

# AHP na seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos

Fernando José Araújo da Silva<sup>1\*</sup> e Raimundo Oliveira de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Coordenadoria de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Av. Tenente Raimundo Rocha, s/n, 63040-360, Campus Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: fjas@cariri.ufc.br

**RESUMO.** Diversos métodos foram desenvolvidos para auxiliar os tomadores de decisão. Destaque é dado aos processos multicriteriais que exigem, entretanto, análise e síntese apropriada das informações disponíveis. Diferentes variáveis objetivas ou subjetivas são possíveis (e.g. custos, percepção, quantidades, produtividade e ambiente), e devem ser simplificadas para obtenção da melhor solução. Assim, a Análise Hierárquica de Processo (AHP) com decomposição e síntese das relações entre critérios, para que se chegue a uma priorização no processo de escolha, aproxima-se de uma boa resposta para medição única de desempenho. O método foi empregado para a seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos, considerando atributos relativos às alternativas disponibilizadas. A validação do método apresentado foi alcançada por meio de estudo demonstrativo para comparação entre três modelos de coletores-compactadores em análise.

**Palavras-chave:** compactador de lixo, análise hierárquica de processo, decisão multicritério.

**ABSTRACT. AHP for the selection of solid waste truck-compactors.** There are different methods developed to aid decision makers. Multicriteria processes are emphasized and demand adequate analysis and synthesis of the available information. Objective and subjective variables (for instance: cost, perception, quantities, productivity and environment) must be simplified in order to obtain the best solution. The Analytic Hierarchy Process (AHP) provides a good answer for the quantitative measurement in multivariable decision problems. The method allows decomposition and synthesis of selected criteria, in a comparative process with prioritization of the best alternative. In this paper the AHP method was applied for the selection of a solid waste truck-compactator.

**Keywords:** solid waste truck-compactator, analytic hierarchy process, multicriteria decision.

## Introdução

A coleta de resíduos domiciliares representa a maior parte dos custos deste serviço público (entre 50 e 80%), conforme relatam Kaseva e Mbuligwe (2005) e Simonetto e Borenstein (2007). O emprego apropriado de veículos coletores exige a adoção de critérios técnicos bem definidos, como a quantidade de resíduos, formas de acondicionamento e condições de acesso ao ponto de coleta (IPT, 2000).

Conforme a necessidade, o veículo coletor pode dispor de sistema compactador, para comprimir ou diminuir as dimensões do volume de resíduo coletado. Os compactadores presentes nos veículos coletores atuam por meio de uma placa, ou por um sistema de parafuso sem fim, com pás helicoidais. A seleção e aquisição desses equipamentos, denominados de caminhões coletores-compactadores, são usualmente definidas por monocritério: a relação benefício/custo, que destaca mais o aspecto

financeiro (custo capital e de manutenção). É importante considerar critérios adicionais, em que o processo decisório resulte na melhor aquisição possível. Portanto, para o contexto descrito se exige uma tomada de decisão multicriterial.

A compra de coletores-compactadores de lixo (i.e. resíduos sólidos urbanos domiciliares) pode ser tarefa complexa em razão dos critérios envolvidos. Gomes e Martins (2003) ressaltam que o tipo de coletor-compactador influencia as etapas posteriores do gerenciamento. Em tal contexto, Zanta e Ferreira (2003) assinalam que a seleção de um perfil tecnológico é decisão em nível de gestão, que visa melhorar o desempenho de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na esfera administrativa.

A tomada de decisão é fato cotidiano presente em todas as atividades humanas. Para tal, apresentam-se diferentes caminhos ou alternativas possíveis, e opta-se por aquela que melhor satisfizer os objetivos pretendidos. Na verdade o

processo de decisão é uma atividade complexa e potencialmente controversa, pois a escolha envolve não apenas alternativas, mas também pontos de vista e formas de avaliação (DAELLENBACH; McNICKLE, 2005). Tais percepções resultam em múltiplos fatores que, direta e indiretamente, estão relacionados com a decisão a ser tomada.

As decisões ensejam objetivos tangíveis e/ou intangíveis. Podem também envolver aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos, de forma que os interesses em conflito que as cercam tornam-se significativos. Dificulta-se assim o processo de escolha. O fato é que diversas tarefas de planejamento, controle, análise e monitoramento, nas diferentes esferas da economia, produção, educação e ecologia são reduzíveis a problemas de decisão multicritério (MIKHAILOV; TSVETINOV, 2004; TORRA; NARUKAWA, 2007).

Decisões multicritério podem ser divididas em discretas e contínuas, associadas a uma percepção formal. Na primeira, um número finito de alternativas é dado em formato tabular, constituindo problema analítico. Já na segunda categoria há um número infinito de alternativas que são submetidas a um processo de otimização. É claro que ainda assim não há apenas uma alternativa que permita a gradação ótima de todos os critérios.

A decisão é realizada por indivíduos que, de posse de informações, refletem suas preferências concernentes à qualidade das alternativas pretendidas. Portanto, trata-se também de um processo cognitivo baseado em estratégias simplificadoras (i.e. heurísticas). De maneira geral, o processo decisório racional obedece à seguinte sequência: definição do problema, identificação dos critérios, ponderação dos critérios, geração de alternativas, classificação das alternativas, identificação das alternativas segundo os critérios e identificação da solução ótima (GOODWIN; WRIGHT, 2004).

Os processos de decisão multicritério empregam escalas de medidas para ordenar as alternativas, com respeito a diferentes atributos, critérios ou preferências. As escalas permitem também medir a relativa importância dos critérios, com relação àqueles de nível superior à meta em si. Dentre diferentes abordagens de decisão multicritério, a AHP (Análise Hierárquica de Processo) é um recurso destacado, com diversas aplicações (e.g. LAMATA, 2004; BEYNON, 2006; OCAMPO-DUQUE et al., 2006; TASLICALI; ERCAN, 2006; BRUEN, 2008; KAIN; SÖDERBERG, 2008; HE et al., 2008). É objetivo da

presente comunicação demonstrar a aplicação da AHP (Análise Hierárquica de Processo) para a seleção de equipamento coletor-compactador de resíduos sólidos urbanos.

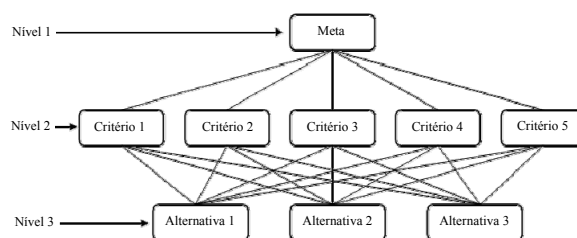
## Material e métodos

### A análise hierárquica de processo (AHP)

A idéia central da teoria da análise hierárquica, introduzida por Saaty (1980) é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações pareadas, para minimização de falhas no processo decisório.

Para o autor, a teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana. Diante de um grande número de elementos (controláveis ou não) a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando o mesmo representa o objetivo do processo decisório.

Na AHP pondera-se a importância relativa de critérios pertinentes às alternativas consideradas na decisão a ser tomada. A análise propõe hierarquizar opiniões subjetivas sobre categorias e direcionadores de valor, para tornar possível um tratamento quantitativo. O processo conduz a uma estimativa numérica da importância relativa de cada um dos direcionadores. São estabelecidas então prioridades entre critérios, conforme escala de dominância relativa. O resultado é um sistema hierárquico de atributos para diferentes critérios pré-estabelecidos, cuja estruturação é representada na Figura 1.



Fonte: adaptado de Leung e Cao (2001).

**Figura 1.** Representação do processo decisório hierárquico.

Quando são estabelecidos os critérios direcionadores do processo decisório é evidente que há diferenças na definição de valores de percepção. A AHP recorre então a uma escala linear de valoração da percepção linguística para distinguir tais diferenças (Tabela 1).

Tabela 1. Escala fundamental de Saaty.

Escala verbal	Valores numéricos	Comentário
Igual importância	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos
Importância moderada	3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre outro
Mais importante	5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente em relação a outro
Muito mais importante	7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8	Quando se procura condições de compromisso entre duas definições

Fonte: Saaty (1980).

Para o desenvolvimento matemático do processo são admitidos os seguintes axiomas gerais derivados da escala de medição da composição hierárquica (SAATY, 1986):

Axioma 1: Reciprocidade – se um elemento (i.e. critério, preferência ou atributo) A é x vezes tão importante quanto B, portanto, B é  $x^{-1}$  tão importante quanto A;

Axioma 2: Homogeneidade – somente elementos comparáveis são comparados. É essencial a comparação de conjuntos/elementos similares, pois erros de julgamento tornam-se tanto maiores, quanto maiores forem às disparidades entre conjuntos/elementos comparados;

Axioma 3: Independência - a importância relativa de elementos em qualquer nível independe de elementos incluídos em níveis inferiores;

Axioma 4: Expectativa – a hierarquia deve estar completa, com inclusão de todos os critérios e alternativas. Ao mesmo tempo, nenhum critério ou alternativa é deixado de lado, sem exceções, para inclusão de alternativas e critérios.

Com base na escala fundamental efetua-se uma comparação pareada entre n critérios, para compor uma matriz quadrada  $A = [w_{ij}]_{n \times n}$ , a partir da razão de pesos  $w_{ij} = w_i / w_j$ . Admite-se inicialmente não haver inconsistência, de maneira que  $w_{ij} = w_{ji}^{-1}$ , para qualquer índice i e j.

Em seguida a matriz de comparação pareada é normalizada para permitir o cálculo do vetor peso (W), por meio da média dos valores das linhas desta, que tem como resultado uma matriz coluna. Este vetor determina a importância relativa de cada critério.

O produto da matriz peso pela matriz de comparação resulta na matriz coluna (Y = W.A) que permitirá o cálculo de  $\lambda_{max}$ . Condicionalmente este parâmetro deverá ser  $\cong n$  em cada linha, para admitir consistência no julgamento inicial que compôs a matriz

pareada. Pequenas mudanças em  $w_{ij}$  implicam pequenas alterações no valor de  $\lambda_{max}$ . O desvio deste último em relação a n é a medida de consistência, verificada pelo Índice de Consistência (IC) =  $(\lambda_{max} - n)/(n-1)$ .

A verificação final da inconsistência da matriz de comparação pareada é obtida pela comparação de IC com o Índice de Consistência Randômico (IR), que corresponde à máxima inconsistência admissível para uma matriz de dimensão n. Os valores de IR para matrizes de diferentes dimensões são mostrados na Tabela 2 que devem ser correspondentes ao tamanho da matriz A pré-definida pelo decisor.

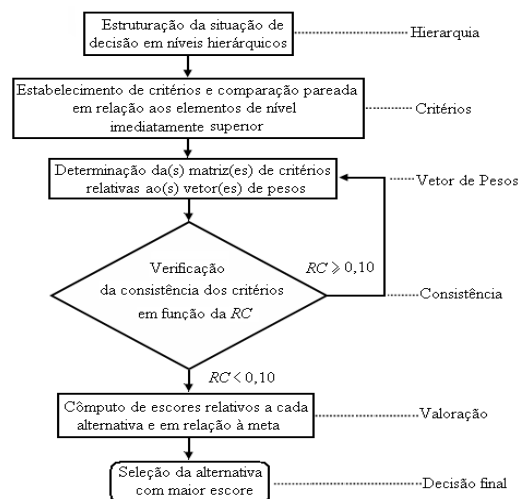
Tabela 2. Valores de IR para matrizes de diferentes tamanhos.

Dimensão da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Gass e Rapsçak (2004).

O valor de  $RC = IC/IR$  refere-se à inconsistência no julgamento do decisor e deve ser inferior a 0,1. Essa é a variância do erro de estimativa da matriz de comparação. Caso seja igual ou superior, procede-se a revisão dos critérios de julgamentos. O cômputo iterativo na verificação de consistência, até que  $RC < 0,1$ , permite a análise desejada, com a valoração das alternativas. Ao final seleciona-se aquela que obtiver maior escore. Caso existam subcritérios, de acordo com a complexidade do processo, efetua-se o mesmo procedimento.

Várias descrições didáticas e boas discussões sobre o método podem ser facilmente encontradas (e.g. ARAGUÓN; MORENO-JIMÉNEZ, 2003; ESCOBAR et al., 2004; STEIN; MIZZI, 2007; VARGAS, 2008). Em abordagem síntese, o fluxograma da Figura 2 serve de orientação geral à aplicação da AHP.



Fonte: baseado em Goodwin e Wright (2004).

Figura 2. Fluxograma geral de aplicação da AHP.

### Abordagem

O estudo aqui empreendido tem enfoque teórico-aplicativo, com caráter demonstrativo. A abordagem considerou as especificações necessárias à seleção e aquisição de veículos coletor-compactadores para coleta regular de lixo.

Por apresentar natureza técnica, com grau de especificidade significativo, considerou-se que o(s) decisor(es) deveria(m) possuir cultura de compatibilidade com o problema. Assim, foram consultados quatro especialistas de empresas prestadoras de serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos. Desses profissionais foram elicitados os principais critérios concernentes à aquisição de caminhões coletores-compactadores. Os critérios admitidos para aplicação da AHP na decisão de seleção e aquisição destes veículos foram:

**Critério 1 (C<sub>1</sub>):** Durabilidade - o produto deve resistir às intempéries e eventuais acidentes que possam acontecer, lembrando que o lixo apresenta elevado potencial de corrosão;

**Critério 2 (C<sub>2</sub>):** Preço - em qualquer aquisição é necessário considerar um equipamento de baixo preço, que possa potencialmente maximizar a relação benefício/custo;

**Critério 3 (C<sub>3</sub>):** Assistência técnica - caso o coletor-compactador apresente falha funcional é necessária a disponibilidade de suporte técnico do fabricante, com mão-de-obra especializada, peças de reposição, atendimento em tempo hábil e com qualidade;

**Critério 4 (C<sub>4</sub>):** Operabilidade - importa dispor de um equipamento cuja operação seja simples, com exigência de baixo grau de treinamento, com pouco ou nenhum impacto sobre a reserva técnica do prestador do serviço;

**Critério 5 (C<sub>5</sub>):** Estética - tem influência sobre a comunicação do serviço prestado e com a imagem passada à população pela empresa, a partir do tipo de equipamento empregado.

A definição dos pesos dos critérios para construção da matriz de comparação pareada foi apontada pelos especialistas, que se basearam somente na escala fundamental de Saaty. Os especialistas recomendaram ainda que pelo menos três fabricantes de coletores-compactadores fossem pré-selecionados. Portanto, foram consideradas três alternativas, nomeadas A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, e cinco critérios (C<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>). A representação hierárquica da aplicação foi, portanto, igual à representada na Figura 1.

Importa destacar que caso fosse selecionado um número maior de fabricantes/marcas de coletores-

compactadores, ou de critérios, o cômputo empreendido no método se tornaria mais extenso e complexo. Desta forma, o cálculo em si constituiria uma limitação à aplicação corriqueira da AHP. Também, é razoável que o decisor expanda a aplicação do método para tomadas de decisão em outras áreas. Para tais situações é necessário o emprego de sistemas computacionais.

O aplicador da AHP deve estar ciente de que o estabelecimento do número de julgamentos demanda conhecimento técnico vertical. Paralelo a isto, o conhecimento individual do decisor, e sua capacidade de refletir sobre os diferentes critérios considerados na análise, é fundamental para uma aplicação eficaz do método. A observação destes requisitos (i.e. conhecimento técnico formal e experiência) minimiza as interferências subjetivas. Assim, quando o grau de consistência de uma matriz pareada não for alcançado, o processo iterativo para obter um valor de  $RC < 0,10$  não se torna repetitivo ou confuso.

### Resultados e discussão

A Tabela 3 representa o cômputo da matriz de comparação pareada. A matriz normalizada (Tabela 4) apresentou a seguinte priorização: (C<sub>1</sub>) Durabilidade > (C<sub>2</sub>) Preço > (C<sub>3</sub>) Assistência Técnica > (C<sub>4</sub>) Operabilidade > (C<sub>5</sub>) Estética.

**Tabela 3.** Comparação pareada entre os critérios.

Critérios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
C <sub>1</sub>	1/1	1/1	5/1	7/1	9/1
C <sub>2</sub>	1/1	1/1	5/1	4/1	9/1
C <sub>3</sub>	1/5	1/5	1/1	6/1	5/1
C <sub>4</sub>	1/7	1/4	1/6	1/1	2/1
C <sub>5</sub>	1/9	1/9	1/5	1/2	1/1
Soma	2,4540	2,5611	11,3667	18,4967	26,0018

O produto da matriz pareada de critérios com a matriz do vetor de priorização ( $W$  na Tabela 4) resultou no vetor  $Y$  com somatório e média da razão de pesos ( $Y/W$ ) próxima à dimensão da matriz de comparação pareada (Tabela 5). Isso demonstra a consistência da matriz original. A verificação da inconsistência dessa matriz obteve  $IC$  de 0,1065 e  $RC$  de 0,0951.

**Tabela 4.** Normalização dos pesos dos critérios da comparação pareada e o vetor peso.

Critérios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	Vetor peso ( $W$ )
C <sub>1</sub>	0,4075	0,3905	0,4399	0,3783	0,3462	0,3925
C <sub>2</sub>	0,4075	0,3905	0,4399	0,2163	0,3462	0,3601
C <sub>3</sub>	0,0815	0,0781	0,0880	0,3243	0,1923	0,1528
C <sub>4</sub>	0,0582	0,0976	0,0147	0,0541	0,0769	0,0603
C <sub>5</sub>	0,0453	0,0434	0,0176	0,0270	0,0385	0,0343
Soma	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

**Tabela 5.** Produtos matriciais para verificação da máxima inconsistência da matriz de critérios.

Critérios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	Y = W.A	Y/W
C <sub>1</sub>	0,4075	0,3905	0,4399	0,3783	0,3462	2,2478	5,7274
C <sub>2</sub>	0,4075	0,3905	0,4399	0,2163	0,3462	2,0671	5,7410
C <sub>3</sub>	0,0815	0,0781	0,0880	0,3243	0,1923	0,8368	5,4751
C <sub>4</sub>	0,0582	0,0976	0,0147	0,0541	0,0769	0,3006	4,9847
C <sub>5</sub>	0,0453	0,0434	0,0176	0,0270	0,0385	0,1787	5,2018
Soma	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	5,6309	5,4260 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>média.

Os critérios já avaliados foram então comparados em relação aos coletores-compactadores pré-selecionados (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>). Buscou-se determinar quanto cada alternativa satisfaz ou considera o impacto de cada critério. Repetido então o procedimento matemático já mostrado, cada alternativa destacou individualmente algum critério específico. A verificação da inconsistência observou valores de RC que obedeceram à seguinte ordem: C<sub>4</sub> (0,0158) < C<sub>2</sub> (0,0464) < C<sub>3</sub> (0,0745) < C<sub>1</sub> (0,0748) < C<sub>5</sub> (0,0935).

Quanto à relevância dos critérios em cada alternativa observou-se que em A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> o maior destaque foi o Preço (C<sub>2</sub>), seguido da Durabilidade (C<sub>1</sub>), Assistência Técnica (C<sub>3</sub>), Operabilidade (C<sub>4</sub>) e Estética (C<sub>5</sub>). No caso da alternativa A<sub>1</sub> houve uma inversão da posição do critério C<sub>1</sub> em relação a C<sub>2</sub>. Os escores dos critérios destacados em cada alternativa estão na Tabela 6. A tabela traz ainda o somatório de escores dos critérios concernentes a cada alternativa. A pontuação mais alta indica aquela que melhor atendeu aos requisitos definidos na matriz de priorização, sendo no presente estudo a proposição A<sub>1</sub>.

**Tabela 6.** Escores para seleção final do compactador de lixo.

Critérios	Vetor peso (W)	Compactador		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Durabilidade	0,3925	0,2431	0,1115	0,0378
Preço	0,3601	0,1889	0,1202	0,0510
Assistência Técnica	0,1528	0,0834	0,0565	0,0129
Operabilidade	0,0603	0,0234	0,0267	0,0102
Estética	0,0343	0,0176	0,0124	0,0044
Soma	1,0000	0,5563	0,3273	0,1164

## Conclusão

Métodos de apoio à decisão beneficiam tomadores de decisão com a operacionalização de princípios de diversas áreas do conhecimento em contexto prático. O processo decisório multicritério se expande de maneira célere e as diferentes técnicas disponíveis ajudam o decisor na análise e síntese de informações.

No presente estudo demonstrou-se a aplicabilidade da análise hierárquica de processo (AHP) como método de decisão multicritério na seleção de caminhões coletores-compactadores de lixo. O processo decisório pode ser melhorado a

partir da AHP, para atender às demandas dos gestores de empresas do setor (públicas ou privadas), permitindo operar quantitativamente variáveis qualitativas.

A abordagem empreendida considerou opiniões de especialistas que atuam na gestão de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Assim, para a prática foram adotados cinco critérios (C<sub>1</sub> - Durabilidade, C<sub>2</sub> - Preço, C<sub>3</sub> - Assistência Técnica, C<sub>4</sub> - Operabilidade e C<sub>5</sub> - Estética) relativos a três alternativas (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>). Dentre esses os de maior relevância foram durabilidade e preço. Em razão da subjetividade e complexidade do julgamento humano, a AHP exige verificar a validade dos resultados. Portanto, comprovou-se a consistência de julgamento de todas as matrizes de comparação, sendo obedecido o limite de inconsistência inferior a 10%.

## Referências

- ARAGUÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M. The geometric consistency index: approximated thresholds. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 1, p. 137-145, 2003.
- BEYNON, M. J. The role of the DS/AHP in identifying inter-group alliances and majority rule within group decision making. **Group Decision and Negotiation**, v. 15, n. 1, p. 21-42, 2006.
- BRUEN, M. Systems analysis – a new paradigm and decision support tools for the water framework directive. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 12, n. 3, p. 739-749, 2008.
- DAELLENBACH, H. G.; McNICKLE, D. C. **Management science** – decision making through systems thinking. New York: Palgrave Macmillan, 2005.
- ESCOBAR, M. T.; ARAGUÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M. A note on AHP group consistency for the row geometric mean prioritization procedure. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 2, p. 318-322, 2004.
- GASS, S. I.; RAPSCÁK, T. Singular value decomposition in AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 154, n. 3, p. 573-584, 2004.
- GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. In: **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**, 2003. Florianópolis: Prosab/ABES, 2003. Cap. 3, p. 51-105.
- GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision analysis for management judgment**. 3rd ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd. 2004.
- HE, H.; ZHOU, J.; WU, Y.; ZHANG, W.; XIE, X. Modelling the response of surface water quality to the urbanization in Xi'an, China. **Journal of Environmental Management**, v. 86, n. 4, p. 731-749, 2008.

- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual de gerenciamento integrado de lixo municipal**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. p. 370.
- KAIN, J. H.; SÖDERBERG, H. Management of complex knowledge in planning for sustainable development: the use of multi-criteria decision aids. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 28, n. 1, p. 7-21, 2008.
- KASEVA, M. E.; MBULIGWE, S. E. Appraisal of solid waste collection following private sector involvement in Dar es Salaam city, Tanzania. **Habitat International**, v. 29, n. 2, p. 353-366, 2005.
- LAMATA, M. T. Ranking of alternatives with ordered weighted averaging operators. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 19, n. 5, p. 473-482, 2004.
- LEUNG, L. C.; CAO, D. On the efficacy of modeling multi-attribute decision problems using AHP and Sinarchy. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 1, p. 39-49, 2001.
- MIKHAILOV, L.; TSVETINOV, P. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. **Applied Soft Computing**, v. 5, n. 1, p. 23-33, 2004.
- OCAMPO-DUQUE, W.; FERRÉ-HUGUET, N.; DOMINGO, J. L.; SCHUHMACHER, M. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: a case study. **Environment International**, v. 32, n. 6, p. 733-742, 2006.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process – planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v. 32, n. 7, p. 841-855, 1986.
- SIMONETTO, E. O.; BORENSTEIN, D. A decision support system for the operational planning of solid waste collection. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1286-1297, 2007.
- STEIN, W. E.; MIZZI, P. J. The harmonic consistency index for the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 177, n. 1, p. 488-497, 2007.
- TASLICALI, A. K.; ERCAN, S. The analytic hierarchy & the analytic network processes in multicriteria decision making: a comparative study. **Journal of Aeronautics and Space Technologies**, v. 2, n. 4, p. 55-65, 2006.
- TORRA, V.; NARUKAWA, Y. **Modeling decisions – information fusion and aggregation operators**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- VARGAS, L. G. The consistency index in reciprocal matrices: comparison of deterministic and statistical approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 191, n. 2, p. 454-463, 2008.
- ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Florianópolis: Prosab/ABES, 2003. Cap. 1, p. 1-18.

*Received on September 28, 2009.*

*Accepted on October 6, 2010.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.