



Análise de viabilidade econômica de um sistema de compostagem acelerada de resíduos sólidos urbanos

**Adriano Borges Pires¹, Adalberto Pandolfo², Marcele Salles Martins³,
Aline Pimentel Gomes⁴, Patricia Dal Moro⁵**

¹Universidade de Passo Fundo (adrianogpg07@hotmail.com)

² Universidade de Passo Fundo (adalbertopandolfo@hotmail.com)

³ Complexo de Ensino Superior Meridional – IMED (marcelemartins@imed.edu.br)

⁴ Universidade de Passo Fundo (alinegomes1977@hotmail.com)

⁵ Universidade de Passo Fundo (pati_dalmoro@hotmail.com)

Resumo

Os resíduos sólidos urbanos estão no centro de uma das principais discussões sobre qualidade ambiental. O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2010 revelou que o país produziu 195 mil toneladas de resíduos por dia, sendo que a quantidade de matéria orgânica representa, em peso, mais de 50% deste total. Estudos de viabilidade econômica voltados a compostagem de RSU ainda são pouco realizados no país. Sendo assim, este trabalho objetiva avaliar economicamente a implantação de um sistema de compostagem acelerada para RSU, buscando a redução de volume a ser aterrado e produzindo um composto de valor agregado. Determinou-se ainda os gastos e receitas envolvidos no processo de implantação e operação de um sistema desta natureza. Com base na avaliação realizada para o empreendimento, o mesmo apresentou uma Taxa Interna de Retorno de 24,91%. O Valor Presente Líquido para este empreendimento foi de R\$ 1.216.357,00 e o Valor Anual foi de R\$ 165.264,00. Para implantação e operação de um Sistema de Compostagem Acelerada para RSU com capacidade para 30 toneladas diárias, o estudo demonstrou-se viável do ponto de vista econômico e vantajoso do ponto de vista ambiental.

Palavras-chave: Viabilidade econômica. Compostagem acelerada. Resíduos sólidos urbanos.

Área Temática: Resíduos Sólidos

Abstract

The solid wastes are at the heart of one of the main discussion on environmental quality. The Overview of Solid Waste in Brazil in 2010 revealed that the country produced 195.000 tons of waste per day, and the amount of organic matter represents, in weight, more than 50% of this total. Economic feasibility studies about composting of solid waste are still poorly throughout the country. This study aimed to evaluate economically the implementation of an accelerated composting system for organic solid waste, seeking to reduce the final disposal of the waste in landfills and producing a compound of aggregate value. It was determined the expenses and revenues involved in the implementation and operation of the system. Based on the evaluation for the project, it presented an Internal Rate of Return of 24.91%. The Liquid Present Value for this project was R\$ 1.216.357,00 and the Annual Value was R\$ 165.264,00. For the implementation and operation of an Accelerated Composting System for MSW with a capacity of 30 tons per day, the study proved to be economically viable and environmentally advantageous.

Key words: Economic viability. Accelerated composting. Municipal solid waste.

Theme Area: Solid Waste



1 Introdução

De acordo com Ribeiro e Lima (2000), ao ser disposto no solo, os resíduos sólidos urbanos (RSU) estão sujeitos a sofrerem infiltrações de águas superficiais, que ao percolar através da massa de resíduos se soma à água resultante da umidade natural do lixo, à água de constituição de várias substâncias e aos líquidos que resultam da dissolução da matéria orgânica, pela ação de microrganismos.

Tränkler et al (2002) afirma que, quando a compostagem antecede o aterramento de resíduos, a demanda química oxigênio (DQO) e os compostos nitrogenados do percolado do aterro podem ser reduzidos em, respectivamente, 77% e 89%. Além disso, em 20 anos a formação de gás pode ser reduzida em mais que 35%, e o aquecimento global potencial abatido em mais que 63%. O impacto será ainda menor se, ao invés ser aterrado, o composto for aplicado no solo.

A proposta de implantação de uma unidade de compostagem com aeração forçada propicia a transformação dos resíduos orgânicos em um composto com valor agregado em um tempo médio de aproximadamente 40 dias, resultando na redução significativa do volume de rejeito destinado ao aterro sanitário, a inativação de patógenos presentes na massa de resíduo, a redução dos impactos hídrico, atmosférico e do solo, entre outros benefícios (BLEY JR, 2001).

Os objetivos que nortearam este trabalho se basearam na avaliação da viabilidade econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos (SICA-RSU), bem como na determinação de parâmetros de investimentos e gastos para instalação e operação do sistema e ainda a realização de levantamento de parâmetros para determinar as receitas e impostos envolvidos neste tipo de empreendimento.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Compostagem

A definição mais correta para a compostagem é uma decomposição controlada, exotérmica e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica por microrganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada, definida como composto (HUTCHINSON e RICHARDS 1922).

O processo de transformação da matéria orgânica através da compostagem acelerada é semelhante ao que ocorre na natureza com a diferença que naquele são oferecidas condições para facilitar e reduzir o tempo de decomposição (JARDIM et. al., 1995).

2.2 Classificação dos métodos de compostagem

De acordo Pereira Neto (1996) e Kiehl (1998), a compostagem pode ser classificada, de forma geral, quanto aos seguintes aspectos: biologia, temperatura, ambiente e processo.

No que se refere à classificação quanto à biologia, os processos são classificados da seguinte maneira: processo anaeróbio, processo aeróbio ou processo misto.

A temperatura é um dos principais fatores para controle e eficiência da compostagem. O valor da temperatura varia conforme a fase em que se apresenta o processo de compostagem, alterando de acordo com a curva-padrão da variação da temperatura no processo de compostagem.

Segundo Kiehl (1998) quanto ao ambiente da compostagem, a classificação geral é dividida em dois eixos principais: aberto, quando ocorre em pátios descobertos, a céu aberto e fechado, quando é realizada em locais e/ou equipamentos fechados com revolvimento mecânico ou aeração da massa de resíduos.



Em relação ao processo, a compostagem poderá receber duas classificações principais:

1. estático/lento: é o processo natural, ocorre de forma passiva uma vez que as leiras de compostagem ficam sobre pátios.

A compostagem natural apresenta alguns problemas como a necessidade de grandes áreas para a formação da leira e o revolvimento. Outros impactos ambientais inerentes ao processo, tais como a formação de líquidos percolados (chorume), produção de gases, geração de odores e a proliferação de vetores são de difícil controle (KNEER, 1978).

2. dinâmico/rápido: é o processo acelerado da compostagem, onde são oferecidas condições especiais, tais como: adição de enzimas, aeração forçada ou mesmo revolvimento mecânico. Existem casos de compostos finalizados no período de 35 a 40 dias.

A compostagem acelerada pode ser realizada em reatores ou baias de aeração fechados, nas quais uma construção abriga a matéria orgânica a ser compostada. Um número grande de formas pode ser usado como reator neste sistema: torres verticais, horizontais (retangulares ou circulares), e tanques rotativos circulares (TCHOBANOGLOUS, 1993). A Figura 1 apresenta um sistema de compostagem acelerada em baias cobertas por material geossintético.

Figura 1 – Sistema fechado de compostagem acelerada



Como característica mais importante o método por confinamento em reatores permite um maior controle das condições ambientais, com extrema redução no tempo de compostagem, de 120 dias para 40 dias, enquanto os demais estão sujeitos às variações climáticas (KNEER, 1978).

2.3 Variáveis de controle no processo de compostagem

A umidade é considerada um importante parâmetro para controle do processo de compostagem, seu valor pode variar em torno de 55%. Misturas com umidade abaixo de 40% poderão ter taxa de compostagem lenta, sendo que a lentidão do processo resulta na redução da atividade biológica (KIEHL, 1985, TCHOBANOGLOUS, 1993, PEREIRA NETO, 1996).

Umidades elevadas podem levar à anaerobiose com produção de gases e o desenvolvimento de maus odores (FONSECA, 2003).

Para que ocorram as reações metabólicas a literatura indica que deve ser fornecido de 0,6 a 1,8 m³ de ar/kg de sólidos voláteis (MCKINNEY, 1962). Por outro lado, Pereira Neto (1996) indica 0,3 a 0,6 m³ de ar/kg de sólidos voláteis.

Quanto à temperatura a compostagem caracteriza-se por ser um processo exotérmico de degradação de resíduos orgânicos, porque gera calor e aumenta a temperatura da leira, devido principalmente a multiplicação bacteriana. Os organismos que decompõem a matéria-prima têm uma faixa de temperatura ótima de desenvolvimento (LIMA 1981).



Conforme Pereira Neto (1996) para uma alta eficiência nos processos de compostagem, a literatura apresenta como valor ótimo para a relação C/N a variação em torno de 25 a 35 para 1, em torno de 18:1 para o composto semicurado ou bioestabilizado, e 8:1 a 12:1 para composto humificado.

O pH da mistura deve ser cuidadosamente controlado. Apesar de a literatura indicar uma faixa entre 6,5 e 8,0 (KIEHL, 1998), algumas experiências realizadas por PEREIRA NETO (1996), apresentaram uma faixa mais ampla, de 4,5 a 9,5.

O tamanho da partícula recomendado pela literatura é entre 1 e 4 cm. Como consequência do controle da granulometria recomendada, o resultado pode ser a obtenção de massa mais homogênea, melhor porosidade e menor compactação (MCKINNEY, 1962; PEREIRA NETO, 1996). Quanto mais fina é a granulometria, maior é a área exposta à atividade microbiana, o que promove o aumento das reações bioquímicas, visto que aumenta a área superficial em contato com o oxigênio.

2.4 Benefícios e vantagens da compostagem

Stevenson (1982) e Monteiro (1999) relatam que dentre os benefícios e vantagens da utilização do composto orgânico, merecerem destaque:

1. melhora da estrutura do solo, tornando-o poroso e agregando suas partículas que se transformam em grânulos;
2. incrementa de 20 a 70 % a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo;
3. aumento da capacidade de absorção e armazenamento de água no solo;
4. reduz radicalmente a erosão;
5. aumenta a estabilidade do pH do solo;
6. aumento da retenção dos macronutrientes, impedindo seu arraste pela chuva;
7. fornece nutrientes às plantas, como nitrogênio, fósforo;
8. aumenta a aeração do solo, necessária à oxigenação das raízes;
9. aumento da retenção do nitrogênio no solo.

2.5 Conceitos básicos da análise de investimentos

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto; caso contrário, o mesmo pode ser rejeitado. É também a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método do Valor Presente Líquido (VPL) e o parâmetro de comparação para a TIR (Taxa Interna de Retorno) (KASSAI et al, 2000).

O Valor Presente Líquido (VPL) ou Liquid Present Value (LPV) é um dos instrumentos mais utilizados para se avaliar propostas de investimentos de capital. Reflete a atratividade, em valores monetários, do investimento medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa de desconto. É considerado atraente todo o investimento maior ou igual a zero (KASSAI et al., 2000).

O método do Valor Anual (VA) consiste em achar a série uniforme anual equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade, ou seja, encontra-se a série uniforme a todos os custos e receitas para cada projeto utilizando-se a TMA. O melhor projeto é aquele que tiver o maior saldo positivo (FILHO E KOPITTKE, 1988).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) ou Internal Rate Return (IRR) é uma das formas adequadas para se avaliar propostas de investimentos de capital. Representa segundo Cohen e Franco (2000), a rentabilidade média do dinheiro utilizado no projeto durante toda a sua duração.



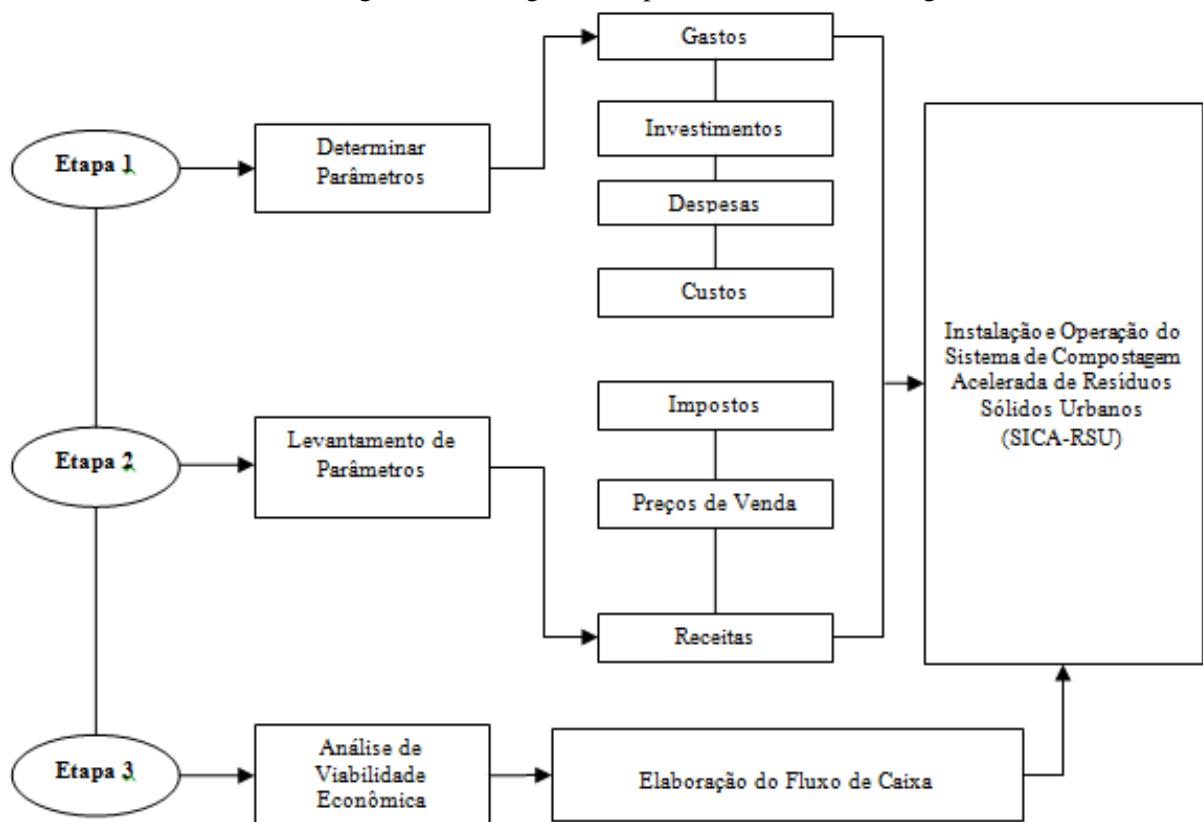
O Tempo de Retorno (*payback*) do investimento indica quando será recuperado o investimento realizado, ou seja, em quanto tempo (meses ou anos) o dinheiro investido retornará.

3 Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado um estudo em três etapas. As etapas foram subdivididas para um melhor detalhamento dos procedimentos adotados.

A Figura 2 apresenta o fluxograma da estrutura metodológica para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 2 - Fluxograma do procedimento metodológico



4 Resultados

4.1 Determinação dos parâmetros de investimentos e gastos

Apoiado nos levantamentos realizados para uma capacidade de 30 t/dia de RSU a serem recebidos pelo sistema obteve-se, conforme apresenta a Tabela 1, os equipamentos necessários para operação do SICA-RSU.

Tabela 1 - Equipamentos operacionais

| Descrição | Quantidade | Custo Un. (R\$) | Custo Total (R\$) |
|---|------------|-----------------|-------------------|
| Trator Mini Carregadeira Wecan GM650-II | 1 | 54000,00 | 54.000,00 |
| Termômetro Digital Infra-Vermelho | 1 | 230,00 | 230,00 |
| Máquina Seladora Sacos de Ráfia | 1 | 350,00 | 350,00 |
| Subtotal | | | R\$ 54.577,00 |



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Com base no orçamento realizado junto à empresa Maquisul Indústria de Máquinas®, o conjunto de equipamentos necessários para instalação de um Sistema de Compostagem Acelerada de Resíduos Sólidos Urbanos (SICA-RSU) é apresentado na Tabela 2, com seus respectivos valores e quantidades.

Tabela 2 - Equipamentos do SICA-RSU

| Equipamento | Quantidade | Custo Un. (R\$) | Custo Total (R\$) |
|--------------------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Picador Rotativo | 1 | 19800 | 19.800,00 |
| Peneira Rotativa | 1 | 22490 | 22.490,00 |
| Aeradores (Cap. 30 t/dia) | 1 | 38680 | 38.680,00 |
| Medidor de Temperatura | 1 | 4400 | 4.400,00 |
| Carretão (4,5 m ³) | 1 | 4250 | 4.250,00 |
| Subtotal | | R\$ 89.620,00 | |

Os investimentos necessários para construção do pavilhão, cobertura e piso para acondicionamento dos equipamentos, baias de compostagem acelerada e demais atividades do SICA-RSU são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Investimento para construção do pavilhão do SICA-RSU

| Descrição | Quantidade | Custo Un. (R\$) | Custo Total (R\$) |
|------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Pavilhão Pré-Montado Coberto | 2000 m ² | 250 | 500.000,00 |
| Piso Concreto Polido (15 cm) | 2020 m ² | 150 | 303.000,00 |
| Subtotal | | | R\$ 803.000,00 |

Os custos fixos de operação, bem como as percentagens de encargos, seguros e manutenção de equipamentos e construções são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos fixos de produção

| Descrição | Custo ao Ano |
|----------------------------|----------------------|
| Operador de Máquinas | R\$ 14.400,00 |
| Auxiliar de Compostagem | R\$ 6.540,00 |
| Auxiliar Administrativo | R\$ 6.540,00 |
| Encargos Trabalhistas | 80% |
| Seguro Empresarial | 0,06% |
| Manutenção das Construções | 0,50% |
| Manutenção de Equipamentos | 0,20% |
| Subtotal | R\$ 61.791,00 |

4.2 Levantamento de tributos e receitas

Os dados de tributação levantados acompanham os impostos aplicados à cadeia de reciclagem de outros materiais e foram atribuídos os valores de 18%, 2% e 10% para ICMS, PIS/FINSOCIAL e IPI, respectivamente.

A programação de vendas adotada foi realizada para um período de 10 anos, sendo que a produção no ano 1 corresponde a 75% da capacidade total do SICA-RSU e nos anos 2 a 10 a 100%, as receita desta programação de vendas são apresentadas na Tabela 6.



Tabela 6 - Programa de vendas

| Descrição | Produto | Ano 1 | Anos 2 a 10 |
|----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Quantidade Vendida | A | 3.810,00 | 5.080,00 |
| | B | 77.760,00 | 103.680,00 |
| Preço | A | 125,00 | 125,00 |
| | B | 0,65 | 0,65 |
| Receita Bruta | | R\$ 579.473,40 | R\$ 772.631,20 |

4.3 Análise de viabilidade econômica

Para a determinação do fluxo financeiro relacionou-se a receita bruta para cada ano e deduziu-se o valor do imposto, obtendo-se a receita líquida. Após, subtrai-se os custos comuns e específicos de produção e a depreciação, obtendo-se o lucro líquido do empreendimento.

O Quadro 1 apresenta o resumo dos resultados da avaliação econômica realizada através da planilha de fluxo de caixa.

Quadro 1 - Resumo dos resultados da avaliação econômica

| TMA | VPL | TIR | VA | Payback |
|-----|------------------|--------|----------------|----------|
| 6% | R\$ 1.216.357,00 | 24,91% | R\$ 165.264,00 | 4,8 anos |

Observa-se que a avaliação econômica resultou em uma TIR de 24, 91% e um VPL de R\$ 1.216.357,00, ou seja, demonstrando a atratividade do investimento e o VA foi de R\$ 165.264,00/ano, apresentando um valor atrativo e possibilidade de previsão do valor anual de retorno que o investimento proporcionará. A análise apresentou ainda um *payback* de 4,8 anos.

5 Conclusão

Pode-se observar, através da revisão de estudos realizados sobre o tema, que utilizando um processo como o de compostagem acelerada, sem adição de qualquer produto poderá se produzir um composto orgânico em até 40 dias, solucionando os problemas gerados por outros tratamentos de resíduos sólidos urbanos, dentre eles a própria compostagem tradicional (a céu aberto) que necessita de grandes espaços físicos, longo tempo para obtenção do produto final, necessidade de revolvimento do material, tratamento do chorume, dentre outros.

Através da construção do fluxo de caixa, indispensável em estudos de viabilidade econômica de projetos e investimentos, pode-se obter a Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual (VA) e Tempo de Retorno (*Payback*) do investimento.

A TIR obtida superou em aproximadamente quatro vezes a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a ser alcançada, ou seja, mostrou através deste parâmetro que o empreendimento é economicamente viável, apresentando ainda um VPL elevado demonstrando assim a atratividade do projeto a ser implantado. O VA obtido mostrou-se interessante, uma vez que se pode observar o retorno anual do investimento.

Diante dos levantamentos realizados e construção do fluxo de caixa para investimento em um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos com capacidade de recebimento de 30 toneladas diárias, o estudo demonstrou ser um empreendimento viável do ponto de vista econômico e vantajoso do ponto de vista ambiental, uma vez que os benefícios oferecidos por este método de tratamento de resíduos sólidos são extremamente favoráveis.



Referências

- BLEY JR, Cícero. As usinas de processamento de lixo no Brasil. Disponível em <<http://www.ecoltec.com.br/publicações/técnicas.htm>>. Acesso em: 16 set. 2011.
- COHEN, E.; FRANCO, R. **Avaliação de projetos sociais**. Petrópolis, RJ: Vozes, 4º ed, 2000.
- FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, estratégia empresarial**. São Paulo: Atlas, 1998.
- FONSECA, Y. D. Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura. Caderno de Análise Regional – Desenbahia/UNIFACS. Artigo 5, ago 2003. Disponível em: <<http://www.desenbahia.ba.gov.br>>. Acesso em 15 set 2008.
- HUTCHINSON HB, RICHARDS EH. Artificial farmyard manure. **The J Min of Agri** 1992; 28:398-411.
- JARDIM N. S. et al. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1ª edição. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995. Publicação IPT 2163.
- KASSAI, J. R.; KASSAI, S. A.; NETO, A. A. **Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Atlas, 2000.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda., 1985. 492 p.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.
- KNEER, F. X. **Procedimentos gerais para o processo KNEER**. Apostila do autor. Blauberger, Alemanha: Agosto, 1978.
- LIMA L.M.Q. **Tratamento de lixo**. 2ª ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda., 1981.
- McKENNEY, R. E. Refuse disposal. In: _____. **Microbiology for Sanitary Engineers**, New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962. p.261-265.
- MONTEIRO, José Henrique R. **Compostagem** [on line].abril.1999. Disponível em: <<http://www.resol.com.br>>. Acesso em: 14 set 2011.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem – Processo de baixo custo**. Belo Horizonte: Fundo das Nações Unidas para a Infância, UNICEF, 1996.
- RIBEIRO, T. F., LIMA, S. C. **Coleta seletiva de lixo domiciliar – Estudo de casos**. Caminhos de geografia: Programa de pós graduação em geografia, p. 50-69, Uberlândia, 2000.
- STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**. New York: John Wiley & Sons. 1982. 443 p.
- TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and manages issues**. United States of America, New York: McGraw-Hill, 1993.
- TRÄNKLER, J.; RANAWERA, R.M.; VISVANATHAN, C. Mechanical biological pretreatment, a case study for Phitsanalok landfill in Thailand. In: **ASIAN PACIFIC LANDFILL SYMPOSIUM**, 2., 2002, Seoul. **Proceedings...** Seoul: Aplas, 2002. p. 258- 265.