

XXIII Encontro Técnico AESABESP

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE FEZES HUMANAS

Felipe Pires Jacob⁽¹⁾

Mestrando em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Prof. Ana Augusta Passos Rezende

Doutora em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa.

Bernardo Nascimbeni de Brito

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa

Marco Aurélio Araujo Santiago

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa

Gisele Gavazza Lamberti

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa

Endereço⁽¹⁾: Av. Ph Holfs s/n° - Campos Universitário. Departamento de Engenharia Civil - Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 38991-1481 - e-mail: felipe.pires@ufv.br

RESUMO

O banheiro seco constitui numa tecnologia já consagrada em diversos países do mundo. Basicamente, utiliza o processo de compostagem como forma de tratamento dos dejetos humanos, reduzindo o uso de água para o transporte desses resíduos, além da possibilidade da utilização do composto na agricultura. Este trabalho objetivou o monitoramento da estabilização dos dejetos humanos de um banheiro seco. Utilizou-se de dois compartimentos termodinamicamente isolados, que receberam proporções de Serragem/Fezes de 60% e 30%. O material monitorado foi proveniente de um banheiro seco com compartimento móvel. Diversas análises foram feitas durante a compostagem, tais como sólidos totais, voláteis e fixos, monitoramento da temperatura, umidade e pH. Os resultados obtidos foram satisfatórios para quase todos os parâmetros analisados, apenas a temperatura não atingiu um valor termofílico desejado. Pode-se dizer que a compostagem de resíduos de banheiro seco é uma alternativa viável para diminuir o déficit de saneamento básico principalmente em áreas rurais.

PALAVRAS-CHAVE: banheiro seco, compostagem, saneamento ecológico.

INTRODUÇÃO

Os sistemas tradicionais de coleta de esgoto presentes nas cidades utilizam grande quantidade de água para transportar, relativamente, uma pequena parcela de dejetos até uma estação de tratamento, localizada no final da rede coletora. Visto a problemática atual inerente à água e ao modo de utilização deste recurso, alguns autores (BERGER 2010, MORGAN 2007, VAN LENGEN 2004) têm apostado em tecnologias inovadoras e simplificadas de tratamento próximo a fonte geradora desses resíduos.

O banheiro seco, também denominado de sanitário compostável (*composting toilet*), banheiro biológico (*biological toilet*) e banheiro ecológico (*ecological toilet*), o banheiro seco constitui-se de uma unidade sanitária que não utiliza água para o seu funcionamento básico (BERGER, 2010 e MORGAN, 2007), ou seja, um sistema sanitário de tratamento a seco dos dejetos humanos, funcionando como uma alternativa eficiente para a solução de problemas de saneamento básico e recursos hídricos (VAN LENGEN, 2004).

Considerando uma tecnologia já consagrada em diversos países do mundo, o banheiro seco basicamente, utiliza o processo de compostagem para transformação do resíduo sólido em adubo orgânico (ALVES, 2009).

O banheiro em si consiste de duas unidades básicas: um local de assento e outro de armazenamento dos dejetos, sendo que este último pode ser o local onde ocorre o processo de degradação biológica ou compostagem. Segundo a Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ,2006), a compostagem no banheiro seco consiste na degradação da matéria orgânica através de bactérias aeróbias, fungos e actinomicetos e sob condições ótimas de temperatura, sendo possível a remoção efetiva de patógenos. Para alcançar a eficiência no processo, torna-se necessário uma boa aeração do material, que é alcançada, segundo LIMA (1995), a partir da relação C/N de 30:1, e umidade entre 50% e 60%, de acordo com KIEHL (1998). Pelo fato dos dejetos humanos não fornecerem tais condições ideais, devido às altas concentrações de nitrogênio (BERGER, 2010), outro material, rico em carbono, deve então ser adicionado, como por exemplo, a serragem (VAN LENGEN, 2004).

O banheiro seco, tradicionalmente utilizado por vários povos antigos, atualmente, vem sendo estudado e incorporado como uma tecnologia em saneamento ecológico em várias habitações unifamiliares, em diferentes modelos e formatos. Essa tecnologia traz mudanças no modo de vida dos usuários e a questão sustentável que se busca necessita ser repensada para atender as novas demandas da sociedade que também passa por um processo de mudança de comportamento e de consciência ecológica.

Fundamentação técnica

Banheiro Seco com coleta em compartimentos móveis

Alguns autores (GTZ, 2006) não o consideram como compostável, mas sim “compartimento para coleta de excreta”, a qual pode ser compostada sequencialmente. Para isso, as fezes coletadas devem ser transportadas até uma pilha maior de compostagem, ou uma câmara designada para esse.

Tal modelo sanitário é composto por um compartimento móvel (como barril ou semelhante) localizado abaixo do assento sanitário, designado a receber a excreta. Após completado o volume útil do compartimento fecal, este é substituído por outro semelhante e carregado para um local adequado de modo a ser esvaziado.

Mesmo sendo indicado para todas as regiões do mundo, a escolha deste modelo sanitário deve ser priorizada em locais que requerem pouco uso do sanitário ou áreas que possuam um sistema eficiente de coleta e processamento por empresas especializadas e pré designadas. Isso se deve ao fato do pequeno volume do compartimento de coleta e à possível rejeição do sistema, por parte do usuário, quando a responsabilidade pelo esvaziamento e tratamento das excretas é atribuída a este (GTZ, 2006).

A manutenção associada a essa unidade sanitária é alta, mesmo que o volume do compartimento seja grande, visto que o usuário deve esvaziá-lo regularmente após atingindo capacidade máxima. Além disso, outra unidade deve ser especificada para propósitos de compostagem, a qual pode ocorrer no próprio terreno localizado o banheiro, ou ainda, em unidades centrais de tratamento previamente estabelecidas. (GTZ, 2006).

Compostagem

A forma mais eficiente de se obter a biodegradação controlada dos resíduos orgânicos é por meio da compostagem, que é um processo biológico aeróbio e utilizado no tratamento e na estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus. Entende-se por composto orgânico o produto final da compostagem, ou seja, degradação, mineralização e humificação de resíduos orgânicos, obtido através do processo aeróbio controlado (PEREIRA NETO, 2007).

Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono e daqueles ricos em nitrogênio. Entre os materiais ricos em carbono pode-se considerar os materiais lenhosos como cascas de árvores, serragem, podas dos jardins, folhas, palhas, fenos e papel. Entre os materiais nitrogenados, incluem-se as folhas verdes, estrumes, urina, solo, restos de vegetais

hortícolas, ervas, etc (PEREIRA NETO, 2007). Estes servem como uma fonte de nutrientes e energia para a manutenção e crescimento microbiano.

A decomposição se torna um produto de várias fases distintas de ascensão e queda de temperatura. Essas fases são um reflexo das sucessivas atividades microbianas que realizam a degradação e aumentam a quantidade de matéria orgânica recalcitrante.

Shönning & Stenström (2004) colocam em dúvida a eficiência da compostagem de fezes humanas em escala doméstica, aconselhando a compostagem como um tratamento secundário, ou seja, o armazenamento primário das fezes possibilitando o acúmulo do volume necessário para a compostagem, a qual se dá em um compartimento destinado a esse fim. Contudo, Vinnerås *et al.* (2003) e Niwagaba *et al.* (2009) apresentaram estudos em escala laboratorial e piloto que demonstraram ser possível a compostagem domiciliar das fezes com sucesso, obtendo resultados melhores quando adicionadas quantidades de resíduos orgânicos, como resíduos da cozinha ou da poda de jardim.

OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho constituiu em estudar as características físico-químicas do tratamento de fezes humanas provenientes de um banheiro seco em um processo de compostagem em escala laboratorial.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA)/UFV, durante o período de 27/04/2011 a 16/06/2011. O banheiro seco utilizado no experimento é do tipo de compartimento móvel. Os materiais utilizados na construção foram reciclados e reutilizados, como painéis de madeira, peças de eucalipto, tambor de lixo e telhas de amianto. Observa-se, na Figura 1, que o banheiro não possui nenhum aparato de alta tecnologia, mostrando que a inserção de tecnologias sustentáveis pode ser através de estratégias simples. A serragem utilizada como fonte de carbono foi coletada na Marcenaria da Universidade Federal de Viçosa.



Figura 1: Banheiro móvel com vista externa (esquerda) e internamente com detalhe do assento (direita).

Na residência habitam quatro pessoas, que utilizam diariamente o banheiro seco. As fezes foram então coletadas e pesadas, juntamente com a serragem, após o enchimento do compartimento móvel de armazenagem dos resíduos.

A compostagem foi realizada em caixas de poliestireno expandido confeccionadas de isopor. O isolamento térmico recomendado para compostagens em pequena escala, para evitar perda de calor gerado internamente pela ação dos microrganismos decompositores. Um tubo de PVC de 25,4mm, perfurado foi colocado na parte inferior do reator de modo a auxiliar na aeração, assim como um furo de uma 25,4mm na tampa do reator. De modo a evitar a entrada de pequenos animais, utilizou-se uma tela de mosquiteiro na parte externa das tubulações. A Figura 2 ilustra os detalhes dos reatores.



Figura 2: Detalhes dos reatores de compostagem

Como forma de analisar o comportamento da compostagem em concentrações diferentes de carbono e nitrogênio, foram utilizados dois reatores com quantidades diferentes de serragem e fezes. A Tabela 1 ilustra alguns detalhes do experimento.

Reator	Serragem (Kg)	Caixa+utensílios (Kg)	Fezes (Kg)	Serragem/Fezes (%)
1	3,90	0,571	3,55	60
2	3,10	0,552	6,358	42

Tabela 1: Detalhes dos experimentos nos dois reatores.

Durante a etapa de compostagem, os reatores foram monitorados e algumas análises laboratoriais foram realizadas, tais como mostra a Tabela 2.

Parâmetros	Métodos	Referências	Frequência de análise	Observações
pH	Determinação em água	STANDARD METHODS 4500HB, 2005	a cada 3 dias	-
Sólidos Totais (ST)	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540B, 2005	a cada 3 dias	Forneceu o teor de umidade do material
Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF)	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540E, 2005	a cada 3 dias	Forneceu dados para avaliar a degradação da matéria orgânica

Tabela 2: Parâmetros analisados durante o processo de compostagem dos reatores.

A temperatura foi medida a cada 3 dias, na parte mediana da pilha do composto e para aumentar a aeração do meio, foram realizados o reviramento manual semanal. A temperatura ambiente foi obtida na estação Meteorológica localizada na própria Universidade, como forma de analisar a influencia da temperatura nos reatores e a diferença entre ambas.

RESULTADOS

A Tabela 3 estão expressos a quantidade de fezes excretadas diariamente pelo ser humano, o que depende da composição do alimento consumido, da idade do indivíduo, do metabolismo e da saúde física. O peso médio úmido de fezes por pessoa foi de 88,52 g/dia. O valor médio mundial de acordo com Aires (2008), varia de 100-150 g/pessoa.dia. O valor um pouco abaixo dos reatores em experimento, pode ser explicado pela utilização do banheiro não ser diária por todos os habitantes da casa, além disso a maioria permanece o a maior parte do dia fora da residência.

Amostra	Produção (g/pessoa.dia)
Reator 1	88,75
Reator 2	88,30
Média Mundial	100-150*

Tabela 3: Taxas de geração de fezes humanas.

*Fonte: Aires(2008)

A Figura 3 mostra a variação da temperatura dos dois reatores ao longo do tempo. Pode-se observar no gráfico, o alto valor da temperatura no início da compostagem em ambos os experimentos.

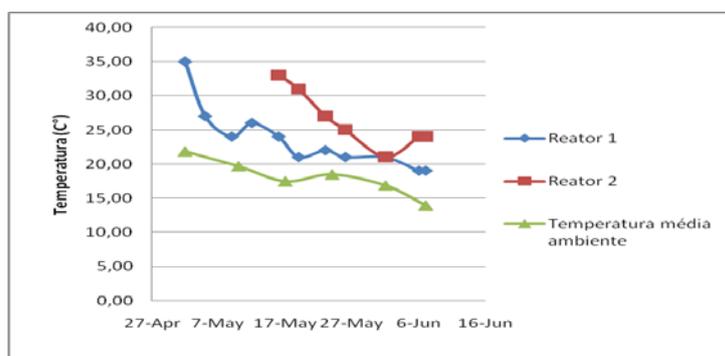


Figura 3: Variação da temperatura ao longo do tempo.

As temperaturas atingiram um valores iniciais máximos de 35^oC e 33^oC nos reatores 1 e 2, respectivamente, valores estes na faixa em que encontram predominancia de bactérias mesofílicas (20 a 45^oC). Nestes reatores 1 e 2, a temperatura caiu 10^oC nos primeiros dez dias de compostagem, atingindo o valor de 25^oC, ainda permanecendo na faixa mesofílica. As temperaturas se igualaram em torno de 21^oC após 30 dias de compostagem no reator 1, e 16 dias no reator 2. Niwagaba et. al. (2009), monitorando a compostagem de fezes com cinzas, obteve temperaturas superiores a 50^oC de 2 a 14 dias. Rebouças et. al. (2010), estudando a compostagem de fezes e serragem, obteve valores de temperatura em seus reatores, utilizando o mesmo volume deste trabalho, na faixa de 46 a 63,8^oC após 60 horas, e manteve-se variando de 38 horas a 7 dias.

As médias de sólidos voláteis (SV%) nos reatores foram de 96% e 94,5% nos reatores 1 e 2 respectivamente, o que pode ser explicado pela presença da serragem. Niwagaba et. al. (2007), sugere a utilização de resíduos de alimentos, ou ainda, maiores massas de composto já maturados para manter por mais tempo altas temperaturas.

Em relação ao pH, observou-se na Figura 4 um alto valor inicial, que com o decorrer do tempo há uma diminuição mais acentuada no reator 1 do que no reator 2. Segundo Rebouças et.al. (2010), o valor do pH médio de fezes humanas é 6,7, portanto, o aumento acentuado do valor do pH nos reatores pode ser explicado devido ao tempo de coleta e armazenamento dos resíduos até o início da compostagem,

ocorrendo assim anaerobiose no sistema. A partir do momento que se começou o reviramento do composto, observou-se uma diminuição do pH, fato explicado pela oxigenação do meio.

Experiências realizadas pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, da Universidade Federal de Viçosa, indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa bem ampla de pH, entre 4,5 a 9,5, e que os valores extremos são automaticamente regulados por meio da degradação de compostos que irão produzir subprodutos ácidos ou básicos em função da necessidade do meio (PEREIRA NETO, 2007).

Ainda segundo Pereira Neto (2007), a compostagem se caracteriza por obter um produto final – o composto orgânico- com o pH entre 7,5 a 9,0, fato observado em ambos os reatores, apesar do material não estar ainda devidamente compostado. O alto valor do pH é visto como um grande benefício do sistema, o que permite a aplicação do composto na correção de solos ácidos

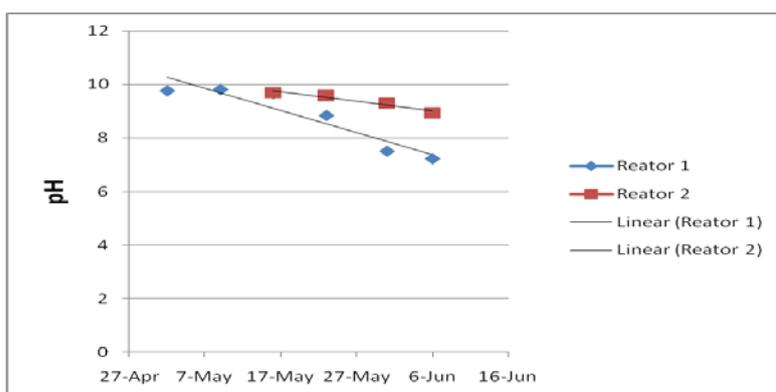


Figura 4: Variação do pH ao longo do tempo nos reatores 1 e 2.

Observa-se na Figura 5 que os valores de umidade dos reatores apresentaram valores discrepantes, porém tiveram um comportamento constante ao longo do tempo. No reator 1, o valor observado esteve na faixa de 40%, enquanto que no reator 2 manteve-se em torno de 58%. A maior umidade no segundo reator em relação ao primeiro se deu principalmente ao fato da relação Serragem/Fezes ser menor no reator 2. Segundo Pereira Neto (2007), teores na faixa de 55% são considerados satisfatórios para o processo de compostagem. Sendo que abaixo de 40%, pode haver restrição na atividade microbológica, o que também interferiu no perfil de temperatura observado durante o experimento. Por outro lado, valores acima de 60%, podem ocasionar dificuldade na passagem livre do ar para oxigenação.

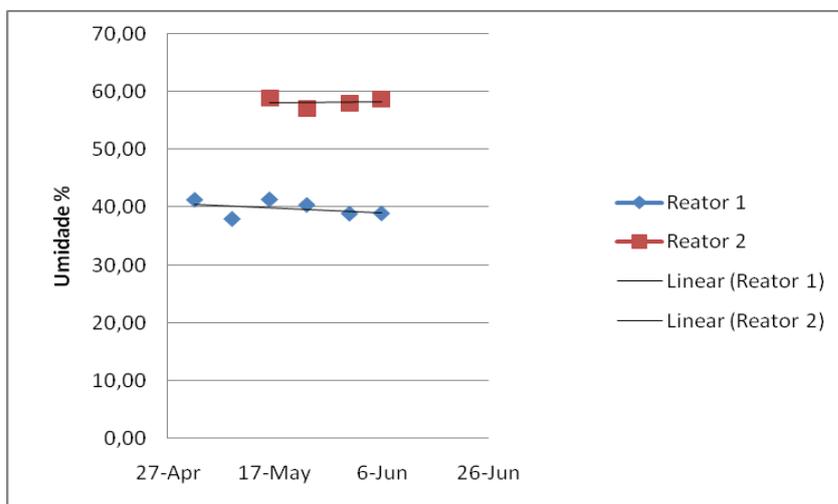


Figura 5: Variação da Umidade ao longo do tempo nos reatores 1 e 2.

Portanto, pode-se dizer que a umidade em ambos os reatores manteve-se dentro da faixa ideal para se obter um ótimo desempenho no processo de compostagem.

CONCLUSÃO

Nos processo de compostagem das fezes não foi atingido as temperaturas termofílicas, como era de se esperar. Este fato pode-se ser devido a demora em se começar o processo de compostagem, ocasionando um longo tempo de anaerobiose enquanto esperava-se o enchimento do compartimento móvel do banheiro.

A incorporação de resíduos de alimentos, aumento na frequência de reviramento ou ainda uma maior quantidade de massa de excretas, podem ser formas de alcançar temperaturas termofílicas, por um longo período de tempo.

A compostagem de banheiro seco utilizando serragem como fonte de carbono, mostra-se viável segundo diversos autores, no entanto alguns fatores com a umidade devem ser monitorados regularmente e reajustados caso necessário aos valores da faixa ideal.

Tecnologias de baixo custo, como o Banheiro Compostável, tornam-se de grande importância para redução no déficit de saneamento básico no Brasil, principalmente nas áreas rurais e periurbanas.

RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho, restringiu-se na avaliação de algumas características físico-químicas, no entanto para garantir um bom desempenho do processo de compostagem e da qualidade do produto final, deveriam ser investigadas a presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, de acordo Resolução CONAMA 375/2006.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se pesquisas voltadas para mecanismos que tornem o banheiro seco mais agradável ao usuário, e que se minimize as necessidades de operação.

A abordagem proposta no presente trabalho não é a única forma de se promover a compostagem das excretas humanas, sendo importante que o projetista avalie os recursos disponíveis, além da aceitação por parte dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, B. S. Q. Banheiro Seco: Análise da eficiência de protótipos em funcionamento. trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
2. BERGER, Wolfgang. Basic overview of composting toilets (with or without urine diversion). Technology Review “Composting toilets”. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2010. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.06.2011
3. GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Dehydration toilets with movable containers. Technical data sheets for ecosan components. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2006. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.06.2011.
4. KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Editado pelo autor. Piracicaba, 1998.
5. LIMA, L. M. Q. Lixo - Tratamento e Biorremediação. 3ª ed. São Paulo: Hemus, 1995.
6. MORGAN, P. Toilets That Make Compost – Low-cost, sanitary toilets that produce valuable compost for crops in African context. Programa EcoSanRes. Estocolmo, Suécia: SEI, 2007.
7. NIWAGABA, C., NALUBEGA, M., VINNERAS, B., SUNDBERG, C., JÖNSSON, H. Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. Waste management, 29, p. 585-589, 2009.
8. PEREIRA NETO, J. T. Manual de Compostagem: processo de baixo custo. Viçosa: Ed. UFV, 2007.
9. REBOUÇAS, T.C., LIMOEIRO, K.S., FONTANA, G.H., REBOUÇAS, C.C. GONÇALVES, R.F. Estabilização de fezes humanas através de compostagem em regime de batelada, Espírito Santo, 2010.

10. SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T.A. Diretrizes para o uso seguro de urina e fezes nos sistemas de saneamento ecológico. Programa EcoSanRes. Estocolmo, Suécia: SEI, 2004. Disponível em: < http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR2004-1-portuguese.pdf > Acesso em: 15.06.2011
11. VAN LENGEN, J. Bason, sanitário seco. Tecnologia intuitiva e bio-arquitetura (TIBÁ). Bom Jardim, Rio de Janeiro, 2004.
12. VINNERÅS, B., BJÖRKLUND, A., JÖNSSON, H. Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method-laboratory-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technology*, 88, p. 47-54, 2003.