

# UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP NA AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS RELEVANTES À IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMAS DE COLETA SELETIVA

Carlos Humberto Martins, Universidade Estadual de Maringá, E-mail: chmartins@uem.br  
Diana Janice Padilha, Universidade Estadual de Maringá, E-mail: diana\_jpa@yahoo.com.br  
Rafael Veríssimo, Universidade Estadual de Maringá, E-mail: verissimoambiental@hotmail.com

**Resumo:** A gestão dos resíduos gerados nos ambientes urbanos passou a ser considerada uma relevante questão a ser discutida pelos administradores públicos, principalmente por conta da sua intensificação ao longo dos anos. Esta temática traz consigo também os conceitos de desenvolvimento sustentável, no qual inserem-se os 3 R's – reduzir, reutilizar e reciclar. Neste âmbito, a reciclagem é vista como uma boa alternativa, e cabe aos gestores municipais avaliar a viabilidade de implantação de sistemas que visem este processo, como é o caso da coleta seletiva. Visto isso, o presente trabalho teve por objetivo utilizar um método de tomada de decisões multicritério, o AHP, no intuito de verificar a importância de diversos aspectos associados ao planejamento e dimensionamento de sistemas de coleta seletiva. Para isso, a metodologia baseou-se na construção de uma hierarquia, na qual foram definidos o objetivo e os critérios de ordem ambiental, social e econômica a serem avaliados. Ao se julgar cada par de critérios foi possível visualizar a matriz de julgamento, enquanto uma série de cálculos demonstrou a priorização dos critérios relevantes. Com isso, verificou-se que os aspectos voltados à questão econômica são ainda os de maior importância, junto à educação ambiental da população. Além disso, o método mostrou-se como uma excelente ferramenta de auxílio na tomada de decisões, por parte do poder público, no que tange às questões de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, AHP, coleta seletiva, critérios.

## ASSESSMENT OF RELEVANT CRITERIA FOR IMPLEMENTATION OF RECYCLABLES COLLECTION PROGRAMS WITH THE AHP METHOD

**Abstract:** Waste management in urban environments is a critical topic discussed by public officials in Brazil due to its growing concern and population awareness over the years. This topic is related to concepts of sustainable development, which include the 3 R's approach: reduce, reuse and recycle. As recycling is part of the equation, it is up to municipal managers to assess the feasibility of recyclables collection systems. As such, the aimed of the present study is to apply a method of multicriteria decision making, AHP, to verify the importance of various aspects associated with the planning and design of recyclables collection systems. The methodology was based on the construction and evaluation of a hierarchy of goals, environmental and social economical criteria. The judgment of each pair of criteria allows the visualization of the judgment matrix, while a series of calculations demonstrates the prioritization of the relevant criteria. As a result of the application of the AHP method, it was found that the economic criteria are the most important, along with the environmental awareness of the population. Moreover, the method proved to be an excellent tool to aid governmental agencies in decision making regarding management and solid waste management

**Keywords:** Solid waste, AHP, selective collection, criteria.

### 1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos nos centros urbanos passou a ser tema de discussão ao passo em que intensificou-se ao passar dos anos, por conta da industrialização acelerada e do avanço tecnológico apresentado em todos os setores. Com isso, a preocupação atual volta-se ao gerenciamento adequado destes, de modo a evitar os impactos ambientais, sociais e econômicos aos quais estão associados.

Atréadas a esta problemática estão ainda as discussões acerca de sustentabilidade. A partir destas, reforçadas principalmente na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, surge o conceito dos 3 R's: reduzir, reutilizar e reciclar. Para que seja possível a implantação de alternativas visando estas três máximas,

demanda-se da existência de parcerias entre poderes federais, estaduais e municipais, bem como da participação da população.

A redução da geração é alcançada pela utilização adequada de recursos e diminuição de desperdícios, enquanto a reutilização é definida como o aproveitamento dos resíduos nas condições em que estes foram descartados aplicando-se aos mesmos pouco ou nenhum tratamento. Já a reciclagem, considerada uma forma de tratamento, consiste na produção de bens utilizando os resíduos como matéria prima, podendo ocorrer de forma industrial ou artesanal (PROSAB, 1999).

No que diz respeito à reciclagem, para que as ações voltadas à mesma possam ser efetivadas, é necessária a coleta diferenciada do material a ser destinado para tal processo. Desta forma, a coleta definida como seletiva é caracterizada pela Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010) como “a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”.

Os primeiros programas voltados à coleta seletiva e à reciclagem no Brasil são datados da década de 80, surgindo como alternativas inovadoras no que diz respeito à redução do volume de resíduos dispostos em aterros sanitários. Todavia, enquanto mais de 50% dos municípios brasileiros destinam seus resíduos a lixões, apenas pouco mais de 17% apresentam sistemas de coleta seletiva (IBGE, 2010). Tais dados salientam a importância de inserção da coleta seletiva nos ambientes urbanos, a qual trará como principais benefícios a valorização dos resíduos e sua possível reciclagem, além da economia de energia e de matéria prima, e do aumento da vida útil dos aterros (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Os modelos de coleta seletiva que podem ser inseridos nos municípios são a coleta porta à porta, os pontos de entrega voluntária (PEV's) e a cooperativa de catadores, todos baseados na segregação dos resíduos na fonte geradora (MONTEIRO *et al.*, 2001). Cabe à municipalidade selecionar àquele que proporcione melhorias nos aspectos ambiental e social sem trazer prejuízos econômicos.

Segundo Moraes (2011), por conta da possibilidade de se operar de diversas formas os sistemas de coleta seletiva, cabe a cada município estabelecer a metodologia que resultará em melhores resultados, de acordo com as características locais. Para Albertin (2011), independentemente da forma como ocorrerá, a eficiência da coleta seletiva está estritamente relacionada ao sistema gestor gerenciado pela administração pública e à colaboração e participação da população, a qual deve segregar os resíduos em suas residências antes de encaminhá-los para coleta. Considera-se ainda que o grande desafio aferido à implantação de programas deste âmbito é permitir a auto sustentabilidade econômica do sistema (MONTEIRO *et al.*, 2001).

A integração entre a viabilidade de comercialização do material coletado, a eficiência das unidades de coleta e triagem e o envolvimento da população pode fazer com que os sistemas de coleta seletiva se tornem uma excelente alternativa no cenário de gestão de resíduos, vindo a melhorar as condições ambientais e à qualidade de vida (SOUZA, 2005).

Considerando que a evolução do conceito de gestão sustentável aplicável aos resíduos mostra necessária a implantação de soluções que respeitem as características sociais e econômicas de cada realidade (STRAUCH E ALBUQUERQUE, 2008), o presente trabalho busca verificar a importância dos diversos critérios associados à implantação de programas de coleta seletiva, por meio do método AHP.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70, o qual baseia-se na construção de uma hierarquia para representar um problema

complexo, a fim de avaliar critérios e alternativas propostas em busca da resolução do mesmo (VIDAL *et al.*, 2010).

Aplicado amplamente na área de gestão e planejamento em diversos setores, o AHP situa-se como uma metodologia aplicável à definição de objetivos e escolhas de alternativas inseridas nos sistemas de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (KARAGIANNIDIS *et al.*, 2010).

O método simplificado utilizado por Pereira (2007) e Oliveira (2012) divide-se em quatro fases distintas, iniciando-se com a construção da estrutura hierárquica contendo o objetivo do estudo, os critérios relacionados às possíveis alternativas e as mesmas, conforme demonstra a Figura 1.

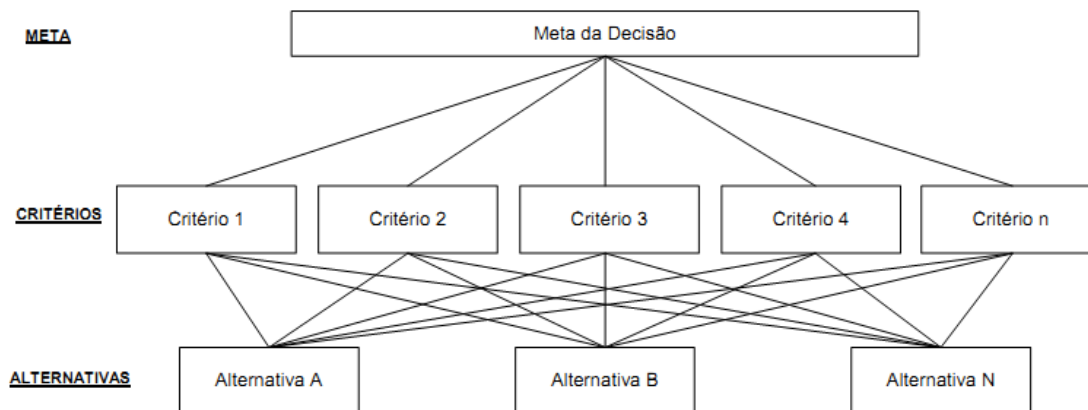


Figura 1 – Modelo de estrutura hierárquica  
 Fonte: Adaptado de Saaty (1991) *apud* Campos (2008).

Em seguida, pares de critérios são avaliados com base na escala proposta por Saaty, aferindo a cada comparação valores entre 1 a 9 (Figura 2). A terceira etapa consiste na construção da matriz de julgamento A. Segundo Marchezetti (2009), a diagonal principal da mesma sempre será composta pelo valor 1, salientando-se ainda a reciprocidade dos elementos diagonais, já que se  $a_{1,3} = 5$ , então  $a_{3,1} = 1/5$ .

JULGAMENTO	VALORES
X é igualmente preferível a Y	1
X é igual a moderadamente preferível sobre Y	2
X é moderadamente preferível sobre Y	3
X é moderada a fortemente preferível sobre Y	4
X é fortemente preferível sobre Y	5
X é fortemente a muito fortemente preferível sobre Y	6
X é muito fortemente preferível sobre Y	7
X é muito forte a extremamente preferível sobre Y	8
X é extremamente preferível sobre Y	9

Figura 2 – Escala de julgamento de importância  
 Fonte: Saaty (1991) *apud* Marchezetti, Kaviski e Braga (2011).

Por fim, é realizado o cálculo das prioridades, baseado na obtenção da matriz normalizada (\*A), em que:

$$*A_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \tag{Eq. 1}$$

A partir da matriz \*A poderá ser definida a ordem prioritária dos critérios avaliados, com o cálculo das prioridades médias locais (PML), definido pela Equação 2.

$$PML_j = \frac{\sum_{i=1}^n *A_{ij}}{n} \quad (\text{Eq. 2})$$

A fim de se obter a razão de consistência, é necessário proceder o cálculo dos vetores B (Equação 3) e C (Equação 4), além do  $\lambda_{\text{máx}}$  (Equação 5) e do índice de consistência (IC) (Equação 6).

$$B_i = \sum_{j=1}^n a_{1j} \cdot PML_j \quad (\text{Eq. 3})$$

$$C_i = \frac{B_i}{PML_i} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{n - 1} \quad (\text{Eq. 6})$$

Assim, de posse de tais valores, e ainda do índice de consistência randômico (IR) (Tabela 1), é possível verificar a coerência e credibilidade do estudo por meio da razão de consistência (RC), a qual deve ser sempre menor ou igual a 10% (FEO E GIS, 2010).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Eq. 7})$$

Tabela 1 – Índices randômicos

Ordem da matriz (nxn)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Randômico	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1991) *apud* Pereira (2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os critérios definidos para o estudo encontram-se subdivididos em subgrupos, sendo esses ambiental, social e econômico. A Figura 3 apresenta a estrutura hierárquica construída a partir de tais critérios.

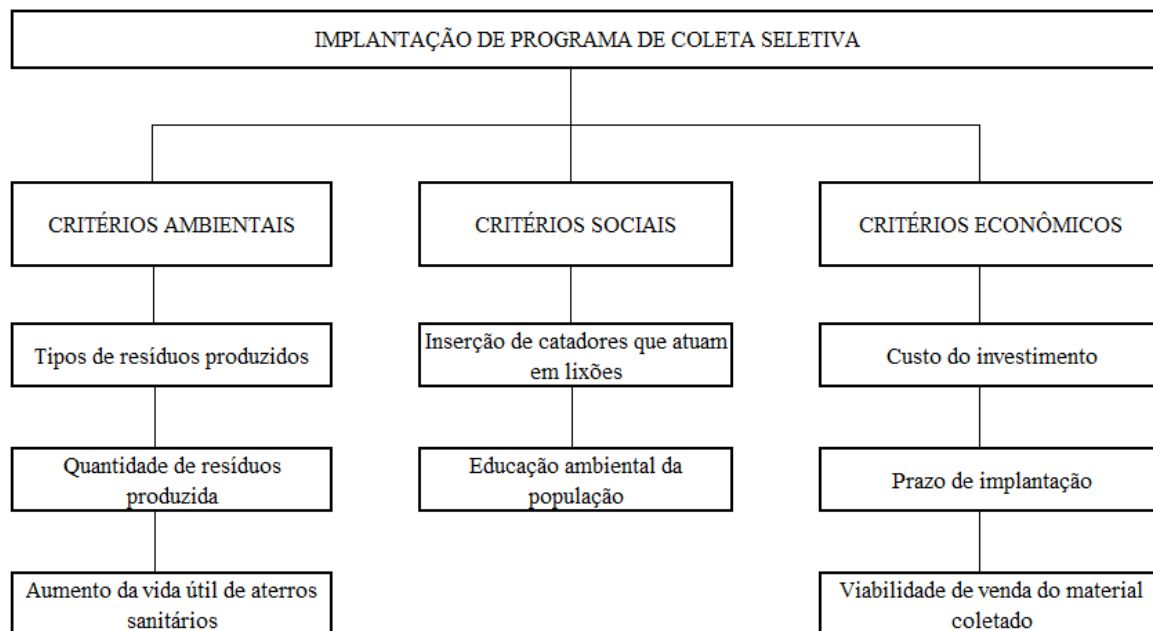


Figura 3 – Estrutura hierárquica do estudo

A cada par de critérios foram atribuídos pesos de 1 a 9, construindo-se desta forma a matriz de julgamento (Figura 4). Em seguida, por meio da Equação 1, construiu-se a matriz normalizada \*A (Figura 5).

	Tipos de resíduos produzidos	Quantidade de resíduos produzida	Aumento da vida útil do aterro	Inserção de catadores	Educação ambiental	Custo do investimento	Prazo de implantação	Viabilidade de venda do material
Tipos de resíduos produzidos	1	3	3	3	1/3	1/3	5	1/3
Quantidade de resíduos produzida	1/3	1	1/4	1/2	1/4	1/3	4	1/4
Aumento da vida útil do aterro	1/3	4	1	3	1/3	1/2	5	1/3
Inserção de catadores	1/3	2	1/3	1	1/3	1/3	5	1/3
Educação ambiental	3	4	3	3	1	1/2	7	1/2
Custo do investimento	3	3	2	3	2	1	5	2
Prazo de implantação	1/5	1/4	1/5	1/5	1/7	1/5	1	1/5
Viabilidade de venda do material	3	4	3	3	2	1/2	5	1

Figura 4 – Matriz de julgamentos A

	Tipos de resíduos	Quantidade de resíduos	Aumento da vida útil do	Inserção de	Educação ambiental	Custo do investimento	Prazo de implantação	Viabilidade de venda do
Tipos de resíduos produzidos	0,089	0,141	0,235	0,180	0,052	0,090	0,135	0,067
Quantidade de resíduos produzida	0,030	0,047	0,020	0,030	0,039	0,090	0,108	0,051
Aumento da vida útil do aterro	0,030	0,188	0,078	0,180	0,052	0,135	0,135	0,067
Inserção de catadores	0,030	0,094	0,026	0,060	0,052	0,090	0,135	0,067
Educação ambiental	0,268	0,188	0,235	0,180	0,156	0,135	0,189	0,101
Custo do investimento	0,268	0,141	0,156	0,180	0,313	0,270	0,135	0,404
Prazo de implantação	0,018	0,012	0,016	0,012	0,022	0,054	0,027	0,040
Viabilidade de venda do material	0,268	0,188	0,235	0,180	0,313	0,135	0,135	0,202

Figura 5 – Matriz normalizada derivada da matriz A

Mostrando-se necessária a obtenção dos vetores B e C, do  $\lambda_{\text{máx}}$  e do índice de consistência, para se chegar à razão de consistência, estes são apresentados na Figura 6.

	Vetor B		Vetor C
Tipos de resíduos produzidos	1,145	Tipos de resíduos produzidos	9,253
Quantidade de RSU produzida	0,430	Quantidade de RSU produzida	8,310
Aumento da vida útil do aterro	0,936	Aumento da vida útil do aterro	8,653
Inserção de catadores	0,583	Inserção de catadores	8,412
Educação ambiental	1,688	Educação ambiental	9,301
Custo do investimento	2,087	Custo do investimento	8,940
Prazo de implantação	0,212	Prazo de implantação	8,448
Viabilidade de venda do material	1,923	Viabilidade de venda do material	9,293

$\lambda_{\text{máx}}$

8,826
-------

IC

0,118
-------

Figura 6 – Representação dos valores encontrados para o vetor B e C, para o  $\lambda_{\text{máx}}$  e para o índice de consistência

Assim, com o IC, e o IR encontrado na Tabela, (1,41 para matriz de ordem 8), foi possível chegar à razão de consistência de 0,084, confirmando que o estudo é coerente e que os pesos atribuídos são razoáveis perante à subjetividade imputada a este tipo de avaliação.

No que diz respeito às PML, a Figura 7 apresenta os resultados referentes a cada critério, em ordem decrescente.

	PML
Custo do investimento	0,233
Viabilidade de venda do material	0,207
Educação ambiental	0,182
Tipos de resíduos produzidos	0,124
Aumento da vida útil do aterro	0,108
Inserção de catadores	0,069
Quantidade de RSU produzida	0,052
Prazo de implantação	0,025

Figura 7 – Demonstração das prioridades em razão de cada critério avaliado

O que se percebe, por meio da Figura 7, é que os aspectos econômicos relacionados à implantação de programas de coleta seletiva ainda sobressaem-se aos demais critérios. Nota-se ainda que tais iniciativas demandam de amplo programa de educação ambiental da população, principalmente no que tange a segregação dos resíduos nas residências.

A inserção de catadores, tida como uma vantagem social da coleta seletiva, recebeu pouco enfoque, uma vez que somente esta ação não é suficiente na retirada de tais trabalhadores de áreas de risco como são os lixões, considerando ainda que outros aspectos mostram-se mais relevantes que este no dimensionamento de um sistema como este. Já a identificação do tipo de resíduos produzido é essencial, uma vez que se não houver produção significativa de material reciclável na geração de RSU, a coleta seletiva não será uma alternativa viável.

Outro aspecto ambiental que chama a atenção na avaliação é o aumento da vida útil de aterros sanitários. Tal critério está ainda estritamente relacionado aos fatores econômicos, uma vez que, com menores quantidades de resíduos sendo encaminhados a estes locais de disposição, gastos despendidos com novas áreas serão eliminados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu afirmar a maior importância de critérios econômicos aos demais quando se considera o dimensionamento de sistemas de coleta seletiva, salientando-se, porém, a necessidade de integração dos diversos aspectos relacionados a esta temática para que se possa decidir por melhores alternativas sem desconsiderar nenhuma variável.

O método AHP foi considerado apto a avaliar os critérios associados à implantação de programas de coleta seletiva, por se demonstrar flexível e representar credibilidade e coerência por meio da obtenção da razão de consistência, sendo que o mesmo pode ser ainda utilizado em outras questões relacionadas à gestão de resíduos.

Além disso, tal avaliação é considerada interessante no auxílio à tomada de decisões por parte da administração pública, vindo como uma ferramenta útil na avaliação de critérios e

alternativas referentes aos diversos aspectos e problemas enfrentados nos centros urbanos atualmente.

## REFERÊNCIAS

ALBERTIN, R. M. *Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio do Índio – Estado do Paraná*. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2011.

BRASIL. *Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm). Acesso em 16 nov. 2011.

CAMPOS, A. J. M. *Análise de critérios de decisão em estratégia de arranjos produtivos locais: um estudo aplicando o processo de hierarquia analítica (AHP) no setor de cerâmica*. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

FEO, G.; GISI, S. *Using an innovative criteria weighting tool for stakeholders involvement to rank MSW facility sites with the AHP*. Waste Management, v. 30, issue 11, 2010, p. 2370-2382. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10002199>>. Acesso em 27 de abril de 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219 p.

KARAGIANNIDIS, A.; PAPAGEORGIOU, A.; PERKOULIDIS, G.; SANIDA, G.; SAMARAS, P. *A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: A case study for Central Macedonia*. Waste Management, v. 30, issue 2, February 2010, p. 251-262. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09003407>>. Acesso em 24 de abril de 2012.

MARCHEZETTI, A. L. *Avaliação de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares pela aplicação do método AHP: Estudo de caso da região metropolitana de Curitiba*. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. *Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares*. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, 2011, p. 173-187.

MONTEIRO, J. H. P. et. al. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 193 p.

MORAES, E. *Diagnóstico da gestão de resíduos sólidos urbanos de sete municípios da região metropolitana de Maringá, Paraná*. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2011.

PEREIRA, S. D. L. *Modelagem da decisão por pacotes de viagem: um estudo usando o processo de hierarquia analítica – AHP*. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.



PROSAB – PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. *Metodologias e Técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 65 p.

SOUZA, P. R. B. *A parceria na coleta seletiva de Londrina sob a ótica da economia dos custos de transação: um estudo de caso*. 2005. 234 f. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Estadual de Maringá e Universidade Estadual de Londrina. Maringá, 2005.

STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. (organizadores). *Resíduos: como lidar com recursos naturais*. São Leopoldo: Oikos, 2008. 220 p.

VIDAL, L. A.; SAHIN, E.; MARTELLI, N.; BERHOUNE, M.; BONAN, B. *Applying AHP to select drugs to be produced by anticipation in a chemotherapy compounding unit*. *Expert Systems with Applications*, v. 37, issue 2, 2010, p. 1528–1534.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417409006289>>.

Acesso em 25 de abril de 2012