos de prova Fonte: Autores (2018).



Figura 07: Realização da cura úmida dos corpos de prova. Fonte: Autores (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de granulometria da areia foi realizado com duas amostras desse material, após obter os resultados, foi calculado a média dos valores, e com isso, foi possível obter a curva granulométrica, conforme Figura 08.

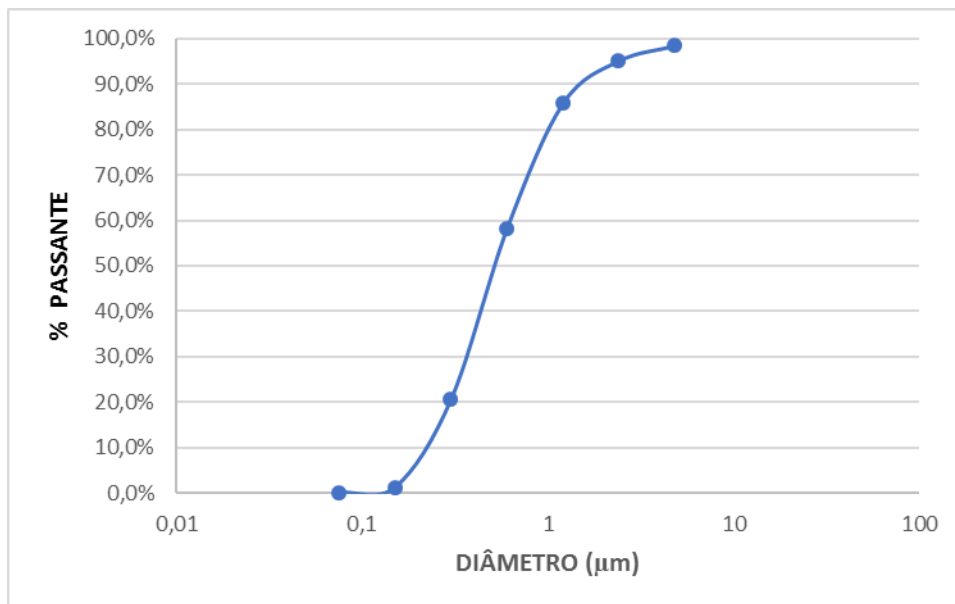


Figura 08: Curva granulométrica da areia. Fonte: Autores (2018).

Por meio da curva granulométrica, foi possível obter parâmetros geométricos da areia, por meio do qual pode-se classificar se o solo é mal graduado

O ensaio de granulometria do lodo foi realizado com a secagem prévia em estufa. Após o processo de secagem, o material foi destorroado com o auxílio de um almofariz, mão de grau, somente após esses processos foi possível proceder com o ensaio de granulometria desse material, com os resultados, foi possível obter a Figura 09.

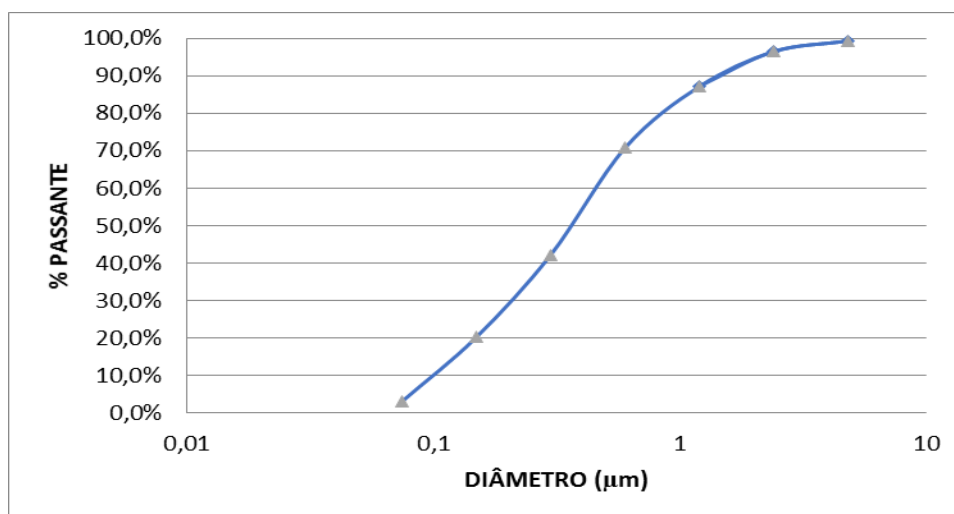


Figura 09: Curva granulométrica do lodo. Fonte: Autores (2018).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão (Tabela 2) mostraram que o concreto produzido com a mistura de areia e lodo da lagoa de estabilização (8,61 MPa) é viável para a produção de concreto magro, como lastro de concreto de fundações (fck aceitável de 5 a 15 MPa), enchimento e regularização de lajes, pisos e contrapisos

Tabela 2: Resistência à compressão dos corpos de prova.

Resistência à compressão (MPa)		
Tipo de Concreto	Tempo de cura	
	14 dias	28 dias
Convencional	5,51	7,96
Mistura areia e lodo	5,66	8,61
Substituição da areia por lodo	1,37	2,28

Fonte: Autores (2018).

Os custos foram avaliados para a produção de 1 m³ de concreto convencional (Tabela 3) e de concreto com a mistura de areia e lodo (Tabela 4), sem considerar a mão de obra. Para a produção de 1 m³ de concreto convencional, calculado com o método de dosagem do IPT, são gastos R\$ 253,73, já para a produção de 1 m³ de mistura de areia e lodo são necessários R\$ 247,86.

Tabela 3: Custo de produção de 1 m³ de concreto convencional.

Insumo	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Cimento (sacos)	5,50	R\$ 33,00	R\$ 181,50
Areia (m³)	0,634	R\$ 8,50	R\$ 11,73
Brita (m³)	0,55	R\$ 110,00	R\$ 60,50
TOTAL (1 m³)			R\$ 253,73

Fonte: Autores (2018).

A diferença entre os custos é de R\$ 5,87 reais do concreto convencional para o fabricado com a mistura de areia e lodo. Assim, se for necessário um volume de concreto de 100 m³, o custo produtivo seria de ganho econômico de R\$ 587,00. Logo, a utilização de concreto fabricado com a mistura de areia e lodo não é viável economicamente para o uso em obras de pequeno porte, porém é visível quando aplicado a grandes de produção, como é o caso de empresas que fabricam artefatos de concreto.

Tabela 4: Custo de produção de 1 m³ concreto com mistura de areia e lodo.

INSUMO	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Cimento (sacos)	5,5	R\$ 33,00	R\$ 181,50
Areia (m ³)	0,317	R\$ 18,50	R\$ 5,86
Brita (m ³)	0,55	R\$ 110,00	R\$ 60,50
TOTAL (1 m³)			R\$ 247,86

Fonte: Autores (2018).

CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostraram que é viável tecnicamente utilizar o lodo da lagoa de estabilização, misturado com a areia para a confecção de concreto não-estrutural, pois o valor de resistência obtido, 8.61 Mpa, encontra-se na mesma faixa de outros concretos, produzidos somente com areia. Foi produzido concreto utilizando areia como agregado miúdo, esse concreto serve de parâmetro para o concreto produzido com a mistura lodo/areia. A resistência obtida na ruptura desse concreto foi 7,96 Mpa, sendo menor que a resistência obtida no concreto produzido com lodo/areia.

Com os resultados da ruptura dos corpos de prova, pode-se afirmar que o concreto produzido com a mistura do lodo com a areia pode ser aplicado a peças não estruturais, como bloquetes para pavimento Inter travado, peitoril, soleira, calçadas de residências, meio fio, telhas de concreto e diversas outras peças que geralmente são pré-moldados.

A resistência a 28 dias para meio-fio é de 15 Mpa. O concreto produzido com lodo/areia pode ser usado, pois a adição de aditivo plastificante aumentaria a resistência desse concreto até o esperado (DNIT, 2006).

Outra aplicação é na produção de telhas de concreto. Estes produtos não possuem alta resistência, segundo os fabricantes Domus e Lajoteiro. Portanto, o uso do concreto com lodo/areia é recomendável para essa utilidade, ficando limitada somente pelo fator permeabilidade do concreto. Para analisar esse ponto, sé necessária a realização de outros testes com o concreto.

Com base nisso, é viável, tecnicamente, o uso desse concreto em diversas atividades da construção civil. Porém, para a aplicações mais específicas outros testes devem ser realizados, dependendo da utilidade do concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
2. _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
3. ASSUNÇÃO, M. S. L. **Caracterização do lodo de lagoa de anaeróbia tratando resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas com vistas ao aproveitamento**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
4. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DE RORAIMA (CAER). **Estação de Tratamento de Esgoto - ETE**. 2015. Acesso em 25 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.caer.com.br/static/ete.jsp>>.
5. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 020**: Drenagem – Meios-fios e guias – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006. 6 p.
6. DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final de resíduos**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em

- Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2015**. 2015. Acesso em: 22. abr. 2016. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2015/default_xls.shtm>.
 8. LESSA, G. T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo da estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Tecnologias limpas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
 9. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4.ed. Campinas: Átomo, 2005. 444 p.
 10. SILVA, F. L. **Lagoas de estabilização**: caracterização qualitativa de impacto social, ambiental e de saúde pública em áreas urbanas. 2016. 95 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.
 11. SIMONDI, S.; YAMADA, Y.; SARDINHA, V. L. A. Propriedades e aplicações do agregado leve de lodo de esgoto. **Revista DAE**, São Paulo, v. 126, n. 126, p. 291-298, set. 1989.
 12. TAY, J. Bricks Manufactured from Sludge. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 113, n. 2, p. 278-284, apr. 1987.
 13. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 2005. 452 p.