



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



LSE Custom
Programmes

FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO

TATIANA MEREGE GRILLO

**VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LODO DE ESGOTO: ALTERNATIVAS E
EXPERIÊNCIAS**

São Paulo

2020



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



LSE Custom
Programmes

TATIANA MEREGE GRILLO

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LODO DE ESGOTO: ALTERNATIVAS E EXPERIÊNCIAS

Monografia apresentada à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo como exigência parcial para a obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob orientação da Profa. Dra. Angela Cassia Rodrigues

São Paulo

2020



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



LSE Custom
Programmes

Biblioteca FESPSP – Catalogação-na-Publicação (CIP)

363.72

G859v Grillo, Tatiana Merege.

Valorização de resíduos de lodo de esgoto: alternativas e experiências/ Tatiana Merege Grillo. – 2020.

34 p.; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Angela Cassia Rodrigues.

Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Saneamento Ambiental)

– Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

Bibliografia.

1. Resíduos sólidos. 2. Resíduos de lodo. I. Rodrigues, Angela Cassia.
II. Título.

CDD 23.: Resíduos sólidos 363.72

Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



LSE Custom
Programmes

Autor: Tatiana Merege Grillo

Título: Valorização de resíduos de lodo de esgoto: alternativas e experiências

Monografia apresentada à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo como exigência parcial para a obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob orientação da Profa. Dra. Angela Cassia Rodrigues

Data da Aprovação:

08/08/2020

Banca Examinadora:

Valéria Cusinato Bomfim

Ney Vaz



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



Dedico esta monografia a minha família, amigos e colegas de trabalho que me incentivaram a enfrentar um novo desafio e me apoiaram durante todos estes meses.



RESUMO

A crescente produção de resíduos sólidos é atualmente um problema mundial e o tratamento e aproveitamento do lodo de esgoto, de produção contínua e abundante, constitui-se em um dos mais sérios problemas ambientais. A gestão do tratamento dos resíduos sólidos tem se mostrado urgente e necessária. A valorização do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento pode ser considerada um exemplo de prática sustentável com vantagens ambientais, econômicas e de aplicação do princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar). O objetivo deste trabalho é identificar e sistematizar as alternativas para a valorização do lodo de esgoto. Foi realizada revisão da literatura, pesquisa em relatórios institucionais e pesquisa de dados secundários de experiências conduzidas no país. Dentre as alternativas de valorização do lodo de esgoto no Brasil, a utilização predominante é agrícola, principalmente, com a produção de fertilizantes orgânicos. As demais experiências mostraram-se viáveis, porém, ainda têm suas aplicações em escala bem reduzida em comparação com a quantidade de lodo de esgoto gerado.

Palavras-chave: resíduos sólidos, gestão de resíduos; tratamento do lodo de esgoto; fertilizantes orgânicos; problemas ambientais; prática sustentável.



ABSTRACT

The growing production of solid waste is currently a worldwide problem and the treatment and use of sewage sludge, which is continuous and abundant, is one of the most serious environmental problems. The management of solid waste treatment has been shown to be urgent and necessary. The valorization of the sewage sludge generated in the treatment plants can be considered an example of sustainable practice with environmental, economic and application advantages of the 3R's principle (reduce, reuse and recycle). The objective of this work is to identify and systematize the alternatives for the valorization of sewage sludge. Literature review, research in institutional reports and research of secondary data of experiences conducted in the country were carried out. Among the alternatives for the valorization of sewage sludge in Brazil, the predominant use is agricultural, mainly with the production of organic fertilizers. The other experiments proved to be viable, however, they still have their applications on a very small scale compared to the amount of sewage sludge generated.

Keywords: solid waste, waste management; treatment of sewage sludge; organic fertilizers; environmental problems; sustainable practice.



SUMÁRIO

1 Introdução.....	09
2 Gerenciamento e valorização dos resíduos de lodo de esgoto.....	14
3 Alternativas para valorização do lodo de esgoto.....	16
3.1 – Uso agrícola do lodo de esgotos.....	16
3.1.1 – Compostagem.....	17
3.1.2 – Vermicompostagem.....	17
3.2 – Uso do lodo em área de reflorestamento.....	18
3.3 – Uso do lodo na fabricação de substrato vegetal.....	18
3.4 – Uso alternativo para o lodo de esgoto: construção civil.....	19
3.5 - Uso alternativo para o lodo de esgoto: biocombustível.....	19
3.6 - Uso alternativo para o lodo de esgoto: energia elétrica (biogás)...	19
3.7 – Valorização Energética.....	20
4 Experiências brasileiras de valorização de lodo de esgoto.....	21
4.1 – Compostagem.....	21
4.2 – Biocombustível.....	23
4.3 – Biogás.....	26
5 Considerações finais.....	28
6 Referências.....	29



1. Introdução

De acordo com a norma da ABNT, NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos são aqueles que:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e esgoto, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos apresentam ampla diversidade e complexidade e suas características físicas, químicas e biológicas variam segundo a fonte ou atividade geradora.

Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são importantes geradores de resíduos sólidos resultantes dos sistemas de tratamento de água e de esgoto coletado, cujo gerenciamento é de responsabilidade das empresas prestadoras destes serviços, uma vez que são classificados como resíduos industriais.

A toxicidade potencial dos lodos das Estações de Tratamento de Água (ETA's) e das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) depende, principalmente das características da água bruta, dos produtos químicos utilizados no tratamento e das reações ocorridas durante o processo (LIMA, 1995).

Os sistemas de tratamento de esgoto geram um resíduo sólido em quantidade e qualidade variável, denominado lodo de esgoto. Esse resíduo, a exemplo do lodo proveniente das estações de tratamento de água, exige uma alternativa para a destinação final segura, em termos de saúde pública e, ambientalmente aceitável (LIMA, 1995).

Entre as alternativas de destinação final mais utilizadas atualmente estão: disposição em aterros sanitários; aplicação controlada no solo; e, a reciclagem,



em que os resíduos são reutilizados para gerar algum bem ou benefício à população (LIMA, 1995).

O lançamento de resíduos industriais e/ou domésticos indiscriminadamente nos cursos d'água, como forma de destino final, pode causar assoreamento, aumento da turbidez e variação do gradiente de temperatura, causando a quebra do ciclo vital de espécies da fauna e da flora aquáticas. A poluição biológica das águas se traduz pela elevada contagem de coliformes fecais e pela presença de resíduos que possam produzir transformações biológicas consideráveis e influenciar diretamente a qualidade de vida dos seres que habitam o meio aquático ou dele tiram o seu sustento (LIMA, 1995).

Portanto, este tipo de resíduo sólido deve ter *destinação ambientalmente adequada*, cuja definição é apresentada pela Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS):

Destinação Ambientalmente Adequada - destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

A PNRS, em seu art. 9º, estabelece que deve ser observada a seguinte ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), determina também que a responsabilidade do gerador de resíduos sólidos não se encerra na contratação e/ou terceirização de serviços de gestão dos resíduos. Sendo assim, caso esta gestão seja feita de forma ambientalmente inadequada, o gerador será responsabilizado, devendo ressarcir o poder público.



A coleta e o tratamento de esgoto sanitário são fundamentais, uma vez que reduzem os impactos ambientais e de saúde, decorrentes do despejo do esgoto *in natura* em corpos hídricos.

No caso dos resíduos de lodos provenientes de tratamento de esgoto sanitário, cabe, inicialmente, o tratamento por meio de processos que resultem em sua valorização, com a disposição final adequada apenas dos rejeitos.

De acordo com o Diagnóstico SNIS-AE de 2018, pesquisa que contou com a participação de 4.050 municípios (72,7% do total de municípios brasileiros), em 2018, o volume de esgotos tratados correspondeu a 4,30 bilhões de m³. O tratamento dos esgotos sanitários apresentou o índice médio de 46,3% em relação à estimativa dos esgotos gerados e o índice de 74,5% para os esgotos que são coletados (SNIS, 2019).

No estado de São Paulo, em 2018, considerando o total de 619 municípios atendidos com serviço de esgotamento sanitário, o índice de coleta de esgoto foi de 80,7%, correspondendo a cerca de 2,16 bilhões de m³, dos quais foram tratados cerca de 1,69 bilhões de m³ (78,2% do coletado), equivalente a 39,3% do total de esgoto tratado no país (SNIS, 2019). Esses dados indicam o elevado potencial existente no Brasil, para o encaminhamento de ações visando a valorização do lodo resultante do tratamento dos esgotos coletados.

Pelo exposto, considera-se que o levantamento e sistematização de alternativas que visem à valorização dos resíduos sólidos resultantes do tratamento de esgoto coletado por empresas de prestação de serviços de água e esgoto, representa temática de especial interesse no contexto das diretrizes da PNRS, que pode resultar em benefícios de ordem econômica.

Esta monografia tem por objetivos apresentar as alternativas disponíveis para a valorização dos resíduos sólidos gerados nos sistemas de tratamento de esgoto, identificando algumas experiências brasileiras de valorização de lodo de esgoto, na busca por uma solução para a disposição final deste resíduo, que não os



aterros sanitários, e, contribuindo assim, inclusive, na solução de um dos maiores problemas ambientais, que é a produção de resíduos sólidos.

A presente monografia foi elaborada a partir de revisão da literatura e de pesquisa de dados secundários de experiências conduzidas no país, pesquisa em relatórios institucionais e análise da legislação pertinente, com ênfase na gestão de resíduos sólidos e, especificamente, na valorização do lodo de esgoto, buscando-se alternativas para o aproveitamento deste resíduo e sua consequente diminuição de disposição nos aterros sanitários.

Para a revisão da literatura foram realizadas buscas de publicações eletrônicas técnico-científicas nos bancos de dados da Scientific Electronic Library Online (SciELOBR) e no Google Acadêmico.

Para o levantamento de informações e dados acerca das experiências conduzidas no país foram realizadas: pesquisas em páginas *web* e bancos de dados de órgãos públicos, companhias de saneamento, governos estaduais, federais e municipais.

O trabalho está estruturado em seis seções que facilitam a compreensão do objetivo do trabalho e a busca por alternativas e experiências para valorização do lodo de esgoto, bem como outras opções de tratamento do mesmo, que não seja o simples descarte em aterros sanitários.

A segunda seção corresponde à descrição dos principais tipos de destinação do lodo de esgoto, bem como valorização e o gerenciamento dos resíduos resultantes.

Na terceira seção apresentam-se as alternativas selecionadas com base nos estudos e pesquisas acadêmicas realizadas e que mostraram serem inovações tecnológicas no país para a valorização do lodo de esgoto e algumas outras alternativas para o esgoto doméstico.

A quarta seção discorre sobre projetos brasileiros de utilização do lodo de esgoto, alguns apresentando resultados ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis.



MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION
Saneamento Ambiental



LSE Custom
Programmes

As considerações finais sobre o estudo encontram-se na quinta seção.



2. Gerenciamento e valorização dos resíduos de lodo de esgoto

O tratamento de esgoto consiste na remoção de poluentes e o método a ser utilizado depende das características físicas, químicas e biológicas (SABESP, 2020).

O processo de tratamento do esgoto, doméstico ou industrial, nas estações de tratamento de esgotos (ETE), gera um subproduto denominado lodo de esgoto ou biossólido (tratado e processado), que é considerado resíduo sólido orgânico e se constitui em um grande problema ambiental urbano (SANTOS, 2003; RIGO, 2014). Para Irata (2015), dentre os produtos resultantes do tratamento de esgoto, o lodo apresenta um grande volume e requer tratamento difícil, representando um dos maiores e mais complexos problemas enfrentados pelas empresas de saneamento. A destinação deste subproduto é um desafio por representar normalmente até 50% dos custos operacionais globais de uma estação de tratamento (SILVA, 2019).

Segundo Irata (2015), o reaproveitamento do lodo de tratamento do esgoto doméstico pode ser considerado como uma matéria-prima alternativa na obtenção de produtos. A escolha de alternativas de processamento e disposição final do lodo é fruto da situação local de tecnologia e recursos disponíveis.

As técnicas para o processamento do lodo de esgoto dependem do tipo, capacidade, localização da estação de tratamento, operações empregadas e o método para disposição final dos sólidos. A partir dessas premissas, escolhe-se o sistema que seja capaz de receber o lodo para convertê-lo em um produto ecologicamente e economicamente aceitável. De acordo com Rigo (2014), dentre os principais tipos de destinação e tratamento do lodo de esgoto estão:

Incineração – tem como vantagem a redução do volume de resíduos, além do aproveitamento energético. A desvantagem é que os metais pesados continuam presentes nas cinzas, necessitando de disposição final adequada para as mesmas.



Disposição em aterro sanitário – é atualmente o principal destino final do lodo produzido no Brasil. O aterro é necessário para atender à absorção dos lodos com características inadequadas ao uso benéficos, como por exemplo: as cinzas geradas pela incineração. No aterro não há preocupação em reciclar ou recuperar nutrientes dos lodos, e ainda, se este for mal projetado pode provocar a contaminação do ar, das águas superficiais e subterrâneas, do solo, e, conseqüentemente, da população.

Recuperação de áreas degradadas – a aplicação de lodos em áreas degradadas traz benefícios às propriedades físicas do solo, como: condicionamento do solo; melhoria na formação de agregados; infiltração; retenção de água; e, aeração do solo. Uma área degradada não fornece condições de desenvolvimento e fixação da vegetação.

Landfarming – uma área específica é destinada ao sistema de tratamento de resíduos. Não há utilização de nutrientes e da matéria orgânica do lodo, tendo como objetivo único a degradação do solo e a retenção de metais na camada superficial do mesmo.

Agricultura – utilização do lodo do esgoto como biofertilizante e condicionador do solo, proporcionando ganhos ao produtor, por meio do aumento da produtividade das culturas e redução do uso de fertilizantes minerais. Ainda que existam alguns riscos, os benefícios, como: redução dos custos, conservação dos ambientes e das características físicas e químicas dos solos, são maiores.

Disposição oceânica – a disposição de resíduos nos oceanos é uma prática antiga, apesar de atualmente ser proibida.

Conversão em óleo combustível – processo termoquímico que vem sendo aplicado em diversas biomassas de origem urbana, industrial e agrícola.



3. Alternativas para valorização do lodo de esgoto

A valorização do lodo de tratamento de esgoto pode ser considerada como um exemplo de inovação sustentável.

Ao considerarmos o princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), a utilização do lodo torna-se uma alternativa com vantagens ambientais.

O lodo do esgoto não traz benefícios somente na atividade agrícola, mas também na atividade florestal; no reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmicas, e, produção de cimento); na conversão em óleo combustível e na recuperação de solos (BETTIOL & CAMARGO, 2000).

A reutilização do lodo de esgoto, ainda, é capaz de aumentar a produtividade das culturas, diminuir a dependência de adubos químicos e minerais, e possibilitar a sua conversão em energia (elétrica, biogás, biocombustíveis) (COELHO, 2019).

3.1 Uso agrícola do lodo de esgotos

O crescimento populacional traz consigo maior demanda por alimentos e fibras, aumentando assim a produtividade agrícola, mas, por outro lado, uma diminuição das áreas de plantios, em virtude da necessidade de construção de moradias. Aumentando a produtividade agrícola e o consumo, temos como consequência, a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes (sintéticos, orgânicos ou organominerais). Daí a importância do desenvolvimento de novos fertilizantes que sejam mais econômicos e que possam ser produzidos em território nacional. Por este motivo, a utilização de fertilizantes orgânicos, simples, mistos e compostos, produzidos a partir de resíduos orgânicos sem valor agregado e que seriam um problema ambiental, acabam tornando-se uma alternativa de grande sustentabilidade (da SILVA, 2011).

Nesse sentido, a valorização do lodo de esgoto doméstico para uso agrícola, se configura como alternativa interessante. Como esse lodo contém grande variedade de microorganismos que vão desde simples agentes decompositores até bactérias, vírus, etc., há a possibilidade de disseminação de doenças via



contato direto com o lodo, a água e o solo. Desta forma, há alguns processos disponíveis para a desinfecção deste lodo, como: calagem (adição de cal para eliminar os microrganismos patogênicos); compostagem por microrganismos autóctones, etapa termofílica capaz de eliminar os microrganismos patogênicos; e a vermicompostagem (da SILVA, 2011).

3.1.1 Compostagem

O resultado da compostagem de lodo de esgoto é um produto estabilizado que pode ser considerado como um enriquecedor do solo e uma maneira de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera. Quando destinado à agricultura, o lodo precisa passar por um período de maturação, para que o processo de higienização se dê por completo, deixando os níveis de organismos patogênicos compatíveis com a legislação. Este tempo varia de acordo com o tipo de processo de higienização, de zero para secagem térmica, a 30 a 60 dias no caso da calagem. Neste período, o lodo ainda está sob responsabilidade da companhia de saneamento, dentro da ETE, e precisa ser armazenado em pátio adequado (SANTOS, 2003).

3.1.2 Vermicompostagem

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) considera o vermicomposto, um fertilizante orgânico composto, resultante da digestão da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos, pelas minhocas. Segundo os critérios do MAPA, o vermicomposto produzido a partir do lodo de esgoto doméstico seria um fertilizante orgânico composto classe D, proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários (da SILVA, 2011). Para serem utilizados como fertilizantes, os vermicompostos devem apresentar limites de contaminantes dentro dos estabelecidos pelo MAPA, além de atender às especificações e garantias mínimas, para ser considerado um produto de utilização agrícola. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), número 375/2006, também define os critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto doméstico gerados em estações de esgoto sanitário (BRASIL, 2006).



3.2. - Uso do lodo em áreas de reflorestamento

O lodo de esgoto, além de ser um recurso reciclável, aumenta a possibilidade de sucesso do reflorestamento porque as plantas crescem mais rapidamente, têm maior taxa de sobrevivência e de crescimento (EMBRAPA, 2019).

Segundo Batista (2015), as principais vantagens para aplicação do lodo em plantações florestais são:

- os produtos das culturas florestais, normalmente não são comestíveis, e isso diminui os riscos de contaminação pela entrada de compostos na cadeia alimentar;
- os ciclos das culturas florestais são mais longos e a acumulação da biomassa contribui para a remoção de possíveis elementos perigosos do solo;
- melhor aproveitamento dos nutrientes; e,
- menor risco de contato humano;

Segundo Ferrari e Souza (2007), o uso do lodo de esgoto para fins agrícolas e florestais, vem tendo uma forte demanda, pois além de fornecer elementos químicos importantes para as plantas, também condiciona as propriedades físicas do solo, em virtude da grande quantidade de matéria orgânica nele presente. Além do uso do lodo de esgoto para fins agrícolas e florestais, em plantios comerciais, outra alternativa é recuperar solo degradado que sofreu alterações físicas e/ou químicas.

O lodo de esgoto apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o aparecimento da vegetação em áreas degradadas, onde os solos são pobres em matéria orgânica e nutrientes (BATISTA, 2015).

3.3. - Uso do lodo na fabricação de substrato vegetal

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2018), o lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto pode se tornar matéria-prima de um substrato para plantas e de um condicionador de solo. Além de excelente para as plantas, a utilização do lodo dá uma destinação limpa a esse resíduo, contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Vale ressaltar, que



esses resíduos não podem ser aplicados diretamente no solo ou substrato, sob risco de contaminação.

Além do benefício ambiental, o uso do lodo de esgoto na composição de substratos permite uma economia na adubação suplementar e melhorias no percentual de aproveitamento do viveiro (BATISTA, 2015).

3.4 - Uso alternativo para o lodo de esgoto: construção civil

A incorporação do lodo de esgoto na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. O lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade (ANDREOLI, 2006).

3.5 - Uso alternativo para o lodo de esgoto: biocombustível

O metano puro, resultante do processo de decomposição e filtragem, pode ser utilizado da mesma maneira que o GNV (gás natural veicular), uma vez que a tecnologia é a mesma. Desta forma, as empresas podem ter uma economia considerável de gasolina por dia com a alimentação da sua frota por meio do biometano produzido (TRIGUEIRO, 2018).

3.6 - Uso alternativo para o lodo de esgoto: energia elétrica (biogás)

Todo tipo de resíduo que contém matéria orgânica pode ser utilizado na biodigestão.

O lodo de esgoto e os restos de alimentos são misturados na biodigestão, e posteriormente, convertidos em biogás. Esta produção gera uma economia de energia (TRIGUEIRO, 2018).

Porém, nem todo biogás produzido nas ETEs é aproveitado, e isto pode provocar odores e contribuir para o aumento da emissão de gases de efeito estufa. Por este motivo, as estações de tratamento devem ser instaladas afastadas de bairros residenciais.



3.7 – Valorização Energética

Destacam-se os processos térmicos, como alternativas ao tratamento do lodo, nos quais o processamento do lodo ocorre pela destruição química dos polímeros a elevadas temperaturas, sob condições controladas de temperatura, pressão, teor de oxigênio, tempo de reação, entre outros fatores.

Segundo Rosa (2014), os processos térmicos mais comuns são a pirólise, a gaseificação e a combustão/incineração, a saber:

- Incineração - se diferencia da combustão por ter como principal objetivo o tratamento de um lodo que não pode ser queimado de forma segura em virtude da presença efetiva ou potencial de metais e/ou dioxinas e furanos, nas emissões atmosféricas ou nas cinzas, sendo a geração de energia um objetivo secundário.
- Combustão - tem como principal finalidade a obtenção de energia pela queima, de forma segura sem necessidades especiais de prevenção e/ou controle dos poluentes não convencionais.
- Gaseificação - quando utilizada para a geração de eletricidade e calor, apresenta compatibilidade técnica e econômica com combustão direta, devido ao uso do gás de síntese (*syngas*), o qual pode ser aproveitado nas dependências da ETE ou transportado para outras unidades consumidoras adjacentes.
- Pirólise - requer o preparo do lodo para o processo térmico. É uma alternativa que apresenta flexibilidade no uso dos subprodutos líquidos, sólidos e gasosos, interna e externamente à ETE, assim como o menor potencial de geração de poluentes tóxicos. Esta tecnologia está em crescente desenvolvimento e aplicação prática para fins de aproveitamento energético do lodo.



4. Experiências brasileiras de utilização do lodo de esgoto

Nesta seção, baseado nas pesquisas acadêmicas que embasaram este trabalho, detalham-se algumas experiências brasileiras de utilização do lodo de esgoto, com o objetivo de apresentar outras possibilidades de utilização e destinação deste resíduo sólido, que possam gerar benefícios ambientais e, possivelmente, econômicos.

4.1 - Compostagem

Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento - SANASA

Foi inaugurado na cidade de Campinas, no final de 2019 a Usina de Compostagem de Lixo Verde, cuja operação ainda se encontra em fase de testes e que tem capacidade para operar 300 toneladas diárias de restos de frutas do Ceasa, lodo de esgoto da SANASA, além de galhos, folhas e grama das podas dos espaços municipais da cidade para produção de adubo orgânico. O adubo orgânico produzido será usado nas áreas verdes da cidade, no Instituto Agrônomo de Campinas (onde está localizada a usina) e o restante será encaminhado ao Ceasa, para comercialização aos produtores agrícolas locais. A usina também receberá resíduos verdes do setor privado que pagará por tonelada depositada. O investimento total gira em torno de 8 milhões de reais e o custo mensal de manutenção será por volta de 650 mil reais. Ainda, segundo a Prefeitura de Campinas, esse investimento inicial se pagará em um ano com a redução dos custos de transporte e com a disposição dos materiais em aterros sanitários (AGÊNCIA METROPOLITANA CAMPINAS, 2020).

ETE JUNDIAÍ

Na cidade de Jundiaí, o lodo do esgoto tratado na Estação de Tratamento de Esgoto do Jardim Novo Horizonte (ETE Jundiaí) se transforma em 60 mil toneladas de resíduos orgânicos tratados por ano, que por sua vez se transformam em 20 mil toneladas de fertilizante orgânico composto, utilizado em culturas de café e cana-de-açúcar, plantações de uva, caqui e pêssigo e plantas ornamentais. O composto final é chamado de fertilizante orgânico composto



classe D, registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de uso seguro na agricultura. O controle de qualidade do produto é feito mensalmente, por meio de análises físico-químicas e microbiológicas (PREFEITURA JUNDIAÍ, 2018).

SABESP – ETE BOTUCATU

De acordo com o site oficial da Sabesp, no final de 2014, a empresa em parceria com a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), iniciou um projeto de pesquisa para a transformação do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), de Lageado, em Botucatu, em adubo, por meio da compostagem.

Os estudos deste projeto de pesquisa entre UNESP, FAPESP e SABESP, apontaram que o adubo orgânico gerado pode ser aplicado por fazendeiros em diversos cultivos, como cana-de-açúcar, café, maçã, laranja, milho, soja. Havendo restrições para cultivos em áreas inundadas, pastagens e plantas cuja parte comestível tenha contato direto com o solo, como: hortaliças, tubérculos e raízes.

Uma vantagem a ser destacada é a qualidade do adubo orgânico gerado a partir do lodo de esgoto que possui alto teor de matéria orgânica que vem do próprio esgoto doméstico, especialmente nitrogênio e fósforo. Isto melhora as características físico-químicas do solo, como capacidade de retenção de água e a retenção de nutrientes. Para o produtor rural, a utilização do lodo de esgoto pode significar também uma redução de custos, já que ele poderá usar menos fertilizantes sintéticos, além de obter aumento de receita por causa do ganho de produtividade nas lavouras.

Em 2018, a SABESP recebeu autorização para produzir adubo a partir do lodo gerado no tratamento do esgoto, o que levou à criação da Sabesfértil, o fertilizante, que é uma solução que traz benefícios para o meio ambiente e para os agricultores ao transformar um resíduo que seria descartado em aterro sanitário (o lodo), em um novo produto para o plantio (o adubo).



Com os resultados positivos, garantindo segurança do produto sem qualquer tipo de risco a quem for utilizá-lo, o Ministério da Agricultura concedeu o registro de estabelecimento produtor de fertilizante à ETA Lajeado. Com capacidade para processar até 25 toneladas de lodo por dia, o sistema de secagem e compostagem desenvolvido pela Sabesp e pela Unesp tem baixo consumo energético. O valor investido nesta tecnologia foi em torno de R\$ 800 mil (SABESP, 2018).

4.2 - Biocombustível

SABESP – ETE FRANCA

Outra experiência da SABESP refere-se à produção de biometano proveniente do tratamento de esgoto.

Desde abril de 2018, a empresa utiliza o biogás gerado no tratamento de esgoto para abastecer uma frota de 20 veículos da unidade de negócio de Franca. Um projeto, já em uso na Europa, mas pioneiro em relação à América Latina.

A chegada do biometano nos carros da Sabesp, começou em outubro de 2015, quando a companhia fez o convênio com o Instituto Fraunhofer para desenvolver o projeto de inovação. Na primeira etapa, os técnicos das duas organizações se debruçaram sobre números e dados para sua concepção e, na segunda parte, para o desenvolvimento do projeto e preparação da estrutura operacional. (SABESP, 2018)



Figura 01 – Fotos da ETE de Franca e do abastecimento de frota de veículos da Sabesp.

Fonte: Portal Intranet Sabesp, 2018

Este projeto teve como ideia central a utilização da ETE não só para o tratamento de esgoto, mas também para a geração de energia elétrica e fotovoltaica; geração de biometano, também conhecido como biogás; e, ainda, de fertilizantes para a agricultura.

O efluente líquido tratado produz água de reuso não potável, realimenta o rio e assim, produz energia elétrica para a ETE, por meio de uma turbina implantada no canal de saída da planta. O lodo gerado passa a ser utilizado como fertilizante na agricultura. O biogás gerado do tratamento é utilizado como combustível veicular, e, também, aproveitado na produção de energias elétrica e térmica, com potencial para ser injetado em rede de distribuição de gás. O biogás é um gás com alto potencial energético e um produto gerado pela digestão por bactérias do lodo produzido no tratamento do esgoto em grandes tanques, chamados de biodigestores.

A energia solar é aproveitada na geração de energia elétrica fotovoltaica (GOVERNO ESTADO SÃO PAULO, 2019).

O investimento total do projeto foi de R\$ 7,4 milhões, resultado de uma parceria entre a SABESP e o Instituto Fraunhofer IGB, da Alemanha. O Instituto fez a doação de equipamentos de armazenamento, beneficiamento e compreensão de biogás para a SABESP, presta assistência técnica e acompanha a fase de



pesquisas. Já à SABESP, cabe a realização das obras para instalação do equipamento, da linha de biogás, do sistema elétrico e a adaptação dos veículos para o biometano, além do pagamento de taxas, licenças e impostos (SABESP, 2018).

No processo, o biogás gerado no tratamento do esgoto passa por um sistema de remoção das impurezas, umidade e aumento da concentração de metano. O resultado é um combustível, o biometano, que será usado no lugar da gasolina, do álcool e do GNV (gás natural veicular). Em média, a estação de tratamento de esgotos (ETE) trata 500 litros por segundo de esgoto e produz em torno de 2.500 m³ de biogás por dia, suficiente para substituir 1.500 litros de gasolina comum diariamente.

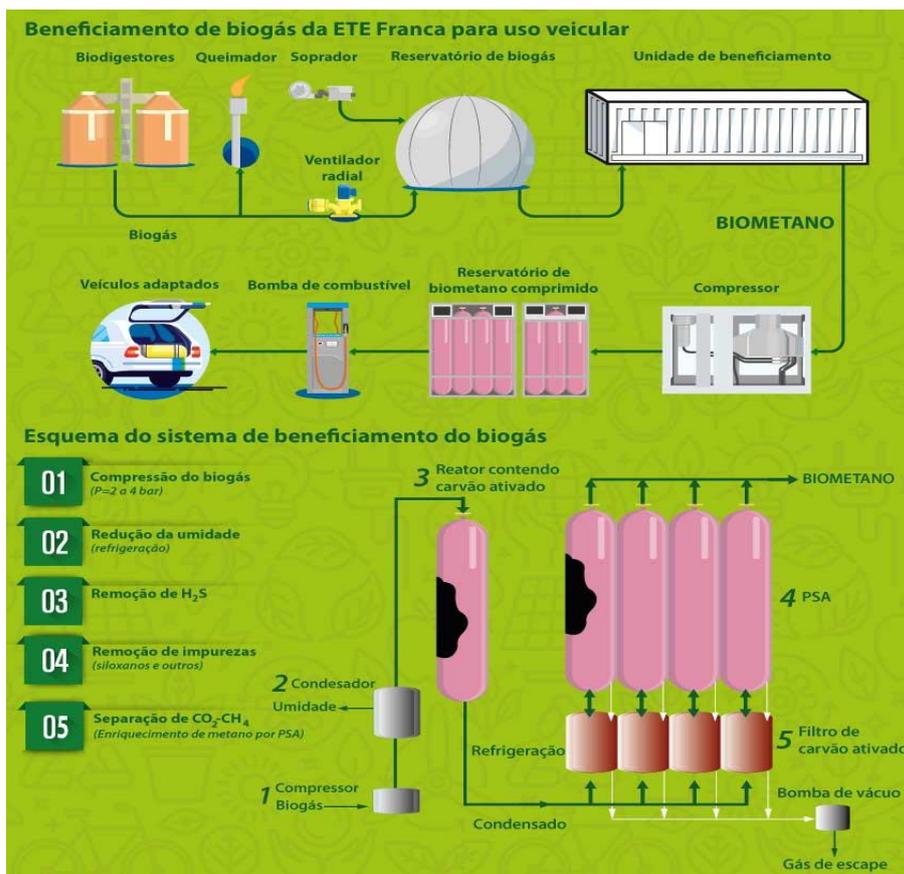


Figura 02 – Beneficiamento de Biogás da ETE Franca, para uso veicular.

Fonte: Portal Intranet Sabesp, 2018



Com o sistema de beneficiamento de biogás em funcionamento, começou a fase de análise do desempenho técnico e econômico do projeto. Ou seja, era hora de conferir se as projeções se materializariam como o esperado e coletar dados para os ajustes finos do uso da tecnologia. Os estudos iniciais apontaram que a produção do biometano em Franca seria capaz de abastecer 200 veículos leves, assim como as estimativas iniciais, que indicaram que o retorno do investimento levaria cerca de sete anos. Mas a economia com a substituição da gasolina por biometano não era o maior benefício do projeto. Segundo o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás), o biometano pode reduzir em até 90% as emissões de poluentes em comparação com a gasolina. Seu uso previne, ainda, o lançamento de metano e CO₂ na atmosfera, responsáveis pelo aquecimento global. (SABESP, 2018).

4.3 - Biogás

CS BIOENERGIA

Em 2018, em uma iniciativa para a produção sustentável de energia, o Estado do Paraná combinou resíduos orgânicos e lodo de esgoto para a fabricação de biogás, por meio do processo de biodigestão. O produto resultado desse processo é utilizado como matéria-prima na geração de eletricidade.

A usina responsável pela biodigestão é a operada pela CS Bioenergia, formada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e pelo grupo Cattalini Bio Energia.

Todo tipo de resíduo que contém matéria orgânica pode ser utilizado na biodigestão. No caso da CS Bioenergia, o material é proveniente de grandes geradores da região metropolitana de Curitiba, como: supermercados, shoppings, indústrias alimentícias e das Centrais de Abastecimento do Paraná (CEASA). O volume é coletado por caminhões que transportam até a usina, ficando armazenados em tanque, inicialmente.

Posteriormente, o material é automaticamente enviado a um moinho de martelo, responsável por tritura-lo e também separar a fração orgânica das possíveis embalagens.



O segredo da biodigestão está nas bactérias presentes no lodo do esgoto. No processo de transformação do gás em eletricidade, também é gerada energia térmica, tudo de maneira sustentável.

Por meio da biodigestão, a usina paranaense consegue transformar 300 toneladas de resíduos orgânicos em 1 mil m³ de lodo de esgoto em 2,8 MW de energia.

Apesar dos benefícios, o biogás não tem grande representação na matriz energética nacional.

Além da geração de energia limpa e renovável, o sistema alivia a quantidade de resíduos encaminhados aos aterros sanitários.

O volume excedente não aproveitado na geração do biogás é utilizado na produção de biofertilizantes. O plástico que chega junto com o material a ser reciclado é utilizado na fabricação de sacolas. Assim, o ciclo se encerra e os resíduos, que seriam enviados aos aterros sanitários, acabam sendo plenamente aproveitados na usina de biodigestão.

Segundo dados da CS Bioenergia, o investimento na usina foi de R\$ 62 milhões, sendo que o retorno do investimento é avaliado entre nove e dez anos (AECWEB, 2018).



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de resíduos sólidos é atualmente um problema mundial e o tratamento e aproveitamento do lodo de esgoto, de produção contínua e abundante, constitui-se em um dos mais sérios problemas ambientais.

Para que o aterro sanitário deixe de ser o principal destino do lodo produzido no Brasil, buscou-se com este trabalho, identificar as alternativas para a valorização e gerenciamento deste resíduo sólido, especificamente.

Dentre as alternativas de valorização do lodo de esgoto no Brasil, aqui expostas, podemos concluir que a utilização predominante é agrícola, principalmente, com a produção de fertilizantes orgânicos.

As demais experiências, como: o uso na atividade florestal, no reuso industrial, na recuperação de solos, e, na conversão em óleo combustível (biocombustível) e energia elétrica (biogás); mostraram-se viáveis, porém, ainda têm suas aplicações em escala bem reduzida em comparação com a quantidade de lodo de esgoto gerado.

Os casos de produção de biofertilizantes para a agricultura e biocombustível para abastecimento de frota de veículos, mostram que a utilização do lodo de esgoto é possível, gerando não só benefícios ambientais como também algum retorno financeiro ao investimento.

A valorização do lodo de esgoto pode ser considerada um exemplo de inovação sustentável com vantagens ambientais, econômicas e aplicação do princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar).



6. REFERÊNCIAS

AECWEB - **Homepage**. Paraná, 2018.

Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/lodo-de-esgoto-e-residuos-organicos-viram-eletricidade-no-parana/17201>. Acesso em 20 abril 2020

ANDREOLI, C.V. – **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final – Projeto PROSAB**

Disponível em: <http://finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>.

Acesso em: 18 abril 2020

ANDREOLI, C.V.; et al. (2006). “**Uso de lodo de Esgoto na Produção de Substrato Vegetal**”. In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento – Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10004**.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004

Disponível em: <http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>

Acesso em: 19 abril 2020

BATISTA, L.F. – Dissertação - **Lodos gerados nas Estações de Tratamento de Esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final** – publicação: PTARH.DM – 168/2015, Brasília/DF, 2015.

Acesso em: 19 abril 2020

BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. 2000. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312p.



BRASIL. Lei no. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Dispõe sobre resíduos sólidos, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. D.O.U. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de agosto de 2010. Poder Executivo.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.
Acesso em: 18 abril 2020

BRASIL. Melhoria da Gestão Urbana no país. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília/DF, MMA/SRHAU, 2010.

Disponível em:

https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf.

Acesso em 19 abril 2020

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **17º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, DF: MDR/SNS, 2019 26-27 p.

Disponível:

http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2018/Diagnostico_RS2018.pdf

Acesso em: 18 abril 2020

CASTRO, A.L.F.G., et al. – Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014 – **Multi-Science Journal**, vol. 1, núm. 02, abril, 2015, pp. 66-73. Acesso em: 19 abril 2020

COELHO, T.R., et al. – Lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) e compostagem orgânica em cultivo de mudas ativas: estudo na região dos Lagos, RJ - Brasil – **Revista Internacional de Ciências**, vol. 09, núm. 02, mai-ago, 2019, pp. 84-102

Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>.

Acesso em: 19 abril 2020



COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO – **Homepage**. São Paulo: SABESP, 2018

Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=7968>

Acesso em 20 abril 2020

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO – **Homepage**. São Paulo: SABESP, 2018. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=7905>

Acesso em 19 abril 2020

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO – **Homepage**. São Paulo: SABESP, 2020.

Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=49>. Acesso em 19 abril 2020

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO – **Intranet page**. São Paulo: SABESP, Portal Intranet, 2018

Disponível em:

<http://portal-intranet.ti.sabesp.com.br/group/sabesp-site/-/franca-fazendo-historia-mais-uma-vez-?inheritRedirect=true>. Acesso em 29 abril 2020

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Homepage**. Brasília, 2018

Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32485890/lodo-de-esgoto-e-otimo-componente-de-substratos-para-plantas>.

Acesso em 20 junho 2020

FERRARI, J. & SOUZA, M. – Uso do lodo de esgotos para áreas degradadas – **Separatas – Embrapa Meio Ambiente** – 2007.

Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100407/1/2007AA-031.pdf>

Acesso em 20 junho 2020.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO – **Homepage**. São Paulo, 2019

Disponível em:

<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/sabesp-conquista-premio-do-bid-por-projeto-de-economia-circular-em-franca/>.

Acesso em 20 abril 2020

IRATA, D., et al. – Uso de Informações Patentárias para a Valorização de Resíduos Industriais: o caso do lodo de tratamento de esgoto doméstico – **Revista de Ciências da Administração**, vol. 17, núm. 43, dezembro, 2015, pp. 55-71.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-8077.2015v17n43p55>.

Acesso em: 19 abril 2020

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. Hermus editora Ltda, 1995. 265 p.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA – **Homepage**. São Paulo, 2019.

Disponível em:

<https://www.tratamentodeagua.com.br/lodo-esgoto-adubo-reflorestamento/>.

Acesso em 20 junho 2020

PREFEITURA DE CAMPINAS – **Homepage**. Campinas/SP: AGEMCAMP, 2020

Disponível em: <http://www.agemcamp.sp.gov.br/usina-verde-custara-r-695-mil-ao-ano/>

Acesso em 19 abril 2020.

PREFEITURA DE JUNDIAÍ – **Homepage**. Jundiaí/SP, 2018.

Disponível em:

<https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2018/08/29/a-partir-do-esgoto-20-mil-toneladas-de-fertilizante-organico-sao-produzidas-por-ano-em-jundiai/>

Acesso em 19 abril 2020

RIGO, M.M., et al. – Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil – **Gaia Scientia**, vol. 08, núm. 01, outubro, 2014, pp. 174-186.

Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/index>.

Acesso em: 19 abril 2020



ROSA, A.P., et al. – Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETEs em processos térmicos – **Revista DAE** – outubro, 2014 – edição 198 – número 1578 - DOI: 10.4322/dae.2014.140

Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_198_n_1578.pdf.

Acesso em: 20 junho 2020.

SANTOS, Ailton Dias dos. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: s.n., 2003.

SILVA, A.R.M., et al. – **Otimização da produção de Biogás a partir da Codigestão de Lodo de Esgoto com Resíduos provenientes da Produção de Biocombustíveis** – Encontro Técnico AESABESP – 30 Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente – São Paulo, 2019.

Disponível em:

<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/12/biogas-logo-esgoto-biocombustiveis.pdf>.

Acesso em: 22 junho 2020

SILVA, P.R. das D, et al. – **Avaliação do potencial agronômico de vermicomposto produzido a partir do lodo de esgoto doméstico** – Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 6, núm. 4, 2011, pp. 565-575.

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119021237003>.

Acesso em: 19 abril 2020

SOARES, L.G.C.; *et al* - **Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco** – estudo de caso – Revista Ciências e Tecnologia, 2007 – Disponível em: http://www.unicap.br/revistas/revista_e/artigo5.pdf.

Acesso em: 18 abril 2020



TRIGUEIRO, A. - Cidades e Soluções. Brasil trata menos da metade do esgoto que gera. – **Globonews**, 2018.

Disponível em: <https://globosatplay.globo.com/globonews/v/6701890/>.

Acesso em: 19 abril 2020

TV UNESP – Faculdade de Ciências Agrônômicas Botucatu – **Video page**. Botucatu/SP, 2019.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=38DLq4KEL9k>

Acesso em 19 abril 2020

VISENTIN, R., et al. – Viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto para uso agrícola – **Holos Environment**, vol. 20, núm. 02, fevereiro, 2020, pp. 152-167.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v20i2.12372>.

Acesso em: 19 abril 2020