

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO THOR APLICADO NA AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUO PLÁSTICO

Rogério Valle

Universidade Federal do Rio de Janeiro
SAGE/COPPE/UFRJ - C.P. 68507 CEP 21945-970
Bloco I – Sala 236 – CT – Cidade Universitária - RJ
valle@pep.ufrj.br

Rosângela Cardoso

Universidade Federal do Rio de Janeiro
SAGE/COPPE/UFRJ - C.P. 68507 CEP 21945-970
Bloco I – Sala 236 – CT – Cidade Universitária - RJ
rosangela@pep.ufrj.br

Lúcia H. Xavier

Universidade Federal do Rio de Janeiro
SAGE/COPPE/UFRJ - C.P. 68507 CEP 21945-970
Bloco I – Sala 236 – CT – Cidade Universitária - RJ
lucia@pep.ufrj.br

CF Carlos Francisco Simões Gomes

CASNAV (Brazilian Naval Center of System Analysis)
Pr. Barão de Ladário s/n°, Ilha das Cobras, Edifício 8, 3° andar – Centro
Rio de Janeiro – RJ - CEP 20091-000
simoes@casnav.mar.mil.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão através da comparação entre as diversas alternativas existentes para destinação de resíduos plásticos pós-consumidos. Para tanto, definiram-se critérios que influenciam diretamente a sustentabilidade ambiental das possíveis alternativas e utilizou-se como ferramenta a Metodologia de Análise Multicritério THOR e o software que lhe dá suporte. Como resultado, observou-se que as alternativas de Reutilização e Reciclagem Mecânica são as que melhor atendem aos critérios preestabelecidos, enquanto as outras alternativas, de acordo com as preferências de cada decisor, demonstraram ser quase 50% menos preferidas que as duas primeiras classificadas perante os mesmos requisitos.

Palavras-Chaves: Tomada de Decisão, Metodologia de Análise Multicritério, Resíduo Plástico, Avaliação de Impacto Ambiental, Sistema de Apoio a Decisão.

Abstract

The aim purpose of this work is to contribute to decision making through the comparison of different post-consume waste material destination alternatives. In order to achieve it, criteria were established those have direct influence on environmental impact assessment. It was carried on by THOR, which is a multicriteria analysis methodology. As a result, it was observed that the Reuse and Mechanical Recycling alternatives were better classified according to pre established criteria, whereas, the other alternatives are modified

according to considerations of each decision-maker and they are in average, 50 % less interesting than the two first classified.

Keywords: Decision making, Multicriteria analysis methodology, Plastic waste, Environmental impact assessment, Support system.

1. INTRODUÇÃO.

As indústrias fabricam numerosos produtos para satisfazer as necessidades humanas, mas ao mesmo tempo, geram muitos subprodutos perigosos como emissões, efluentes e resíduos, que dispersam no ambiente, provocam mudanças na qualidade ambiental e afetam a saúde de seres humanos, animais, plantas e ecossistemas. O gerenciamento ambiental envolve prevenir ou enfraquecer os efeitos das atividades humanas indesejáveis, e os gerentes devem cada vez mais reconhecer que a melhoria do desempenho ambiental é o melhor para a sociedade. Neste contexto, todos os atores são responsáveis na hora de decidir a alternativa mais adequada para promover a proteção ambiental.

Tomar uma decisão é fazer uma escolha entre diversas alternativas. A eficiência na tomada de decisão consiste na escolha da alternativa que, tanto quanto possível, ofereça os melhores resultados. As alternativas factíveis de atender o objetivo da decisão e, portanto, selecionadas para avaliação, serão comparadas em função de critérios e sob a influência de atributos.

A distinção entre o Apoio Multicritério à Decisão e as metodologias tradicionais de avaliação é o grau de incomparabilidade dos valores do decisor (tomador de decisão ou agente de decisão) nos modelos de avaliação. É preciso aceitar que a subjetividade está sempre presente nos processos de decisão. Nesse sentido, busca-se construir modelos que legitimem a elaboração de juízos de valores, juízos estes necessariamente subjetivos, onde os modelos são a estrutura de valores dos decisores associado a cada critério. O problema fundamental da decisão Multicritério é associar a relação de preferências (subjetivas) entre os vários critérios no processo de decisão.

A estruturação do modelo é fundamental em um processo de apoio à decisão, que tem um caráter misto entre a ciência e a arte. O caráter misto provém da ausência de métodos matemáticos para conduzir a estruturação. Isto implica que é impossível conceber um procedimento genérico de estruturação cuja aplicação possa garantir a unidade e validade do modelo concebido.

O trabalho de estruturação visa a construção de um modelo mais ou menos formalizado, capaz de ser aceito pelos decisores como um esquema de representação e organização dos elementos primários de avaliação, e que possa servir de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão interativa com e entre os decisores.

2. ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DO RESÍDUO PLÁSTICO.

Dentre os fatores decorrentes do modelo de consumo vigente, destaca-se a exploração abusiva dos recursos naturais, o alto consumo energético e o aumento tanto no volume quanto na variedade de resíduos produzidos. Diante destes fatos, sugere-se o uso de tecnologias alternativas de produção, elaboração de mecanismos normativos, prolongamento da vida útil dos produtos, implantação de medidas para minimização dos impactos causados pelo descarte de resíduos, bem como, vertentes que considerem a preservação ambiental em função, basicamente, do potencial poluidor dos materiais descartados de forma indevida. Grande parte destes resíduos é destinada a aterros sem estrutura adequada, resultando, desta forma, na contaminação de solos e água nas proximidades destes aterros.

Especialmente na década de 90, foi atribuída uma grande importância às técnicas de valorização de resíduos (PLASTIVIDA/FIPMA, 2001). Tal perspectiva reforçou, por um lado, as alternativas de redução, reutilização e reciclagem (3 R's); mas, por outro lado, retornou o debate sobre a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental destas alternativas.

De acordo com valores recentes (ano de 2004) sobre a composição média do lixo doméstico no Brasil, sabe-se que este é composto de 52% de material orgânico, 28% de papel/papelão, 6% de plástico, 5% de metal, 3% de vidro e 6% de outros materiais¹.

O cenário industrial atual é composto de diferentes materiais, classificados em cinco grandes grupos: metálicos, cerâmicos, poliméricos, compósitos e naturais. A utilização de diversos materiais ou de compósitos (materiais que são compostos por dois ou mais materiais diferentes) num novo produto com o intuito de obter melhoria de propriedades físicas e mecânicas vem se tornando bastante comum, o que dificulta a seleção e até mesmo o processo de reciclagem. As embalagens e os descartáveis são cada vez mais sofisticados, com inúmeros atrativos para estimular o consumo e após seu uso, caso não seja dado o destino correto, podem causar impacto ao ambiente através de suas propriedades como: baixa degradabilidade, capacidade de impermeabilizar, curta vida útil e, em alguns casos, ocupa grandes volumes limitando o espaço para destinação.

O papel e a madeira por serem provenientes de matéria-prima de recurso renovável, e por apresentarem resíduos tóxicos no seu processo de produção, merecem um estudo mais amplo e específico que considere fatores como ocupação de grande área por longos períodos de tempo, potencial energético, degradabilidade, entre outros.

Os materiais orgânicos apresentam baixo potencial de impacto ambiental, tendo em vista a facilidade de degradação de seus compostos em relação aos materiais anteriormente citados, além de apresentarem propriedades que garantem sua utilização como insumo na agricultura e pecuária.

Observando-se o fato do metal e do vidro serem materiais provenientes de fontes não-renováveis e produzirem resíduos não combustíveis, que fundem e retornam ao processo produtivo como matéria-prima de boa qualidade, evidencia uma economia direta de recursos naturais, como matéria-prima e energia na sua extração, o que compensa os custos de coleta e tratamento necessários, além dos benefícios sociais decorrentes.

A escolha do plástico como o material a ser utilizado na análise deste artigo, utilizando a metodologia multicritério, foi feita com base em um estudo prévio das características de diferentes tipos de resinas plásticas, que, em função de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, exigem estudos específicos para cada aplicação. Por exemplo, a resina de Polietileno (PE) pode se apresentar sob as formas de: polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno linear de baixa densidade (LLDPE), polietileno linear de altíssimo peso molecular (UHMWPE), além de seus copolímeros, como o Etileno e acetato de Vinila (EVA), e suas blendas implicando em propriedades diferenciadas. Além da resina de PE existem ainda outros tipos de resinas como: PVC (Policloreto de vinila), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), entre outras, cujas propriedades variam de acordo com a finalidade pretendida. Tais propriedades e suas implicações devem, desta forma, ser avaliadas como fatores positivos ou restritivos em relação às alternativas consideradas, pois podem impedir ou viabilizar alternativas de descarte que contemplem o reaproveitamento de mais de um tipo de plástico.

Na escolha do PE considerou-se ainda o expressivo percentual deste plástico no lixo urbano, conforme **Gráfico 1**, o que justifica a necessidade do levantamento de alternativas que possibilitem o efetivo descarte deste tipo de resíduo plástico.

Como a destinação pressupõe o pós-consumo do produto, as alternativas de reutilização (que reincorporam o produto acabado ao mesmo ciclo ou a um outro ciclo, sem que haja um novo processamento do material) e de reciclagem (com o processamento químico ou mecânico) onde o produto é submetido a um processo como uma solução viável para os principais problemas de destinação de resíduos nos grandes centros urbanos, verificando-se o surgimento de um questionamento acerca da efetividade das diferentes formas de reciclagem. A reciclagem mecânica (secundária), a reciclagem química (terciária) e a reciclagem

¹ www.moderna.com.br/artigos/quimica/0045 (17/02/2004)

energética (quaternária) têm vantagens e limitações baseadas nos seguintes aspectos: características dos resíduos, volume a ser processado, custo da logística reversa, qualidade do produto final, entre outros fatores.

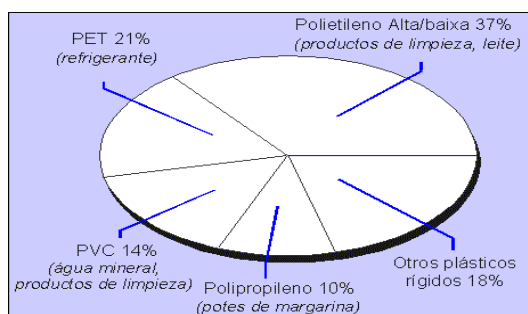


Gráfico 1: Percentagem de resíduos plásticos no lixo urbano²

Outras alternativas comumente empregadas para descarte são a compostagem e a incineração. A compostagem por exigir alto potencial de degradabilidade não é uma alternativa aplicável aos materiais plásticos. Por outro lado, a alternativa de incineração em virtude do alto poder calorífico da resina plástica, podendo apresentar valores próximos ao do carvão e ao do óleo combustível, é indicada para o resíduo de material plástico, podendo contemplar ainda o aproveitamento energético do processo.

2.1. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.

Como a avaliação do impacto ambiental vem ganhando um interesse crescente nos pontos de vista ambiental e econômico, principalmente durante as duas últimas décadas (anos 80 e 90), é que algumas metodologias foram desenvolvidas para contribuir na avaliação qualitativa e/ou quantitativa. Decisores governamentais e organizacionais tornaram os assuntos ambientais um objetivo importante (Saaty, 1990, Zopounidis e Doumpos, 2000).

Tendo como principal objetivo a minimização do desperdício; o impacto ambiental pode ser avaliado basicamente através de três considerações diferentes: pela eliminação do material consumido, ou por tecnologias que fazem o material novamente disponível, ou uma combinação das duas. Em uma breve análise do ciclo de vida de materiais plásticos, que usam como matéria-prima frações do petróleo, que é um recurso não renovável, como também, os impactos causados pela disposição imprópria depois do consumo que, sugere a importância da recuperação da resina ao invés da sua eliminação.

Assim, esta fase identifica o potencial do impacto ambiental causado pelas diferentes alternativas de disposição do lixo plástico que ocorrem pela possível contaminação do ar, água e terra. Neste momento é útil identificar o caminho levado por componentes críticos considerando alternativas de prevenção de poluição que tentam reduzir a quantidade de componentes toxicológicos no ambiente (Whelan e Goff, 1998). Além disto, é considerado também o grau de recuperação para materiais de plástico baseado na metodologia dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar).

Uma hierarquização para as principais formas de destinação já foram sugeridas inicialmente para resíduos do setor automóvel. Como foi proposta, a disposição em aterros seria um das alternativas que exigiriam menos energia enquanto, por outro lado, a redução não só implicaria em mudanças no processo produtivo mas também na provisão de matéria-prima e aquisição pelo consumidor, exigindo, então, mais energia e, deste modo, apresentando mais restrições em relação a sua aplicabilidade.

Não obstante, apesar da possibilidade de uma análise comparativa entre alternativas de destinação, existem algumas dificuldades em se ordenar as alternativas de destinação do lixo. Os principais aspectos são relacionados com as baixas taxas de coleta dos materiais pós-

² www.cempre.org.br (17/02/2004).

consumidos, preços não competitivos devido ao custo dos materiais virgens e a limitações do mercado para o material produzido (reciclado).

3. METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO.

Este trabalho apresenta uma metodologia de análise de decisão, denominada THOR (Gomes, 1999) explorando as capacidades do software como uma ferramenta de apoio de decisão. Uma ordenação de alternativas deveria focalizar nos critérios que são os mais importantes ao fabricante de decisão, e isso lhe ajudará a fazer a escolha exigida.

Devido a uma capacidade limitada da mente humana para comparar simultaneamente vários aspectos de um problema, o THOR pode avaliar entre as alternativas diferentes para os critérios especificados em ordem fazendo uma ordenação as alternativas de decisão. Baseado em uma comparação paritária, o princípio de julgamentos comparativos é aplicado para determinar a importância relativa dos critérios.

3.1. O SISTEMA THOR.

THOR é o primeiro algoritmo para usar simultaneamente, Teoria da Utilidade, Modelagem de Preferência e Teoria de Multi-atributo. O uso destas teorias permite que a atratividade de uma alternativa seja quantificada, pela criação de uma função agregação não-transitiva.

O novo algoritmo (THOR) permite:

- Uma análise mais rápida e eficiente das alternativas, considerando nesta análise o não-determinismo do processo de atribuição de pesos;
- Quantifica o não-determinismo e o reaplica no processo de ordenação das alternativas.

A luz do estado da arte no AMD (Apoio Multicritério à Decisão), o THOR faz as seguintes contribuições:

- I. Primeiro algoritmo híbrido que agrega simultaneamente conceitos da TCA, Teoria dos Conjuntos Nebulosos, Teoria da Utilidade e Modelagem de Preferências;
- II. Ordena alternativas discretas em processos decisórios transitivos ou não;
- III. Primeiro algoritmo que faz a eliminação de critérios redundantes considerando simultaneamente se a informação é dúbia (TCA) e se ocorre elevação da imprecisão do processo de decisão (Teoria dos Conjuntos Nebulosos);
- IV. Quantifica a imprecisão e a utiliza no processo de decisão AMD;
- V. Primeiro algoritmo que permite simultaneamente a entrada de dados de mais de um decisor, possibilitando que estes expressem seu(s) juízo(s) de valor(es) em escala de razões, intervalo ou ordinal.
 - i. A nova fórmula utilizada pelo THOR para atribuição de pesos em escala ordinal foi obtida após o estudo das três fórmulas existentes na literatura;
 - ii. O decisor também pode executar o processo de decisão sem atribuir pesos aos critérios;
 - iii. Elimina a necessidade, de alguns algoritmos que se baseiam na Modelagem de Preferências, de determinar um valor, normalmente arbitrário, para a concordância.

3.2. CRITÉRIOS E ALTERNATIVAS.

Neste estudo, a avaliação de impacto ambiental foi feita de acordo com uma pesquisa sobre as principais alternativas para a disposição de resíduos plásticos e considerando a metodologia dos 3 R's onde as seguintes alternativas foram definidas assim: (a) Incineração, (b) Aterro, (c) Reciclagem Mecânica, (d) Reciclagem Térmica (e) Reciclagem Química e (f) Reuso. E, para cada um destas alternativas, foi considerado um grupo de critérios: (i) Investimentos, (ii) Custos Operacionais, (iii) Custos de Tratamento/Disposição, (iv) Emissões

de CO₂, (v) Imagem da Empresa e (vi) Benefícios. Todos os critérios, com exceção de Benefícios e Imagem da Empresa, receberam valores negativos com o propósito de expressar o impacto negativo destes valores no desempenho ambiental causado por uma certa alternativa.

O objetivo central é ordenar e selecionar uma alternativa “não dominada” para destinação do material plástico. Seis alternativas de destinação foram consideradas na avaliação. A ordenação considerou seis critérios por avaliar as alternativas: Investimentos, Custos Operacionais, Custos de Tratamento/Disposição, Emissões de CO₂, Imagem da Empresa e Benefícios. Os valores listados na **Tabela I** se referem a 1 kg de plástico para cada critério, como apresentado a seguir:

Alternativas	Critérios					
	Investimentos ³ (euros/kg.dia)	Custos Operacionais ² (euros/kg)	Custos de Disposição/ Tratamento ² (euros/kg)	Emissões de CO ₂ ² (kg/kg)	Imagem da Empresa	Benefícios ² (euros/kg)
P	4	0,02	0	0,02	0	0
Q	2	0,01	0	0,01	0	0
Veto	300	0,4	0,2	3,2	10	0,3
Reuso	- 4,5	- 0,1395	- 0,00205	- 0,0621	11	+ 0,181
Aterro	- 3.653 ⁴	- 0,181	0	- 0,0145 ⁵	3	0
Reciclagem Térmica	- 375 ⁶	- 0,1706	- 0,0036	- 3,116	7	+ 0,0139
Reciclagem Química	- 715 ⁷	- 0,29792	- 0,00228	- 0,533	5	+ 0,255
Reciclagem Mecânica	- 9 ⁸	- 0,2923	- 0,00623	- 0,069	9	+ 0,28
Incineração	- 341 ³	- 0,1551	- 0,00327	- 2,833	1	+ 0,181

Tabela I – Critérios e Alternativas

Investimentos (euros/kg.dia) – Resultam basicamente da soma dos custos de aquisição e montagem dos equipamentos e os custos da construção da infra-estrutura necessária para o funcionamento.

No caso da alternativa Reutilização, o investimento foi considerado 50% menor que o valor encontrado para a Reciclagem Mecânica, por apresentar cerca de metade das

³ www.lcacenter.org/InLCA-LCM03/Hur-presentation.pdf 03/12/2003

⁴ <http://www.amde.pt/actividades/desenv/svtrsu.html> 03/12/2003

<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/ANALISEDAQUALIDADEDACOLETA.htm>

⁵ <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/arquivos/custoscol.pdf> 03/12/2003

⁶ www.essentialaction.org/waste/kit/english/Q&A.pdf 03/12/2003

⁷ http://www.huntsman.com/pu/Media/background_du_vergier.pdf 03/12/2003

⁸ www.plastico.com.br/revista/pm323/plastivida.htm 03/12/2003

taxa de câmbio: www.gnucash.org/docs/pt_PT/xacc-euro.html 03/12/2003

necessidades de processo (Coleta+Transporte+Armazenagem+Lavagem). Com base nesta aproximação foi adotado um grau de incerteza de 0,8 (a quantificação da incerteza de cada informação é um dos parâmetros necessários ao uso do THOR).

Foi considerado que o investimento para um Aterro plano de 30 ha é de € 20 milhões, estimando 15 anos de operação para servir uma população de 160 mil habitantes. É calculado, então, que haverá a disposição de cerca de $0,6 \text{ kg/dia} \times 160.000 = 96.000 \text{ kg/dia}$ de lixo total e que o valor do aterro ao dia é de € 20 milhões / 5.475 dias (15 anos) que é igual a aproximadamente 3.653 euros/dia.

Custos operacionais (euros/kg) – São provenientes da soma dos custos variáveis com os custos fixos envolvidos nos processos de produção. Foram considerados os itens: salários, manutenção de máquinas e veículos, transporte (coleta e transporte), energia (eletricidade e combustível), depreciação de máquinas e veículos e outros.

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8.

Para a Reciclagem energética, ao contrário, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Custos para disposição/tratamento (euros/kg) – Custos envolvidos para a disposição dos resíduos, originados pelo novo processo, em outro local (um aterro sanitário ou uma outra central de reciclagem ou incineração).

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8.

Para a Reciclagem energética, ao contrário, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Emissões de CO₂ (kg/kg) – Foi considerada a quantidade total de CO₂ emitida pelo processo de produção e durante o transporte.

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8. (transporte).

Para a Reciclagem energética, ao contrário dos anteriores, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Benefícios (euros/kg) – Receita obtida com a venda do produto do processamento, que são:

- Aterro – não há;
- Reutilização – não utilização do aterro (benefício indireto);
- Reciclagem mecânica – pellet;
- Reciclagem térmica – vapor;
- Reciclagem química – óleo;
- Incineração - não utilização do aterro (benefício indireto).

Imagem – Resulta de uma avaliação qualitativa, onde foi considerada uma escala de intervalos de 1 a 11 (contendo 6 pontos cardinais), para demonstrar a visão do ator de decisão em relação ao produto, considerando o reaproveitamento do resíduo e o baixo consumo de energia como boa imagem para a classificação da alternativa utilizada para o descarte final. As alternativas nas quais os resíduos são eliminados tornam-se necessários a extração da matéria primas virgem para a produção e quando as alternativas que não eliminam resíduos possibilitam o seu reaproveitamento para a produção do mesmo material ou de um outro material, reduzindo, conseqüentemente a taxa de extração de recursos naturais.

O escalonamento utilizado para a avaliação qualitativa das alternativas foi:

- (1) alternativas que eliminam os resíduos ou não permitem o seu reaproveitamento com alto consumo energético.
- (3) alternativas que eliminam os resíduos ou não permitem o seu reaproveitamento com baixo consumo de energia.
- (5) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo na produção de um outro produto com alto consumo de energia.
- (7) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo na produção de um outro produto com baixo consumo de energia.
- (9) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo para produzir o mesmo produto com alto consumo de energia.
- (11) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo para produzir o mesmo produto com baixo consumo de energia.

Além dos dados relativos à disposição (**Tabela I**), também foram considerados os diferentes pontos de vista dos decisores. Como toda decisão considera a subjetividade dos decisores, a ordenação está baseada na experiência do decisor e no conhecimento do problema. Então, quatro classes de decisores foram consideradas:

Decisores:

- **Autoridades/ Governo** – Têm a estratégia de suas decisões baseadas principalmente na legislação e estudos orientados, neste caso, ao gerenciamento de resíduos, produção de energia, saúde pública, áreas de proteção, entre outros, visando sempre os benefícios sociais e ambientais, não se preocupando inicialmente com custos. Representam ainda, através da elaboração de normas e leis sobre questões ambientais, um agente de grande impacto para as atividades industriais.

- **Empresário** - Apresentam sempre como estratégia central o processo produtivo, introduzindo os conceitos de estratégia e de negócios. Recentemente, a introdução da variável ambiental tem representado uma forma de acréscimo nos custos operacionais e logísticos com vistas a legislação ambiental.

- **Indivíduo** – Têm suas opiniões fundamentadas em conceitos subjetivos e, prioritariamente, ecológicos, de acordo com o seu estilo de vida, enquanto cidadão e consumidor.

- **Visão Integrada** – Esta classe mostra uma equalização (negociação/decisão em grupo) das considerações de cada um dos decisores.

4. RESULTADOS.

Apesar da falta de dados confiáveis disponíveis sobre assuntos ambientais, muitos trabalhos foram desenvolvidos sobre alternativas de destinação de materiais pós-consumidos principalmente para aqueles materiais que são capazes de serem recuperados tais como papel, plástico, vidro e metal. Além disso, foi observado que existem muitos tipos diferentes de plásticos com propriedades mecânicas e químicas específicas que geralmente são consideradas e agregadas por pesquisadores como se estes fossem do mesmo tipo sem considerar a possibilidade de acontecer bias nos resultados. Por esta razão, foi decidido que os dados utilizados neste estudo seriam referentes somente ao HDPE.

Depois que um modelo fosse construído e julgamentos fossem completamente feitos, o resultado de THOR se apresenta como uma ordenação gerando a atratividade de uma alternativa, de acordo com o modelo. Os resultados são apresentados na forma de valores numéricos/atratividade nas Figuras 1 a 16 e em gráficos de barra (Gráficos 2 a 4) que se encontram no **Anexo I**. Os resultados encontrados no sistema suporte THOR, de acordo com simulação do ponto de vista de cada decisor, são apresentados na **Tabela II**.

ALTERNATIVAS	Ordenação S1			
	INDIVÍDUO	GOVERNO	EMPRESÁRIO	VISÃO INTEGRADA
REUTILIZAÇÃO	3,76	3,5	3,64	3,63
RECICLAGEM MECÂNICA	3,24	3,5	2,23	2,79
RECICLAGEM QUÍMICA	1,98	1,83	1,64	1,82
RECICLAGEM TÉRMICA	1,17	1,07	1,02	1,08
INCINERAÇÃO	0,67	1,38	1,83	1,26
ATERRO	0,57	0	0	0

ALTERNATIVAS	Ordenação S2			
	INDIVÍDUO	GOVERNO	EMPRESÁRIO	VISÃO INTEGRADA
REUTILIZAÇÃO	3,81	3,55	3,85	3,74
RECICLAGEM MECÂNICA	3,24	3,45	2,24	2,79
RECICLAGEM QUÍMICA	1,67	1,57	1,52	1,58
RECICLAGEM TÉRMICA	1,21	1,12	1,26	1,18
INCINERAÇÃO	1,71	1,93	2,07	1,87
ATERRO	0,5	0	0	0

ALTERNATIVAS	Ordenação S3			
	INDIVÍDUO	GOVERNO	EMPRESÁRIO	VISÃO INTEGRADA
REUTILIZAÇÃO	4,24	4,05	4,19	4,16
RECICLAGEM MECÂNICA	3,29	3,57	2,47	2,89
RECICLAGEM QUÍMICA	1,67	1,57	1,52	1,58
RECICLAGEM TÉRMICA	1,21	1,12	1,26	1,18
INCINERAÇÃO	1,71	1,93	2,07	1,87
ATERRO	0,5	0	0	0

Tabela II – Ordenação de acordo com as preferências dos decisores

De acordo com os resultados apresentados na **Tabela II**, está evidente que existem diferenças significativas entre os valores das alternativas para os diferentes decisores. Isto é esperado devido aos diferentes enfoques, conhecimento e nível de conformidade ambiental dos representantes dos atores e as alternativas consideradas para a destinação dos plásticos.

Analisando a ordenação dos pontos de vista dos decisores, foi observado que todos os decisores têm preferências similares para a Reciclagem Mecânica e Incineração, respectivamente.

Foi observado que as alternativas de Reutilização e Reciclagem Mecânica foram as que melhor atenderam aos critérios preestabelecidos, enquanto as outras alternativas, de acordo com as preferências de cada decisor, demonstraram ser quase 50% menos preferidas que as duas primeiras classificadas, perante os mesmos requisitos.

5. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO.

A responsabilidade pelos produtos pós-consumidos exige grande empenho e interesse por parte dos fornecedores e têm como objetivo principal a destinação responsável, devendo sempre contemplar a proteção ambiental, o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, objetivando a economia de energia e de matéria-prima, a redução da poluição do ar, água, solo e subsolo, sem deixar de possibilitar ganhos econômicos e sociais.

É importante considerar que os mecanismos de regulação ambiental que existem na esfera organizacional podem ser o fator que influencia este ponto de vista. Além disto, estes mecanismos regulatórios não têm influência na esfera do Consumidor e são designados pela esfera Governamental.

Com os resultados apresentados neste trabalho é possível distinguir que as alternativas **Reutilização e Reciclagem Mecânica** exercem uma forte dominância em relação as demais, na visão de todos os atores. A alternativa de **Aterro** sempre está nas últimas posições para todas as ordenações, enquanto a **Incineração, Reciclagem Química e Reciclagem Térmica** estão em uma posição intermediária na hierarquia de preferência definida pelo THOR.

De acordo com resultados apresentados, é indicado estudo mais específico a outros materiais, além da possibilidade de uma nova hierarquia de alternativas de destinação que considere basicamente o tipo de material, a opinião dos decisores e a especificidade de cada alternativa considerada.

6. REFERÊNCIAS.

- [1] Ballester, E. (2000) "Project Finance: a Multicritérios approach to arbitration" *Journal of the Operational Research Society*, 51, 183-197.
- [2] Buchanan, J. (2003) Gardiner, L. "A comparison of two reference point methods in multiple objective mathematical programming" *European Journal of Operational Research*, 149, 17-43.
- [3] Chen, J.; Lin, S. (2003) "An interactive neural network-based approach for solving multiple critérios decision-making problems" *Decision Support Systems*, 36, 137-146.
- [4] Choo, E. U.; Wedley, W. C. (2004) "A common framework for deriving preference values from pairwise comparison matrices" *Computers & Operations Research*, 31, 893-908.
- [5] Figueria, J., Roy, B. (2002) "Determining the weights of critérios in ELECTRE type methods with a revised Simo's procedures" *European Journal of operational Research*, 139, 317-326.
- [6] Gomes, Carlos Francisco Simões, THOR - Um Algoritmo Híbrido de Apoio Multicritério à Decisão para Processos Decisórios com Alternativas Discretas, Tese de Doutorado, Engenharia de Produção, Coppe-Ufrj, 1999.
- [7] Gomes, C. F. S., Gomes, L. F. A. M. and Valle, R. A. B. (2002a) "One Application of THOR in a Process of Personal Evaluation" *The Sixteenth Triennial Conference of the International federation of Operation Research Societies.* , IFORS-2002, Edinburgh.
- [8] Gomes, C. F. S., Gomes, L. F. A. M. and Valle, R. A. B. (2002b) "One Application THOR (A Multicritérios Decision Aiding Hybrid Algorithm Applied to the Decision Process with Discrete Alternatives)" *In: 12th. Mini-Euro Conference*, Bruxelas.
- [9] Gomes, L.F.A.M., Gomes. C. F. S. and Teixeira, A. (2002c) "Tomada de Decisão Gerencial o Enfoque Multicritério", *Editora Atlas*.
- [10] Gomes, C. F. S. (2003) "Application of the Multicritérios Decision Making Methodology for Outranking the Ballast Water Management Options - Example and Proposal for Application" *In: 5th EURO/IFORMS Joint International Meeting, Abstract Book - Euro. Istanbul*, 1, 185
- [11] Leya-Lopez, J. C .and Fernandez-Gonzalez, E. F. (2003) "A new method for group decision based on ELECTRE II methodology" *European Journal of Operational Research*, 148, 14-27.
- [12] Matsatsinis, F. N. and Samaras, A. P. (2001) "MCDA and preference disaggregation in group decision support Systems", *European Journal of Operational research*, 130, 414-429.
- [13] PLASTIVIDA/FIPMA. (2001). "Manual de Valorización de los Residuos Plásticos." 3ª Ed. Buenos Aires, 7-18.
- [14] Pun, K., Hui, I.; Lewis, W. G. and Henry, C.W. (2003) "A multiple-critérios environmental impact assessment for the plastic injection molding process: a methodology" *Journal of Cleaner Production*, 11, 41-49.

- [15] Roy, B. (1985) “Methodologie Multicri re d’Aide   la D cision.” Paris, *Editora Econ mica*, France.
- [16] Roy, B. and Vanderpooten, D. (1996) “The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works” *Journal of Multi-Crit rios Decision Analysis*, 5, 22-38.
- [17] Saaty, T.L. (1990). ‘Decision Making for Leaders. RWS Publications’, *Pittsburgh*.
- [18] Varlan, E., Paillier, R. L. (1999) “Multicrit rios Decision making for contract research organisation choice in the pharmaceutical industry; *Journal of the Operation Research society*”, 50, 943-948.
- [19] Whelan T, Goff J. (1998) “Injection molding of thermoplastics materials.” *London: Tony Whelan and John Goff*.
- [20] Zhang, Q.; Chen, J. C. H.; Chong, P. P. (2003) “Decision consolidation: crit rios weight determination using multiple preference formats” *Decision Support Systems*.
- [21] Zopounidis, C. and Doumpos, M. (2000) “PREFDIS: a multicrit rios decision support system for sorting decision problems.” *Computers and Operations Research*, 27, 779-79.

Anexo I

Ponto de vista do Governo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S1	Score
1 REUSE	3,5
2 MECHANICAL RECYCLING	3,5
3 CHEMICAL RECYCLING	1,833333
4 INCINERATION	1,380952
5 THERMAL RECYCLING	1,071429
6 LANDFILL	0

Figure 1: Ordenação S1 - Governo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S2	Score
1 REUSE	3,547619
2 MECHANICAL RECYCLING	3,5
3 INCINERATION	1,928571
4 CHEMICAL RECYCLING	1,571429
5 THERMAL RECYCLING	1,119048
6 LANDFILL	0

Figura 2: Ordenação S2 - Governo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S3	Score
1 REUSE	4,047619
2 MECHANICAL RECYCLING	3,571429
3 INCINERATION	1,928571
4 CHEMICAL RECYCLING	1,571429
5 THERMAL RECYCLING	1,119048
6 LANDFILL	0

Figura 3: Ordenação S3 - Governo

Thor		Alternative Classification	Sqrt	Sensitivity Analysis	
Criteria Weight's Membership - Function					
PLASTICS - ALTERNATIVES					
View / Change Criteria Values					
Criteria	INVESTMENTS	OPERATIONAL	DISPOSAL	CO2 EMISSIONS	BENEFITS
Weights	4	1	3	5	2
Membership-Function	1	1	1	1	1
P Transitivity Bound	4	0,02	0	0,02	0
Q Transitivity Bound	2	0,01	0	0,01	0
Discordance	300	0,4	0,2	3,2	10

Figura 4: Pesos atribuídos pelo Governo

Ponto de vista do Indivíduo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S1	Score
1 REUSE	3,642857
2 MECHANICAL RECYCLING	2,238095
3 INCINERATION	1,833333
4 CHEMICAL RECYCLING	1,642857
5 THERMAL RECYCLING	1,02381
6 LANDFILL	0

Figura 5: Ordenação S1 - Indivíduo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S2	Score
1 REUSE	3,857143
2 MECHANICAL RECYCLING	2,238095
3 INCINERATION	2,071429
4 CHEMICAL RECYCLING	1,52381
5 THERMAL RECYCLING	1,261905
6 LANDFILL	0

Figura 6: Ordenação S2 - Indivíduo

Thor	
Weight Assignment	Criteria Weight's Membership - Function
PLASTICS - ALTERNATIVES	
Sort S3	Score
1 REUSE	4,190476
2 MECHANICAL RECYCLING	2,47619
3 INCINERATION	2,071429
4 CHEMICAL RECYCLING	1,52381
5 THERMAL RECYCLING	1,261905
6 LANDFILL	0

Figura 7: Ordenação S3 - Indivíduo

Thor		Alternative Classification	Sqrt	Sensitivity Analysis	
Criteria Weight's Membership - Function					
PLASTICS - ALTERNATIVES					
View / Change Criteria Values					
Criteria	INVESTMENTS	OPERATIONAL	DISPOSAL	CO2 EMISSIONS	BENEFITS
Weights	3	5	4	1	2
Membership-Function	1	1	1	1	1
P Transitivity Bound	4	0,02	0	0,02	0
Q Transitivity Bound	2	0,01	0	0,01	0
Discordance	300	0,4	0,2	3,2	10

Figura 8: Pesos atribuídos pelo Indivíduo

Ponto de vista da Empresa

Sort S1		Score
1	REUSE	3,761905
2	MECHANICAL RECYCLING	3,238095
3	CHEMICAL RECYCLING	1,97619
4	THERMAL RECYCLING	1,166667
5	INCINERATION	0,666667
6	LANDFILL	0,571429

Sort S2		Score
1	REUSE	3,809524
2	MECHANICAL RECYCLING	3,238095
3	INCINERATION	1,714286
4	CHEMICAL RECYCLING	1,666667
5	THERMAL RECYCLING	1,214286
6	LANDFILL	0,5

Figura 9: Ordenação S1 – Empresa

Figura 10: Ordenação S2 – Empresa

Sort S3		Score
1	REUSE	4,238095
2	MECHANICAL RECYCLING	3,285714
3	INCINERATION	1,714286
4	CHEMICAL RECYCLING	1,666667
5	THERMAL RECYCLING	1,214286
6	LANDFILL	0,5

Criteria	INVESTMENTS	OPERATIONAL	DISPOSAL	CO2 EMI	IMAGE	BENEFITS
Weights	3	1	2	4	6	5
Membership-Function	1	1	1	1	1	1
P Transistividade Bound	4	0,02	0	0,02	0	0
Q Transistividade Bound	2	0,01	0	0,01	0	0
Discordance	300	0,4	0,2	3,2	10	0,3

Figura 11: Ordenação S3 – Empresa

Figura 12: Pesos atribuídos pela Empresa

Visão Integrada dos Decisores

Sort S1		Score
1	REUSE	3,631579
2	MECHANICAL RECYCLING	2,789474
3	CHEMICAL RECYCLING	1,815789
4	INCINERATION	1,263158
5	THERMAL RECYCLING	1,078947
6	LANDFILL	0

Sort S2		Score
1	REUSE	3,726942
2	MECHANICAL RECYCLING	2,789474
3	INCINERATION	1,868421
4	CHEMICAL RECYCLING	1,578947
5	THERMAL RECYCLING	1,104211
6	LANDFILL	0

Figura 13: Ordenação S1 – Visão Integrada

Figura 14: Ordenação S2 – Visão Integrada

Sort S3		Score
1	REUSE	4,157095
2	MECHANICAL RECYCLING	2,894737
3	INCINERATION	1,868421
4	CHEMICAL RECYCLING	1,578947
5	THERMAL RECYCLING	1,104211
6	LANDFILL	0

Criteria	INVESTMENTS	OPERATIONAL	DISPOSAL	CO2 EMI	IMAGE	BENEFITS
Weights	3	2	3	3	3	5
Membership-Function	1	1	1	1	1	1
P Transistividade Bound	4	0,02	0	0,02	0	0
Q Transistividade Bound	2	0,01	0	0,01	0	0
Discordance	300	0,4	0,2	3,2	10	0,3

Figura 15: Ordenação S3 – Visão Integrada

Figura 16: Pesos atribuídos pela Visão Integrada

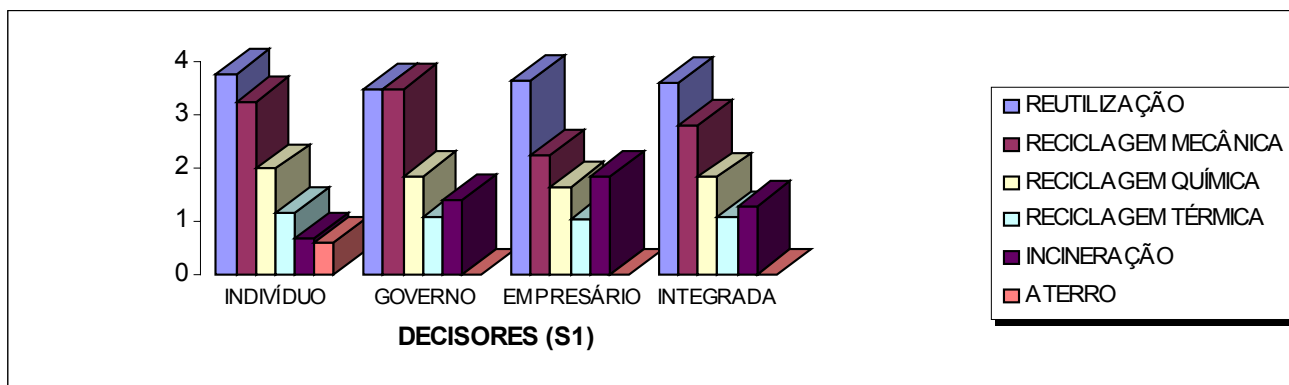


Gráfico 2: Ordenação Integrada S1 de acordo com o decisor.

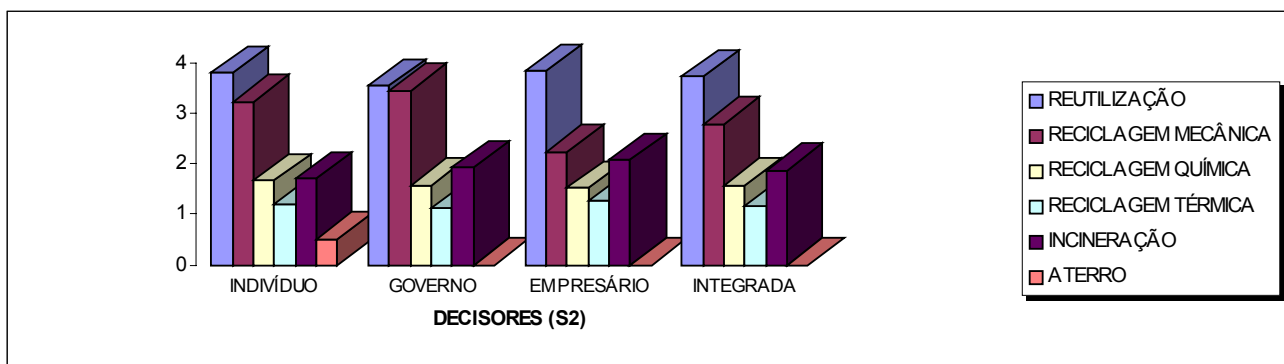


Gráfico 3: Ordenação Integrada S2 de acordo com o decisor.

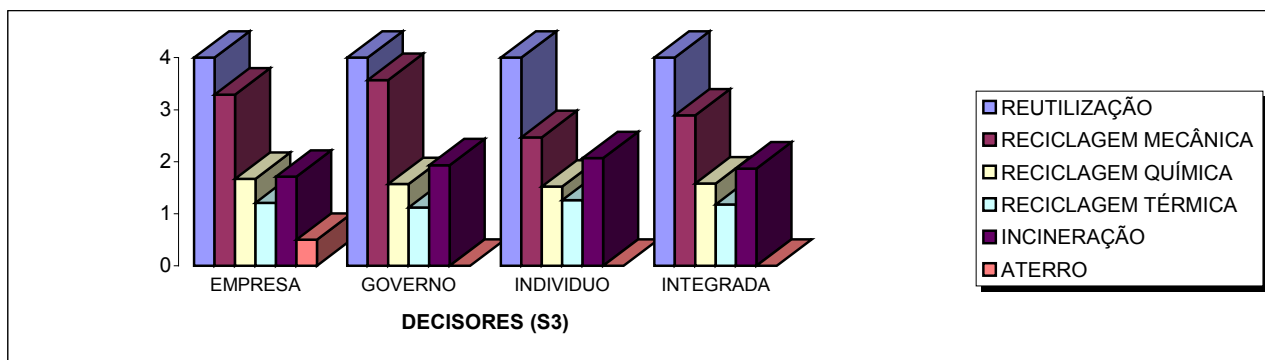


Gráfico 4: Ordenação Integrada S3 de acordo com o decisor.