

III-186 - DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE APOIO À DECISÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Hosmanny Mauro Goulart Coelho⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre, Doutor e Pós-Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Especialista em Fontes Alternativas de Energia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Lineker Max Goulart Coelho

Engenheiro Civil pela UFMG e pela Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental Ecole des Ponts Paris Tech (ENPC). Professor assistente da Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba.

Alessandra Lee Barbosa Firmo

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre e Doutora em Engenharia pela UFPE. Professor/Pesquisadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

José Fernando Thomé Jucá

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutor pela Universidade Politécnica de Madri, Pós-Doutor pela Universidade de São Paulo (USP). Professor/Pesquisador da UFPE.

Gustavo Henrique Tetzl Rocha

Engenheiro Metalúrgico pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia – Campus Pampulha – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Bloco 2 – Sala 4628 – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30270-901 – Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1039 - Fax: +55 (31) 3409-1879 - e-mail: hosmanny@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um programa computacional, denominado Ferramenta IST (Índice de Sustentabilidade Ambiental) que busca ajudar os gestores municipais a selecionar a rota tecnológica de tratamento de resíduos mais adequada à realidade local. A Ferramenta IST é um programa computacional a ser utilizado como instrumento de apoio a tomada de decisão que busca ajudar os gestores municipais a selecionar, a partir de dados locais de políticas públicas, das características de seus resíduos, e de tecnologias de tratamento de resíduos, qual rota tecnológica é a mais adequada à realidade do município em questão. A ferramenta em questão é constituída por 4 módulos sequenciais de operação, sendo portanto, necessário passar obrigatoriamente por todos, são eles: Módulo de Inicialização; Módulo 1 - Características regionais e dos Resíduos Sólidos; Módulo 3 - Aplicação do Índice de Sustentabilidade Tecnológica; Módulo Rotas. O usuário deve fornecer informações sobre localização, região do país, restrições legais quanto ao uso de determinada tecnologia, características dos resíduos (quantidade gerada e composição gravimétrica), distancia média entre o local de geração e o ponto de disposição dos resíduos. A Ferramenta IST mostra ser um instrumento robusto e de simples utilização servindo como uma eficiente ferramenta para análises quantitativas individuais ou combinadas de tecnologias de tratamento, e que considera os três aspectos da sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Ferramenta Computacional, Tratamento de Resíduos, Resíduos Sólidos, Gerenciamento de Resíduos.

INTRODUÇÃO

Desenvolvimento sustentável significa um equilíbrio entre eficiência econômica, equidade social e proteção ambiental. Além disso, de acordo com a primeira definição deste termo apresentada no *World Commission on Environment and Development (WECD)* em 1991, desenvolvimento sustentável consiste em um desenvolvimento que busca atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem suas necessidades (WECD, 1991). Dessa forma, o gerenciamento de resíduos sólidos (GRS)

urbanos tem um papel crucial em alcançar esta condição, pois quando as etapas do GRS são devidamente executadas eles contribuem na redução de passivos ambientais e diminuem o consumo de recursos naturais tais como combustíveis fósseis e água.

Em um quadro geral, isso pode ser realizado por meio da conscientização da sociedade e, mais especificamente, pelo estabelecimento de padrões de qualidade ambiental a serem seguidos e pelo desenvolvimento de ferramentas de apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos (GRS).

Dessa forma, buscando fornecer uma ferramenta técnica para o gerenciamento de resíduos sólidos é necessário desenvolver metodologias e modelos de apoio à tomada de decisão voltados para este setor.

Já existem varias ferramentas de apoio à tomada de decisão tais como os modelos do EPA (USEPA, 2006): Waste reduction model (ARM), Recycled Content Tool (Recon) and Durable Goods Calculator (DGC). Entretanto, embora a preocupação com desenvolvimento sustentável e proteção ambiental tenha crescido consideravelmente nos últimos anos tem se notado que a maioria dos modelos e ferramentas ainda são excessivamente voltados para aspectos econômicos.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo apresentar um programa computacional, denominado Ferramenta IST (Índice de Sustentabilidade Ambiental) que busca ajudar os gestores municipais a selecionar a rota tecnológica de tratamento de resíduos mais adequada à realidade local considerando aspectos econômicos ambientais e sociais.

METODOLOGIA UTILIZADA

DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A Ferramenta IST é um programa computacional a ser utilizado como instrumento de apoio a tomada de decisão que busca ajudar os gestores municipais a selecionar, a partir de dados locais de políticas públicas, das características de seus resíduos, e de tecnologias de tratamento de resíduos, qual rota tecnológica é a mais adequada à realidade do município em questão.

A ferramenta em questão é constituída por 4 módulos sequenciais de operação, sendo portanto, necessário passar obrigatoriamente por todos, são eles: Módulo de Inicialização; Módulo 1 - Características regionais e dos Resíduos Sólidos; Módulo 3 - Aplicação do Índice de Sustentabilidade Tecnológica; Módulo Rotas.

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A Ferramenta IST utiliza a formulação matemática do IST - Índice de Sustentabilidade Ambiental - para fornecer sugestões de rotas de tratamento tecnológicas com base nas características da região e dos resíduos.

O IST é um índice criado para ser um modelo de apoio a tomada de decisão quanto a tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos (FADE, 2014). Este índice é baseado nos princípios da sustentabilidade o qual inclui aspectos, ambientais, econômicos e sociais, sendo uma extensão do IT+L - Índice de Tratamento Mais Limpo (COELHO, 2012). Este último tem a mesma função do IST, porém considera apenas aspectos ambientais enquanto que o IST é formado pela combinação de 3 sub-índices cada um relacionado a um dos pilares do desenvolvimento sustentável: AM: Sub-Índice Ambiental; EC: Sub-Índice Econômico; e SO: Sub-Índice Social.

Cada sub-índice, por sua vez, é formado pela combinação de vários indicadores. Os valores do IST assim como dos seus sub-índices variam entre 0 e 1 sendo o valor unitário a situação ideal. Maiores detalhes sobre a formulação matemática do IST são fornecidas em Coelho (2012) e FADE (2014).

DADOS DE ENTRADA

Com relação aos dados de entrada o usuário deve fornecer informações sobre localização, região do país, restrições legais quanto ao uso de determinada tecnologia, características dos resíduos (quantidade gerada e

composição gravimétrica), distancia média entre o local de geração e o ponto de disposição dos resíduos. Além disso, é necessário informar se a análise vai levar em conta um município isolado ou um consórcio de municípios. Neste último caso a ferramenta em questão indica a necessidade ou não de estações de transbordo.

TECNOLOGIAS CONTEMPLADAS

O sistema possui um banco de dados padrão que incorpora as seguintes tecnologias: Aterro sanitário com aproveitamento energético; Aterro sanitário sem aproveitamento energético; Incineração com aproveitamento energético; Central de triagem; Compostagem; Digestão anaeróbia com aproveitamento energético.

As informações de cada tecnologia foram obtidas a partir de dados operacionais de plantas de tratamento de resíduos do Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão conforme descrito em FADE (2013). Ressalta-se que a Ferramenta IST permite a inclusão de outras tecnologias de modo a se adaptar-se a características locais. As três primeiras tecnologias citadas são consideradas como opções individuais e as três últimas não são consideradas sozinhas, mas fazem parte das rotas tecnológicas de tratamentos em que elas são combinadas com as primeiras.

DADOS DE SAÍDA

A informação de saída consiste nos valores de IST para cada tecnologia e/ou rotas tecnológicas aplicáveis ao município ou consórcio avaliado, e os resultados são apresentados em ordem decrescente quanto ao valor do IST obtido. Dessa forma, podem-se avaliar as melhores tecnologias isoladas ou rotas tanto do ponto de vista da sustentabilidade a qual engloba aspectos, ambientais, sociais e econômicos ou apenas considerando um destes aspectos, conforme o foco da análise.

RESULTADOS OBTIDOS

MÓDULO DE INICIALIZAÇÃO

O Módulo de Inicialização possibilita escolher se avaliação será para um consórcio de municípios ou somente para um município.

Este módulo trata ainda das Restrições Legais, em que deve-se indicar se há alguma restrição para a seleção ou não de determinada tecnologia de tratamento de resíduos sólidos para o município em estudo. Caso alguma tecnologia de resíduos tenha alguma restrição legal de instalação para determinada localidade, ela é automaticamente excluída da análise.

Neste módulo deve ser informado também se existe ou não coleta diferenciada e em caso afirmativo deve-se apresentar qual a porcentagem dos resíduos é coletada desta maneira.

MÓDULO 1 - CARACTERÍSTICAS LOCAIS E DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O módulo 1, cuja interface é apresentada na Figura 1, tem como objetivo possibilitar a escolha da cidade e da região brasileira de interesse para realização da análise (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul), respeitando as suas características e particularidades no âmbito econômico, social e ambiental. De fato, isto se faz importante para que a ferramenta considere as diferenças e especificidades regionais. Assim sendo, quando se seleciona uma região, a ferramenta entende que todas as avaliações das tecnologias de tratamento se darão a partir dos valores de referência (benchmark) para cada um dos indicadores daquela região específica.

Este módulo trata também das características dos resíduos sólidos gerados no município analisado, e objetiva a partir dos dados de entrada do município ou dos municípios do consórcio, verificar a adequação quanto à utilização ou não de determinada tecnologia de tratamento de resíduos. Para a composição gravimétrica dos resíduos deverão ser informados os seguintes percentuais dos materiais presentes nos resíduos sólidos: plásticos, orgânicos, vidros, metais, papel/papelão, resíduos de jardim (folhas, gravetos e madeira), e outros.

De posse da composição gravimétrica do município ou consórcio, e utilização um banco de dados, previstos na Ferramenta IST, com faixas de variação das características gravimétricas dos resíduos sólidos para cada uma das tecnologias analisadas, se obtém como resultado a apresentação da adequabilidade ou não de determinada tecnologia de tratamento de resíduos frente às características dos resíduos analisados.

Deve-se informar também neste módulo a quantidade de resíduo processada bem como a distância entre o centro de geração de resíduos e o local de tratamento. No caso de consórcio, a quantidade diária de resíduos processada a ser considerada na análise corresponde à soma dos resíduos gerados em cada município consorciado.

MUNICÍPIO 1

REGIÃO: ESTADO: MUNICÍPIO:

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS

PLÁSTICOS	<div><div></div></div> 100 %
ORGÂNICOS	<div><div></div></div> 0 %
VIDROS	<div><div></div></div> 0 %
METAIS	<div><div></div></div> 0 %
PAPEL/PAPELÃO	<div><div></div></div> 0 %
RESÍDUOS DE JARDIM (FOLHAS, GRAVETOS E MADEIRA)	<div><div></div></div> 0 %
OUTROS	<div><div></div></div> 0 %

DISTÂNCIA MÉDIA DO CENTRO DE GERAÇÃO À PLANTA DE TRATAMENTO: km

QUANTIDADE DE RESÍDUO A SER PROCESSADA: t/dia

Figura 1: Interface do módulo 1.

MÓDULO 2 - APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE TECNOLÓGICA (IST)

O Módulo 3 envolve o cálculo do IST, e a partir dos dados de entrada do município ou consórcio, o IST fornecerá um valor para cada uma das tecnologias que não foram eliminadas pelos módulos anteriores, conforme exemplo mostrado na Figura 2.

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE TECNOLÓGICA (IST) DAS TECNOLOGIAS ADEQUADAS

	AM	EC	SO	IST
COMPOSTAGEM	0.948	0.774	0.442	0.72
ATERRO SEM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	0.534	0.904	0.392	0.61
ATERRO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	0.853	1.105	0.403	0.79
INCINERAÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	0.487	0.471	0.13	0.36

Legenda: AM – sub-índice ambiental
EC – sub-índice econômico
SO – sub-índice social

Figura 2: Interface do módulo 2.

MÓDULO ROTAS

O Módulo Rotas apresenta os resultados finais da análise considerando os valores IST de rotas tecnológicas consideradas formadas pela combinação das tecnologias (Ver Figura 3).

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE TECNOLÓGICA (IST) PARA AS ROTAS SUGERIDAS (COM COLETA DIFERENCIADA)

RESULTADO:

ROTA 1

IST - 0.8

COMPOSTAGEM

ATERRO COM APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO

ROTA 2

IST - 0.75

COMPOSTAGEM

ATERRO SEM APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO

ROTA 3

IST - 0.69

COMPOSTAGEM

INCINERAÇÃO COM
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

Figura 3: Interface do módulo de rotas.

A partir dos resultados a ferramenta gera um relatório final que apresenta, além dos resultados IST e rotas, outros 3 anexos:

- Anexo 1 - Dados de entrada: Apresenta os valores absolutos dos indicadores de cada tecnologia utilizados no cálculo dos sub-índices, maiores detalhes da metodologia de calculo do IST são fornecidos em FADE (2014);
- Anexo 2 - Tabela de indicadores normalizados: Apresenta os valores normalizados dos indicadores de cada tecnologia utilizados no cálculo dos sub-índices;
- Anexo 3 - Sub-índices calculados: apresenta uma tabela que resume os valores dos sub-índices AM, EC e SO para cada tecnologia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho mostrou que é possível associar um modelo matemático robusto com uma interface com usuário simples e de fácil utilização. Desta forma por meio da Ferramenta IST os gestores municipais de resíduos sólidos podem facilmente utilizar o modelo IST como apoio a tomada de decisão sem necessariamente conhecer sua formulação matemática a fundo tendo em vista que os dados de entrada consistem basicamente em dados locais (região e características dos resíduos).

Assim, a Ferramenta IST mostra ser um instrumento robusto e de simples utilização servindo como uma eficiente ferramenta para análises quantitativas individuais ou combinadas de tecnologias de tratamento, e que considera os três aspectos da sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado Minas Gerais - FAPEMIG por financiar a participação no Congresso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COELHO, H. M. G. (2012). COELHO, L. M. G. LANGE, L. C. Proposal of an environmental index to assess solid waste treatment technology. *Journal of Waste Management*, 32(7):1473-81.
2. Fundação de apoio ao desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco, 2013, 186p.
3. Fundação de apoio ao desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE. TSI Tool – Technical Manual. Pernambuco, 2014, 15p.
4. U S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, US EPA. Solid Waste Management and Green House Gases – A Life cycle Assessment of Emissions and Sinks, US. EPA, 2006, 160 p.
5. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, WCED. Our Common Future. Oxford University Press, 1991, Oxford.