

III-120 - A UTILIZAÇÃO DE UM MODELO DE APOIO A DECISÃO NA ESCOLHA DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO NORTE DO BRASIL.

José Dantas de Lima⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

José Fernando Thomé Jucá

Professor da Universidade Federal de Pernambuco, Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Pernambuco - UFPE. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Francisco Humberto de Carvalho Junior

Engenheiro Civil pela UNIFOR – CE (1983), Especialista em Engenharia Urbana pela UNIFOR-CE (1997), Mestre em Saneamento Ambiental pela UFC-CE (2002), Doutorando em Geotecnia Ambiental pela UFPE,

Claudia Coutinho Nóbrega

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

Maria Tereza Campelo Dantas de Lima

Educadora escolar e Psicopedagoga.

Endereço⁽¹⁾: Rua Ciro Tróccoli, 1180 – Colibris – João Pessoa - PB CEP 58.073-172 - Brasil - Tel: (83) 9104-8483 e-mail: dantast@terra.com.br.

RESUMO

O estudo de modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), para a Região Norte do Brasil, teve como objetivo propor alternativas de tratamento em forma de arranjos tecnológicos, baseados em critérios ambientais, sociais, econômicos e políticos. Para tanto, utilizou-se de dois modelos de apoio à decisão, o modelo Analytic Hierarchy Process - AHP e o Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations - Promethee II(V), para que em função da sua relevância, fosse proposta uma forma de hierarquização das tecnologias identificadas para o tratamento dos resíduos sólidos na região. A hierarquização produziu como resultado final um conjunto de tecnologias que analisadas se tornaram arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na região Norte do Brasil, atendendo ao que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Os resultados obtidos mostraram que os modelos utilizados apresentaram-se como uma ferramenta adequada para a proposição de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos e pode ser aplicada em situações isoladas ou em consórcios públicos.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de RSU, tecnologias de tratamento de resíduos e modelo de apoio à decisão.

INTRODUÇÃO

A região Norte do Brasil, que tem uma população de 16.318.168 habitantes (IBGE, 2012), representa 8,41% da população Brasileira e ocupa cerca de 50% do território brasileiro e tem na Amazônia a sua grande importância. A Figura 1 mostra a localização da Região Norte no território Brasileiro.

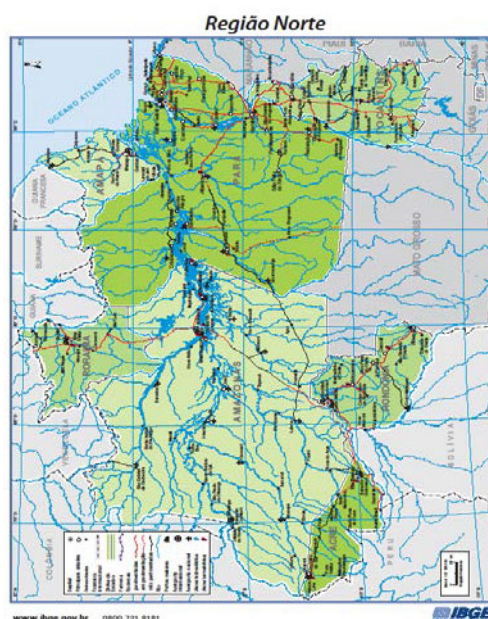


Figura 1 – Mapa da Região Norte do Brasil.

Esta região gera 11.360 t/dia (ABRELPE, 2011) com uma geração percapita de 1,154 Kg/hab/dia de RSU, com índice de coleta de RSU de 83,17% e tem como destinação final dos seus resíduos gerados 35% em aterros sanitários, 29,5% em aterros controlados e 35,5% em lixões, ou seja, 35,5% em destinação adequada e 64,5% em destinação final inadequada. Para este arranjo gasta-se R\$ 10,23 mês/habitante o que nos aponta a imediata melhoria de seus arranjos de gestão, necessitando-se urgentemente de alternativas tecnológicas de tratamento de RSU adequadas que modifiquem o atual cenário de impactos ambientais, sociais e econômicos. O tratamento e a destinação final adequada dos resíduos gerados em qualquer municipalidade dependem sempre de alguma alternativa tecnológica, ou seja, de tecnologias, sejam elas, mais simplificadas, sejam elas, mais evoluídas tecnologicamente. Para a sua adoção deve se levar em consideração uma série de aspectos, como:

- Os aspectos técnicos, considerando-se aqui a geração dos resíduos, características dos resíduos, seus aspectos qualitativos e quantitativos, geografia da região, geomorfologia, pluviometria, urbanização, distância do centro gerador, aspectos de localização e aspectos urbanísticos.
- Os aspectos ambientais, considerando-se que as tecnologias devem atender ao que determina toda legislação ambiental.
- Os aspectos econômicos, considerando-se a capacidade financeira de investimentos e a capacidade de operação e manutenção das tecnologias e os aspectos políticos, que no Brasil são demasiadamente importantes em função da descontinuidade administrativa após a mudança de gestor, que tem trazido cenários negativos na consolidação de tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos, tornando-se uma das maiores anti-políticas públicas existentes no Brasil.

O objetivo geral deste artigo é propor alternativas tecnológicas adequadas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, para a região Norte do Brasil, em forma de arranjos tecnológicos utilizando-se de dois métodos de apoio à decisão.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada nessa pesquisa foi concebida em seis etapas:

1ª Etapa – Realização de diagnóstico da situação atual do tratamento de resíduos, na Região Norte do Brasil e, identificar o estado da arte das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares nesta região.

2^a Etapa – Proposição de critérios ambientais, sociais e econômicos, aliados aos critérios políticos para a seleção hierárquica das alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

3^a Etapa – Elaboração de questionário específico para a área de resíduos sólidos e aplicá-lo com especialistas (profissionais, órgãos ambientais e instituições representativas do setor). Os resultados foram compilados de maneira a se obter um resultado da região, e não respostas individuais.

4^a Etapa - Aplicação dos modelos de apoio a decisão AHP e o Promethee II (V) utilizando os critérios e hierarquias definidos, anteriormente, para a obtenção de arranjos tecnológicos para a região Norte do Brasil.

5^a Etapa - Análise dos resultados fornecidos pelos dois modelos de apoio à decisão para o tratamento de resíduos sólidos, para a região Nordeste do Brasil, definindo uma escala hierárquica de arranjos tecnológicos.

6^a Etapa – Proposição de arranjos tecnológicos para a região Norte do Brasil, referente as possíveis alternativas tecnológicas em formas de cenários regionais.

A Figura 2 mostra o resumo destas etapas metodológicas, com os critérios ambientais, sociais, econômicos e políticos, adotados nesta pesquisa, para a hierarquização das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento do RSU.

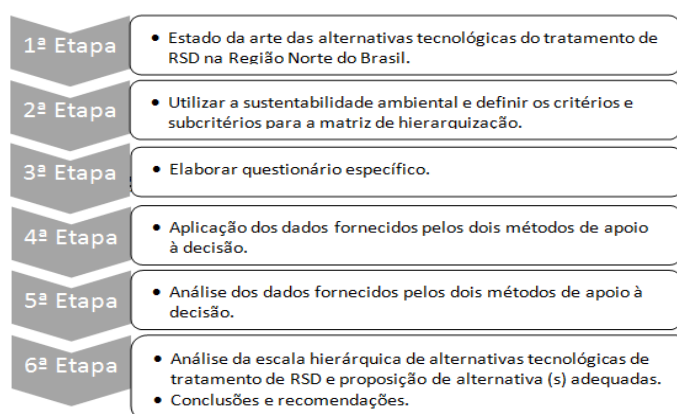


Figura 2 – Esquema das Etapas Metodológicas

Ao aplicar o modelo AHP, seguiram-se os seguintes passos:

1. Estruturou-se o problema de forma hierárquica, mostrando os elementos-chave e os relacionamentos entre critérios, subcritérios e as alternativas definindo-se quatro (04) critérios e dezessete (17) subcritérios e oito (08) alternativas tecnológicas. A Figura 3 mostra os critérios destacados em amarelo e os subcritérios utilizados destacados em azul.

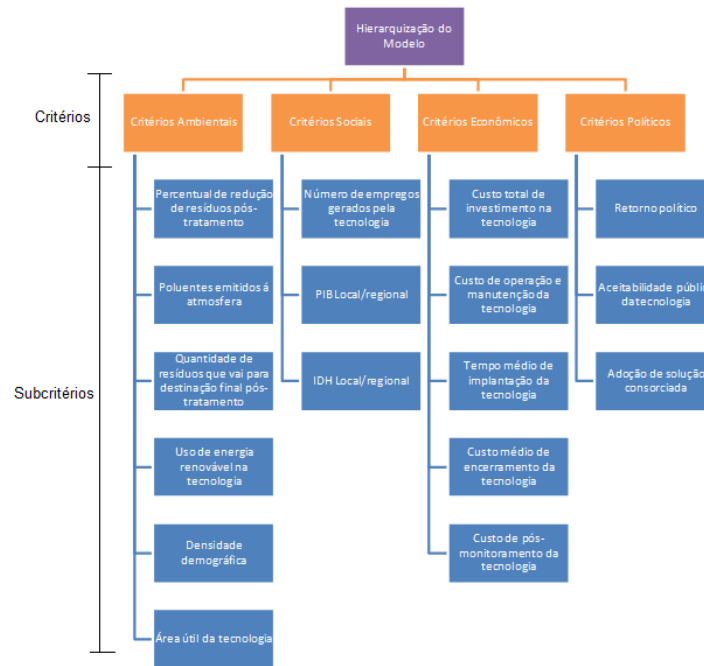


Figura 3 – Hierarquização do Modelo AHP – Critérios e subcritérios Utilizados.

- Definiram-se as tecnologias que poderiam ser selecionadas para a região, a saber: reciclagem, compostagem, aterro sanitário com e sem geração de energia, tratamento mecânico-biológico - TMB, digestão anaeróbia (D.A), incineração com geração de energia e em ciclo combinado (CHP).
- Organizaram-se os critérios e subcritérios em matrizes para comparação par a par.
- Calcularam-se os pesos das alternativas e dos critérios e subcritérios dentro da hierarquia estabelecida.
- Compararam-se as alternativas de modo consistente, usando o conhecimento sobre o tema, de forma a obter-se resultados consistentes. Adequou-se então a escala de comparação elaborada por Saaty (SAATY,1991).
- Calculou-se a relação de consistência para avaliar se o julgamento feito pelo tomador de decisão é coerente e não levará a uma decisão equivocada.
- Sumarizaram-se os resultados e foi elaborada a escala final de valores com as alternativas ordenadas em ordem de preferência.

Ao aplicar o Promethee II(V) um aspecto muito importante considerado foi o fato de que para a tomada de decisão em grupo, os decisores impõem seus critérios individuais, os quais podem ser comuns aos outros decisores ou não e, os avaliam de acordo com seus próprios sistemas de valores, atribuindo pesos, escolhendo as funções de preferência e definindo os limiares, o que proporciona uma maior liberdade ao decisor em expor o seu ponto de vista. Assim, todos os decisores passam a ter uma visão melhor do problema e a partir daí, é realizada a agregação das preferências, gerando a decisão em grupo. Deste modo, o Promethee II(V) se apresentou mais adequado no contexto da aplicação do modelo, no qual são considerados vários agentes decisores e cuja interação é muito importante no caso em estudo.

Esse método propicia a definição de graus de preferência representados por um número real que varia entre 0 (indiferença) e 1 (preferência forte), a esta abordagem:

- comparam-se os critérios e subcritérios definidos na escala hierárquica considerando as vantagens de um sobre o outro e sem negligenciar as características comuns entre eles;
- considera-se que os critérios e subcritérios para a definição das alternativas tecnológicas para cada um deles não apresentam relação de incomparabilidades, no caso de utilização do Promethee II, que apresenta com resultado da análise o ranking total;
- considera-se que os critérios, subcritérios e as alternativas estão interligados, de forma que um determinado indicador pode refletir parcialmente em outro.

Neste sentido, utilizou-se dos mesmos pesos e da mesma escala hierárquica utilizada para o AHP e procedeu-se a aplicação do modelo através do software Visual Promethee. Neste software permitiu-se a aplicação dos dados que foram tratados de igual forma que os do modelo AHP, e procedeu-se, então, a análise de sensibilidade desses dados.

Foram enviados vinte (20) questionários a especialistas convidados e obtiveram-se respostas de dezesseis (16) especialistas, o que representa 80%, considerado uma amostra representativa da região. A análise e o tratamento dos dados fornecidos pelo questionário foram iguais para os dois métodos de apoio à decisão (AHP e Promethee II(V)) onde se obteve a média, a moda e a mediana de cada comparação par a par entre os critérios e entre os subcritérios. Para fins de tratamento definiu-se a moda como o parâmetro a ser usado para a aplicação no software Expert Choice 11 e Visual Promethee.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Norte do Brasil e das considerações acima, propõem-se os seguintes arranjos tecnológicos:

Tecnologias definidas pelos modelos - reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, TMB, compostagem e digestão anaeróbia, as quais definiram-se 4(quatro) arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia



Figura 4 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 4 mostra o primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte do Brasil, composto pela reciclagem + aterro sanitário com geração de energia, para os municípios ou conjunto destes com uma capacidade instalada superior a 250 t/dia, na atualidade, ou menor em futuro próximo com o uso de microturbinas que transformam biogás em energia.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem o maior PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, sendo a região de maior consumo de energia, onde segundo relatos anteriores se afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos. Este arranjo tecnológico pode ser aplicado na região metropolitana de Manaus, no Amazonas, de Belém, no Pará com populações acima de 1.000.000 de habitantes e de Macapá, Boa Vista, Porto Velho, Rio Branco, Santarém e de Palmas, no Tocantins, com populações entre 250.000 habitantes e 1.000.000 de habitantes, definidos como municípios de médio a grande porte.

Também se faz importante a utilização da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

2 – Reciclagem + compostagem + Aterro sanitário.



Figura 5 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 5 mostra o segundo arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios ou conjunto destes para diversos portes na região, com populações inferiores a 250.000 habitantes, a exemplo da região de Tocantins, Acre e Rondônia, Roraima e Acre, definidos neste estudo como de pequeno porte a porte intermediário.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões apresentarem um PIB *per capita* com faixa intermediária de toda região, um IDH que varia de 0,764 a 0,786, representando assim uma região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, com consumo de energia intermediário em relação ao total da região, onde segundo afirmações acima, se encontra o desenvolvimento tecnológico com menor intensidade com relação aos resíduos sólidos. A tecnologia da compostagem se justifica principalmente pela valorização da fração orgânica da região, maior do Brasil e em tendência futura de aumento, gerando produtos com menor emissão. Na composição da compostagem pode ser a compostagem anaeróbia para municípios da região de Tocantins e a compostagem aeróbia para outras regiões de grande pluviosidade.

Na região também pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

3 – Reciclagem + aterro sanitário



Figura 6 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 6 mostra o terceiro e último arranjo tecnológico proposto para a região Norte composto pela reciclagem + aterro sanitário, é proposto para os municípios de pequeno porte e de porte intermediário ou conjunto destes da região Norte. Não se considerou a utilização da incineração por ser considerado um contrassenso ambiental sua utilização na Amazônia brasileira, o que de certa forma foi referendado pelo resultado dos modelos aplicados.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar o menor PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de menor desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, de baixo consumo de energia e é nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico menos avançado com relação aos resíduos sólidos.

Este arranjo tecnológico atende ao que determina a PNRS em seu arranjo tecnológico mais simplificado e deve permanecer na região por pelo menos duas décadas e evoluir para arranjos tecnológicos mais sofisticados a médio e longo prazo. Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 250.000 habitantes nos polos de desenvolvimentos regionais, definidos como de pequeno porte e porte intermediário. Neste caso é muito importante a utilização da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Com o resultado apresentado pelo modelo hierárquico utilizado para os dois modelos de apoio à decisão permite afirmar que, em função da metodologia e dos critérios adotados, foi possível determinar em ordem decrescente a posição de cada alternativa tecnológica para o tratamento do RSU e propor os arranjos possíveis de tecnologias para o tratamento de RSU na região Norte do Brasil. Como resultado destes arranjos pôde-se propor quatro arranjos tecnológicos possíveis para a região Norte do Brasil, compatível com a aplicação dos dois modelos de apoio à decisão. Os resultados obtidos são compatíveis com a proposta dos autores de

oferecer aos decisores um *ranking* completo de alternativas tecnológicas que contribua para a melhoria do processo de tomada de decisão em escolhas de alternativas tecnológicas de tratamento de RSU.

O modelo AHP se mostrou eficiente na definição das alternativas tecnológicas, mesmo utilizando-se de dados qualitativos, e o modelo Promethee II(V) se mostrou mais eficiente na definição das alternativas tecnológicas, pois se utiliza de dados qualitativos e quantitativos, o que possibilitou uma maior compreensão dos estudos aqui propostos.

Conclui-se ainda que os modelos de apoio à decisão aqui utilizados, quando estabelecidos escalas hierárquicas adequadas, podem atender a PNRS e seu Plano Nacional de Resíduos - PNR de forma eficiente, considerando em sua aplicação arranjos tecnológicos com soluções isoladas ou arranjos tecnológicos em forma consorciada. Outro ponto importante para a região é que a utilização destes modelos de apoio à decisão podem se tornar uma importante ferramenta de gestão com possibilidade de se estudar outros cenários na própria região e nas outras regiões geográficas do Brasil.

Além disso, os autores recomendam que sejam realizados aperfeiçoamentos na metodologia empregada com a utilização de outros métodos multicritério, que permitem tratar de questões mais complexas, entre as quais as questões de maximização dos resultados obtidos para a otimização dos investimentos a serem realizados, a maximização da capacidade de receber a transferência das novas tecnologias e a maximização dos processos de educação ambiental e comunicação social na região ambiental mais importante do Brasil e uma das mais importantes do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2010. 184 p. 2011.
2. BRASIL. *Lei nº 12.305/2010*, de 02 de agosto de 2010, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
3. BRASIL. *Decreto nº 7.404/2010*, de 23 de dezembro de 2010, regulamentando a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cria Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.
4. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2010. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 7, 2010.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Mapas temáticos regionais, 2012**. EXPERT CHOICE, based Expert software. **Operational Research Society, USA**, version 11.1.3338.2822, 2011.
6. GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007.
7. LIMA, J.D. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**, 2001.
8. PROMETHEE based **Visual Promethee software**. Operational Research Society, version Education - 0.99.99.1.12, London, 2012.
9. ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.
10. SAATY, T. L.; **The Analytic Hierarchy Process**, New York: McGraw-Hill, 1980.
11. SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Laboratório de Ensino à Distância da UFSC. Florianópolis. 2001.
12. VINCKE, P. **Analysis of multicriteria decision aid in Europe**. **European Journal of operational Research**, v. 25, p. 160-168, 1986.
13. YOON, K.; HWANG, C.-L. **Multiple attribute decision making an introduction**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995.