

SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO - SSD APLICADO À GESTÃO DO LODO DE FOSSAS SÉPTICAS COM USO DE ANÁLISE MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO.

Lucas Martins Aguirre; Conceição de Maria Albuquerque Alves.

Resumo - A gestão do lodo de fossas sépticas é atividade complexa por envolver aspectos econômicos - financeiros, sociais, ambientais e tecnologias no processo de tomada de decisão. A gestão do lodo de fossas sépticas inicia-se com a coleta periódica, o transporte, a disposição e o tratamento do lodo. Para cada uma dessas etapas, várias tecnologias e alternativas podem ser elencadas. A gestão de lodos torna-se uma atividade que busca atingir diferentes objetivos, às vezes conflitantes e ao mesmo tempo dispõe de diversas alternativas de solução. O presente trabalho desenvolveu um sistema de suporte a decisão (SSD) baseado em metodologia multiobjetivo ratificada por processo de consulta a especialistas (DELPHI) para gestão do lodo de fossas sépticas. O SSD apresentou-se de fácil compreensão e incorporação em ambiente operacional e gerencial em companhias de saneamento e municipalidades.

Palavras-chave – Fossas sépticas; Métodos Multiobjetivo e Multicritério.

DECISION SUPPORT SYSTEM – DSS APPLIED MANAGEMENT OF SEPTIC TANKS SLUDGE USING MULTIOBJECTIVE AND MULTICRITERIA ANALYSIS.

Abstract - The septage management is a complex activity involving economic and financing, social, environmental e technical aspects for the decision making process. The septage management begins in the collections of the septage and continues through the transportation, disposal and treatment of the septage. Each of these stages involves many technical alternatives that could be chosen. The septage management searches through different ways fulfill different objectives at the same time. The present work developed a decision support system (DSS) based in a multiobjective methodology to help the septage management process. The DSS was considered suitable to be helpful in a operational and management environment of sanitary companies.

Keywords – Septic tanks; Multiobjective and Multicriteria Methods.

Introdução

Fossas sépticas são unidades de tratamento individual do esgoto sanitário doméstico. Com funcionamento simples e baixo custo de implantação, é uma boa solução para zonas rurais e residências isoladas, onde a coleta pública não é viável. O funcionamento das fossas pode ser resumido pela entrada do esgoto bruto, decantação de materiais sedimentáveis, remoção de material flutuante e digestão anaeróbia do material decantado, formando o lodo de fossas sépticas.

O principal problema a ser resolvido na utilização desse sistema de tratamento é relativo à coleta, transporte, armazenamento e destinação final do material resultante do funcionamento das fossas. O lodo deve ser retirado periodicamente através do bombeamento do conteúdo sólido e líquido presente na fossa, para não comprometer a eficácia do sistema. Por conter grande quantidade de matéria orgânica, patógenos e poluentes, esse material não pode ser lançado indiscriminadamente em redes de drenagem pluvial, corpos d'água ou terrenos baldios, o que acaba sendo uma prática comum em países em desenvolvimento. Essa prática tem ocasionado a degradação e poluição de solos, bem como a poluição de aquíferos e de corpos de água superficiais.

Avanços tecnológicos, juntamente com o crescente acesso a computadores, têm possibilitado uma maior disponibilidade de sistemas computacionais para aplicação em atividades de gestão ambiental (Loucks, 1995; Porto & Azevedo, 1997; Miller et al 2004). O desenvolvimento e a aplicação de ferramentas computacionais para auxiliar o processo de tomada de decisão em ambientes de incertezas e complexidades encontra um amplo espaço de desenvolvimento tecnológico e científico na esfera da gestão e do planejamento ambiental.

Existem na literatura diversas reflexões que contribuem para uma boa gestão de lodos de fossas sépticas (Fernandes *et al.*, 2001; Ingallinella *et al.*, 2002; Shammam e Wang, 2008; Cordeiro, 2010). No entanto, a gestão de lodos oriundos de sistemas de tratamento de esgotos domésticos ainda carece de uma sistematização das alternativas disponíveis acopladas a diferentes realidades locais (ambientais) e institucionais (que inclui a capacidade operacional e gerencial das companhias de saneamento).

O presente plano de trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão para gestão de lodos de fossas sépticas e a posterior disponibilização dessa ferramenta através de um software para a comunidade interessada. Sabe-se que a disseminação de metodologias é bastante favorecida pela internalização de tecnologias nos ambientes institucionais em que o processo de tomada de decisão e planejamento se desenvolve. A disponibilização de sistemas computacionais que facilitem a visualização do problema, a análise de alternativas e a representação de cenários podem acelerar o processo de incorporação dessas metodologias nos ambientes organizacionais, neste caso, nas companhias de saneamento (Souza, et al 2009; Gomes et al 2004).

A escolha da alternativa ideal para o caminho percorrido pelo lodo envolve diversos fatores, decisores e interesses, o que torna o processo complicado. Com isso, é necessário o desenvolvimento de um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) para a gestão do lodo de fossas

sépticas a partir de uma metodologia suporte. Nesse contexto entram os Métodos Multiobjetivo e Multicritério, ferramentas matemáticas que auxiliam no cálculo da melhor alternativa. A produção e disponibilização de um SAD como o proposto virá contribuir para que o processo de planejamento da gestão de lodos de fossas sépticas possa ser feito com base lógica e racional, e proporcionar um processo decisório mais claro, objetivo e transparente.

Metodologia

A metodologia de suporte para o desenvolvimento do sistema de suporte a decisão aqui apresentado foi baseada em Cordeiro (2010), descrita a seguir de forma resumida. Para o estabelecimento de um sistema comparativo entre alternativas são necessários critérios de avaliação e um sistema de peso. Tais critérios devem refletir o quanto cada alternativa satisfaz objetivos de um plano de gestão. Para isso, deve haver um sistema de conversão de valores subjetivos para valores mensuráveis a fim de se aplicar as ferramentas de cálculos. A escolha dos critérios foi realizada com base em consultas a especialistas e a trabalhos técnicos ou acadêmicos com aplicações semelhantes.

Os quatro objetivos para avaliação das alternativas estabelecidos no plano de gestão são: Econômicos – financeiros, Ambientais, Sociais e Técnicos. Cada um destes objetivos foi dividido em dois critérios de avaliação, resultando em oito critérios, como exposto na Tabela 1.

Para avaliar o desempenho de cada alternativa de gestão do lodo de fossa séptica, foram construídas planilhas de pontuação que representasse os diferentes graus de relevância de cada critério para contribuição ao objetivo em análise. Dessa forma, para cada critério foi montado um questionário com perguntas e respostas pertinentes a área. Foram atribuídos pesos para cada resposta, de forma que o critério seja mensurado entre valores de 0 a 100 para uma dada alternativa. Outra observação importante está na definição de que os critérios seguiriam o sentido de preferência crescente, ou seja, quanto maior a pontuação, melhor o desempenho. No fim da resolução do questionário, o valor 0 representa a pior alternativa possível e o valor 100 a melhor.

Tabela 1 – Objetivos e critérios para gestão do lodo de fossas sépticas com base em avaliação multiobjetivo e multicritério (Cordeiro, 2010)

Objetivos		Critérios
Econômicos- Financeiros	1	Custo de implantação
	2	Custo de operação e manutenção
Ambientais	3	Impactos negativos na implantação
	4	Impactos sociais e ambientais negativos na operação
Sociais	5	Geração de renda / empregos
	6	Aceitabilidade
Técnicos	7	Complexidade de operação
	8	Confiabilidade

O levantamento das alternativas pode ser feito levando em consideração quatro etapas básicas da gestão dos lodos de fossa séptica: Coleta, Transporte, Condicionamento e/ou tratamento e Destinação Final. Para cada caso em estudo há um determinado número de opções para cada uma dessas quatro etapas. Cada composição de tais opções forma uma alternativa. Por exemplo, se o gestor tiver 2 opções de ação para cada uma dessas quatro etapas, ele terá 16 alternativas para serem analisadas, considerando que cada opção não exclua outra opção em qualquer etapa.

Para o desenvolvimento do SSD é necessário que o usuário faça a composição das alternativas disponíveis antes de usá-lo, uma vez que a variedade de possibilidades e complexidade do sistema impede que haja a mesma padronização realizada com os critérios de avaliação.

Os métodos multiobjetivo e multicritério utilizam como fonte para os cálculos uma matriz de avaliação de critérios e alternativas, também chamada de “matriz de *payoff*”, “matriz de consequências”, “matriz de resultantes”. Suas células devem ser preenchidas com os valores das ponderações dos critérios, para cada alternativa. Na metodologia de Cordeiro (2010) a matriz de *payoff* é limitada em 8 colunas, relativas aos critérios listados pela Tabela 1, e as linhas podem conter o valor desejado pelo usuário, de acordo com as alternativas que ele deseja analisar. Para o SSD desenvolvido nesse trabalho, foram escolhidos dois métodos de análise multiobjetivo e multicritério, a Programação por Compromisso (CP) e o AHP, descritas de forma sucinta abaixo.

A Programação por Compromisso (*Compromise Programming*) considera como melhor alternativa aquela que mais se aproxima de uma solução dada como “ideal”, sendo que ideal é aquela alternativa que maximiza seus critérios de ponderação. A solução ideal agrega os maiores valores numéricos relativos a cada um dos critérios. A CP é um método iterativo conduzido por uma articulação progressiva de preferências. Como exemplo, no presente estudo o conjunto dos maiores valores de cada uma das oito colunas da matriz de pay-off formariam a solução ideal. A partir disso, calcula-se a “distância” de cada solução a essa ideal por cálculos matemáticos. A alternativa que apresentar o menor valor de distância em relação à solução ideal é aquela considerada a solução.

O Método Analítico Hierárquico (AHP) foi originalmente apresentado por Saaty (1991) e funciona por um processo de avaliação sistemática das alternativas, comparando umas as outras, em pares. Ele é um método fundamentado na construção de hierarquias a partir da definição de prioridades entre as alternativas dentro de um processo com consistência lógica. Nele, há a conversão de julgamentos subjetivos em valores numéricos que podem ser processados e comparados sobre toda a extensão do problema.

Os métodos de Programação por Compromisso (CP) e o AHP foram escolhidos devido à facilidade de implementação e de compreensão dos resultados gerados, corroborando para a possibilidade de aplicação do sistema num ambiente operacional de companhias de saneamento e municipalidades. Maiores detalhes desses métodos podem ser encontrados em Goicoechea et al. (1982).

Resultados

A partir da metodologia de Cordeiro (2010), um Sistema de Suporte a Decisão foi concebido utilizando a linguagem de programação Visual Basic para Excel (VBA). Tal linguagem foi escolhida devido à facilidade na criação de interfaces de relação com o usuário e pelos recursos matemáticos oferecidos pelo Excel que facilitam a aplicação dos métodos multiobjetivo e multicritério, especialmente o CP e o AHP.

O sistema foi dividido de acordo com a sequência das etapas da metodologia de Cordeiro (2010) que se constitui na obtenção de ponderações de cada um dos objetivos definidos como relevantes para a gestão do lodo de fossas sépticas. Uma série de perguntas são apresentadas ao usuário para representar a pontuação de cada objetivos (ambiental, econômico-financeiro, técnico e social). As respostas a essas questões irão subsidiar a elaboração da matriz de avaliação (*payoff matrix*).

A primeira tela do SSD é um guia rápido de uso que fornece ao usuário as instruções básicas para o funcionamento do programa. Tal recurso pode ser visualizado no topo da interface e é a primeira imagem vista ao abrir o sistema. Na tela principal do programa estão dispostas quatro tabelas, uma para cada objetivo explicitado na metodologia. Junto de cada tabela existe um botão de interação para inserção dos dados, abrindo planilhas com perguntas relativas a dois critérios para cada objetivo. Para cada resposta dada é atribuído um peso pré-estabelecido, de forma que cada critério, no final, recebe um valor de 0 a 100, sendo 0 a pior e 100 a melhor realidade possível. Para auxiliar na escolha da melhor resposta, algumas planilhas possuem tabelas anexadas, de forma que as respostas possam ser fundamentadas com a informação necessária para se distancia de uma simples intuição do usuário e aproximar-se de fundamentos técnicos presentes na literatura. Essas tabelas são apresentadas em cada tela individualmente para cada critério apenas para auxiliar o usuário no preenchimento de suas respostas.

Entrada de Dados - Critérios 1 e 2

Critério 1: Custos de implantação

2- Qual a necessidade de investimento em instalações de recebimento do lodo (construção de centrais de recebimento, adaptações, tubulação, tanques de equalização, etc.)?

Alta

3- Qual a necessidade de investimento na construção de instalações de tratamento e condicionamento?

Baixa

3.1 Qual a necessidade de movimentação de terra?

Alta
Média
Baixa
Nenhuma

Processo	Custo de construção
Compostagem (leiras)	Baixo
Compostagem (reator)	Médio
Digestão aeróbia autotérmica	Médio
Pasteurização	Médio
Calagem	Baixo
Secagem Térmica	Alto
Incineração	Alto
Lagoa de estabilização	Baixo
Leitos de secagem	Baixo
Aterro sanitário	Baixo

Tabela de auxílio para questão 3

Figura 1 - Tela de entrada de dados para ponderação do Critério 1.

Para o uso do SSD o usuário deverá ter, de antemão, as alternativas que ele gostará de analisar e os dados relativos a cada uma. O próximo passo é responder toda a sequência de perguntas para os quatro objetivos. Após as quatro tabelas estarem completamente preenchidas, a alternativa poderá ser adicionada na matriz de *payoff* para ser analisada. Caso o usuário interrompa a sequência de perguntas antes de seu término o sistema não autorizará a inclusão da alternativa na matriz, exibindo na tela uma mensagem de erro. A Figura 4 apresenta um exemplo de critérios para os objetivos sociais e técnicos.

Objetivos sociais			
Critério 5: geração de renda /empregos			
Questão	Resposta	Peso correspondente	
1	Média	17,5	
2	Alta	35	
3	Não	30	
		Somatório dos pesos	82,5
Critério 6: aceitabilidade			
Questão	Resposta	Peso correspondente	
1	Parcial	20	
2	Parcial	20	
3	Total	0	
		Somatório dos pesos	40
Objetivos Técnicos			
Critério 7: Complexidade da operação			
Questão	Resposta	Peso correspondente	
1	Sim	0	
1.1	Média	20	
2	Pouca geração	50	
		Somatório dos pesos	70
Critério 8: Confiabilidade			
Questão	Resposta	Peso Correspondente	
1	Não	15	
1.1	-	0	
2	Médio	10	
3	Médio	5	
4	Sim	0	
4.1	Alto	0	
5	Baixo	20	
6	Alta	12	
		Somatório dos pesos	62

Figura 2 - Exemplo das tabelas de pesos resultantes da avaliação dos critérios

Após a inclusão de uma alternativa na matriz, todos os espaços das respostas são automaticamente zerados e o usuário poderá recommençar o processo para uma nova alternativa. No fim da etapa de inserção das alternativas, o usuário poderá visualizar a matriz de *payoff* final gerada, de 8 critérios por 'x' alternativas. Com a matriz de *payoff* definida, os cálculos para identificação da melhor alternativa seguindo métodos multiobjetivo e multicritério podem ser iniciados (com um clique no botão específico de cálculo). Os resultados são apresentados em gráfico ao lado. O programa irá então utilizar os dados fornecidos para o cálculo por dois métodos multiobjetivo e multicritério, a Programação por Compromisso (CP) e o AHP. O usuário poderá visualizar o resultado para cada um deles, obtendo a resposta da melhor alternativa entre aquelas inseridas para análise e uma listagem das 5 melhores para cada método.

Para a análise da funcionalidade do sistema foi aplicado o estudo de caso da metodologia de apoio, na cidade de Formosa, Goiás. A escolha da cidade é justificada por ser pequena e muito semelhante a muitas outras do país em seu sistema de tratamento de esgoto, possuindo as fossas sépticas como método representativo. A partir da coleta de dados relativos a opções de coleta, transporte, armazenamento e tratamento da cidade, foi possível traçar treze alternativas para os lodos da cidade. Utilizando com base estudos bibliográficos e pesquisas junto às entidades responsáveis, foi realizada a montagem da matriz de *pay-off* do caso. Com esses dados o programa obteve resultados semelhantes aos expostos na dissertação de apoio, o que comprova a eficácia do sistema.

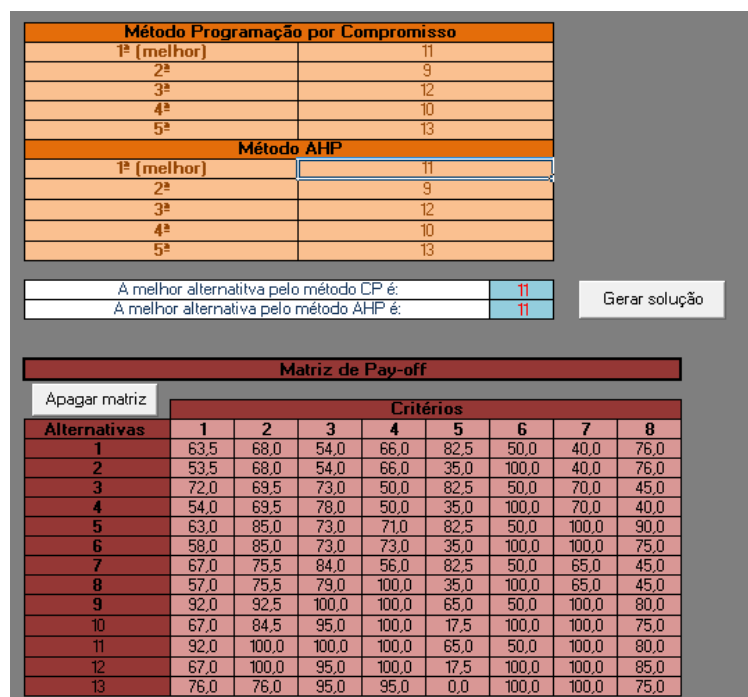


Figura 3 - Simulação e soluções do sistema para o estudo de caso em Formosa - GO

Discussão

A escolha do Visual Basic para Excel como linguagem de programação para execução do SSD mostrou-se satisfatória no decorrer do trabalho. O VBA possui ferramentas para a construção de planilhas de interação com usuário que facilitaram a montagem do sistema de perguntas e respostas, fundamental para o andamento do sistema. As ferramentas matemáticas do Excel também facilitaram e se adequaram aos cálculos dos métodos AHP e CP. Outro ponto positivo foi a definição da interface principal do programa que pôde ser desenhada com recursos básicos do Excel, além de conter ‘endereços’ facilmente acessáveis pelo código para receber ou fornecer informações. Por fim, há o benefício da familiarização de grande parte dos possíveis usuários do sistema com o Excel, que pode ser aberto na maior parte dos computadores convencionais sem necessidade de downloads complementares. A escolha dos métodos multiobjetivo e multicritério Programação de Compromisso e AHP foram motivadas por eficiência e facilidade de aplicação. Ambos se mostraram satisfatórios para a aplicação no projeto, com destaque para o CP, por ser de fácil entendimento, aplicação e não apresentar resultados distantes de outros critérios mais elaborados.

Conclusões

Como resultado principal do projeto foi desenvolvido um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) para a gestão do lodo de fossas sépticas. Com base na metodologia desenvolvida por Cordeiro (2010), foram desenhadas planilhas de interação com usuário para o recebimento de respostas e formulação dos valores mensuráveis. O SSD gerado corresponde às expectativas, uma vez que além de retornar ao usuário a resposta desejada, possui uma interface de fácil entendimento.

Referências

- Cordeiro, B. S.** (2010) “A gestão de lodos de fossas sépticas: uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília: Brasília-DF, 143p.
- Fernandes, F., Lopes, D.D., Andreoli, C.V. e Silva, S.M.C.P.** (2001) Avaliação de alternativas e Gerenciamento do Lodo na ETE, In: Andreoli, C.V., Sperling, M. E Fernandes, F. (eds) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, Editora UFMG, Belo Horizonte, 200-317.
- Gomes, L.F.A.M., Araya, M.C.G. e Carignano, C.** (2004). Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão, Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 168p.
- Goicoechea, A., Hansen, D.R.m Duckstein, L.** (1982). *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, Jhon Wiley & Sons, nova Iorque, Estados Unidos, 519p.
- Ingallinella, A.M. Sanguinetti, G., Koottatep, T., Montangero, A. e Strauss, M.** (2002) DThe challenge of faecal sludge management in urban áreas – strategies, regulations and treatment options, In: *Water Science and Technology*, 46(10), 285-294.
- Loucks, D. P.** (1995) Developing and implementing decision support systems: a critique and a challenge. *Water Resources Bulletin*, 31(4):571-582.
- Miller, R. C., D. P. Guertin and P. Heilman.** (2004). Information technology in watershed management decision making. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 40(2):347-357.
- Porto, R.L & Azevedo, L.G.T.** (1997) Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos; Em Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos (ed. Rubem La Laina Porto). Coleção ABRH.
- Saaty, T. L.** (1991) *Método de Análise Hierárquica*, McGraw Hill – Makron Books, São Paulo, 367p.
- Shammas, N.K. e Wang, L.K.** (2008) DProcess selection of biosolids management systems, In: Wang, L.K., Shammas, N.K. e hung, Y.T. (eds), *Biosolids Engineering and Management*, Humana Press, 691-743.
- Souza, M.A.A., Cordeiro, B.S., e Silva, C.L.,** (2009). Avaliação Multiobjetivo e Multicritério de Alternativas de Gestão de Lodos de Fossa/Tanque Séptico, In: Andreoli, C.V. (coord.) *Lodo de Fossa e Tanque Séptico: Caracterização, Tecnologias de Tratamento, Gerenciamento e Destino Final*, FINEP-PROSAB/Editora ABES, Curitiba, 327-374.