

# APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITERIAL NA GESTÃO AMBIENTAL

**Fernando Ben**

## **Resumo:**

*Este trabalho apresenta um estudo envolvendo a análise do processo de decisão de investimento ambiental em uma empresa industrial, onde são analisados múltiplos critérios para a definição do projeto a ser implementado. Para tanto, é utilizada a metodologia do AHP, a qual consiste em uma ferramenta de análise de decisão usada na seleção da melhor entre diversas alternativas, uma vez considerados determinados critérios. Tal estudo se faz necessário em função de a gestão ambiental no contexto empresarial ser caracterizada por decisões multicriteriais, uma vez que os aspectos inerentes à gestão ambiental apresentam inúmeras interfaces indiretas. Para a realização desse estudo, são analisados aspectos referentes à minimização dos custos de produção, à minimização no volume de resíduos, à otimização nas rotinas de produção e ao atendimento à legislação. Como resultado do trabalho, observa-se que o requisito que apresenta maior peso na estrutura de decisão da empresa estudada é a minimização nos custos de produção. Como decorrência desse fato, aliado à importância relativa que cada um dos demais critérios apresenta nos três projetos analisados, tal metodologia conduz à decisão de investimento pelo projeto dois, uma vez que este atende com maior intensidade aos requisitos estipulados pela empresa.*

**Área temática:** *Gestão de Custos Ambientais e Responsabilidade Social*

## **Aplicação de Análise Multicriterial na Gestão Ambiental**

### **Resumo**

Este trabalho apresenta um estudo envolvendo a análise do processo de decisão de investimento ambiental em uma empresa industrial, onde são analisados múltiplos critérios para a definição do projeto a ser implementado. Para tanto, é utilizada a metodologia do AHP, a qual consiste em uma ferramenta de análise de decisão usada na seleção da melhor entre diversas alternativas, uma vez considerados determinados critérios. Tal estudo se faz necessário em função de a gestão ambiental no contexto empresarial ser caracterizada por decisões multicriteriais, uma vez que os aspectos inerentes à gestão ambiental apresentam inúmeras interfaces indiretas. Para a realização desse estudo, são analisados aspectos referentes à minimização dos custos de produção, à minimização no volume de resíduos, à otimização nas rotinas de produção e ao atendimento à legislação. Como resultado do trabalho, observa-se que o requisito que apresenta maior peso na estrutura de decisão da empresa estudada é a minimização nos custos de produção. Como decorrência desse fato, aliado à importância relativa que cada um dos demais critérios apresenta nos três projetos analisados, tal metodologia conduz à decisão de investimento pelo projeto dois, uma vez que este atende com maior intensidade aos requisitos estipulados pela empresa.

**Palavras-chave:** Análise Multicriterial. Decisão de Investimento. Gestão Ambiental.

**Área Temática:** Gestão de Custos Ambientais e Responsabilidade Social

### **1 Introdução**

Cresce a cada dia a quantidade de pressões sobre as empresas, as quais são advindas dos mais diversos setores. Especificamente na área ambiental, inúmeras são as demandas que vislumbram o desenvolvimento sustentável, a utilização racional dos recursos naturais e a proteção do ambiente natural. Tem se tornado um desafio para os empresários de todo o mundo conciliar o incremento na atividade industrial com a sustentabilidade ambiental. Ao abordar tal situação em países em desenvolvimento, esse aspecto se torna ainda mais delicado em função da situação econômica e financeira vivenciadas pelas empresas inseridas nesse contexto. No estudo sobre a viabilidade da implantação de instrumentos que reduzam o impacto da atividade industrial no meio ambiente, interesses dos mais variados tipos devem ser satisfeitos, os quais podem ir desde a minimização dos custos decorrentes da implantação do projeto até o atendimento dos órgãos de fiscalização.

Moura (2003) apresenta que, em todas as etapas do processo econômico, são observadas interações e impactos sobre o meio ambiente, em maior ou menor grau. A produção utiliza recursos naturais, gera efluentes e resíduos, a distribuição utiliza combustíveis poluentes, por exemplo, ou dutos que, rompendo-se, causam problemas ambientais, o consumo produz restos de produtos e embalagens que são descartados, gerando freqüentemente impactos ambientais. Na busca da melhoria contínua do desempenho ambiental, vale lembrar que na realização de todas as atividades gerenciais, desde o projeto até a seleção de sistemas e equipamentos e sua instalação e operação, os investidores requerem uma análise econômica de viabilidade, para manter a saúde financeira e a competitividade da empresa.

Tinoco e Kraemer (2004) ponderam que, em decorrência da evolução do capitalismo, observou-se, a partir dos anos 60 do século XX, nova demanda por informações. Essa surgiu

de parte dos assalariados que trabalhavam em grandes empresas transnacionais, públicas, bancos, conglomerados industriais, etc., que constataram que essas organizações obtinham grandes lucros e cresciam constantemente, enquanto sua situação era, em muitos casos, bastante precária, com salários que não acompanhavam a evolução dos lucros. Para proporcionar o bem-estar da população, as empresas necessitam, de acordo com Martins e Ribeiro apud Tinoco e Kraemer (2004), empenhar-se na manutenção de condições saudáveis de trabalho, na segurança, no treinamento e no lazer para seus funcionários e familiares; na contenção ou eliminação dos níveis de resíduos tóxicos decorrentes de seu processo produtivo ou do uso ou consumo de seus produtos, de forma a não agredir o meio ambiente de forma geral; na elaboração e na entrega de produtos ou serviços, de acordo com as condições de qualidade e segurança desejadas pelos consumidores.

Ribeiro (2005) evidencia que a gestão econômica objetiva, primordialmente, atingir a tarefa a que a empresa se propôs. Para tal, é preciso que sua continuidade seja garantida, a qual, por sua vez, exige melhorias contínuas, isto é, o acompanhamento das evoluções do mercado. As melhorias contínuas somente serão possíveis se houver recursos econômicos e financeiros. A existência desse correto balanceamento garante o alcance da missão da empresa. A gestão econômica de uma empresa deve se preocupar com os aspectos econômicos de cada decisão, essencialmente daquelas que envolvam o consumo de recursos e daquelas que agreguem valor, a fim de otimizar o resultado econômico. A autora pondera ainda que, na gestão econômica, os impactos estão estreitamente associados ao surgimento dos passivos ambientais, à necessidade de adquirir tecnologias antipoluentes, à perda de potencial econômico dos ativos ou ao desperdício de recursos e tempo que poderiam melhorar o resultado operacional. Assim, de acordo com as premissas da gestão econômica da empresa, seu objetivo deve ser quantificado física e monetariamente, de forma a fornecer subsídio completo para análise e avaliação dos esforços empreendidos para atingi-lo.

A cada vez mais se observam empresas que integram as decisões ambientais em seu processo estratégico. Nesse sentido, Barbieri (2004) pondera que, além das práticas de controle e prevenção da poluição, a empresa procura aproveitar oportunidades mercadológicas e neutralizar ameaças decorrentes de questões ambientais existentes ou que poderão ocorrer no futuro. O envolvimento das empresas com os problemas ambientais adquire importância estratégica à medida que aumenta o interesse da opinião pública sobre as questões ambientais, bem como dos grupos interessados nesses problemas: trabalhadores, consumidores, investidores e ambientalistas. Muitos investidores já consideram as questões ambientais em suas decisões, pois sabem que os passivos ambientais estão entre os principais fatores que podem corroer a rentabilidade e substância patrimonial das empresas.

Conforme Donaire (1999), pode-se dizer que o impacto da variável ecológica na estratégia da organização está ligado diretamente a seu potencial de poluição. Assim, se esse potencial é alto, sua importância na estratégia é vital e sua correta avaliação uma questão de sobrevivência, seja a curto ou a longo prazo. Se esse potencial é reduzido, a variável ecológica pode ser considerada, mas seu impacto será sempre de importância secundária na formulação da estratégia organizacional. Segundo o autor, existem dois instantes a partir dos quais se nota a influência da variável ecológica na estratégia. Um, que se forma externamente à organização e que pode ser dividido em dois contextos diferentes: internacional e nacional. No internacional, perceptível nas empresas multinacionais, caracteriza-se pela transposição das políticas institucionais das matrizes. No contexto nacional, caracteriza-se pelas exigências da legislação ambiental, que passaram a estabelecer normas de atuação que resultaram em repercussões em nível interno nas organizações interessadas em equacionar seus problemas ambientais. Essas ações externas acabaram interiorizando-se no nível das organizações, resultando em um segundo instante em repercussões na estrutura organizacional e na própria postura estratégica.

Do ponto de vista empresarial, Robles Jr. e Bonelli (2006) argumentam que, quando se mencionam qualidade e meio ambiente sob o aspecto econômico, a idéia inicial é a de que haverá um aumento das despesas e o conseqüente acréscimo dos custos do processo produtivo. Na realidade, um sistema de gestão ambiental estruturado com metas estabelecidas consegue se autofinanciar, pois tecnologias limpas, mudanças de processos e tratamento de resíduos tornam possível contabilizar ganhos.

Hansen e Mowen (2001) apresentam ainda que podem ser identificados pelo menos cinco objetivos essenciais para a perspectiva ambiental: minimizar o consumo de matérias-primas virgens; minimizar o uso de materiais perigosos; minimizar os requisitos de energia para a produção e o uso do produto; minimizar a liberação de resíduos sólidos líquidos e gasosos; e maximizar as oportunidades de reciclagem. A meta global de melhorar o desempenho ambiental sufete que uma estrutura de melhoria contínua para o controle ambiental seria o mais apropriado. Os autores argumentam ainda que, se aceitarmos o paradigma da ecoeficiência, então uma perspectiva ambiental é legítima porque a melhoria no desempenho ambiental pode ser a fonte de uma vantagem competitiva.

Dessa forma, ao analisar a operacionalidade de tais decisões, constata-se que a gestão ambiental no ambiente industrial se constitui de variadas decisões multicriteriais, onde diversos aspectos devem ser abordados simultaneamente e que, conjuntamente, contribuem para a inserção das variáveis ambientais no contexto operacional das empresas. Com base nesse escopo, constata-se que o processo de decisão deve igualmente considerar atributos multicriteriais, sob pena de não contemplar a gama de variáveis envolvidas no processo decisório e induzir ao investimento em projetos inadequados.

Segundo Ribeiro (1999) a gestão ambiental tornou-se uma área estratégica, necessitando, portanto, como as demais áreas consideradas estratégicas, de um tratamento específico, tendo em vista a importância que adquiriu o controle ambiental, sua importância e o expressivo volume de recursos nele investido. A segregação dos custos de natureza ambiental é fundamental para apurar informações elementares no processo de gestão econômica da empresa. As estratégias principais da empresa, nessa área, devem ser: reduzir ao mínimo possível, se não eliminar, a produção de resíduos poluentes; elevar ao máximo a produtividade com grau de qualidade ambiental crescente; manter sistemas de gerenciamento ambiental eficaz ao menor custo permitido. O controle de custos refletirá o nível de falhas existentes e o volume de gastos necessários para eliminar e/ou reduzir as falhas, seja na forma de investimentos de natureza permanente ou de insumos consumidos no processo operacional.

Segundo Ferreira (2003) a valoração do meio ambiente é um dos aspectos mais críticos de todo o processo de decisão. Em alguns casos é preciso dar valor monetário a bens ou serviços que não têm preço estabelecido ou valor contratado, e isso traz incertezas, às quais os gestores não estão acostumados. Entretanto, essas incertezas muitas vezes, são reflexos do desconhecimento dos métodos que podem ser utilizados, e não uma restrição aos métodos entre si. A teoria econômica trata esses aspectos através de vários métodos. Em determinadas situações, os benefícios de uma ação são percebidos, mas não necessariamente mensuráveis em termos monetários. Em outros casos, os benefícios são concretos, mas os preços possíveis de se identificar estão restritos ao uso local, não podem ser generalizados. Há farta variedade de situações que podem ser identificadas através dos métodos propostos pela Teoria Econômica. É importante considerar o fato de que, ao estudar meio ambiente e ecologia, somos levados a pensar a longo prazo, dificilmente se obtêm resultados a curto prazo. Assim os processos de avaliação e mensuração propostos podem diferenciar entre os gestores.

Contudo, as questões que envolvem a gestão ambiental no ambiente organizacional são, tipicamente, de caráter multicriterial. Tal afirmativa é verdadeira em função de qualquer evento ambiental envolver diversas perspectivas, sendo que cada evento específico apresenta vantagens relativas, quando comparado com outros. Conforme Casarotto Filho e Kopittke

(2000), na análise de investimentos, principalmente aqueles envolvendo altos valores relativos e o longo prazo, os tipos de decisão normalmente são os mais complexos, pois podem normalmente comportam:

- Racionalidade limitada: não há curso predeterminado para a escolha da alternativa, existirão limites de conhecimento, e ocorrerá uma forte base de caráter qualitativo como critério.
- Multicritério: uma variedade de objetivos e políticas de caráter qualitativo ou quantitativo nortearão a decisão.
- Multidecisor: embora em pequenas empresas possa haver um único decisor, o normal é a decisão por conselhos.
- Incerteza: as variáveis envolvidas relacionam-se aos ambientes cultural, político, econômico e tecnológico, praticamente descartando-se até a possibilidade de se trabalhar com os riscos, para se trabalhar com a incerteza.

## 2 O método AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é um método de análise multicriterial baseado em um processo de ponderação ativa, no qual os diversos atributos relevantes são representados através de sua importância relativa. Este método tem sido extensivamente aplicado por acadêmicos e profissionais, principalmente em aplicações que envolvem decisões financeiras associadas a atributos não-financeiros (SAATY apud GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).

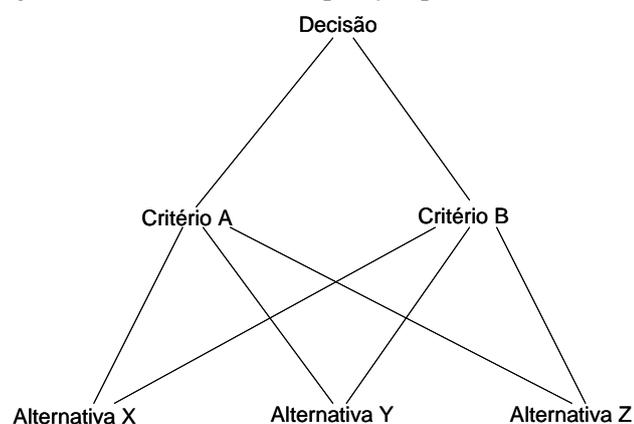
Além disso, o AHP é um método de avaliação hierárquica de atributos com aplicações diversas em áreas das ciências sociais, principalmente por possibilitar que análises qualitativas e subjetivas sejam operacionalizadas através de características numéricas. No caso específico de análises ambientais, o AHP permite a hierarquização das opiniões subjetivas sobre categorias de direcionadores de valor, permitindo um tratamento quantitativo que conduza a uma estimativa numérica da importância relativa de cada um dos direcionadores. Gomes, Araya e Carignano (2004) apresentam que o método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina, de forma clara e por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método. Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fazer uma comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque de um elemento do nível imediatamente superior. Assim, o decisor responderá às seguintes perguntas: qual dos dois critérios contribui mais para a maximização do critério principal? Quantas vezes um critério contribui mais que outro? Para tanto, os elementos fundamentais do método AHP, segundo os autores, são:

- Atributos e Propriedades – um conjunto finito de alternativas é comparado em função de um conjunto finito de propriedades.
- Correlação Binária – ao serem comparados dois elementos baseados em uma determinada propriedade, realiza-se uma comparação binária, na qual um elemento pode ser preferível ou indiferente a outro.
- Escala Fundamental – a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre os outros elementos, que será lido em uma escala numérica de números positivos e reais.
- Hierarquia – um conjunto de elementos ordenados por ordem de preferência e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

A aplicação deste processo reduz o estudo de sistemas extremamente intrincados, a uma seqüência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados. A teoria econômica e as demais metodologias existentes estão atreladas aos valores econômicos, não tendo condições de lidar com valores que não possuem implicações monetárias. Dessa forma, o tomador de decisão, mesmo que esteja motivado pela necessidade de prever ou controlar, geralmente enfrenta um complexo sistema de componentes correlacionados, e quanto melhor ele entender este sistema, melhor será sua previsão ou decisão.

Casarotto Filho e Kopittke (2000) evidenciam que o AHP se baseia em três princípios: decomposição, julgamentos comparativos e síntese das prioridades. Os critérios podem ser quantitativos ou qualitativos. Não há necessidade de haver uma escala numérica, pois as comparações são feitas de forma relativa entre as alternativas. A Figura 1 apresenta a seqüência lógica proposta pelo método.

Figura 1 – Árvore de decomposição para o método AHP



Fonte: Casarotto Filho e Kopittke (2000)

Saaty apud Gomes, Araya e Carignano (2004) observa que, apesar das diferenças entre os estímulos seguirem uma escala geométrica, a percepção destes pelo indivíduo obedece a uma escala linear. Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004), existe também o denominado limite psicológico, segundo o qual o ser humano pode, no máximo, julgar corretamente  $7 \pm 2$  pontos, ou seja, nove pontos para distinguir essas diferenças. Assim, é apresentada a escala fundamental, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Escala fundamental de Saaty

|            |   |
|------------|---|
| 1          | Igual importância entre as variáveis      |
| 3          | Importância pequena de uma sobre a outra  |
| 5          | Importância grande ou essencial           |
| 7          | Importância muito grande ou demonstrada   |
| 9          | Importância absoluta de uma sobre a outra |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários de importância     |

Fonte: Gomes, Araya e Carignano (2004)

Cada comparação par a par representa uma estimativa do coeficiente das prioridades ou dos pesos de cada elemento. Assim, depois de definida a estrutura hierárquica, realiza-se a comparação par a par de cada alternativa dentro de cada critério no nível imediatamente superior. Assim, o juízo verbal se transforma em uma escala de valores numéricos.

Gomes, Araya e Carignano (2004) apresentam ainda que o AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina de forma clara e por meio da síntese dos valores

dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método. Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fazer uma comparação par aa par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque de um elemento do nível imediatamente superior. Assim, o decisor responderá às seguintes perguntas: qual dos dois critérios contribui mais para a maximização do critério desempenho? Quantas vezes um critério contribui mais que outro?

Conforme Mlaczewski apud Gomes, Gomes e Almeida (2002), os problemas multicritério envolvem seis componentes: a) objetivo; b) decisor(es); c) conjunto de critérios de decisão; d) conjunto de alternativas; e) conjunto de estados da natureza; f) conseqüências das decisões. Com isso, nas decisões em grupo, as preferências individuais podem ser combinadas de modo a resultar em uma decisão do grupo. As variáveis de decisão são as ações detalhadas, que devem ser decididas e comunicadas. A decisão do grupo é, assim, conseqüência de um intercambio de decisões entre os membros do grupo do qual emana a negociação das propostas aceitáveis. Se o compromisso é obtido, elas são automaticamente acordadas.

### 3 Estudo de caso

A metodologia do AHP foi utilizada no auxílio no processo decisório em uma empresa industrial, a qual necessitava decidir entre dois projetos vinculados à área ambiental e que estavam apresentados para a mesma. Diante da incerteza apresentada em função da existência de três projetos, cada qual apresentando vantagens aparentes em relação aos demais, foi utilizada a metodologia proposta pelo AHP na definição do projeto a ser selecionado.

Para tanto, inicialmente foram definidos os critérios que eram relevantes para a gestão ambiental na organização. O primeiro critério apresentado foi a necessidade de minimização dos custos de produção por parte da empresa. Na seqüência, a minimização do volume de resíduos no projeto a ser implementado igualmente foi apresentado como fundamental. A otimização das rotinas de produção foi outro fator considerado relevante na seleção de alternativas de cunho ambiental. Finalmente, considerou-se relevante o atendimento à legislação ambiental. Posteriormente, tais critérios foram comparados de maneira pareada entre si, de maneira pareada, cujos resultados de tal análise estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre os critérios

| CRITÉRIOS                      | Minimizar custos de produção | Minimizar volume de resíduos | Otimizar rotinas de produção | Atendimento à legislação |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Minimizar custos de produção   | 1,00                         | 9,00                         | 2,00                         | 6,00                     |
| Minimizar o volume de resíduos | 0,11                         | 1,00                         | 0,25                         | 0,50                     |
| Otimizar rotinas de produção   | 0,50                         | 4,00                         | 1,00                         | 2,00                     |
| Atendimento à legislação       | 0,17                         | 2,00                         | 0,50                         | 1,00                     |
| SOMA                           | 1,78                         | 16,00                        | 3,75                         | 9,50                     |

Fonte: elaborado pelo autor

O próximo passo para a operacionalização do Processo Hierárquico de Análise (AHP) na definição de projetos de cunho ambiental é a normalização dos pesos atribuídos para cada critério. Para tanto, deve-se dividir cada entrada da matriz apresentada na Tabela 2 pela soma das entradas de sua coluna respectiva. Assim, a Tabela 3 apresenta os pesos normalizados

para cada critério, os quais revelam a importância atribuída pela empresa para cada critério envolvido na análise.

Tabela 3 – Normalização dos pesos dos critérios

| CRITÉRIOS                      | Minimizar custos de produção | Minimizar volume de resíduos | Otimizar rotinas de produção | Atendimento à legislação | Pesos ( $\omega$ ) |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Minimizar custos de produção   | 0,5625                       | 0,5625                       | 0,5333                       | 0,6316                   | 0,5725             |
| Minimizar o volume de resíduos | 0,0625                       | 0,0625                       | 0,0667                       | 0,0526                   | 0,0611             |
| Otimizar rotinas de produção   | 0,2812                       | 0,2500                       | 0,2667                       | 0,2105                   | 0,2521             |
| Atendimento à legislação       | 0,0938                       | 0,1250                       | 0,1333                       | 0,1053                   | 0,1143             |
| SOMA                           | 1,0000                       | 1,0000                       | 1,0000                       | 1,0000                   |                    |

Fonte: elaborado pelo autor

A média das normalizações de cada critério  $\omega_i$  indica a estimativa de peso a ser utilizada para cada critério, quando confrontados com os projetos oferecidos e estabelecida a decisão de investimento. Nesse sentido, observa-se que o critério que a empresa evidencia como sendo prioritário na questão de análise de investimento ambiental é a minimização dos custos de produção, seguido pela otimização nas rotinas de produção como sendo o critério apresentado como imediatamente mais importante.

### 3.1 Determinação do peso máximo para os critérios

Um fator imprescindível quando da determinação da matriz de critérios é a verificação da consistência da matriz determinada. Saaty apud Gomes, Araya e Carignano (2004) demonstrou que o melhor processo para obter o vetor de prioridades de uma matriz inconsistente é o método do autovetor direto, que permite estimar o vetor de prioridades com bastante consistência. A matriz de critérios (Tabela 2), quando multiplicada pelos pesos ( $\omega_i$ ) determinados na etapa anterior, evidencia o vetor de pesos:

Tabela 4 – Determinação do vetor dos pesos

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| Minimizar custos de produção | 2,3124 |
| Minimizar volume de resíduos | 0,2449 |
| Otimizar Rotinas de Produção | 1,0113 |
| Atendimento à legislação     | 0,4580 |

Fonte: elaborado pelo autor

Após isso, é realizado o cálculo do  $\lambda$  máximo ( $\lambda_{máx}$ ). Tal índice é determinado através da média dos valores obtidos através da divisão do valor de cada peso pelo valor de cada autovetor ( $\omega_i$ ), o que resulta em  $\lambda_{máx} = 4,0164$ .

### 3.2 Cálculo do índice de consistência

Saaty apud Gomes, Araya e Carignano (2004) observou que pequenas variações em  $a_{ij}$  implicam pequenas variações em  $\lambda_{máx}$ , em que o desvio do autovetor em relação a  $n$  (número de ordem da matriz) é considerado uma medida de consistência. Portanto, é possível afirmar

que  $\lambda_{m\acute{a}x}$  permite avaliar a proximidade da escala desenvolvida por Saaty com a escala de razões ou coeficientes que seria usada se a matriz A fosse totalmente consistente. Assim, o Índice de Consistência (IC) é determinado por  $(\lambda_{m\acute{a}x} - n)/(n-1)$ . No estudo de caso realizado, o IC foi de 0,0055.

Quando o IC é confrontado com o Índice Randômico (máxima inconsistência), é apresentado o grau de consistência da matriz encontrada. No caso analisado, considerando um IR de 0,9, o grau de consistência é de 0,0061. Este índice evidencia que, em 0,61% das vezes, o tomador de decisão não conseguiu nenhum raciocínio lógico sobre o tema analisado. Tendo em vista este indicador, considerado consistente quando apresentado menor ou igual a 0,1, evidencia que a matriz encontrada está suficientemente ajustada para a realização das análises desejadas. Em função de ter sido determinada uma matriz considerada consistente, a análise poderá ser realizada com base na mesma. Caso tal fato não tivesse ocorrido, dever-se-ia revisar os critérios de ponderações dos pesos dos critérios utilizados até a determinação de uma matriz considerada consistente.

Saaty apud Gomes, Araya e Carignano (2004) admite que a inconsistência pode ser inerente ao comportamento humano. Assim, ao aperfeiçoar o aprendizado e a compreensão nesse campo, deve-se trabalhar juntas a hierarquia e as medidas de relatividade. É importante notar que a inconsistência em uma matriz de decisão deve servir, em tal contexto, mais como um fator de alerta para o decisor do que um fator necessariamente não desejável. Dessa forma, deve-se ter muito cuidado com a utilização de processos matemáticos que fornecem a obtenção da consistência, já que podem alterar significativamente o resultado do problema. Conforme essa advertência, o decisor deve ser alertado para que seja ele, e somente ele, quem altere o juízo realizado.

### 3.3 Comparação das alternativas sobre cada critério

Para a seqüência da metodologia, necessita-se determinar o quão bem cada projeto apresentado à empresa satisfaz ou impacta em cada critério. Para tanto, é construída uma matriz de comparação, comparando os projetos entre si de maneira pareada, analisando cada um dos critérios estabelecidos.

#### 3.3.1 Minimizar custos de produção

É realizada a comparação entre os projetos de maneira pareada com relação a esta variável, analisando o quanto cada projeto é melhor ou pior do que outro com relação ao critério. A matriz definida pela empresa que evidencia a minimização dos custos de produção nos três projetos apresentados é apresentada na Tabela 5:

Tabela 5 – Relacionamento dos projetos com a minimização dos custos de produção

|      | P1    | P2   | P3   |
|------|-------|------|------|
| P1   | 1,00  | 0,20 | 0,11 |
| P2   | 5,00  | 1,00 | 3,00 |
| P3   | 9,00  | 0,33 | 1,00 |
| SOMA | 15,00 | 1,53 | 4,11 |

Fonte: elaborado pelo autor

Para a determinação do impacto de cada projeto apresentado sobre o atendimento à legislação, necessitou-se normalizar a matriz apresentada, onde é possível determinar o peso de cada atributo, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz normalizada da minimização dos custos de produção

|      | P1   | P2   | P3   | Peso ( $\omega$ ) |
|------|------|------|------|-------------------|
| P1   | 0,07 | 0,13 | 0,03 | 0,0747            |
| P2   | 0,33 | 0,65 | 0,73 | 0,5717            |
| P3   | 0,60 | 0,22 | 0,24 | 0,3535            |
| SOMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 |                   |

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme os dados apresentados, observa-se que o P2 é o projeto que apresenta um maior impacto sobre os critérios de atendimento à legislação definidos pela empresa, tendo em vista este ter apresentado o maior peso referente a este critério.

### 3.3.2 Minimização no volume de resíduos

No mesmo sentido, a matriz que representa a interação entre a minimização no volume de resíduos com os três projetos apresentados para a empresa, seguindo a lógica de determinação do AHP é dada conforme matriz apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Relacionamento dos projetos com a minimização no volume de resíduos

|      | P1   | P2    | P3   |
|------|------|-------|------|
| P1   | 1,00 | 8,00  | 0,20 |
| P2   | 0,13 | 1,00  | 0,33 |
| P3   | 5,00 | 3,00  | 1,00 |
| SOMA | 6,13 | 12,00 | 1,53 |

Fonte: elaborado pelo autor

Na seqüência, é determinada a matriz normalizada e o peso de cada atributo estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz normalizada da minimização no volume de resíduos

|      | P1   | P2   | P3   | Peso ( $\omega$ ) |
|------|------|------|------|-------------------|
| P1   | 0,16 | 0,67 | 0,13 | 0,3201            |
| P2   | 0,02 | 0,08 | 0,22 | 0,1070            |
| P3   | 0,82 | 0,25 | 0,65 | 0,5728            |
| SOMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 |                   |

Fonte: elaborado pelo autor

Com base nos dados apresentados, constata-se que o projeto que apresenta um atendimento mais satisfatório aos critérios de proteção ao meio ambiente definido pela empresa é P3, em virtude de este projeto ter apresentado um peso ( $\omega$ ) maior do que os demais projetos.

### 3.3.3 Otimizar rotinas de produção

Da mesma forma como realizado com os critérios anteriores, deve ser realizada uma matriz de comparação entre os três projetos apresentados à empresa, avaliando quanto cada um contribui para otimizar as rotinas de produção, realizando para tanto uma comparação pareada entre tais projetos. O estabelecimento da matriz referente à otimização das rotinas de produção obedeceu aos mesmos procedimentos já apresentados nos critérios anteriores, cujos resultados estão evidenciados na Tabela 9.

Tabela 9 – Relacionamento dos projetos com a otimização nas rotinas de produção

|      | P1    | P2   | P3   |
|------|-------|------|------|
| P1   | 1,00  | 0,11 | 0,33 |
| P2   | 9,00  | 1,00 | 0,20 |
| P3   | 3,00  | 5,00 | 1,00 |
| SOMA | 13,00 | 6,11 | 1,53 |

Fonte: elaborado pelo autor

No mesmo sentido, a tabela normalizada referente aos resultados obtidos com essa matriz é dada conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Matriz normalizada da otimização nas rotinas de produção

|      | P1   | P2   | P3   | Peso ( $\omega$ ) |
|------|------|------|------|-------------------|
| P1   | 0,08 | 0,02 | 0,22 | 0,1042            |
| P2   | 0,69 | 0,16 | 0,13 | 0,3288            |
| P3   | 0,23 | 0,82 | 0,65 | 0,5670            |
| SOMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 |                   |

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme os dados apresentados, o projeto 3 é o que apresenta resultados mais satisfatórios de otimização das rotinas de produção no escopo do gerenciamento ambiental da organização, em virtude de ter apresentado um peso maior do que os demais projetos.

### 3.3.4 Atendimento à legislação

Para finalizar a análise do relacionamento dos projetos apresentados com os critérios da gestão ambiental da organização abordada, são realizadas análises inerentes à matriz do atendimento à legislação na implantação de tais projetos e com reflexos na gestão ambiental, cujos resultados estão evidenciados na Tabela 11.

Tabela 11 – Relacionamento dos projetos com o atendimento à legislação

|      | P1   | P2   | P3    |
|------|------|------|-------|
| P1   | 1,00 | 2,00 | 7,00  |
| P2   | 0,50 | 1,00 | 3,00  |
| P3   | 0,14 | 0,33 | 1,00  |
| SOMA | 1,64 | 3,33 | 11,00 |

Fonte: elaborado pelo autor

Dessa maneira, a tabela de normalização dos valores obtidos nesse critério é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Matriz normalizada do atendimento à legislação

|      | P1   | P2   | P3   | Peso ( $\omega$ ) |
|------|------|------|------|-------------------|
| P1   | 0,61 | 0,60 | 0,64 | 0,6150            |
| P2   | 0,30 | 0,30 | 0,27 | 0,2924            |
| P3   | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,0926            |
| SOMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 |                   |

Fonte: elaborado pelo autor

Em função de o peso ( $\omega$ ) ter apresentado o maior valor no projeto P1, tal fato indica

que este é o projeto que apresenta uma melhor interação com os objetivos de atendimento à legislação na empresa.

### 3.4 Definição da matriz de priorização

Com base nos resultados obtidos, constata-se que todos os projetos se destacam em algum requisito específico, não sendo possível ainda determinar qual deles atende de maneira mais abrangente aos requisitos estipulados pela empresa. O Projeto 1 atende com maiores proporções à legislação ambiental; o P2 superou os demais projetos na minimização dos custos de produção; enquanto o P3 superou os projetos desafiantes nos requisitos de minimização do volume de resíduos e na otimização das rotinas de produção.

Entretanto, é necessário decidir qual dos projetos se adequa com maior intensidade às necessidades da empresa. Dessa forma, depois de definidos os pesos ( $\omega$ ) nas alternativas de projetos apresentados à empresa, é possível definir a matriz de priorização de tais projetos com base nos dados obtidos na análise pelo método AHP. Para tanto, é realizada uma relação entre o peso dos critérios com o peso dos atributos analisados em cada projeto, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Matriz de priorização

| CRITÉRIOS                    | Peso ( $\omega$ ) | P1     | P2     | P3     |
|------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Minimizar custos de produção | 0,5725            | 0,0747 | 0,5717 | 0,3535 |
| Minimizar volume de resíduos | 0,0611            | 0,3201 | 0,1070 | 0,5728 |
| Otimizar Rotinas de Produção | 0,2521            | 0,1042 | 0,3288 | 0,5670 |
| Atendimento à legislação     | 0,1143            | 0,6150 | 0,2924 | 0,0926 |
| SOMA                         |                   | 0,1589 | 0,4502 | 0,3909 |

Fonte: elaborado pelo autor

Com base na matriz de priorização obtida neste estudo, o método AHP indicou ser mais interessante a empresa implementar o Projeto 2 (P2), em virtude de o mesmo ter apresentado o *score* mais alto dentre os projetos apresentados. Tal evidenciação indica que este projeto apresenta uma maior quantidade de requisitos julgados importantes pela empresa, com base na matriz de priorização definida. No caso apresentado, apesar de o projeto P3 ter evidenciado atender com maior intensidade a dois atributos distintos (minimização no volume de resíduos e otimização das rotinas de produção), o projeto P2 foi escolhido em função de o mesmo atender com um maior grau de satisfação ao critério julgado mais importante pela empresa (minimização dos custos de produção).

## 4 Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi apresentar, através de um estudo de caso, a aplicação do método AHP como instrumento de apoio ao processo de decisão para investimentos ambientais em organizações industriais. Por sua vez, a avaliação das questões ambientais envolve a administração, o planejamento e o controle de componentes multicriteriais, cenário em que o método AHP respondeu satisfatoriamente a tais demandas.

Destaca-se que a maior dificuldade no desenvolvimento do AHP para estruturar decisões ambientais reside no estabelecimento de um relativo número de julgamentos. Outra característica evidenciada na aplicação deste método é a grande dependência do conhecimento individual, fator imprescindível para as comparações par a par dos critérios envolvidos na análise. Como decorrência disso, o correto relacionamento pareado entre as variáveis em cada projeto é fator determinante para o sucesso do modelo. Entretanto, a utilização de um modelo multicriterial de análise possibilita a seleção de um projeto com base em critérios técnicos,

eliminando o empirismo e proporcionando uma probabilidade maior de êxito quando da implantação do projeto.

Ressalta-se que o AHP é um dos métodos existentes para a análise multicriterial. Como todos os demais métodos existentes, o mesmo apresenta limitações e vantagens. Contudo, conforme evidenciado neste trabalho, a aplicação do AHP em análises de investimento sobre questões ambientais mostrou-se adequada, uma vez que possibilita a tomada de decisão com base em critérios estruturados pela empresa com base na sua necessidade. Assim, tal rotina indica qual dos projetos atende com maior amplitude às demandas organizacionais. Dessa maneira, constata-se que, com a utilização de critérios estruturados no processo de tomada de decisão, os investimentos em questões ambientais fica bastante favorecido em função de uma escolha mais estruturada, o que possibilita uma maior chance de sucesso quando da escolha entre projetos distintos, diminuindo os custos inerentes ao projeto e à sua operacionalização.

### **Referências**

- BARBIERI, J.C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004. 328 p.
- CASAROTTO FILHO, N; KOPITTKKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 458 p.
- DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 169 p.
- FERREIRA, A.C.S. **Contabilidade Ambiental**. São Paulo: Ed. Atlas, 2003. 138 p.
- GOMES, L.F.A.M; ARAYA, M.C.G; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 168 p.
- GOMES, L.F.A.M; GOMES, C.F.S; ALMEIDA, A.T. **Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério**. São Paulo: Ed. Atlas, 2002. 263 p.
- HANSEN, D.R; MOWEN, M.M. **Gestão de Custos: contabilidade e controle**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001. 783 p.
- MOURA, L.A.A. **Economia Ambiental: gestão de custos e investimentos**. 2. ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2003. 232 p.
- RIBEIRO, M.S. **A Contabilidade Como Instrumento do Gerenciamento Ambiental**. In> CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 1999. Anais do VI Congresso Internacional de Custos. Braga, Portugal, 1999.
- RIBEIRO, M.S. **Contabilidade Ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2005. 220 p.
- ROBLES JR, A; BONELLI, V.V. **Gestão da Qualidade e do Meio Ambiente: enfoque econômico, financeiro e patrimonial**. São Paulo: Atlas, 2006. 112 p.
- TINOCO, J.E.P.; KRAEMER, M.E.P. **Contabilidade e Gestão Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2004. 303 p.