

COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO EM BOTUCATU: AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE CUSTOS

Roseli Visentin¹ (rosevisentin@hotmail.com), Caroline de Moura D'Andréa Mateus¹
(caroline@fca.unesp.br), Maura Seiko Tsutsui Esperancini¹ (maura@fca.unesp.br),
Roberto Lyra Villas Boas¹ (rlvboas@fca.unesp.br), Caio Vilela Cruz¹ (caiovilelac@hotmail.com)
¹ FCA/UNESP – Faculdade de Ciências Agrônomicas

RESUMO

O lodo de esgoto é um dos subprodutos do tratamento de esgoto que demanda novas soluções econômicas e ambientais dado, dentre outros aspectos, o ônus da operação de transporte e disposição do material, a capacidade finita dos aterros sanitários, além de ser rico em matéria orgânica e nutrientes apresentando grande potencial de uso na agricultura. Objetivou-se com este trabalho avaliar os custos referentes à compostagem de lodo de esgoto produzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) – Botucatu, visando obter alternativas de utilização e destinação desse resíduo sanitário. Para o processo de compostagem foram estudados três materiais estruturantes (ME): casca de arroz, casca de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, misturados ao lodo de esgoto e dispostos em estufa na forma de leiras revolvidas periodicamente por compostadora. A precificação destes elementos e o cálculo dos custos, receitas e indicadores possibilitou a identificação do melhor resultado econômico da compostagem conjugando-o com o maior aproveitamento do lodo de esgoto produzido na ETE.

Palavras-Chave: Aterro sanitário, Composto orgânico, Análise econômica.

BIOSOLIDS COMPOSTING IN BOTUCATU: PRELIMINARY COST EVALUATION

ABSTRACT

Biosolids are a by-product of wastewater treatment that demand new economic and environmental solutions given, among other things, the burden of the transport operation and disposition of the material, the finite capacity of landfill sites, not to mention the fact of being rich in organic matter and nutrients, showing great potential for use in agriculture. The objective of this work was to assess the costs related to the biosolids composting produced by a Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in Botucatu, São Paulo, Brazil, in order to obtain alternative use and destination to this residue. Regarding the composting process, were studied three structural materials (SM): rice husk, eucalypt bark, and sugar cane bagasse, mixed with biosolids and arranged in a greenhouse. A composting machine periodically revolved the composting piles. The pricing of these elements and the calculation of costs, revenue and indicators allowed the identification of the best economic result for composting in conjunction with a higher utilization of biosolids produced by the WWTP.

Key words: Landfill, Organic compost, Economic analysis.

1. INTRODUÇÃO

Devido à concentração da população em áreas urbanas, as políticas de ampliação do serviço de saneamento com conseqüente aumento na produção de lodo (resíduo produzido na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE) e, principalmente, a capacidade finita dos aterros sanitários, o lodo passou a ser uma questão ambiental e econômica em todas as cidades, sejam elas produtoras e/ou receptoras deste resíduo.

Botucatu é uma cidade majoritariamente produtora deste tipo de resíduo e que, segundo o censo do IBGE, em 2010 contava com 127.328 habitantes com 95,65% de domicílios particulares permanentes urbanos atendidos por rede geral de esgoto sanitário ou pluvial, sendo 100% tratado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp, gerando, atualmente,

9 m³/dia de lodo úmido, que são transportados e dispostos a 200 km de distância, em aterro sanitário, no município de Paulínia – SP (BRASIL, 2017).

Portanto, novas formas de utilização e destinação do lodo de esgoto, como, por exemplo, a sua transformação em composto, para uso na agricultura, como fertilizante ou na recuperação de solos degradados, têm sido pesquisadas à luz da legislação vigente, devendo atender às exigências do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2017) e à Resolução CONAMA nº 375/2006 e 380/2006 (BRASIL, 2006a, b).

Buscam-se, portanto, alternativas ambientais e econômicas viáveis, tornando possível o retorno deste resíduo, rico em nitrogênio, à cadeia produtiva após processo de compostagem.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi realizar a avaliação econômica do processo de compostagem, o qual não deve ser respondido por um único valor, mas por simulações que levaram a diferentes resultados de custos e receitas, de acordo com as possibilidades de se alterar variáveis, dando-se enfoque aos tipos de materiais estruturantes (MEs) utilizados e suas proporções.

Com isso se buscou, sem descaracterizar o produto final, encontrar a melhor e maior utilização de lodo de esgoto, minimizando os custos e gerando ganhos econômicos e ambientais.

3. METODOLOGIA

O projeto de compostagem com uso de lodo de esgoto vem sendo realizado desde novembro de 2015, na ETE da Sabesp de Botucatu, localizada na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP.

Foi necessária a aquisição e adaptação de máquina para revolvimento periódico das leiras, equipamentos para controle de temperatura e umidade, acompanhamento regular e presencial do processo, garantindo, assim, que reações físicas e bioquímicas ocorressem, levando à transformação da mistura em composto que, após testes para certificar a ausência de patógenos, tornassem o produto apto para uso na agricultura.

Atualmente, a ETE Botucatu produz 270 m³/mês de lodo úmido (80% de umidade). A quantidade de cada tipo de ME adicionado ao lodo foi calculada valendo-se da composição química, densidade e umidade do material selecionado, para que a relação carbono-nitrogênio (C/N) e as características físicas da mistura fossem propícias à compostagem.

A escolha dos MEs utilizados no projeto foi baseada em resíduos provenientes da produção agrícola do estado de São Paulo, buscando-se alternativas que propiciem a compostagem do lodo de esgoto em todas as regiões. O estado de São Paulo é responsável por 55% da produção nacional de cana-de-açúcar, 19% da produção nacional de eucalipto e 1% da produção nacional de arroz. (IBGE; CONAB, 2017). A casca de arroz foi escolhida, apesar da baixa produção de arroz no estado de São Paulo, por ser utilizada como substrato para produção de mudas, sendo assim mais uma alternativa de uso dos produtos finais da compostagem, além do uso como fertilizante orgânico.

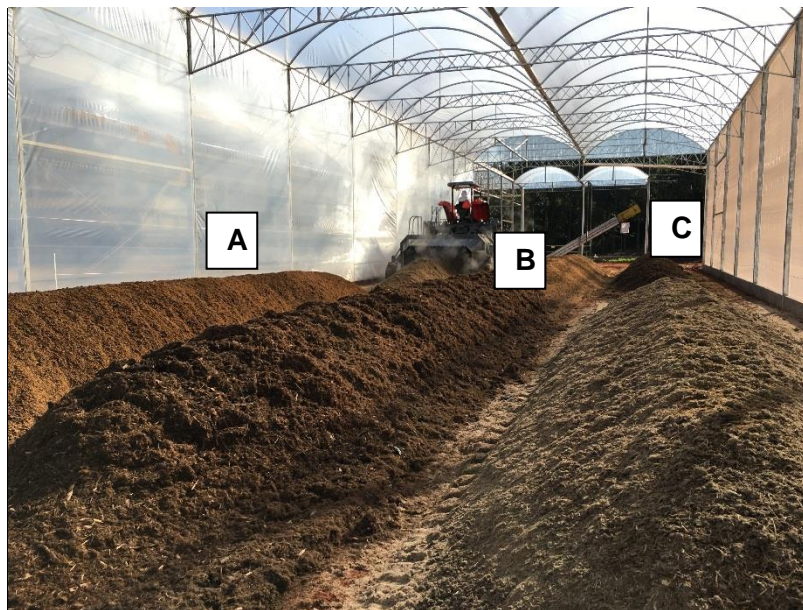
Os resíduos gerados a partir destes materiais: bagaço de cana-de-açúcar (BC), casca de eucalipto (CE) e casca de arroz (CA), possuem características físicas e químicas essenciais à compostagem (Tabela 1).

Para execução do processo de compostagem, foi construída uma estufa com as seguintes dimensões: 12,8 m (largura) x 81,0 m (comprimento) x 6,5 m (altura) perfazendo uma área de 1.036,8 m², que recebeu, através de operações mecanizadas e manuais, a mistura distribuída em 3 leiras hexagonais de 3 m de largura e 1,5 m de altura e 80 m de comprimento, totalizando o volume de 540 m³ por ciclo de compostagem (Figura 1).

Tabela 1 – Composição química, densidade e umidade dos materiais estruturantes e lodo de esgoto utilizados no processo de compostagem.

| Material | % Nitrogênio | % Carbono | Umidade % | Massa Específica(t.m ⁻³) | C/N |
|--------------------------|--------------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----|
| Casca de arroz | 0,5 | 39 | 8 | 0,14 | 78 |
| Casca de eucalipto | 0,3 | 22 | 55 | 0,27 | 73 |
| Bagaço de cana-de-açúcar | 0,2 | 30 | 39 | 0,21 | 150 |
| Lodo de esgoto | 0,8 | 6 | 80 | 1 | 7,5 |

Figura 1 – Estufa e leiras montadas: A) casca de arroz + lodo de esgoto; B) casca de eucalipto + lodo de esgoto e C) bagaço de cana-de-açúcar + lodo de esgoto.



Há três tipos de tecnologias aplicadas à compostagem: sistema de leiras revolvidas (*windrow*), sistema de leiras estáticas aeradas e sistemas fechados (reatores biológicos). O sistema de leiras revolvidas, utilizado neste processo, apresentou a vantagem de ser o mais simples, tanto em implantação como em operação, além de gerar o menor custo de instalação (TSUTYA, 2000).

A máquina para revolvimento das leiras foi montada especificamente para o processo de compostagem, tendo como partes: trator, kit de elevação mecânica e compostador de resíduos (Figura 2).

Foram realizadas misturas de ME com lodo de esgoto em duas proporções volumétricas: 3:1 e 1:1, sendo 3 partes de ME para 1 parte de lodo e 1 parte de ME para 1 parte de lodo, respectivamente.

Figura 2 – Máquina compostadora utilizada no revolvimento das leiras.



O ciclo para formação do composto foi definido em 2 meses, em função do processo de revolvimento permitir a elevação da temperatura neste período, com consequente eliminação dos patógenos e formação do composto.

A casca de arroz foi eliminada do processo e da avaliação econômica após ter sido verificado que não formou boa mistura com o lodo de esgoto se comparada à casca de eucalipto e ao bagaço de cana-de-açúcar deixando de ser, portanto, um produto viável comercialmente para utilização como substrato ou fertilizante.

A produtividade do composto, obtida a partir do uso de cada um dos MEs que tiveram resposta satisfatória na compostagem (BC e CE) foi distinta, bem como o preço de compra de cada um deles, portanto, os resultados do processo de compostagem foram apresentados separados, mesmo quando os demais parâmetros não se alteraram (Tabela 2).

Tabela 2 – Produtividade e custo dos insumos.

| Material Estruturante | Produtividade % | Valor de compra (R\$/m ³) * |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| Casca de Eucalipto | 16 | 27,50 |
| Bagaço de Cana | 20 | 31,50 |
| Lodo | | 4,11 |

* Inclui valor do transporte

Os custos e receitas foram obtidos pela inter-relação das variáveis de um conjunto de operações bastante particular, além da preocupação com questões legais, controles sanitários e a comparação da situação com e sem o projeto de compostagem.

Os custos foram agrupados em:

I - Custos Operacionais: aqueles que variam de acordo com o grau de utilização da capacidade do processo, tais como: insumos, mão de obra das operações manuais e mecanizadas, testes laboratoriais, consumo de combustíveis, graxas e lubrificantes, aluguel de equipamentos; são também chamados custos variáveis;

II - Custos Fixos: independem do grau de utilização da capacidade do processo, sendo resultantes dos juros sobre o capital imobilizado na operação, depreciação dos equipamentos e instalações, reparo e manutenção, seguro e taxas.

Adotou-se a taxa de juros nominais de 9,5% a.a. para o cálculo dos custos fixos e demais indicadores de viabilidade (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017).

Chamou-se de simulação ao agrupamento dos parâmetros que foram utilizados ou alterados ao longo do processo e que permitiu a identificação das variáveis que geraram os melhores resultados (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para cálculo dos custos.

| Parâmetros | Simulação | | | |
|----------------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Proporção volumétrica | 3:1 | 3:1 | 1:1 | 1:1 |
| Nº de ciclos/ano | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Nº de meses de compostagem | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Quantidade de leiras | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Lodo + ME (m ³ /ciclo) | 540 | 540 | 540 | 540 |
| Lodo | 135 | 135 | 270 | 270 |
| Casca de eucalipto | 405 | | 270 | |
| Bagaço de cana-de-açúcar | | 405 | | 270 |
| Produção atual de lodo (m ³ /mês) | 270 | 270 | 270 | 270 |

A receita foi gerada segundo duas abordagens (Tabela 4): uma delas, aplicando-se o preço de composto com lodo de esgoto, similar ao obtido no processo da ETE Botucatu, mas que é produzido numa planta de compostagem comercial no estado de São Paulo, seguindo as mesmas práticas aqui expostas, tendo como principal e importante diferença a escala de produção; a outra, aplicando-se o valor do transporte e da disposição no aterro de Paulínia sobre a quantidade de lodo de esgoto utilizada no processo e que, conseqüentemente, deixaria de ser enviada para aterro sanitário.

Tabela 4 – Valores atribuídos para o cálculo da receita.

| Item | Valor (R\$/m ³) * |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Composto (lodo de esgoto + ME) ** | 80,00 |
| Aterro | |
| Transporte do lodo de esgoto | 214,00 |
| Disposição do lodo de esgoto | 150,00 |

* Novembro/2016; ** Retirado no local de compostagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela relevância socioambiental que possui o destino dado ao resíduo gerado nas ETES, o resultado desta operação não ficou restrito ao aspecto econômico. Apesar da disposição do lodo de esgoto ter tornado o processo viável sob este aspecto, também é importante ressaltar o impacto positivo de seu uso ambiental mais adequado (Tabelas 5 e 6) e (Figura 3).

Tabela 5 – Resultado econômico do processo de compostagem.

| Item | Simulação | | | |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Custo total (R\$/ano) | 227.570 | 237.290 | 209.233 | 215.807 |
| Custo operacional | 135.387 | 145.107 | 117.050 | 123.624 |
| Custo fixo | 92.183 | 92.183 | 92.183 | 92.183 |
| Receita total (R\$/ano) | 255.579 | 265.947 | 469.687 | 480.055 |
| Receita da compostagem | 41.472 | 51.840 | 41.472 | 51.840 |
| Receita do aterro | 214.107 | 214.107 | 428.215 | 428.215 |
| Lucro operacional (R\$ * ano ⁻¹) | | | | |
| Total | 28.009 | 28.657 | 260.453 | 264.247 |
| Compostagem | - 186.098 | - 185.450 | - 167.761 | - 163.967 |
| Índice de lucratividade (%) | | | | |
| Total | 11 | 11 | 55 | 55 |
| Compostagem | - 449 | - 358 | - 405 | - 316 |

Tabela 6 – Resultado operacional do processo de compostagem.

| Item | Simulação | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Quantidade produzida de composto (m ³ /ano) | 518 | 648 | 518 | 648 |
| Quantidade utilizada de lodo de esgoto (m ³ /ano) | 810 | 810 | 1.620 | 1.620 |
| Quantidade de dias de produção lodo de esgoto | 90 | 90 | 180 | 180 |
| Quantidade atual produzida de lodo de esgoto (m ³ /ano) | 3.285 | 3.285 | 3.285 | 3.285 |
| Utilização do lodo produzido na ETE (%) | 25 | 25 | 49 | 49 |

A utilização destas 4 simulações demonstrou que a receita total foi positivamente afetada pela receita do aterro ou, de outra forma, pelo valor economizado quando o lodo deixou de ser levado para o aterro.

Tomando-se a simulação 4 como referência, por ter sido aquela que apresentou melhores resultados e por ter consumido quase 50% do lodo produzido atualmente na ETE, ressalva-se que:

- Os custos de máquinas, equipamentos e instalações são os que mais oneraram o processo (Tabela 7);
- Apesar da relevância dos custos, a utilização dos equipamentos é de apenas 72 h/ano.

Figura 3 – Avaliação da receita e produção de acordo com as simulações no processo de compostagem.

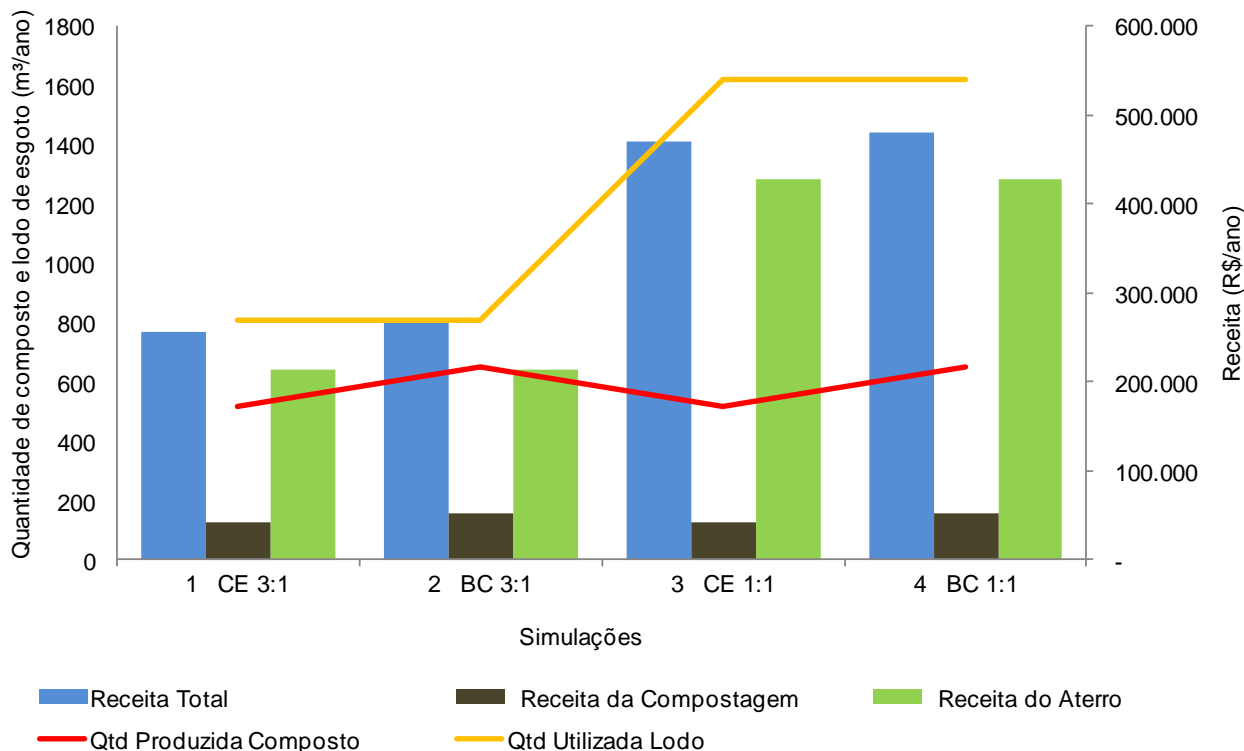


Tabela 7 - Custos detalhados da simulação 4.

| Item | R\$/ano | Participação no total |
|---------------------------------|----------------|-----------------------|
| Insumos | 63.448 | 29% |
| Operações manuais e mecanizadas | 60.176 | 28% |
| Equipamentos e instalações | 92.183 | 43% |
| Total | 215.807 | |

Ainda não se obteve o ganho gerado com a aplicação do composto na agricultura, sabendo-se, no entanto, que além de fertilizante, também pode ser utilizado como substrato e na recuperação de solos degradados. Estes benefícios seriam medidos a médio e longo prazo, extrapolando o horizonte deste processo, mas trariam outras receitas para além do valor de venda do composto (R\$80,00.m⁻³).

A quantidade de composto produzida, independeu da proporção volumétrica adotada (3:1 ou 1:1), mas foi função do material utilizado. Assim, vemos que a quantidade obtida nas simulações 1 e 3, que utilizaram casca de eucalipto foi de 518 m³/ano, enquanto nas simulações 2 e 4, com bagaço de cana-de-açúcar, apresentaram quantidade de 648 m³/ano que foi 25% superior à da casca de eucalipto.

A receita da compostagem também foi função do material utilizado (BC ou CE), pois o preço de venda do composto é o mesmo, evidenciando que o insumo utilizado para sua obtenção não modifica seu valor no mercado.

Já a quantidade utilizada de lodo no processo de compostagem variou de acordo com a proporção volumétrica, sendo mais viável ambientalmente, dado o maior uso do lodo, as simulações 3 e 4,

ou seja, aquelas com proporção de 1:1, nas quais foram utilizadas quantidades iguais de ME e Lodo. As simulações 3 e 4 utilizaram 100% a mais de lodo do que as simulações 1 e 2 e, apesar desta superioridade, este uso ainda representa apenas 50% do lodo produzido atualmente na ETE Botucatu.

A compostagem, por si só, não apresentou lucro em nenhuma das simulações, no entanto, quando se analisou o lucro operacional de todo o processo (compostagem + receita do aterro), percebeu-se um crescimento ao longo das simulações. O mesmo se deu para o índice de lucratividade, que acompanhou o lucro operacional, atingindo 55% na simulação 3 e 4 quando se analisou o conjunto compostagem e receita do aterro.

5. CONCLUSÃO

Apesar das simulações calculadas com a combinação dos parâmetros: MEs e proporções volumétricas, ainda não se conseguiu a utilização plena da produção atual de lodo de esgoto da ETE Sabesp - Botucatu, tendo sido utilizados somente 50% do lodo produzido no período projetado de um ano.

A questão básica a ser resolvida, que é a destinação do lodo de esgoto de forma ambientalmente viável, foi plenamente satisfeita em função dos resultados obtidos até a fase atual do processo de compostagem. Já o resultado econômico, ainda pode trazer ganhos com aumento da receita devido à aplicação do produto da compostagem na agricultura, seja em forma de fertilizante, substrato ou como produto que auxilie na recuperação de solos degradados.

Faz-se necessário, portanto, encontrar parâmetros econômicos mais rentáveis e modelos de produção de composto construídos em consonância com a geração de lodo de esgoto, para que haja pleno aproveitamento de oferta e demanda do resíduo e do composto orgânico.

REFERÊNCIAS

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.p. 69-105.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de Mercado. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/R20170317.pdf>>. Acesso em: 15 mar.2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Instrução Normativa 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providencias. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006a.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Instrução Normativa 380 de 31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA Nº 375/2006 - Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 nov. 2006b.

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>. Acesso em: 20 mar.2017.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 mai.2017.