

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Amaury Barbieri Borges

**Avaliação do Instrumental Metodológico de Sistemas de Gestão Baseados na
NBR ISO 14001:2004 para Tomada de Decisão em Ambientes de Incerteza:
Discussão sobre a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão**

São Paulo

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Amaury Barbieri Borges

Avaliação do Instrumental Metodológico de Sistemas de Gestão Baseados na NBR ISO 14001:2004 para Tomada de Decisão em Ambientes de Incerteza: Discussão sobre a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Data da aprovação ____/____/____

Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Alexandre de Oliveira Aguiar
Invento Consultoria Treinamento e Serviços Ltda

Profa. Dr. Abraham Sin Oih Yu
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Amaury Barbieri Borges

Avaliação do Instrumental Metodológico de Sistemas de Gestão Baseados na NBR
ISO 14001:2004 para Tomada de Decisão em Ambientes de Incerteza:
Discussão sobre a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de
Pesquisas Tecnológicas - IPT, para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Área de Concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz

São Paulo

Maio/2009

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

B732a Borges, Amaury Barbieri
Avaliação do instrumental metodológico de sistemas de gestão baseados na NBR ISO 14001:2004 para tomada de decisão em ambientes de incerteza: discussão sobre a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão. / Amaury Barbieri Borges. São Paulo, 2009.
177p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz

1. Sistema de gestão ambiental 2. Tomada de decisão (administração) 3. Incerteza 4. NBR ISO 14001:2004 5. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Ensino Tecnológico II. Título

09-69

CDU 504.06(043)

DEDICATÓRIA

À minha esposa e companheira Marilia Maria Rodrigues Borges.

Aos meus filhos, e amigos, Arthur Rodrigues Borges e Luciana Rodrigues Borges.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz, por sua dedicação, paciência e competência na orientação.

Ao Prof. Dr. Abraham Sin Oih Yu, por suas sugestões e comentários valiosos na área da teoria da decisão.

Ao Prof. Dr Alexandre Aguiar, por seus importantes comentários na área ambiental.

Ao Mestre Ricardo Altmann, por suas relevantes sugestões na área da teoria da decisão.

Ao Eng. Anderson Martin Jacintho, diretor do ABS-QE, por seu apoio, que viabilizou a realização deste mestrado.

RESUMO

Esta dissertação discute a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão em relação a SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, bem como a suficiência para suprir as limitações do instrumental metodológico disponibilizado pela norma NBR ISO 14001:2004 para tomada de decisão em ambientes de incerteza.

A discussão explora as principais características dos SGAs, com destaque para a generalidade da norma NBR ISO 14001:2004, que define o que deve ser feito, mas não como fazer. Fica à critério das organizações que implementam sistemas de gestão ambiental definirem a forma como atenderão aos requisitos da norma. Outro ponto discutido é fato da norma NBR ISO 14001:2004 ser baseada no ciclo P.D.C.A. e na melhoria contínua. Esta abordagem, apesar de ser muito útil no dia-a-dia de muitas organizações, apresenta limitações em ambientes de incerteza envolvendo melhorias de ruptura, onde o tempo de resposta é muito longo, ou os valores envolvidos são muito elevados, para permitir que o aprendizado obtido possa ser aproveitado para melhorar as decisões tomadas.

A partir da identificação das limitações dos SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, buscou-se nas ferramentas da teoria da decisão instrumentos que possam complementar os SGAs. São discutidos diversos itens do processo de tomada de decisão, começando pela concepção geral, analisando-se a seguir cada etapa em maior profundidade. Na discussão pormenorizada, avalia-se a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão, bem como as interfaces entre a teoria da decisão e os SGAs, que estão associadas à terminologia adotada pela norma NBR ISO 14001 e pela teoria da decisão. O conhecimento da correlação entre estas terminologias facilita aos profissionais da área de gestão ambiental a aplicação das ferramentas da teoria da decisão.

A discussão demonstra que as ferramentas da teoria da decisão complementam os SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, fornecendo o ferramental necessário para a tomada de decisão em ambientes de incerteza. Observou-se que as principais complementaridades podem ocorrer nos itens objetivos e metas e programas de gestão, bem como na análise pela administração, que envolvem decisões eventualmente relacionadas a melhorias de ruptura. O uso de ferramentas e técnicas da teoria da decisão, como a criação de alternativas a partir do pensamento focado no valor; o uso da árvore de decisão; a aplicação de probabilidades subjetivas e a análise de sensibilidade complementam os SGAs. A aplicação da análise do ciclo de vida possibilita a definição de *trade-offs* entre objetivos ambientais distintos, possibilitando a ponderação de objetivos conflitantes.

Este conjunto de ferramentas aplicado de forma coerente em SGAs aumenta a assertividade das decisões, contribuindo para uma melhor aplicação dos recursos e conseqüente incremento do desempenho ambiental das organizações.

Palavras-Chave: Gestão ambiental, NBR ISO 14001, Análise de Decisão, Incerteza

ABSTRACT

An Assessment of the Methodological Tools of the Environmental Management System Based on the NBR ISO 14001:2004 for decision making under uncertainty: Discussion on the complementarity of decision making theory.

This dissertation discuss the complementarity of decision making methods regarding the EMS based on NBR ISO 14001:2004, as well as its sufficiency to fulfill the limitations of methodological toolkit provided per the NBR ISO 14001:2004 standard for decision making under uncertainty.

The discussion explores the EMS's key characteristics, with an emphasis on the NBR ISO 14001:2004 generality, which defines what shall be done, but not how to do. It is leaved to the organization that implements the EMS to define to define the ways to meet the standard's requirements. Other aspect addressed is the approach based on the P.D.C.A. cycle and continual improvement adopted by the NBR ISO 14001:2004 standard. Although this approach be helpful to many organization's operational management, it presents limitations when dealing with breakthrough improvements under uncertainty, where the feedback loops are too long, or the commitments of resources is so high, that makes it nearly impossible to use the learned lessons to improve the decisions made.

Once the limitations of EMS based on NBR ISO 14001:2004 were identified, the making decision tools were reviewed in order to identify the ones that could complement the EMSs. It is discussed several aspects about the decision making process, starting by the overall conception, followed by a review of each step in a deeper way. Inside the detailed discussion, the decision making tolls complementarity, as well as the interface between the decision making theory and the EMSs, that are related to the terminology adopted by the NBR ISO 14001:2004 standard and decision making theory. The knowledge about the correlation among these terminologies makes easier to the professionals from the environmental management area to apply the decision making tools.

The discussion shows that the decision making tools complement the EMSs based on the NBR ISO 14001:2004, providing the instruments needed for decision making under the uncertainty. It was found that the key complementary points can occur on the clauses objectives, targets and programmes, as well as on the management review, which eventually requires to make decisions related to rapture improvements. The use of decision making's tools and techniques, as creation of alternatives using the value-focused thinking, the use of decision tree, the application of subjective probability and the sensitive analysis complements the EMSs. The life cycle analyses allows the definition of trade-offs among the several environmental objectives evolved, making possible the weighting among conflicting objectives.

This set of tools applied in a coherent way in EMSs improve the effectiveness of decisions, contributing to a better resources allocation and consequent improvement in organization's environmental performance.

Keywords: environmental management, NBR ISO 14001, decision making, uncertainty

Lista de Figuras

Figura 1 -	Análise pela Administração e Definição dos Programas de Gestão	30
Figura 2 -	Fluxograma do processo de tomada de decisão	39
Figura 3 -	Descrição de como as 10.000 decisões seriam tomadas	41
Figura 4 -	Sugestão de como as 10.000 decisões poderiam ter sido tomadas	42
Figura 5 -	Correlação entre a terminologia da teoria da decisão e pela NBR ISO:14001:2004	48
Figura 6 -	Correlação entre objetivos fundamentais e intermediários	50
Figura 7 -	Fluxograma da modelagem da estrutura do problema	56
Figura 8 -	Fluxograma de tomada de decisão incluindo os valores expressos em sua política organizacional	59
Figura 9 -	Diagrama de influência	70
Figura 10 -	Seleção do trocador de calor	73
Figura 11 -	Árvore de decisão e Valor Monetário Esperado I	78
Figura 12 -	Árvore de decisão e Valor Monetário Esperado II	81
Figura 13 -	Seleção do trocador de calor, sem os valores do dano à imagem	97
Figura 14 -	Seleção do trocador de calor, com todos os valores	118
Figura 15 -	Árvore de decisão do caso trocador de calor no formato <i>linked-tree</i>	120
Figura 16 -	Análise unidimensional do custo do <i>air-cooler</i>	122
Figura 17 -	Análise unidimensional da variável “mês de início da restrição”	123
Figura 18 -	Gráfico de tornado para o exemplo do trocador de calor	125
Figura 19 -	Gráfico da região estratégica para as variáveis custo unitário da água e mês de início da restrição à captação	127
Figura 20 -	Gráfico de análise da sensibilidade das variáveis custo unitário da água e mês de início da restrição à captação	129

Figura 21 -	Árvore de Decisão - Escolha entre um trocador casco-tubo e um <i>air-cooler</i>	130
Figura 22 -	Simulação de Monte Carlo da diferença dos impactos ambientais entre o uso de envelope de papel e envelope de polietileno	131
Figura 23 -	Árvore de decisão referente à determinação de probabilidades subjetivas	156
Figura 24 -	Avaliação do peso dos atributos usando a técnica das loterias I	164
Figura 25 -	Avaliação do peso dos atributos usando a técnica das loterias II	165
Figura 26 -	Contribuição de cada impacto na perspectiva hierarquista	167
Figura 27 -	Contribuição de cada impacto na perspectiva igualitária	168
Figura 28 -	Contribuição de cada impacto na perspectiva individualista	168
Figura 29 -	Comparação dos impactos ambientais devido à utilização de envelope de papel ou de polietileno	171
Figura 30 -	Contribuição relativa para impacto total resultante de cada um dos métodos para o envelope de polietileno	171
Figura 31 -	Contribuição relativa para impacto total resultante de cada um dos métodos para o envelope de papel	171
Figura 32 -	Folha de Dados do Trocador de Casco e Tubo	174
Figura 33 -	Dimensional do Trocador Casco-Tubo	175
Figura 34 -	Folha de Dados do <i>Air-Cooler</i>	176
Figura 35 -	Dimensional do <i>Air-Cooler</i>	177

Lista de Quadros

Quadro 1 -	Elementos da norma NBR ISO 14001:2004 envolvidos no processo de tomada de decisão	28
Quadro 2 -	Objetivos, metas e programas de gestão	31
Quadro 3 -	Os oito elementos de uma decisão	38
Quadro 4 -	Processo de identificação dos objetivos fundamentais e intermediários	52
Quadro 5 -	Principais características dos métodos de ponderação dos impactos	112
Quadro 6 -	Classificação de danos patrimoniais e danos à imagem da Petroquímica Internacional	116
Quadro 7 -	Vantagens e limitações da ISO 14001:2004	136
Quadro 8 -	Teoria da Decisão & ISO 14001:2004	140

Lista de Tabelas

Tabela 1 -	Cálculo do Valor Presente	80
Tabela 2 -	Probabilidades subjetivas relacionadas ao caso de seleção do trocador de calor	96
Tabela 3 -	Escala de atributos para a atitude do público	101
Tabela 4 -	Análise de sensibilidade da prioridade para os vários fatores de ponderação do método EPS2000d	132
Tabela 5 -	Custo da Taxação da Captação	147
Tabela 6 -	Custo da Restrição da Captação	148
Tabela 7 -	Probabilidade acumulada	157
Tabela 8 -	Escala construída de atributos para impactos biológicos decorrentes da instalação de uma usina termo-nuclear	158
Tabela 9 -	Carros disponíveis	160
Tabela 10 -	Substituição dos pesos	160
Tabela 11 -	Substituição dos pesos, com a ordem de preferência definida	161
Tabela 12 -	Substituição dos pesos, com as notas	161
Tabela 13 -	Substituição dos pesos, com os pesos	162
Tabela 14 -	Escalas de atributos para a decisão de compra de um carro	162

Lista de Abreviaturas e Siglas

Abiquim	Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do ciclo de vida
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASQ	American Society for Quality
CB-38	Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental
CML	<i>Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden</i>
CPM	<i>Center of Environmental Assessment of Products and Material Systems</i>
EDIP	<i>Environmental Design of Industrial Products</i>
EE	<i>Egalitarian egalitarian</i>
ELU	<i>Environmental Load Unit</i>
EMS	<i>Environmental Management System</i>
EPS	<i>Environmental Priority Strategies in Product Design</i>
ETE	Estação de tratamento de efluentes
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IGPM	Índice Geral de Preços do Mercado
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
PE	Polietileno
PGA	Programa de Gestão Ambiental
Setac	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>

SGA	Sistema de Gestão Ambiental
TIR	Taxa Interna de Retorno
U.S.	<i>United States</i>
VME	Valor Monetário Esperado
VP	Valor Presente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo	19
1.2 Procedimentos Metodológicos	20
1.3 Pressupostos	20
2 AVALIAÇÃO DO INSTRUMENTAL METODOLÓGICO DISPONIBILIZADO PELA NBR ISO 14001:2004 PARA TOMADA DE DECISÃO EM AMBIENTES DE INCERTEZA	22
2.1 Crítica à Norma NBR ISO 14001:2004	32
3. O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	36
3.1. Identificação do Contexto e Entendimento dos Objetivos Envolvidos no Processo Decisório	43
3.1.1 Estruturação dos Valores	45
3.1.2 Contexto, Responsabilidade e Autoridade	53
3.1.3 O Dinheiro como Objetivo	57
3.2 Identificação e Criação de Alternativas	60
3.2.1 Bloqueios Mentais na Identificação de Alternativas	61
3.2.2 Identificação de Alternativas	66
3.3 Modelagem da Estruturação do Problema	69
3.3.1 Estruturação dos Elementos de Decisão: Diagrama de Influência e Árvore de Decisão	69
3.3.1.1 Árvores de Decisão	71
3.3.2 Modelagem da Incerteza	76
3.3.2.1 Valor Monetário Esperado	77
3.3.2.2 Probabilidade Subjetiva	83
3.3.2.2.1 Os Mecanismos Heurísticos e os Vieses na Avaliação da Probabilidade Subjetiva	85

3.3.2.2.2 Probabilidade: Uma Interpretação Subjetiva	93
3.3.2.2.3 Avaliação das Probabilidades Subjetivas no Exemplo “Seleção do Tocador de Calor	95
3.4 Modelagem das Preferências e <i>Trade-Offs</i>	98
3.4.1 Construção de Escalas para Avaliação do Nível de Atendimento dos Objetivos Fundamentais	99
3.4.2 Definição dos <i>Trade-Offs</i> para Decisões Envolvendo Múltiplos Objetivos	104
3.4.3 Avaliação dos <i>Trade-Offs</i>	105
3.4.4 <i>Trade-Offs</i> e as Questões Ambientais	106
3.4.5 <i>Trade-off</i> no Caso do Trocador de Calor	115
3.5 Análise de Sensibilidade	119
3.5.1 Avaliação da Necessidade de Análises Adicionais e Definição do Momento de Tomar a Decisão	133
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
REFERÊNCIAS	142
REFERÊNCIAS CONSULTADAS	145
GLOSSÁRIO	146
APÊNDICE A – Custos da Cobrança da Água	147
APÊNDICE B – Custos da Restrição da Captação de Água	148
APÊNDICE C – Custos do Trocador de Calor e do <i>Air-Cooler</i>	149
APÊNDICE D – Avaliação de Probabilidade Discreta	154
APÊNDICE E – Avaliação da Probabilidade Contínua	157
APÊNDICE F – Escala de Atributos para Impactos Biológicos Decorrentes da Instalação de uma Usina Termo-Nuclear	158
APÊNDICE G - Determinação dos Fatores de Ponderação α_i pelos Métodos da Substituição dos Pesos e pelo Método dos Pesos da Loteria.	160

APÊNDICE H - Detalhes das Diversas Perspectivas do Método Ecoindicator 99	167
APÊNDICE I - Avaliação dos Impactos Ambientais com a Utilização de Diferentes Métodos de Análise de Ciclo de Vida.	170
ANEXO A - Detalhamento e Custos dos Trocadores de Calor	173

1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais vêm ganhando dimensão crescente em nível mundial desde a década de 70 e, no nível das organizações, atualmente já é assunto estratégico, com peso considerável nas decisões visando investimentos em novos empreendimentos, em fusões e aquisições e no descomissionamento de grandes unidades produtoras de matérias-primas para vários fins industriais.

Nas últimas três décadas, verificou-se uma evolução na forma de se enxergar as questões ambientais. A idéia do crescimento ilimitado¹ que vigorou até o início dos anos oitenta privilegiava a produção de bens em escala, maximizando a utilização de recursos naturais e, em geral, considerando medidas corretivas paliativas, de “fim de tubo”, que sempre eram assimiladas como custos pela alta direção dos empreendimentos.

As décadas de setenta e oitenta também foram marcadas por grandes acidentes envolvendo indústrias químicas, como o de Flixborough, na Inglaterra em 1974, o de Seveso, na Itália em 1976 e o de Bhopal, na Índia em 1984, que mostraram às organizações como as questões ambientais podem afetar seus negócios e a sociedade, o nível de vulnerabilidade a que estava exposta (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001).

A partir da década de noventa, principalmente após a Rio-92, começou-se a delinear uma mudança de visão, com o surgimento das normas da série ISO 14.000, motivando assim uma postura mais pró-ativa das empresas no trato das questões ambientais. Por outro lado, as leis e regulamentações também se avolumaram e tornaram-se mais restritivas, destacando-se como marcos mais importantes a Política Nacional de Meio Ambiente em 1981, a Lei de Ação Civil Pública em 1984, a Constituição da República Federativa do Brasil em 1988 e a Lei de Crimes Ambientais em 1998.

A partir da década de noventa surgiram novas filosofias de gestão com diferentes abordagens, com destaque para: Produção Mais Limpa, Ecoeficiência, Qualidade Ambiental Total, Ecologia

¹ Ideologia que diz que o crescimento acelerado e sem limites da produção material não só é possível e necessário, como também define o próprio nível de progresso de um país. Considera o nível quantitativo de sua produção material e nem sempre leva em conta a qualidade humana e o tipo de distribuição social dessa produção (BORMANN; KELLERT, 1991).

Industrial, Simbiose Industrial e Gestão Socioambiental. De certa forma, essas novas abordagens demonstraram que as questões ambientais deixaram de ser vistas meramente como custos e passaram a se constituir num dos elementos importantes na estratégia de atuação das organizações.

Segundo o Instituto Nacional de Metrologia Industrial (2008), até dezembro de 2006 havia 130.038 Sistemas de Gestão Ambiental (SGAs) certificados no mundo, com base na norma NBR ISO 14001:2004. No Brasil, o número de certificados emitidos até dezembro de 2006 era 2.447, segundo a International Organization for Standardization (2007). Esses números demonstram a importância que o uso de SGAs assumiu nas organizações.

Ao implantar um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004, as organizações comprometem-se a atender todos os requisitos desta norma, o que inclui o comprometimento com a melhoria contínua e a definição de objetivos e metas para promover esta melhoria e o planejamento das ações necessárias para alcançar os objetivos e metas definidos pela própria organização.

As organizações ambientalmente mais complexas estão envolvidas com uma miríade de pontos de melhorias e devem decidir em quais pontos devem atuar prioritariamente. Podem optar por investir na minimização da geração de resíduos, na redução da geração de efluentes ou na minimização da emissão de odores. Após decidirem em qual item investir, as organizações devem definir como irão realizar este objetivo. Para tanto, devem decidir que tecnologias devem utilizar, que especificações devem adotar em seus equipamentos, dentre outras decisões a serem tomadas.

A norma NBR ISO 14001:2004 define diversos requisitos relacionados à tomada de decisão. Esses requisitos contemplam diversas formas de coleta de informações, que são consideradas na análise pela administração e subsidiam as decisões tomadas. No entanto, esses requisitos não são detalhados e permitem que cada organização defina a forma como irá atendê-los.

Alguns dos dados que podem influenciar na tomada de decisão podem não estar disponíveis para a organização. Isto pode acontecer porque a organização não investiu recursos na obtenção desses dados ou porque os dados não estão disponíveis, pelo fato de dependerem de acontecimentos futuros.

Esta característica da norma NBR ISO 14001:2004, de não definir o como fazer, associada à complexidade normalmente encontrada nas questões ambientais, resulta na necessidade de ferramentas científicas para complementar esta limitação intrínseca da norma.

Joseph et al. (2004) ao propor uma grade curricular para cursos relacionados ao meio ambiente, afirma que somente o conhecimento das ciências ambientais e informações sobre a questão na qual será tomada uma decisão, não asseguram a qualidade da tomada da decisão. Para alcançar decisões de melhor qualidade sobre uma dada questão, o autor sugere aliar o conhecimento ambiental e as informações obtidas sobre a questão ao uso da teoria da decisão. Complementando este ponto de vista, Kaufmann (1975) afirma que a tomada de decisão deve ser baseada numa atitude científica, porém, enfatiza que a decisão não pode ser puramente lógica, sendo a abordagem heurística a mais apropriada, visto que combina a intuição inventiva e lógica.

Ao contrário das questões ambientais, que são recentes, a teoria da decisão surgiu de uma necessidade que acompanha a humanidade desde os seus primórdios, a de decidir frente a diversas ameaças. Durante milênios a espécie humana acreditou não ter controle sobre os fatos e recorria a preces ou oráculos para obter informações sobre o que as forças da natureza, ou os deuses, reservavam para ela. As decisões eram tomadas com bases nestas informações (BERNSTEIN, 1997).

O desenvolvimento do conceito de risco, e do instrumental para estimá-lo, permitiu à humanidade afastar-se dos oráculos e adotar uma abordagem científica (BERNSTEIN, 1997). Para que fosse possível estimar e gerenciar os riscos, foi necessário o desenvolvimento da matemática. A contribuição de figuras notáveis como Blaise Pascal e Pierre de Fermat, no século XVII, que desenvolveram um método para determinar as probabilidades associadas aos resultados possíveis de um jogo; até John von Neumann e Oscar Morgenstern, que na primeira metade do século XX desenvolveram os fundamentos da teoria dos jogos². Em 1968 Howard Raiffa explicou muitas das técnicas da teoria da decisão usadas atualmente. Este ferramental foi potencializado com o surgimento dos primeiros softwares de apoio à decisão, em 1950 (BUCHANAN; CONNELL, 2006). Outras áreas do saber também contribuem para a teoria da decisão, na área da psicologia Amos Tversky e Daniel Kahneman demonstraram, em 1979, que

² A teoria dos jogos trata de decisões que são influenciadas por outras decisões que são desconhecidas pelo decisor no momento da decisão.

o modelo racional utilizado na economia falha ao descrever como as pessoas tomam decisões em situações de incerteza e esclareceram diversos vieses envolvidos nas tomadas de decisão (BUCHANAN; CONNELL, 2006).

Segundo Matheson e Matheson (1998), as empresas necessitam analisar a forma como as decisões são tomadas e torná-las mais efetivas, acrescentam ainda que a tomada de decisão é um processo que pode ser melhorado.

1.1 Objetivo

O objetivo desta dissertação é discutir a complementaridade das ferramentas da teoria da decisão em relação a SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, bem como a suficiência das mesmas para suprir as limitações do instrumental metodológico disponibilizado pela NBR ISO 14001:2004 para a tomada de decisão em ambientes de incerteza³ A partir dos resultados desta análise espera-se:

- a) avaliar as limitações do instrumental disponibilizado pela NBR ISO 14001:2004 para a tomada de decisão em ambientes de incerteza;
- b) identificar a complementaridade das ferramentas da teoria de decisão em relação a SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, de modo a associá-las visando melhorar a qualidade das decisões tomadas em ambientes de incerteza;
- c) avaliar a suficiência das ferramentas da teoria da decisão para suprir as lacunas da NBR ISO 14001:2004 relacionadas com a tomada de decisão em ambientes de incerteza;
- d) divulgar aos profissionais envolvidos com SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, e a outros profissionais interessados em associar o processo de tomada de decisão às suas atividades, sobre as limitações existentes no instrumental disponibilizado pela

³ Em 1921, Frank knight diferenciou o conceito de risco do conceito de incerteza. No caso de risco é possível calcular-se a probabilidade de ocorrência de um resultado, enquanto que no caso de incerteza não é possível (BUCHANAN; CONNELL, 2006). Nesta dissertação o termo incerteza incluirá o conceito de risco.

NBR ISO 14001:2004, bem como as vantagens da utilização para complementar estas lacunas.

1.2 Procedimentos Metodológicos

Para a consecução do objetivo proposto os seguintes procedimentos foram adotados:

- a) Revisão bibliográfica – duas referências fundamentais foram os livros de Clemen e Reilly (2001) e Hammond et al. (2004). Para aprofundar a análise foram consultados também *papers*, normas e suas interpretações oficiais e outros livros relacionados à gestão ambiental, teoria da decisão e áreas correlatas, tais como análise do ciclo de vida e psicologia cognitiva;
- b) Avaliação teórica do instrumental disponibilizado pela norma NBR ISO 14001:2004 para tomada de decisão em ambientes de incerteza, bem como da complementaridade e suficiência da teoria da decisão em suprimir as lacunas existentes, de forma a permitir que o decisor possa escolher a alternativa mais adequada com razoável segurança;
- c) Utilização de um exemplo real, onde o autor foi gerente, para ilustrar um caso de aplicação, onde se analisa a substituição de um trocador casco-tubo por um *air-cooler*. A análise é realizada com o apoio do programa *Precision Tree*;
- d) Sistematização das informações obtidas e redação da dissertação.

1.3 Pressupostos

Esta dissertação pressupõe SGAs implementados não apenas para atender minimamente os requisitos estabelecidos pela norma NBR ISO 14001:2004, mas para maximizar os benefícios que a empresa pode obter com a implementação do mesmo. Os principais requisitos da norma NBR ISO 14001:2004 que foram considerados otimizados são:

- a) Item 4.3.2, requisitos legais e outros: considera-se que a empresa não se limite a identificar os novos requisitos legais publicados, mas sim, que monitore também a publicação de projetos de leis e participe de comissões que tenham por objetivo o acompanhamento de novas tendências em termos de legislação e a proposição de melhorias nos novos requisitos legais. Como exemplo, podem ser citadas as Comissões Temáticas da Associação Brasileira das Indústrias Químicas(ABIQUIM);
- b) Item 4.4.3, comunicação: parte-se do pressuposto que a empresa não apenas se limite a receber as comunicações das partes interessadas e responder às mesmas; adota-se a premissa que a empresa busca, de forma pró-ativa, conhecer a percepção que as partes interessadas possuem da empresa e de seus impactos sobre a comunidade. Como exemplo de como a empresa pode ser pró-ativa, pode ser implementado o Comitê Consultivo Comunitário, conforme sugerido pela ABIQUIM, onde líderes da comunidade e empresa se reúnem para discutir pontos de interesse comum.

Outros pressupostos são:

- a) A empresa atende integralmente à legislação aplicável;
- b) A alternativa de não atender à legislação não é aceitável para a empresa⁴;
- c) Ações que sejam tomadas para atender a novos requisitos legais não são consideradas melhorias, mas sim, adequações obrigatórias;
- d) A empresa possui boa imagem perante a comunidade e busca melhorar ainda mais esta imagem.

Cabe destacar alguns aspectos que podem influenciar a tomada de decisão, mas que não foram considerados nesta dissertação. São eles:

- a) poder e política nas organizações;
- b) estrutura organizacional e atribuições de responsabilidades;
- c) percepção do risco por parte dos decisores.

⁴ Este item não necessitaria ser considerado um pressuposto específico da empresa em questão, visto que ele é decorrente dos requisitos da norma NBR ISO 14001:2004, no entanto, a inclusão deste pressuposto torna mais clara a visão gerencial e valores da empresa.

2 AVALIAÇÃO DO INSTRUMENTAL METODOLÓGICO DISPONIBILIZADO PELA NBR ISO 14001:2004 PARA TOMADA DE DECISÃO EM AMBIENTES DE INCERTEZA

A avaliação do instrumental metodológico disponibilizado pela NBR ISO 14001:2004 para tomada de decisão em ambientes de incerteza, com vistas a verificar em que medida as ferramentas da teoria da decisão são compatíveis e suficientes para complementar as eventuais deficiências da norma NBR ISO 14001:2004 para lidar com tais decisões, pressupõem conhecer em detalhes a norma e identificar os pontos em que as ferramentas de tomada de decisão podem ser aplicadas. Este item discute a norma NBR ISO 14001:2004 com o propósito de identificar o instrumental que a mesma oferece para a tomada de decisão em ambientes de incerteza e as interfaces onde as ferramentas de tomada de decisão possam ser aplicadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Destaque-se que a norma NBR ISO 14001:2004 define requisitos gerais para a estruturação de um sistema de gestão ambiental. Esta norma é baseada no princípio da melhoria contínua e adota o método PDCA (*Plan, Do, Check and Act* ou Planejar, Executar, Verificar e Agir) para que a melhoria contínua seja alcançada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Diversos itens desta norma estão relacionados à tomada de decisão, com destaque para: política ambiental; planejamento; implementação e operação, monitoramento e medição e análise pela administração. Cada um desses itens e os elementos que o compõem são discutidos a seguir:

a) Política Ambiental :Segundo a definição dada pela NBR ISO 14001:2004, a política representa os valores e as intenções gerais de uma organização com relação à sua performance ambiental, formalmente definida pela alta direção, e constitui-se na base para a definição de objetivos e metas de uma organização. O cumprimento da política é um dos principais critérios para avaliar a eficácia de um sistema de gestão ambiental e é um dos critérios utilizados pelas organizações para decidir entre alternativas de investimento em melhorias ambientais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A norma NBR ISO 14001:2004 requer que a política ambiental contemple o comprometimento com a melhoria contínua, com a prevenção da poluição e com o atendimento dos requisitos legais e outros requisitos subscritos pela organização

relacionados aos seus aspectos ambientais. A interpretação do CB-38 (COMITE BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2006) esclarece que a melhoria contínua é demonstrada pela melhoria do desempenho ambiental da organização;

b) Planejamento: Os elementos que o compõem são:

- Aspectos Ambientais - requer que a organização identifique quais são seus aspectos ambientais e os impactos associados, requer ainda que sejam determinados quais dos impactos ambientais associados são significativos, isto é, quais necessitam ser considerados no sistema de gestão. Apesar de não ser obrigatório pela norma, é usual as organizações definirem uma escala numérica que classifica os impactos com base na severidade ao meio ambiente, frequência ou probabilidade de ocorrência do impacto e, mais raramente, consideram também a abrangência geográfica do impacto. O resultado deste processo é uma relação de impactos classificados com base na relevância ambiental;
- Requisitos Legais - requer que a organização identifique quais legislações e requisitos subscritos estão relacionados aos seus aspectos ambientais e determine como irá atendê-los. A possibilidade de não atendimento eventual a um destes requisitos, ou a possibilidade de alteração de alguns deles, são fatores que podem ser considerados nas tomadas de decisão;
- Objetivos, Metas e Programas - a organização deve estabelecer objetivos ambientais consistentes com a política ambiental⁵.

Na definição dos objetivos são considerados os requisitos legais, outros requisitos subscritos e os aspectos ambientais significativos, entre outros. Os objetivos devem ser desdobrados em metas ambientais, mais específicas, e devem ser definidos programas, planos de ação, estabelecendo como cada meta será alcançada. Os objetivos definidos pela organização são resultados de um processo de tomada de decisão nos níveis hierárquicos

⁵ A interpretação do U.S. Technical Advisory Group to ISO/Technical Committee 207 (2006) reforça o entendimento de que os objetivos e metas devem estar alinhados com a política da organização, que inclui o comprometimento com a melhoria contínua e com a prevenção da poluição.

mais altos da organização. Após a definição dos objetivos e metas, os programas de gestão são definidos, detalhando como os objetivos e metas serão alcançados. Esta definição normalmente ocorre em um nível hierárquico inferior aos que são responsáveis pela definição dos objetivos e metas.

Os objetivos e metas podem estar relacionados a melhorias incrementais ou de ruptura. As primeiras são pequenas melhorias que aumentam a performance de uma organização, mantendo a essência da mesma. Já as segundas estão relacionadas a grandes modificações que alteram de forma substancial a organização, estando normalmente associadas a tempos longos de maturação;

c) Implementação e Operação: Os elementos da seção Implementação e Operação relacionados com o processo de tomada de decisão são:

- Recursos, funções, responsabilidades e autoridades – este elemento especifica, entre outros itens, que funções, responsabilidades e autoridades devem ser definidas, documentadas e comunicadas visando facilitar uma gestão ambiental eficaz. A definição de responsabilidades e autoridades cumpre um papel importante no processo de tomada de decisão, na medida em que define o papel específico de cada agente envolvido no processo, assegurando que os papéis estejam claramente definidos, porém, não é dada nenhuma diretriz específica sobre a definição dos papéis no processo de tomada de decisão;
- Competência, treinamento e conscientização – requer que a organização assegure que a pessoas sejam competentes com base em formação apropriada, treinamento ou experiência. A norma NBR ISO 14001:2004 não define nenhum requisito de competência, cabendo a cada organização a definição desses requisitos;
- Comunicação - requer que a organização estabeleça uma sistemática para comunicação interna e externa. Do ponto de vista de tomada de decisão, as comunicações recebidas das partes interessadas, internas e externas, são informações que contribuem para os responsáveis pela tomada de decisão e, também, para os gestores conhecerem as variáveis externas que afetam a organização. A comunicação gera dados de entrada para o processo de tomada de decisão. A organização deve

definir se comunicará pró-ativamente seus aspectos ambientais e, em caso afirmativo, deve definir quais aspectos comunicará e para qual público.

d) Verificação : O item Verificação envolve os seguintes elementos relacionados à tomada de decisão:

- Monitoramento e medição - a organização é requerida a estabelecer procedimentos para monitorar e medir, em bases regulares, as características principais de suas operações que podem ter aspectos ambientais significativos. Os resultados do monitoramento e medição fornecem informações sobre o desempenho ambiental da organização, permitindo aos gestores identificarem os seus pontos fortes e pontos fracos;
- Avaliação do atendimento a requisitos legais e outros - periodicamente a organização deve realizar uma verificação da conformidade com os requisitos legais aplicáveis e com outros requisitos subscritos pela própria organização. Este elemento permite que a capacidade da organização em manter a sua conformidade com os requisitos legais e outros requisitos subscritos seja avaliada e fornece informações sobre possíveis deficiências para os gestores;
- Não conformidade, ações corretiva e ação preventiva - requer que os desvios, não conformidades, em relação aos requisitos da norma, requisitos legais ou requisitos estabelecidos pela própria organização sejam registrados, requer também que as não conformidades sejam investigadas para determinar as causas e evitar a sua ocorrência, no caso de não conformidades potenciais, ou a sua repetição, no caso de não conformidades reais. Após a tomada das ações preventivas ou corretivas, a organização deve analisar criticamente a efetividade das ações corretivas ou preventivas implementadas. Este item da norma requer que as não conformidades sejam identificadas, e que sejam tomadas ações para evitar a sua ocorrência ou repetição, mas não define a forma de investigar as causas nem os critérios ou métodos a serem adotados para definir quais ações devem ser tomadas para evitar a ocorrência ou repetição das não conformidades. O único critério estabelecido pela norma NBR ISO 14001:2004 é que as ações tomadas devem ser apropriadas à magnitude dos problemas e dos impactos ambientais envolvidos. Não conformidades reincidentes

podem indicar a necessidade de uma ação sistêmica mais profunda e, esta situação, deve ser considerada na análise pela administração;

- Auditoria interna - este requisito estabelece que a organização deve conduzir auditorias em intervalos planejados como objetivo de determinar se o sistema de gestão atende aos requisitos planejados do SGA, incluindo os requisitos definidos pela norma NBR ISO 14001:2004, se o SGA está sendo mantido adequadamente e fornecer informações dos resultados da auditoria para a administração. Este requisito prevê uma avaliação de todos os requisitos normativos e que os resultados sejam levados para a administração. Essas informações permitem aos gestores uma visão da capacidade do SGA atender aos requisitos da norma NBR ISO 14001:2004 e dos demais requisitos estabelecidos pela própria organização, permitindo aos gestores identificarem oportunidades de melhoria ou de correção do SGA.

e) Análise pela administração : A alta administração deve analisar o SGA em intervalos planejados para assegurar a sua contínua adequação, pertinência e efetividade. Esta análise deve incluir a avaliação de oportunidades de melhoria e a necessidade de mudanças no SGA, incluindo a política ambiental e os objetivos ambientais. A norma NBR ISO 14001:2004 estabelece que as seguintes informações devem ser analisadas:

- Resultado das auditorias internas;
- Avaliação da conformidade com os requisitos legais e com os requisitos subscritos pela própria organização;
- Comunicação das partes interessadas externas, incluindo reclamações;
- Desempenho ambiental da organização;
- Extensão na qual os objetivos ambientais da organização são atendidos;
- Situação das ações corretivas e preventivas;
- Acompanhamento das ações decorrentes das análises pela administração anteriores;
- Mudanças nas circunstâncias, incluindo novos requisitos legais ou outros subscritos, e
- Sugestões de melhoria.

Os resultados esperados da análise pela administração são decisões e ações relacionadas a possíveis mudanças na política ambiental, objetivos, metas e outros elementos do sistema de gestão ambiental, de forma consistente com o compromisso de melhoria contínua.

Para a consecução do princípio da melhoria contínua, a alta administração deve definir o impacto ambiental que será melhorado, por meio da definição de objetivos. Dependendo do tipo de objetivo e meta, incremental ou de ruptura, os impactos no processo de tomada de decisão são distintos, visto que as melhorias incrementais normalmente demandam uma análise de um horizonte de tempo menor que o horizonte considerado nos casos de melhorias de ruptura. Outra diferença importante entre estes dois tipos de melhorias é o tipo de incerteza introduzida no processo de tomada de decisão. Estas diferenças estão relacionadas tanto com o horizonte de tempo que deve ser considerado quanto com a magnitude do impacto que a decisão pode ter sobre a organização como um todo.

É na análise pela administração que são tomadas as principais decisões relacionadas ao sistema de gestão. A norma define os requisitos que devem ser obrigatoriamente analisados e define quais são as saídas necessárias, porém não define nem sugere nenhum método para a tomada de decisão.

A norma NBR ISO 14001:2004 define diversos requisitos relacionados à tomada de decisão. Esses requisitos contemplam diversas formas de coleta de informações, que são consideradas na análise pela administração e subsidiam as decisões tomadas. No entanto, esses requisitos não são detalhados e permitem que cada organização defina a forma como irá atendê-los (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O Quadro 1 a seguir resume o papel de cada elemento da norma NBR ISO 14001:2004 no processo de tomada de decisão

Papel na ISO 14001:2004	Elemento da Norma NBR ISO 14001:2004	Papel no Processo de Tomada de Decisão
Recursos Humanos	4.4.1 Recursos, funções, responsabilidades e autoridades 4.4.2 Competência, treinamento e conscientização	Elementos de apoio, fornecem subsídios para seleção da equipe e para a definição dos papéis dos envolvidos na tomada de decisão
Valores	4.2 Política ambiental	Define os valores e intenções da organização, que servem como diretrizes e critérios de avaliação e seleção para as diversas opções de investimentos
Dados de entrada	4.3.1 Aspectos ambientais	Fornecer informações sobre os aspectos e impactos ambientais das organizações, normalmente classificados com base na relevância ambiental de cada impacto
	4.3.2 Requisitos legais e outros	Fornecer informações sobre os requisitos legais aplicáveis e requisitos subscritos pela organização
	4.3.3 Objetivos, metas e programas	Os dados sobre o atendimento aos objetivos e metas anteriores são considerados na análise pela administração
	4.4.3 Comunicação	Fornecer dados sobre as partes interessadas, internas e externas, permitindo conhecer suas preocupações, anseios e pontos de vistas
	4.5.1 Monitoramento e medição	Os resultados do processo de monitoramento e medição fornecem dados sobre a performance ambiental da organização
	4.5.2 Avaliação do atendimento a requisitos legais e outros	Fornecer dados sobre a conformidade com requisitos legais e com os requisitos subscritos. A possibilidade de desvios legais eventuais e pontuais, em situações anormais ou emergenciais podem ser considerados no processo de definição de objetivos e metas
	4.5.4 Não conformidades, ações corretivas e ações preventivas	As quantidades de não conformidades por área e a existência de não conformidades reincidentes são dados considerados na análise pela administração
	4.5.5 Auditoria interna	Fornecer dados sobre a conformidade do SGA com os requisitos definidos pela organização e com a norma NBR ISO 14001:2004
Decisão	4.6 Análise pela administração	Análise dos dados de entrada, avaliação da necessidade de mudanças na política ambiental nos objetivos e metas em outros elementos do SGA, consistente com o compromisso de melhoria contínua As melhorias são asseguradas por meio da escolha dos impactos ambientais a serem minimizados, com o estabelecimento dos objetivos e metas correspondentes
Dados de saída	4.3.3 Objetivos, metas e programas	Objetivos e metas novos ou revisados. Os objetivos e metas podem estar associados a melhorias incrementais ou de ruptura
	4.2 Política ambiental	Eventual revisão da política, tornando mais claros os valores da organização ou revisando esses valores

Quadro 1 – Elementos da norma NBR ISO 14001:2004 envolvidos no processo de tomada de decisão
Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo a NBR ISO 14001:2004, os objetivos e metas ambientais são definidos ou avaliados na análise pela administração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). A forma como eles serão alcançados é definida nos programas de gestão, que são estabelecidos nos níveis hierárquicos correspondentes. Normalmente os programas de gestão são definidos pelos níveis hierárquicos responsáveis pelos mesmos. Existem, portanto, duas instâncias de decisão:

- A alta direção, responsável pela definição de quais são os objetivos que a organização deve alcançar;
- Os níveis hierárquicos designados para alcançar os objetivos definidos pela alta administração, responsáveis, normalmente, pela definição dos programas de gestão e, conseqüentemente, pela forma como esses objetivos serão alcançados.

Todos esses requisitos estão consolidados na Figura 1 a seguir.

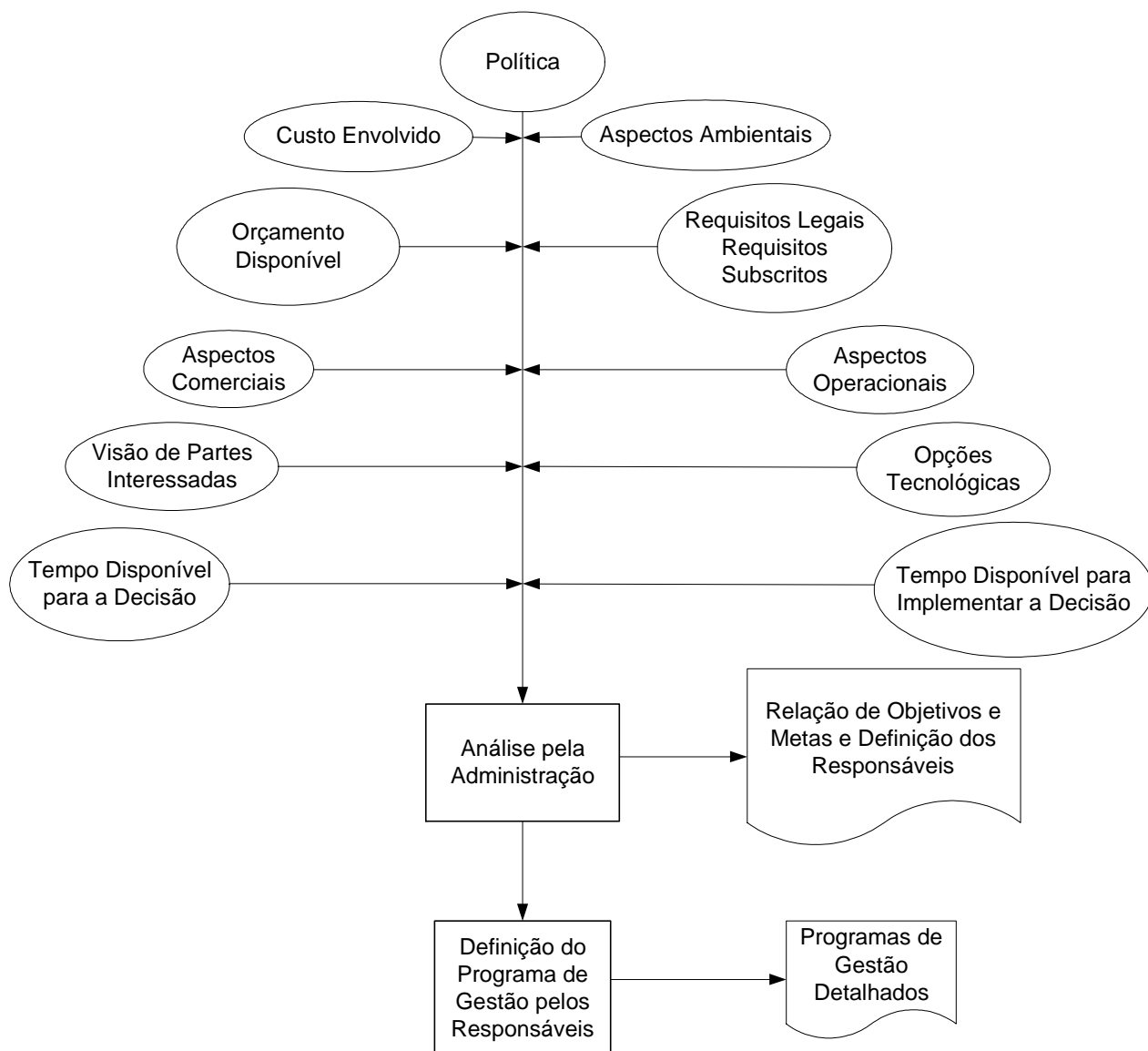


Figura 1 - Análise pela administração e definição dos programas de gestão

Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise pela administração é realizada uma priorização dos impactos ambientais que serão minimizados, estabelecendo-se os respectivos objetivos e metas, selecionando-se os objetivos que deverão ser alcançados no próximo período. Os objetivos não selecionados podem ser considerados na próxima análise crítica. Para os objetivos selecionados, os responsáveis devem apontar como os mesmos serão alcançados, definindo os programas de gestão. O Quadro 2 detalha esta discussão.

Impacto Ambiental	Objetivo	Meta	Programa de Gestão	Tipo de Melhoria
Poluição do solo	Reduzir a geração de resíduos sólidos da fábrica em 3% até o final deste ano	Reduzir em 5% a geração de resíduos sólidos da área de resinas, até o término do ano corrente	Otimizar os procedimentos operacionais até o final do ano	Incremental
Poluição do solo	Reduzir em 15% a geração de resíduos sólidos da fábrica em 2 anos	Reduzir em 25% a geração de resíduos na área de resinas	Mudar o sistema de secagem da resina, reduzindo as perdas por queima, iniciando a operação em 2 anos	Interface entre incremental e ruptura
Poluição do solo	Reduzir em 20% a geração de resíduos e eliminar a geração de resíduos perigosos da produção, em 5 anos	Reduzir em 33% a geração de resíduos na área de resinas e eliminação do uso de catalisador à base de metais pesados	Construção de nova planta de reação, adotando tecnologia que utiliza catalisadores orgânicos	Ruptura
Poluição das Águas	Eliminação do efluente industrial que contém metais pesados em 5 anos	Eliminação do catalisador a base de metais pesados	Construção de nova planta de reação, adotando tecnologia que utiliza catalisadores orgânicos	Ruptura

Quadro 2 – Exemplos de objetivos, metas e programas de gestão

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se o Quadro 2, observa-se que no processo de definição de objetivos, metas e programas de gestão há diversas decisões envolvidas. A primeira decisão está na definição do impacto a ser minimizado, seguido pela definição do objetivo, onde é determinado em que medida o impacto será minimizado. A próxima decisão é a definição da meta, que implica em um detalhamento do objetivo, especificando pontos adicionais como, por exemplo, o processo da empresa que será objeto de melhoria. A última decisão é a definição detalhada da forma como o impacto será minimizado, selecionando a melhor alternativa.

É importante ressaltar que uma mesma alternativa pode contribuir para atender a mais de um objetivo. A construção de uma nova planta de reação, com a adoção de tecnologia que dispensa o uso de catalisadores metálicos, contribuiria tanto para redução da geração de resíduos sólidos, quanto para a eliminação do efluente contendo metais pesados.

Há casos em que a decisão consiste em selecionar dentre uma lista de projetos, que visam atender a um mesmo objetivo. Um exemplo desta situação é uma companhia de saneamento que visa levar a coleta e tratamento de esgotos ao maior número possível de habitantes. Para tanto, ela deve selecionar os projetos, considerando as limitações orçamentárias que melhor atendam ao objetivo estabelecido.

A experiência tem mostrado que a maior parte dos gestores de grandes empresas utilizam, ou conhecem, ferramentas relacionadas ao planejamento estratégico para auxiliar a definição dos rumos a serem seguidos pela organização e a consequente definição dos objetivos nas análises pela administração. No entanto, o uso de ferramentas estruturadas para a definição de como atingir ao objetivo estabelecido, isto é, a definição dos programas de gestão no nível tático, não é tão difundido. Adicionalmente, a maioria dos gestores responsáveis pela definição dos programas de gestão tinha pouco ou nenhum conhecimento destas ferramentas. Em função desta baixa difusão do conhecimento das ferramentas para tomada de decisão no nível tático, esta dissertação concentrará a atenção nestas ferramentas.

2.1 Crítica à Norma NBR ISO 14001:2004

A norma NBR ISO 14001:2004 baseia-se no ciclo P.D.C.A., o que propicia às organizações alcançarem a melhoria contínua de seus resultados. No entanto, esta estrutura possui limitações.

Segundo Matheson e Matheson (1998), deve ser feita uma diferenciação entre as decisões envolvendo questões de curto prazo e as decisões envolvendo questões de longo prazo⁶. Existem importantes diferenças entre as duas. As questões de curto prazo possuem ciclos de retroalimentação de curtos, onde é possível conhecer de forma confiável os bons e os maus resultados das decisões tomadas em um prazo de tempo relativamente curto. Observam-se os resultados e realizam-se as correções.

Esta abordagem assume que os erros não são extremamente custosos, e que os processo de retroalimentação e de ajuste no processo irão conduzir a atividade para sua performance ótima

⁶ Os autores referem-se às decisões de longo prazo como sendo decisões estratégicas, e as decisões de curto prazo são referenciadas como decisões operacionais.

através de uma série melhorias incrementais. Os tempos envolvidos neste ciclo normalmente são da ordem de meses ou menos. As pessoas envolvidas com a atividade são as melhores fontes de conhecimento, sendo, portanto, as mais capazes para sugerir as melhorias a serem implementadas (MATHESON; MATHESON, 1998). Segundo os mesmos autores, para as decisões envolvendo questões de curto prazo, as seguintes práticas são importantes:

- a) Atenção aos detalhes e acompanhamento do processo - o ponto-chave para a melhoria é assegurar que alguém esteja no controle do processo e acompanhe detalhadamente o que ocorre em função da mudança do processo;
- b) Monitoramento de curto prazo da performance - em função do ciclo de retroalimentação ser curto, o que importa é a variação da performance no curto prazo. Uma sucessão de ações de curto prazo efetivas, resultarão em resultados efetivos no longo prazo;
- c) Desconsiderar as incertezas - os envolvidos irão conhecer as incertezas rapidamente a partir das mudanças implementadas e da observação dos resultados. Incertezas são tratadas ou como variações estatísticas que devem ser mantidas dentro de limites de controle, ou como um conjunto de obstáculos menores que devem ser superados;
- d) Evitar a criação de alternativas - em situações onde a retroalimentação é fácil, é melhor fazer e observar o resultado do que procurar alternativas. Se houver erro na primeira tentativa, basta tentar novamente considerando o que foi aprendido. A busca por novas alternativas pode levar a atrasos desnecessários.

Decisões envolvendo melhorias de ruptura normalmente envolvem a alocação de recursos elevados por vários anos antes dos resultados serem conhecidos, o que torna o ciclo de retroalimentação excessivamente longo para ser usado como fonte de melhoria do processo (MATHESON; MATHESON, 1998). A construção de uma planta petroquímica utilizando uma nova tecnologia mais limpa demora em torno de cinco anos entre a decisão e o início de operação, sendo que os custos envolvidos variam de dezenas a centenas de milhões de dólares. As incertezas envolvidas são significativas, há casos de plantas petroquímicas que utilizaram novas tecnologias que se mostraram inviáveis após o início da operação, como ocorreu com uma

planta de estireno em Cubatão. Além do investimento na construção, a organização arcou com os custos das tentativas de torná-la operacional por alguns anos, até decidirem sucatear a planta.

As decisões envolvendo questões de longo prazo e custos elevados necessitam de uma outra forma de abordagem. Segundo Matheson e Matheson (1998), a abordagem adequada é:

- a) Focar no que é importante - em virtude das decisões envolvendo questões de longo prazo abrangerem muitas variáveis, os decisores devem focar no pontos de maior relevância;
- b) Considerar horizontes de tempo longos - assegurar que a decisão tomada conduza a organização ao atendimento dos objetivos de longo prazo;
- c) Considerar as incertezas - no longo prazo o caminho com maior risco pode ser formado por uma série de etapas de baixo risco. O conhecimento das incertezas permite aos decisores escolherem o caminho que ofereça a melhor relação risco / retorno;
- d) Criar e selecionar alternativas - dedicar tempo para a criação de alternativas e escolher a melhor. Em situações onde não há uma segunda chance, o planejamento deve ser meticuloso.

O fato da norma NBR ISO 14001:2004 estar baseada no ciclo P.D.C.A. a torna eficaz para lidar com questões de curto prazo, ou melhorias incrementais. No entanto, esta norma não oferece instrumental para lidar com decisões envolvendo questões de longo prazo, ou melhorias de ruptura, não fornecendo instrumental para tratar as incertezas nem para a criação de alternativas.

Para discutir estas limitações, bem como o instrumental oferecido pela teoria da decisão para complementar estas necessidades, será utilizado um caso real no qual o autor participou do processo de tomada de decisão. Neste caso, o processo decisório relaciona-se ao tipo de trocador de calor que deveria substituir o condensador de vapor existente. Esta empresa receberá o nome fictício de Petroquímica Internacional. As opções existentes eram manter o equipamento atual ou trocá-lo por outro que não necessitasse utilizar água de resfriamento. Apesar de não haver restrições maiores ao fornecimento de água no momento da decisão, existiam alguns outros fatores preocupantes que deveriam ser considerados. Um deles referia-se à possibilidade de surgimento de restrições futuras quanto ao fornecimento de água afetando a organização,

incerteza que deveria ser considerada na tomada de decisão. Este exemplo explora a limitação da norma NBR ISO 14001:2004 em lidar com situações envolvendo incertezas, bem como a forma como a teoria da decisão pode complementar esta lacuna. No texto, este exemplo será denominado como caso do trocador de calor.

3 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Discute-se neste item a estrutura do processo de tomada de decisão, e suas ferramentas, com vistas a identificar oportunidades de melhoria no processo de definição dos programas de gestão de um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004, particularmente nos casos em que existam incertezas envolvidas. Para exemplificar a aplicação das ferramentas da teoria da decisão, será utilizado o caso do trocador de calor. Este exemplo será apresentado ao longo deste capítulo.

Segundo Hammond et al. (2004), a única forma de melhorar a qualidade de uma decisão é a utilização de um método decisório, que leve à melhor escolha com a utilização da menor quantidade de recursos. Para ser eficaz, o método deve atender a seis critérios, quais sejam:

- a) Concentrar-se no que é importante;
- b) Ser lógico e coerente;
- c) Reconhecer os fatores subjetivos e objetivos, combinando os pensamentos analíticos e intuitivos;
- d) Exigir apenas a quantidade de informação e a análise necessária para resolver determinado dilema;
- e) Estimular e guiar a obtenção de dados relevantes e opiniões bem informadas;
- f) Ser direto, seguro, fácil de usar e flexível.

O método proposto por Hammond et al. (2004), e que, segundo o próprio autor atende aos critérios de avaliação de eficácia, é composto por oito elementos. Os cinco primeiros – problema, objetivos, alternativas, conseqüências e *trade-offs*⁷ – constituem o núcleo central e podem ser aplicados a praticamente todas as decisões.

O primeiro elemento requer que o problema sobre o qual será tomada uma decisão seja definido de forma precisa e considerando o contexto e buscando diferentes pontos de vista. A forma como um problema é definido pode comprometer a qualidade da decisão.

⁷ Ato de realizar uma ponderação entre duas alternativas desejadas, em situações em que geralmente elas são conflitantes (HORNBY, 2005, tradução nossa).

O próximo elemento, objetivos a serem alcançados, é importante pois a decisão é tomada com vistas a maximizar os objetivos definidos. Segundo Keeney (2004), a não identificação de todos os objetivos envolvidos conduz a uma simplificação exagerada do problema, sendo este um dos erros mais comuns cometidos no processo de tomada de decisão.

A identificação de alternativas, que é o terceiro elemento, enriquece o processo de tomada de decisão, visto que não é possível escolher uma alternativa que não tenha sido identificada e nenhuma decisão pode ser melhor que a melhor alternativa identificada.

O elemento seguinte, compreensão das conseqüências de cada alternativa, é importante em decorrência do fato que as alternativas são avaliadas com base nos impactos que cada uma causa nos diversos objetivos envolvidos. O processo de decisão busca avaliar qual das alternativas gera conseqüências que maximizem o conjunto dos objetivos identificados como relevantes para a decisão em questão.

Em decisões onde haja objetivos conflitantes, devem ser avaliados os “prós e contras” das diferentes alternativas em alcançar os objetivos estabelecidos, e realizar *trade-offs* entre os possíveis resultados dos objetivos definidos. A realização de *trade-offs* é o último dos cinco elementos que constituem o núcleo central do processo de tomada de decisão.

Os três elementos restantes – incerteza, tolerância ao risco e decisões interligadas – são úteis em decisões que envolvem incertezas e não são necessariamente aplicadas em todos os processos de tomada de decisão.

A existência de incerteza no contexto considerado para a tomada de decisão implica na necessidade de alocar-se recursos para esclarecer as mesmas. Mesmo alocando-se esforços razoáveis para obtenção de previsões, nem sempre os resultados obtidos são os esperados. Portanto, deve ser considerada a tolerância ao risco das organizações e pessoas envolvidas no processo. O conhecimento da tolerância ao risco auxilia na seleção das alternativas, eliminando as alternativas cujos riscos sejam intoleráveis e ajudando a escolher a alternativa que representa o nível de risco adequado, conforme Hammond et al. (2004).

O último elemento, decisões interligadas, também está relacionado a processos de tomada de decisão onde haja incertezas envolvidas no contexto. O que é decidido hoje pode afetar a seleção de alternativas no futuro, portanto, os objetivos futuros devem ser considerados nas decisões

atuais. Desta forma, as decisões importantes e complexas normalmente estão interligadas no tempo.

O Quadro 3 resume os oito elementos de uma decisão.

Elementos Centrais	Elementos Adicionais
1. Problema	6. Incertezas
2. Objetivos	7. Tolerância a riscos
3. Alternativas	8. Decisões interligadas
4. Conseqüências	
5. <i>Trade-offs</i>	

Quadro 3 - Os oito elementos de uma decisão

Fonte: Adaptado de Hammond et al. (2004, tradução nossa)

Clemen e Reilly (2001) propõe um fluxo para o processo de tomada de decisão, constituído de cinco etapas. A primeira etapa constitui-se na identificação do problema, do contexto e dos objetivos envolvidos. A segunda é a identificação das alternativas para solução do problema. A terceira etapa é a decomposição e modelagem do problema, que por sua vez, é sub-dividida em três sub-etapas:

- a) modelagem da estrutura do problema;
- b) modelagem da incerteza e;
- c) modelagem das preferências.

A quarta etapa é a escolha da melhor alternativa. A última etapa, análise de sensibilidade, tem por objetivo validar a alternativa escolhida ou indicar a necessidade de aprimoramento na modelagem do problema. O fluxo proposto está representado na Figura 2, a seguir:

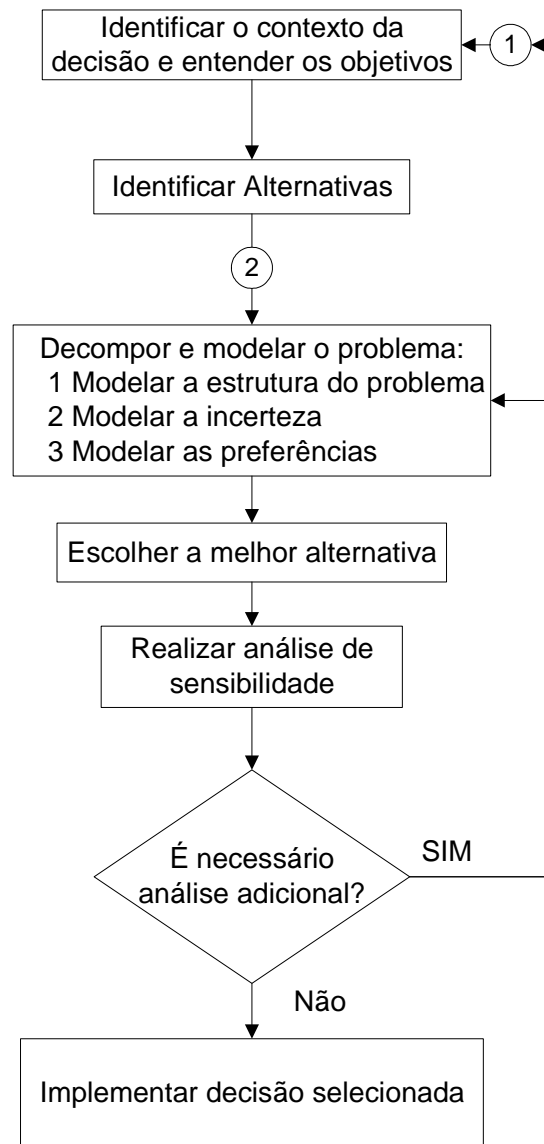


Figura 2 – Fluxograma do processo de tomada de decisão
 Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Segundo Keeney (2004), o processo de tomada de decisão pode ser dividido em quatro etapas. A etapa 1 refere-se à estruturação do problema sobre o qual deve ser tomada uma decisão. Esta etapa inclui a definição do problema sobre o qual será tomada uma decisão e a geração de um conjunto de objetivos e alternativas apropriados ao problema. A etapa 2, determinação das conseqüências das alternativas, descreve como cada das etapas atende, ou afeta, os objetivos definidos. A etapa 3, avaliação de cada uma das diversas conseqüências, visa determinar quais

alternativas são melhores que as outras e o quanto são melhores. A etapa 4 refere-se a integração dos dados das três primeiras etapas para avaliar de uma forma lógica as alternativas (KEENEY, 2004). Essas quatro etapas podem ser identificadas tanto na proposta de Hammond et al. (2004), quanto na de Clemen e Reilly (2001).

Bell e Schleifer Junior (1995), propõem uma abordagem similar, dividindo o processo em cinco etapas. A primeira etapa consiste na seleção de critérios para a seleção das alternativas. A estruturação do problema, que é a segunda etapa, consiste em listar as alternativas e os eventos incertos e representar os mesmos em uma árvore de decisão. A terceira etapa inclui a avaliação das probabilidades envolvidas e a atribuição de valores para os diversos resultados possíveis do problema em análise. A próxima etapa é constituída pela análise da informação gerada nas três etapas anteriores, com vistas a determinar qual é alternativa a ser selecionada. A quinta etapa é verificar se a decisão é sensível a alterações nas probabilidades ou em outros dados assumidos no processo de tomada de decisão.

Cada decisão a ser tomada tem uma complexidade própria. As decisões podem variar desde a decisão de qual cor utilizar para pintar uma placa para informar a política ambiental da empresa até a definição do melhor local para a instalação de um aterro de resíduos perigosos. Keeney (2004), baseado em sua experiência, indica como 10.000 decisões são tipicamente tomadas; deste total, 7.000 estariam associadas a conseqüências praticamente irrelevantes e demandavam pouco ou nenhum esforço. Outras 2.000 não necessitariam de conhecimentos específicos para a decisão, pois as soluções eram óbvias. Entretanto, 1.000 decisões envolveriam situações complexas e necessitariam de conhecimentos associados à teoria da decisão. Destas 1.000, 200 decisões seriam tomadas sem dedicar o tempo requerido e 300 teriam sido procrastinadas. Às 500 decisões resultantes seria dedicado tempo adequado e as decisões teriam sido tomadas no tempo requerido. No entanto, dessas 500 decisões, aproximadamente 300 seriam tomadas sem uma análise clara do problema. Outras 160 decisões seriam tomadas a partir de uma abordagem holística informal, resultando em escolhas bem analisadas. As 40 restantes receberiam um tratamento holístico formal.

Das 40 decisões que receberiam um tratamento sistêmico, talvez 30 tenham sido resolvidas estruturando qualitativamente o problema. Destes 30 problemas, 10 seriam resolvidos pelo esclarecimento de qual era o problema a ser resolvido, 10 pela definição exata dos objetivos

envolvidos e outros 10 pela criação de alternativas excelentes que tornaram óbvia a escolha que deveria ser feita. Após a estruturação qualitativa, restariam aproximadamente 10 decisões a serem tomadas. Estas seriam resolvidas utilizando-se uma abordagem mais complexa que contemplaria a descrição das conseqüências, a realização de *trade-offs*, a avaliação das incertezas, a determinação da tolerância ao risco e a identificação das decisões interligadas. Somente 6 destas decisões seriam tomadas utilizando-se uma abordagem que Keeney (2004) considera como sendo utilização explícita da teoria da decisão.

Esta discussão está resumida na Figura 3:

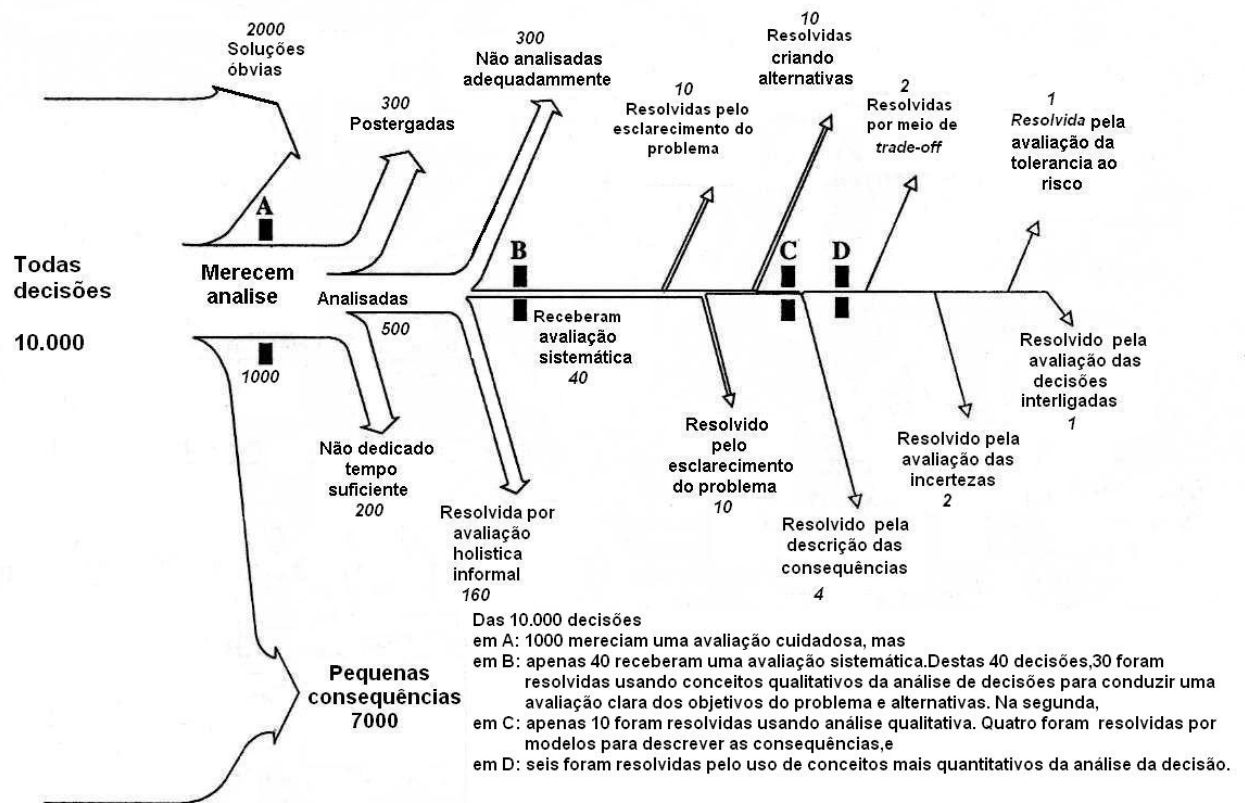


Figura 3 - Descrição de como as 10.000 decisões seriam tomadas

Fonte: Keeney (2004, tradução nossa)

O desafio da teoria da decisão, segundo Keeney (2004), é ter seus conceitos usados em todas as 10.000 decisões importantes, ao invés de terem sido utilizados apenas nos 6 problemas mais complexos.

O autor sugere como os 10.000 problemas da Figura 3 poderiam ser resolvidos se os conhecimentos da teoria da decisão fossem mais disseminados. Para as 7.000 decisões que estavam associadas a conseqüências praticamente irrelevantes e para as 2.000 não necessitavam de conhecimentos específicos para a decisão, não há necessidade de mudanças. O autor considera um desafio divulgar os conhecimentos e ferramentas da teoria da decisão para que elas sejam aplicadas nos 1.000 problemas relevantes, e não apenas nos 6 mais complexos. A Figura 4 descreve sobre como os problemas poderiam ser resolvidos a partir da proposta de Keeney (2004).

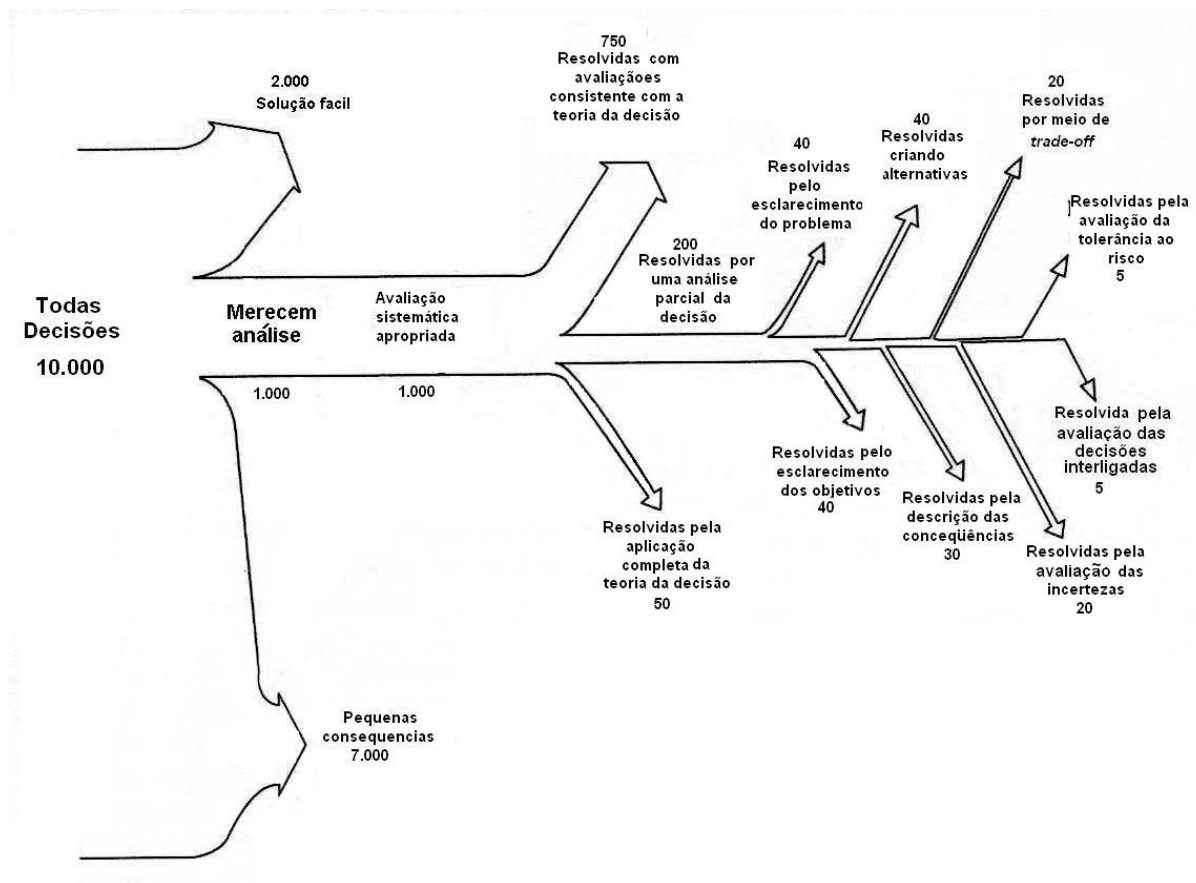


Figura 4 - Sugestão de como as 10.000 decisões poderiam ter sido tomadas
Fonte: Keeney (2004, tradução nossa)

Keeney (2004) afirma que a experiência o fez mudar a forma como abordava o processo de tomada de decisão. Inicialmente ele acreditava que todas as etapas do processo de tomada de decisão deveriam ser seguidas, até a realização da análise de sensibilidade, que forneceria

subsídios para realimentar o processo de tomada de decisão. A forma que o autor passou a preconizar é mais flexível, recomendando uma maior interação entre as diversas etapas. Segundo o mesmo autor, os envolvidos no processo de decisão devem realizar uma série de decisões na medida em que analisam o problema, a fim de identificar os aspectos relevantes do mesmo e alocar os esforços nestes.

3.1 Identificação do Contexto e Entendimento dos Objetivos Envolvidos no Processo Decisório

A primeira etapa do fluxograma de Clemen e Reilly (2001) é a identificação do contexto e entendimento dos objetivos envolvidos no processo decisório. Para que o contexto possa ser compreendido, é necessário analisar cada um de seus elementos, que são:

- a) valores e objetivos;
- b) decisões a serem tomadas;
- c) eventos incertos;
- d) conseqüências.

Nos parágrafos seguintes, cada um dos elementos envolvidos é discutido, e as interfaces desses elementos com um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004 são identificados.

O termo valor deve ser entendido, no contexto desta dissertação, como sendo aquilo que importa para o tomador de decisão ou para a organização. O objetivo é algo específico que a organização deseja alcançar. No contexto da tomada de decisão, o termo “objetivo” significa algo que a organização ou o tomador de decisão deseja alcançar e está relacionado aos valores. No contexto da norma NBR ISO 14001:2004 o “objetivo ambiental” é o propósito geral, decorrente da política ambiental, que uma organização se propõe a atingir. Portanto, o termo “objetivo” usado no contexto da tomada de decisão e no contexto da NBR ISO 14001:2004, possui significados similares.

O segundo elemento de decisão refere-se às decisões a serem tomadas pela organização que necessita estar bem fundamentada em fatos e evidências objetivas. No âmbito de um sistema de

gestão ambiental, a decisão a ser tomada pela alta administração na definição dos objetivos é a definição de quais investimentos têm prioridade sobre os outros investimentos, de forma a maximizar o resultado da organização. Os responsáveis pela implementação dos objetivos devem definir qual é a melhor forma de alcançar o objetivo, isto é, devem definir os programas de gestão necessários para alcançar o objetivo, escolhendo a melhor das alternativas disponíveis.

O terceiro elemento refere-se aos eventos incertos; ou seja, a eventos que estão associados a uma probabilidade de ocorrência de um evento futuro e sobre os quais a organização não tem influência ou tem influência reduzida. A norma NBR ISO 14001:2004 não define o termo elementos incertos, porém, o elemento 4.6 da norma NBR ISO 14001:2004 “análise pela administração” requer que a organização avalie as oportunidades de melhoria e a necessidade de alterações no SGA, inclusive da política e dos objetivos e metas ambientais, considerando, entre outros, comunicações provenientes de partes interessadas externas, reclamações e mudanças de circunstâncias, incluindo desenvolvimentos em requisitos legais e outros. Portanto, é na “análise pela administração” onde os objetivos e metas são priorizados e é requerido que os eventos incertos, como desenvolvimentos em requisitos legais e reclamações sejam considerados. Os novos requisitos legais publicados e as reclamações ocorridas não são eventos incertos. Porém, eventos externos como a possibilidade de um projeto de lei, que tenha impacto sobre a operação da organização, vir a ser aprovado ou a possibilidade de que comunidade venha a fazer uma reclamação contra a organização, ambos são eventos incertos que devem ser considerados num SGA.

O quarto elemento refere-se às conseqüências decorrentes das decisões tomadas, ou seja, o resultado que será obtido com a priorização dos investimentos. As conseqüências decorrentes das decisões podem estar relacionadas:

- a) à minimização da geração de resíduos sólidos;
- b) da probabilidade de ocorrência de um acidente ambiental;
- c) da minimização da geração de efluentes ou de sua toxicidade;
- d) de substâncias tóxicas ou odoríferas lançadas na atmosfera;
- e) de incômodos à comunidade decorrentes de ruídos e vibrações;
- f) do consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis;

- g) da diminuição ou conservação da biodiversidade de uma determinada área;
- h) de impactos visuais; entre outros.

Para definir quais investimentos maximizarão os resultados, é necessário responder a duas questões:

- a) Qual é o resultado a ser maximizado?
- b) Como comparar as diversas conseqüências decorrentes das decisões tendo como base um mesmo referencial?

3.1.1 Estruturação dos Valores

Segundo Clemen e Reilly (2001), pode haver apenas um ou vários objetivos em um processo de tomada de decisão. Se houver apenas um objetivo envolvido, o processo é mais simples, mesmo assim, é necessário definir o objetivo de forma precisa. Um exemplo de objetivo pode ser a redução de um impacto ambiental específico, por exemplo, da geração de efluentes de uma dada empresa. Há processos onde existem vários objetivos a serem considerados, podendo haver conflitos entre eles. Por exemplo, um dos objetivos é a minimização do custo operacional e o outro é a minimização de SOx⁸ para a atmosfera. A substituição de uma caldeira a óleo combustível pesado por uma caldeira a gás minimizaria a emissão de SOx, objetivo 1, porém, aumentaria o custo operacional da empresa, em contraposição ao objetivo 2, que seria a redução desses custos.

Em qualquer um dos casos, o primeiro passo é entender quais são os objetivos envolvidos e defini-los de forma precisa.

Os objetivos podem ser classificados em duas categorias: fundamentais e intermediários. Os objetivos fundamentais representam o que realmente se quer alcançar e os objetivos

⁸ É o símbolo químico para os óxidos de enxofre, que podem ser SO₂ ou SO₃. O primeiro é o dióxido de enxofre, também conhecido como anidrido sulfuroso, e o segundo é o trióxido de enxofre, também conhecido como anidrido sulfúrico. Ambos são gases ácidos e são os principais causadores das chuvas ácidas.

intermediários são aqueles que devem ser alcançados para que os objetivos fundamentais sejam efetivados.

Gregory e Keeney (2002) fornecem um exemplo que permite traçar uma correlação entre a linguagem adotada na teoria da decisão e nos SGAs. No verão de 1992, estes autores participaram de um *workshop* na Malásia para discutir as opções futuras para o desenvolvimento de *Maliau Basin*, uma área preservada da Malásia, com atributos naturais únicos. A discussão envolvia a decisão entre a conservação do local ou a exploração das grandes reservas de carvão existentes no local. Como resultado da discussão foram identificados os diversos objetivos fundamentais relacionados às áreas social, ambiental, econômica, política e prestígio internacional. Foi identificado como objetivo fundamental, de nível superior, da área ambiental a minimização dos impactos ambientais adversos, que se desdobram em três outros objetivos fundamentais de nível inferior, a saber:

- a) minimização dos impactos adversos à fauna e flora;
- b) minimização dos danos à biodiversidade e serviços ecológicos; e
- c) preservação do bem-estar da sociedade.

Os objetivos intermediários envolvidos, também foram identificados, os principais relacionados à questão ambiental são:

- a) melhorar a qualidade da água;
- b) minimizar a degradação do solo;
- c) manter a capacidade de captação de água;
- d) proteger espécies ameaçadas; e
- e) minimizar a geração de resíduos.

Para que possa ser feita uma correlação entre a terminologia usada em um SGA e a utilizada nos processos de tomada de decisão, é necessário conhecer as definições de política ambiental, objetivo ambiental e meta ambiental. Segundo a norma NBR ISO 14001:2004, a política ambiental representa as intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental, conforme formalmente expresso pela alta administração, devendo prover

uma estrutura para a definição de seus objetivos ambientais e metas. Objetivo ambiental é definido como sendo o propósito ambiental geral, decorrente da política que uma organização se propõe a atingir. A definição, segundo a NBR ISO 14001:2004, esclarece que meta ambiental é um requisito de desempenho detalhado, aplicável à organização ou a parte dela, resultante dos objetivos ambientais e que necessita ser estabelecido e atendido para que tais objetivos sejam atingidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Utilizando as definições da NBR ISO 14001:2004, conclui-se que o objetivo fundamental de nível mais alto “minimizar os impactos ambientais” equivale a um item da política ambiental. Os objetivos fundamentais de nível inferior, minimizar os impactos adversos à fauna e à flora, por exemplo, equivalem aos objetivos ambientais. A meta ambiental, dependendo da forma como for estabelecida, pode ser tanto um objetivo fundamental como um objetivo intermediário.

Segundo Clemen e Reilly (2001), o desdobramento do objetivo fundamental, neste caso a minimização dos impactos ambientais, gera os objetivos fundamentais de nível inferior. Pela definição da NBR ISO 14001:2004, a política ambiental é a base para a definição dos objetivos ambientais. Portanto, os objetivos fundamentais de nível inferior equivalem aos objetivos ambientais.

O desdobramento dos objetivos fundamentais de níveis inferiores gera os objetivos intermediários, e o sucesso em alcançar os objetivos intermediários de nível inferior implica na realização do objetivo fundamental (CLEMEN; REILLY, 2001). Pela definição da NBR ISO 14001:2004, meta é resultante dos objetivos ambientais e necessita ser atendida para que os objetivos ambientais sejam atendidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). No caso anterior, o exemplo dado está relacionado a uma decisão no âmbito nacional. O equivalente desse caso em um SGA de uma empresa, poderia ser a política ambiental ter como um de seus itens a minimização da poluição. O desdobramento desse item em objetivos ambientais poderia ser a minimização dos resíduos sólidos perigosos e a minimização de efluentes como objetivos a serem alcançados. Para alcançar esses objetivos ambientais poderiam ser definidas metas, tais como:

- a) minimização da geração de resíduos sólidos em 10% na fábrica A;
- b) minimização dos efluentes da fábrica B em 15%;
- c) eliminar o uso do produto X; e

- d) minimizar o uso do produto Y.

Destas quatro metas, as duas primeiras são objetivos fundamentais, pois a minimização dos efluentes são partes do objetivo fundamental, enquanto que os dois últimos são objetivos intermediários, visto que a eliminação do produto X só é importante na medida em que permite alcançar o objetivo fundamental relacionado à minimização de resíduos.

A Figura 5 ilustra, de forma esquemática, os principais elementos dessa discussão.

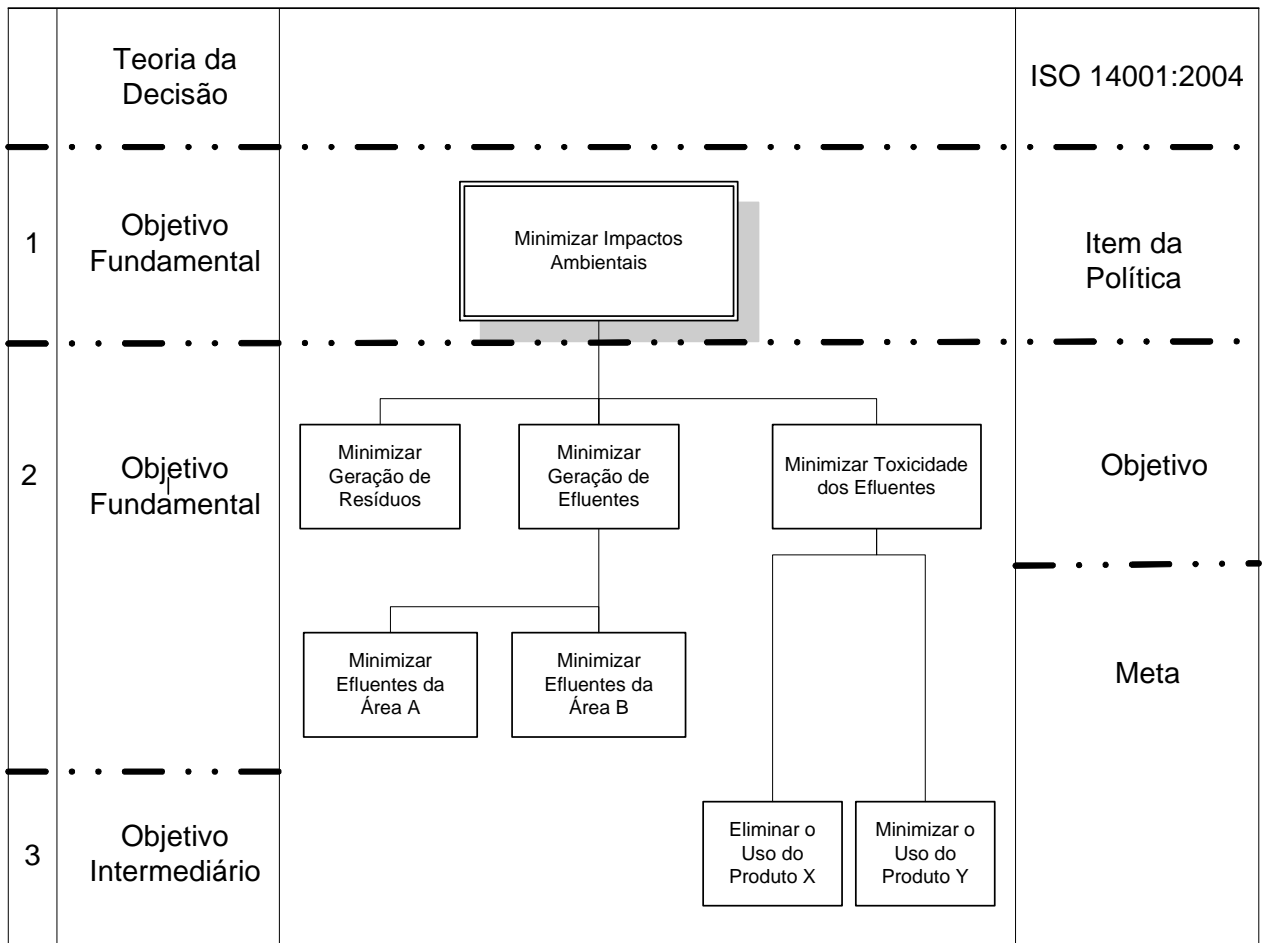


Figura 5 - Correlação entre a terminologia adotada pela teoria da decisão e pela NBR ISO 14001:2004

Fonte: Elaborado pelo autor

A coluna da esquerda da Figura 5 representa a terminologia usada pela teoria da decisão, e a da direita a terminologia da NBR ISO 14001:2004. O termo Objetivo Fundamental e o termo Item da Política estão contidos entre as mesmas linhas, indicando que eles são equivalentes. O termo Objetivo Fundamental, coluna da esquerda, está contido em uma área que é mais ampla que a área do termo Objetivo, coluna da direita, indicando que o termo Objetivo Fundamental é mais amplo que o termo Objetivo, podendo englobar também parte do que é denominado como Meta em sistemas de gestão ambiental. O objetivo fundamental Minimizar Geração de Resíduos também é um objetivo em sistemas de gestão ambiental, no entanto, Minimizar Efluentes da Área A é um objetivo fundamental, mas não corresponde a um objetivo em SGAs, é uma meta. De forma análoga, a área em que o Objetivo Intermediário está contido é menor que a área ocupada pelo termo Meta, indicando que todo objetivo intermediário corresponde a uma meta nos sistemas de gestão, o que implica que nem toda meta corresponde a um objetivo intermediário, podendo ser um objetivo fundamental.

Os objetivos fundamentais são estruturados de forma hierárquica em uma estrutura do tipo organograma. Os objetivos fundamentais de nível inferior são aspectos particulares dos objetivos de nível superior, que tem um caráter mais geral; assim sendo, eles são parte do objetivo fundamental de nível superior e são importantes por si só. Os objetivos intermediários são organizados em redes e não são importantes por si só; no entanto, também são importantes porque ajudam a alcançar os objetivos fundamentais. É importante distinguir os objetivos fundamentais dos intermediários, pois os objetivos fundamentais de primeiro nível são os itens da política, enquanto os objetivos fundamentais de último nível são utilizados na elaboração do modelo de decisão e correspondem aos objetivos do SGA. A Figura 6 demonstra a correlação entre os objetivos fundamentais e intermediários relacionados à discussão sobre as alternativas de opções futuras para o desenvolvimento de *Maliau Basin*.

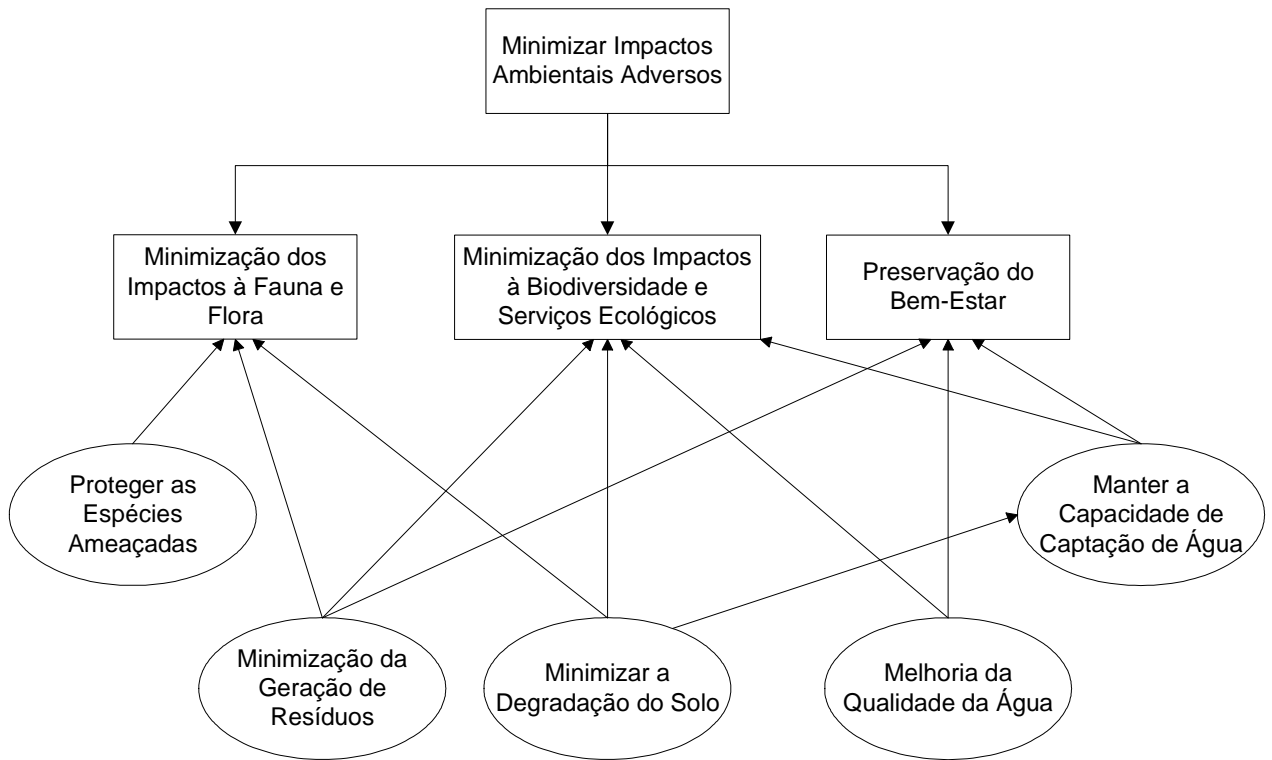


Figura 6 - Correlação entre objetivos fundamentais e intermediários
 Fonte: Elaborado pelo autor

Os objetivos fundamentais estão representados por retângulos e relacionam-se de forma hierárquica, a segunda linha dos objetivos fundamentais representa os objetivos fundamentais de nível inferior e que são os desdobramentos do objetivo fundamental de nível superior, representados na primeira linha. Os objetivos intermediários, representados por elipses, podem influenciar um ou mais objetivos intermediários, bem como podem influenciar outros objetivos intermediários.

Para diferenciar os objetivos fundamentais dos intermediários e estabelecer a hierarquia dos objetivos fundamentais e a relação entre os objetivos intermediários e como estes contribuem para os objetivos fundamentais, Clemen e Reilly (2001) propõem quatro perguntas. Nesta dissertação será utilizada uma das perguntas em dois momentos distintos e, adicionalmente, será introduzida uma nova pergunta, totalizando assim seis perguntas.

A primeira pergunta tem por objetivo separar os objetivos fundamentais dos intermediários e é a seguinte: Por que este objetivo é importante? Se a resposta for porque ele ajuda a atingir outro

objetivo, então o objetivo em questão é um objetivo intermediário. No entanto, se a resposta for porque ele é importante por si mesmo, visto que representa o que efetivamente está sendo buscado, então o objetivo em questão é um objetivo fundamental.

A segunda e terceira perguntas destinam-se aos objetivos fundamentais. A segunda pergunta é: Existe um objetivo mais geral? Ela tem por objetivo identificar se existem objetivos fundamentais mais gerais, de nível superior, em relação ao objetivo em questão. A terceira pergunta é: Este objetivo é parte de qual objetivo de nível superior, mais geral? Destina-se a identificar os objetivos fundamentais de nível inferior. Com estas duas últimas perguntas é estabelecida a hierarquia entre os objetivos fundamentais.

A quarta pergunta, feita aos objetivos fundamentais, busca estabelecer a relação entre os objetivos intermediários e os fundamentais: Como posso alcançar este objetivo fundamental? As respostas a esta pergunta indicam quais objetivos intermediários estão relacionados ao objetivo fundamental em questão.

A quinta pergunta, similarmente à primeira é: Por que este objetivo é importante? Porém, agora ela é dirigida somente aos objetivos intermediários. Como o objetivo em questão é intermediário, a resposta a ela necessariamente será: Por que ele ajuda a alcançar o objetivo X. Desta forma, é estabelecida a relação entre os objetivos intermediários e os fundamentais.

A sexta pergunta é: O que você entende por Objetivo Y? Por exemplo, o que você entende por reduzir resíduo? Esta pergunta pode ser feita para os objetivos de todos os níveis e tem duas intenções: a primeira é estabelecer a relação entre os objetivos de diversos níveis e, a segunda, é auxiliar na identificação de novos objetivos e expandir a compreensão do contexto.

O Quadro 4, que segue, foi adaptado de Clemen e Reilly (2001), como uma tentativa de resumir toda a discussão apresentada anteriormente.

Pergunta		Resposta	Conclusão	Objetivo da Pergunta
1	Porque este objetivo é importante?	Por que ele é importante por si só	O objetivo em questão é um objetivo fundamental	Separar os objetivos fundamentais dos intermediários
	Esta pergunta é feita a todos os objetivos	Por que ele ajuda a atingir outro objetivo	O objetivo em questão é intermediário	
2	Existe um objetivo mais geral?	Sim	Este é um objetivo fundamental de nível inferior	Separar os objetivos fundamentais de nível superior dos de nível inferior
	Esta pergunta é feita aos objetivos fundamentais	Não	Este é um objetivo fundamental de nível superior	
3	Este objetivo é parte de qual objetivo de nível superior, mais geral? Esta pergunta é feita aos objetivos fundamentais de nível inferior	Este objetivo é parte dos objetivos X e Y	Este objetivo está ligado aos objetivos X e Y	Estabelecer a relação entre os objetivos fundamentais de nível superior e os de nível inferior
4	Como posso alcançar este objetivo fundamental? Esta pergunta é dirigida aos objetivos fundamentais de nível inferior	Este objetivo é alcançado através de A e B	Este objetivo está ligado aos objetivos intermediários A e B	Estabelecer a relação entre os objetivos fundamentais de nível inferior e os objetivos intermediários
5	Por que este objetivo é importante? Esta pergunta agora é dirigida aos objetivos intermediários	O objetivo A é importante porque ajuda a alcançar os objetivos fundamentais X e Y	Este objetivo intermediário está ligado aos objetivos fundamentais X e Y	Estabelecer a relação entre os objetivos intermediários e os objetivos fundamentais
6	O que se entende por Objetivo Y? Ex: O que se entende por redução de resíduos? Esta pergunta pode ser feita a todos os objetivos	Entende-se que Y inclui W e Z Ex: Entende-se que reduzir resíduos inclui reduzir a geração de papel e de escória	O objetivo Y pode ser desdobrado nos objetivos inferiores W e Z, que podiam estar previamente identificados ou não O objetivo reduzir resíduos pode ser desdobrado em reduzir a geração de papel e de escória	Identificar a relação com objetivos de nível inferior e auxiliar a descobrir novos objetivos de nível inferior

Quadro 4 - Processo de identificação dos objetivos fundamentais e intermediários

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Os valores definidos na política ambiental da organização são objetivos fundamentais e não necessitam ser avaliados por meio das questões apresentadas anteriormente.

3.1.2 Contexto da Decisão, Responsabilidade e Autoridade

A NBR ISO 14001:2004, em seu elemento 4.3.3, objetivos, metas e programa(s), requer que os objetivos e metas permeiem a organização ao estabelecer que:

A organização deve estabelecer, implementar e manter objetivos e metas ambientais documentados, nas funções e níveis, relevantes da organização. [...]

Ao estabelecer e analisar seus objetivos e metas, uma organização deve considerar os requisitos legais e outros requisitos por ela subscritos, e seus aspectos ambientais significativos. Deve também considerar suas opções tecnológicas, seus requisitos financeiros, operacionais, comerciais e visão das partes interessadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p.5).

Portanto, pode-se ter objetivos em diversos níveis hierárquicos e os mesmos devem considerar o contexto em que a decisão é tomada. Adicionalmente, no elemento 4.4.1, recursos, funções, responsabilidades e autoridades, a NBR ISO 14001:2004 estabelece que funções, responsabilidades e autoridades devem ser definidas, documentadas e comunicadas visando facilitar uma gestão ambiental eficaz (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Esses dois requisitos da norma indicam que ao estabelecer os objetivos e metas devem ser consideradas a autoridade e a responsabilidade da pessoa designada para o alcançar os mesmos. Não seria razoável estabelecer um objetivo de minimização de efluentes do processo produtivo para o gerente de recursos humanos se este não tem nenhuma gestão sobre o assunto.

Neste exemplo a inadequação do objetivo é óbvia, porém, nem sempre essa inadequação é tão aparente. Se o objetivo de redução do efluente fosse designado ao gerente de produção da área, talvez esse objetivo fosse coerente com a responsabilidade e autoridade. O que deve ser verificado é se o gerente de produção tem autoridade para implementar as ações requeridas. Se houver ações cuja decisão pertença a outras gerências, então esse objetivo deveria ser designado a um nível hierárquico superior, que tenha autoridade sobre as gerências envolvidas na decisão. A cada gerência envolvida caberia implementar a parte do objetivo que estivesse dentro de sua área de responsabilidade.

Algumas organizações montam times de trabalho com autoridade específica para solucionar um problema quando o mesmo envolve diversas gerências. Outras organizações adotam uma estrutura matricial, que minimiza as relações hierárquicas verticalizadas. A forma como a organização é estruturada é relevante para a tomada de decisão, no entanto, não cabe aprofundar a discussão sobre o tema no contexto deste estudo.

A abordagem de Clemen e Reilly (2001) é coerente com a abordagem da NBR ISO 14001:2004. Os autores propõem que devem ser atendidas três condições para que o contexto e os objetivos sejam coerentes. A primeira condição será desdobrada em duas, de modo que, serão quatro as condições a serem atendidas.

A primeira condição é que o contexto contenha todas as variáveis que podem interferir na decisão. Um contexto muito restrito pode estar excluindo variáveis importantes para a decisão.

A segunda pergunta a ser respondida é: o problema a ser solucionado, ou o objetivo estabelecido, é o correto? Voltando ao exemplo anterior, se o objetivo é a redução da geração do efluente na produção do produto “A”, deve ser verificado qual é a perspectiva do produto “A” no futuro. Se houver pressões legais ou sociais contra o produto “A”, por melhor que sejam as alternativas escolhidas para reduzir a geração do produto “A”, o esforço da organização terá sido em vão se o mesmo tiver sua produção reduzida ou mesmo interrompida no futuro por questões legais ou de mercado. Neste caso, a decisão a ser tomada não seria qual o melhor modo de reduzir a geração do produto “A”, mas sim se a produção desse produto deve continuar e qual o produto alternativo para substituí-lo. Todo o trabalho de tomada de decisão pode ser perdido se o problema foi selecionado de forma errada. Este requisito é similar ao requisito da NBR ISO 14001:2004 que requer que o contexto seja considerado ao definir os objetivos.

O terceiro requisito a ser atendido é chamado de *decision ownership*, a abrangência da decisão a ser tomada deve ser coerente com o nível de autoridade do tomador de decisão. Para um gerente de produção, a decisão de eliminar a produção do produto “A”, que gera efluentes tóxicos, pode ser abrangente demais por envolver questões de mercado. O responsável por essa decisão deve ser de uma função que tenha autoridade tanto sobre a área de marketing quanto sobre a área industrial. Se a conclusão for que o produto deve continuar a ser fabricado e a melhor alternativa é a redução do efluente desse produto, o responsável pela decisão pode ser o gerente de produção.

O quarto requisito é a viabilidade dentro do contexto; neste caso deve ser verificado se o tempo disponível para a realização dos estudos e das análises necessárias, bem como se os recursos disponíveis para a tomada de decisão são compatíveis com o prazo para a tomada da decisão e com os recursos requeridos. Se o tempo ou os recursos for incompatível com a necessidade, o contexto da decisão deve ser restringido para adequá-lo aos prazos e recursos disponíveis. Este requisito está contemplado em parte no elemento 4.3.3, objetivos, metas e programa(s) da NBR ISO 14001:2004, que requer que, ao definir os objetivos, o contexto deve ser considerado, incluindo os recursos necessários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A discussão sobre a modelagem da estrutura do problema está resumida na Figura 7 a seguir.

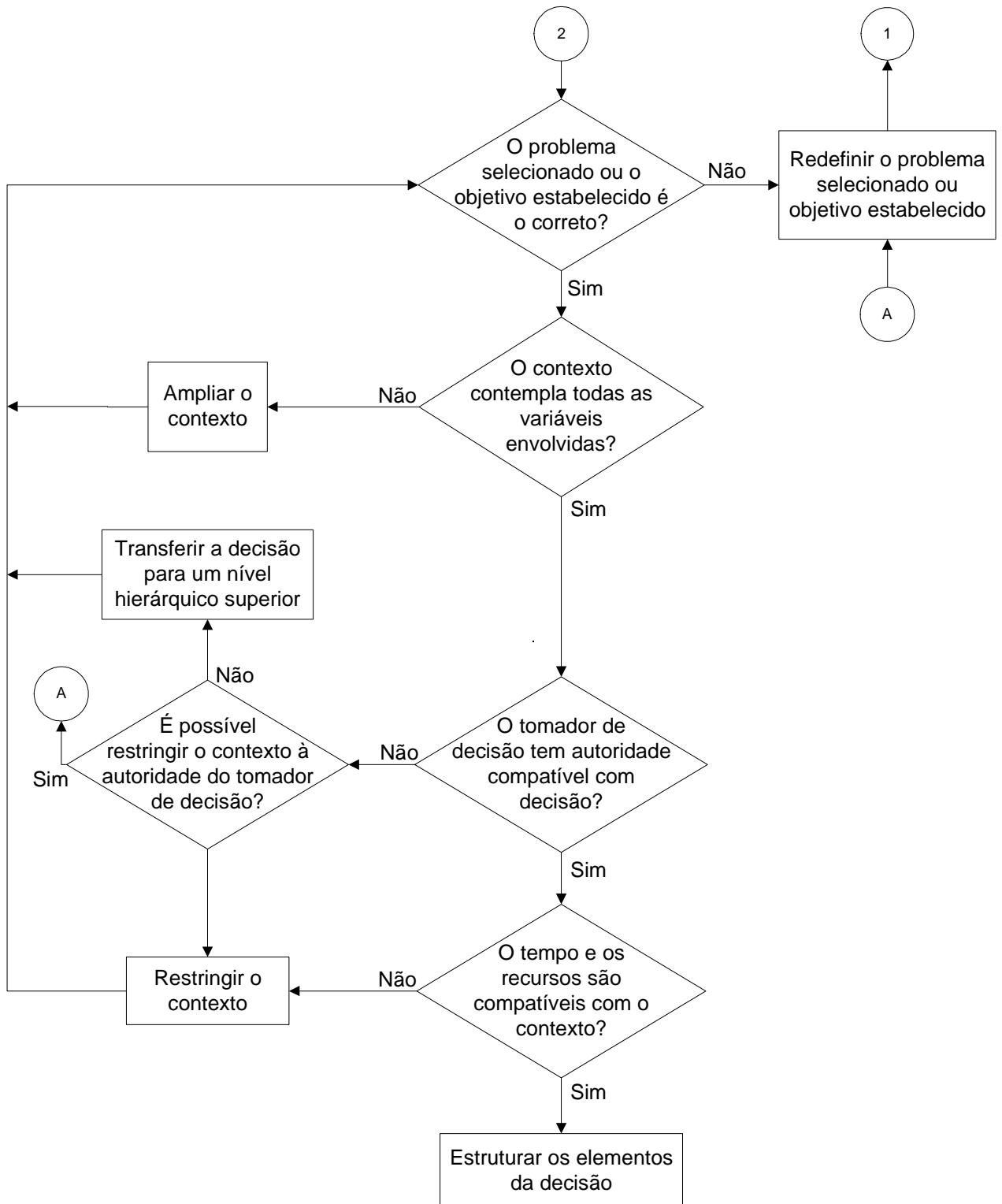


Figura 7 - Fluxograma da modelagem da estrutura do problema

Fonte: Elaborado pelo autor

Os conectores em algoritmos arábicos indicam as interfaces com as Figuras 2 e 8.

3.1.3 O Dinheiro como Objetivo

Segundo Clemen e Reilly (2001), normalmente, nas organizações o principal objetivo é o dinheiro. Esse objetivo é medido em termos de aumento do patrimônio dos acionistas por meio do aumento dos dividendos e do valor da companhia. Pelo fato dos acionistas poderem usar seu patrimônio para alcançar seus próprios objetivos e bem-estar, da forma que julgarem conveniente, a companhia não precisa preocupar-se com esses objetivos, devendo focar suas atividades de forma a tornar seus acionistas tão ricos quanto for possível.

Apesar do dinheiro ser um objetivo especial, em muitos casos é necessário que trocas sejam feitas entre dinheiro, ou lucro, e outros objetivos. Em muitos casos, é atribuído um valor monetário aos outros objetivos, de forma a avaliar se a “troca” é vantajosa. Quando é tomada uma decisão de melhorar a performance de um equipamento de controle ambiental, por exemplo, é necessário decidir quanto é razoável pagar por essa melhoria ou se o custo/benefício dessa melhoria em desempenho ambiental é vantajoso.

Parikh et al. (1991), ao discorrer sobre como as prioridades ambientais podem ser estabelecidas, sugere que elas devem ser estabelecidas de acordo com seus vários efeitos ambientais, a urgência das medidas de controle, o número de pessoas envolvidas, os custos envolvidos, questionando ainda se a geração a ser afetada é a presente ou a futura. Salienta que também deve ser considerado o *trade-off* entre: meio ambiente e desenvolvimento; entre poluentes globais e poluentes locais; entre regiões do mundo e entre a geração presente e a futura.

Há casos em que não é razoável converter tudo em valores monetários, principalmente quando existem questões éticas envolvidas ou também questões relacionadas à saúde pública que podem resultar em danos irreversíveis à comunidade. Um exemplo é a contaminação de lençol freático em local utilizado como abastecimento de água de uma determinada comunidade, pois envolve uma variante ética que a organização deve considerar no processo de tomada de decisão. Há casos onde a valoração da vida humana, como forma de priorização de investimentos, é utilizada de forma responsável. Esses casos estão principalmente associados à administração pública, onde

o gestor público deve decidir como investir a verba orçamentária de forma a maximizar a segurança da população.

Carvalho (1996), em sua tese de doutorado, intitulada “Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão”, apresenta um desses casos. Questões éticas maiores surgem quando a comparação envolve riscos à vida humana, ou danos irreversíveis à saúde de uma comunidade vis-à-vis o aumento ou diminuição do lucro de um empreendimento.

O processo de tomada de decisão de uma organização deve identificar quais são os valores éticos envolvidos e considerá-los na priorização dos investimentos ou em outros processos de tomada de decisão. Em SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, os valores da organização devem estar expressos em sua política. O fluxograma de tomada de decisão, adaptado de Clemen e Reilly (2001) para considerar essa variável, é mostrado na Figura 8 a seguir.

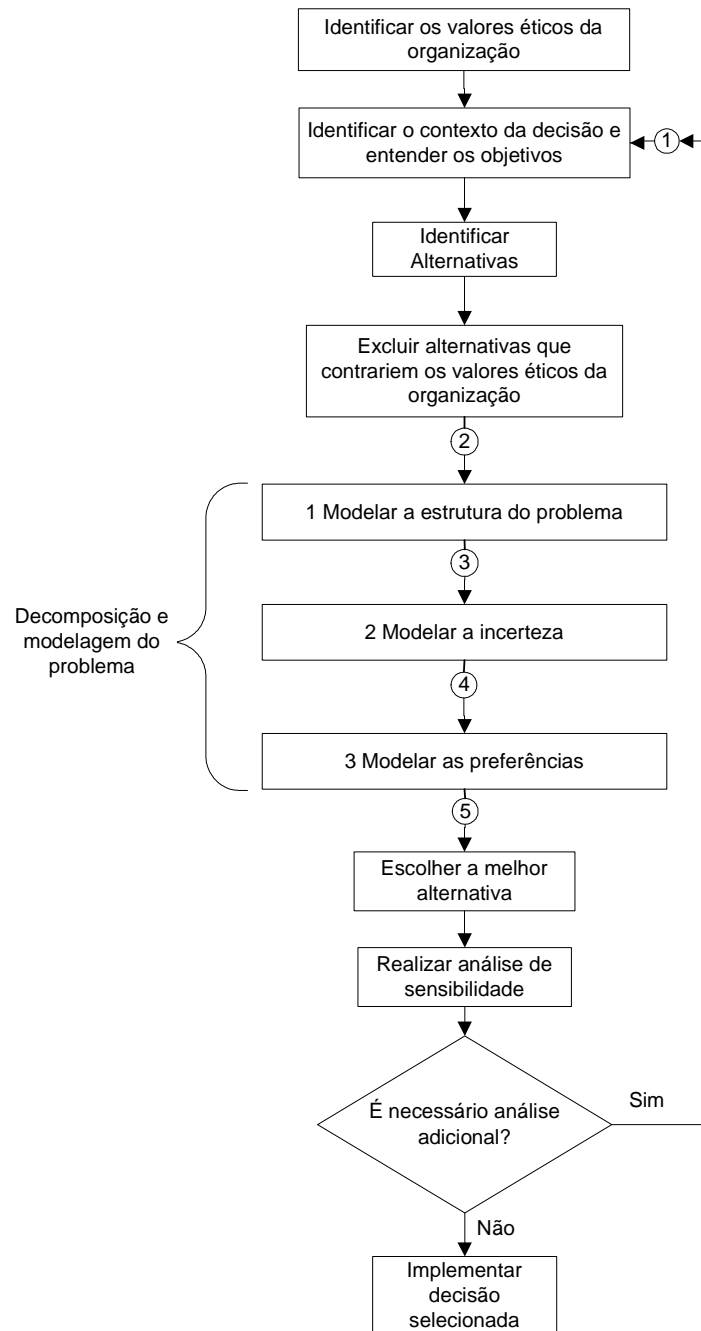


Figura 8 - Fluxograma de tomada de decisão incluindo os valores expressos em sua política organizacional

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Analisando-se a Figura 8, observa-se que o decisor deve, em primeiro lugar, identificar os valores éticos da organização, que pautarão as decisões subseqüentes. Posteriormente ele deve identificar

a decisão a ser tomada e o cenário, ou contexto, no qual a decisão será tomada, bem como os objetivos envolvidos. Os valores éticos normalmente estão expressos na política ambiental e os objetivos são desdobramentos da política. O próximo passo é a identificação das alternativas que conduzirão aos objetivos almejados. As alternativas identificadas devem ser avaliadas tendo como base os valores éticos da organização. Desta forma, as alternativas que contrariarem os valores éticos da organização são descartadas.

3.2 Identificação e Criação de Alternativas

O processo de decisão busca identificar a melhor das alternativas disponíveis, porém, nada assegura que as melhores alternativas sejam conhecidas. Portanto, para que possa ser obtido um valor maior do processo de decisão, é conveniente que o decisor não se restrinja apenas às alternativas que são conhecidas naturalmente. A busca ativa por novas alternativas agrega valor ao processo, possibilitando a identificação de alternativas mais vantajosas que as inicialmente disponíveis. Se não forem identificadas alternativas melhores que as inicialmente disponíveis, ao menos o decisor terá maior certeza que o processo de decisão foi abrangente e que não deixou de considerar alternativas que poderiam mudar a decisão (KEENEY, 1992).

A identificação de novas alternativas é um processo que envolve não apenas criatividade, mas também uma avaliação dos objetivos envolvidos, o que pode permitir a identificação de novas perspectivas de um mesmo problema.

SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004 geram um conjunto de informações que possibilitam ao decisor conhecer o contexto da tomada de decisão e identificar algumas alternativas. No entanto, a norma não prevê uma sistemática para enriquecer o processo de identificação de alternativas, ela define apenas os dados que devem ser considerados na definição dos objetivos e metas e os dados que devem ser considerados na análise. A aplicação de técnicas de identificação de alternativas ao conjunto de dados gerados pelo SGA podem auxiliar na identificação de alternativas inovadoras e que atendam de forma mais ampla aos objetivos da organização.

3.2.1 Bloqueios Mentais na Identificação de Alternativas

O conhecimento dos mecanismos do processo cognitivo de criatividade, e dos fatores que a bloqueiam, pode auxiliar os envolvidos na identificação de novas alternativas a ter mais sucesso nesta busca. Wallas⁹ (1926 apud CLEMEN; REILLY, 2001, p.220), identificou quatro etapas no processo de pensamento criativo: preparação, incubação, iluminação e verificação.

Clemen e Reilly (2001), esclarecem que na primeira etapa do processo de pensamento criativo, a preparação, o indivíduo aprende a respeito do problema. Isto inclui o entendimento dos elementos do problema e como eles se relacionam entre si. Isto pode incluir a observação do problema sobre diferentes perspectivas ou perguntar a outras pessoas o que elas conhecem ou pensam a respeito do problema. No processo de tomada de decisão, alocar esforços para a identificação dos objetivos fundamentais, decisões que devem ser tomadas, incertezas envolvidas, e como estes elementos se relacionam, preparam o decisor para a identificação criativa de novas alternativas.

Na segunda etapa, incubação, o decisor, com a bagagem adquirida na primeira, explora novos caminhos na busca pela criação alternativas. O decisor pode fazer coisas que aparentemente não tenham grandes chances de gerar novas alternativas, tais como eliminando hipóteses ou adotando perspectivas totalmente diferentes. Tais atividades podem levar a crer que o decisor esteja “brincando” com o problema.

Alguns autores incluíram nesta etapa o processamento inconsciente da informação conhecida sobre o problema. A literatura da criatividade contém exemplos deste processo inconsciente, como o sonho de Kekulé que o levou a descobrir a estrutura química do anel benzênico (CLEMEN; REILLY, 2001).

No entanto Baron¹⁰ (1988 apud CLEMEN; REILLY 2001, p.221) afirma que não há evidências suficientes para concluir-se que processo inconsciente resulte na criação de novas alternativas. Clemen e Reilly (2001) sugerem que, mesmo não havendo comprovação científica que o processo inconsciente auxilie na criatividade, o fato de relaxar e redirecionar o pensamento pode ser suficiente para aumentar a criatividade quando se deseja.

⁹ WALLAS, G. **The art of thought**. New York: Harcourt, 1926.

¹⁰ BARON, J. **Thinking and deciding**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

A iluminação é o momento em que o decisor se torna consciente da nova alternativa criada, é um *flash* de clarividência quando todos os elementos se encaixam e passam a fazer sentido, podendo ocorrer de modo espontâneo ou como resultado de muito trabalho.

A validação, etapa final, consiste na verificação se a nova alternativa criada é válida, isto é, se atende a todas as restrições do problema e como ela se relaciona com os objetivos fundamentais e intermediários. Esta etapa requer que o decisor volte a adotar uma abordagem puramente lógica para realizar esta análise.

A discussão e entendimento do processo cognitivo envolvido no pensamento criativo, ou na criação de alternativas, auxilia no entendimento dos fatores que bloqueiam a criatividade, possibilitando a minimização dos mesmos.

Bloqueios da Criatividade

Clemen e Reilly (2001) descreve três categorias de bloqueios da criatividade, que foram descritas por Adams¹¹; Baron¹²; Hogarth¹³; Kleindorfer, Kunreuther e Schoemaker¹⁴. O conhecimento dos mecanismos de bloqueio é importante, pois a tomada de consciência destes mecanismos, por si só, já auxilia na minimização dos mesmos.

Bloqueios Relacionados à Percepção

Esta categoria de bloqueios impede que o potencial criativo se manifeste.

Estereótipos: Uma estratégia utilizada pela mente humana é classificar coisas, pessoas ou fatos em categorias pré-concebidas, ou estereótipos. Este processo normalmente é útil, pois as categorias disponíveis são normalmente ricas o suficiente para representar adequadamente o que foi observado. No entanto, este processo não é adequado para lidar com situações novas, visto

¹¹ ADAMS, J. L. **Conceptual blockbusting**: a guide to better ideas. 2. ed. Stanford: Stanford Alumni Association, 1979.

¹² BARON, J. **Thinking and deciding**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

¹³ BAZERMAN, M. H. **Judgment in managerial decision making**. 3.ed. New York: Wiley, 1994.

¹⁴ KLEINDORFER, P. R.; KUNREUTHER, H. C.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Decision sciences: an integrated perspective**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

que o estereótipo é baseado nas observações passadas, podendo interferir no julgamento adequado de situações novas.

Suposições Tácitas: Frequentemente as pessoas analisam um problema considerando tacitamente restrições. Porém, estas restrições assumidas não são necessariamente verdadeiras, levando a uma restrição no leque de alternativas que poderiam ser consideradas. Um exemplo pode ser o gestor ambiental de uma organização desconsiderar a possibilidade de aumentar o consumo de água de uma planta para aumentar a produção, e gerar mais empregos, pois ele acredita que a comunidade reagiria fortemente contra esta alternativa, no entanto, esta crença pode não ser verdadeira.

Incapacidade em Analisar um Problema em Diferentes Níveis de Abrangência: Este bloqueio ocorre em virtude do decisor restringir demais o contexto da decisão, observando detalhes sem considerar o todo. O excesso de detalhes considerados também pode dificultar o entendimento mais amplo da questão analisada, restringindo o universo de opções que poderiam ser consideradas. Como um exemplo pode ser citado o fato da comunidade reclamar do ruído gerado por uma planta industrial no período noturno, mesmo o ruído estando dentro dos padrões legais. Uma decisão aparentemente óbvia seria reduzir ainda mais o nível de ruído gerado. No entanto, uma análise mais ampla poderia indicar que a reclamação de ruído é apenas uma forma de manifestação de insatisfação da comunidade, causada pelo fato da empresa ter reduzido as contratações de pessoas da comunidade local, em virtude das novas exigências de escolaridade para os novos contratados. A redução do nível de ruído não impediria novas reclamações, visto que a causa da insatisfação era outra.

Inabilidade de Analisar o Problema Sob o Ponto de Vista de Outra Pessoa: Em situações onde a decisão envolve várias partes interessadas, o entendimento dos valores e objetivos das diversas partes auxilia na construção de alternativas conciliadoras e que agreguem valor. Fisher e Ury (1985) apresentam o exemplo de duas irmãs que disputavam a mesma laranja. Uma solução salomônica seria dividir a laranja em duas e cada irmã ficar com uma metade. No entanto, se cada irmã pudesse entender os objetivos da outra, descobririam que uma delas queria a laranja para usar a casca para fazer um doce, e jogaria o resto fora, enquanto a outra irmã queria comer a

fruta, e jogaria a casca fora. O entendimento dos objetivos das partes interessadas permite encontrar soluções criativas que atendam melhor aos objetivos de cada uma delas. Neste exemplo, depois de entender os objetivos de cada irmã, torna-se óbvio que a solução salomônica não é a melhor.

Bloqueios Relacionados a Valores

Esta categoria de bloqueios está relacionada aos valores e objetivos dos decisores, que podem interferir na identificação de novas alternativas.

Medo de Apresentar Idéias Não Viáveis: As pessoas normalmente têm medo de apresentar idéias que possam ser consideradas inviáveis, ingênuas ou sonhadoras. Este fato as impede de apresentar idéias que possibilitem novas abordagens do mesmo problema, ou mesmo uma idéia que por ser tão simples e, aparentemente, ingênuas, seja a melhor solução. Mesmo idéias que não sejam viáveis, propiciam uma discussão sobre a viabilidade da mesma que auxilia os envolvidos a alargar o entendimento da questão.

Viés do *Status Quo*: Tomar decisão implica em considerar pelo menos uma alternativa diferente do *status quo*. A habilidade em lidar com mudanças é uma habilidade cada vez mais importante nos gerentes e decisores. Entretanto, há pessoas que possuem dificuldades em lidar com mudanças, gerando um viés que os impele a preferir a manutenção da situação atual à mudança, mesmo que esta seja mais vantajosa. Quanto maior o viés, mais difícil é a criação de alternativas inovadoras.

Realidade Versus Fantasia: Algumas pessoas valorizam muito o fato de ser realista, dando pouca importância à fantasia. A capacidade de fantasiar auxilia a imaginação e a criação de novas alternativas.

Julgamento e Crítica: Este bloqueio surge quando as idéias são avaliadas em relação aos valores, julgadas, logo no início do processo criativo. Se ao invés de deixar que as mesmas sejam criadas livremente, as mesmas forem imediatamente julgadas e as falhas de cada idéia identificadas, isto desencorajará a criação de novas idéias e evitará que as idéias possam amadurecer e ganhar detalhes suficientes a ponto de se tornarem viáveis.

Bloqueios Culturais ou Sociais

Toda decisão é tomada em um ambiente cultural ou social. Estes ambientes podem limitar a criação de alternativas.

Tabus: Determinam formas de se comportar, ou até de pensar, que são socialmente corretos. Alternativas que violem os tabus tendem a não ser apresentadas, ou por medo de violar as convenções sociais, ou porque o tabu impede que a pessoa sequer considere uma violação do mesmo.

Força da Tradição: O bloqueio relacionado ao *status quo* está relacionado à resistência de uma pessoa em mudar. Parte desta resistência pode ser devido ao ambiente sócio-cultural envolvido em que o decisor está inserido. Em ambientes onde a tradição é muito forte, a apresentação de alternativas que impliquem em mudanças na tradição pode ser muito difícil.

Razão e Lógica versus Humor, Fantasia e Pensamento Artístico: Existe um bloqueio claro no uso de emoções, intuições e sentimentos na solução de problemas em ambientes corporativos. O uso do pensamento analítico provê um entendimento útil para a solução do problema, e a própria teoria da decisão requer este tipo de abordagem. No entanto, importantes idéias podem ser criadas se for permitido que os sentimentos, intuições e emoções auxiliem na criação. Clemen e Reilly (2001) concluem esclarecendo que o ideal seria o decisor ser “mentalmente ambidestro”, ou seja, ser capaz de alternar facilmente entre o pensamento analítico e o pensamento artístico.

3.2.2 Identificação de Alternativas

Keeney (1992) apresenta métodos para criação de alternativas utilizando os objetivos fundamentais, os atributos que descrevem os objetivos fundamentais, os objetivos intermediários, entre outros.

Criação de Alternativas a Partir dos Objetivos Fundamentais

Os objetivos fundamentais representam todas as conseqüências que são importantes no contexto da decisão. As vantagens relativas das alternativas disponíveis são avaliadas apenas pelo grau de atendimento dos objetivos fundamentais. Portanto, pensar em formas de alcançar os objetivos fundamentais pode gerar novas alternativas. Pitz, Sachs e Heerboth¹⁵ (1980 apud KEENEY, 1992, p.203) realizou experimentos que sugerem que mais alternativas são geradas quando os objetivos fundamentais são considerados um a um, ao invés de considerar todos ao mesmo tempo. Com base neste fato Keeney (1992) recomenda que se pense nas alternativas para alcançar cada um dos objetivos fundamentais, independentemente de seu nível hierárquico e desconsiderando os demais objetivos. Conseqüentemente, este processo gerará alternativas que não atenderão aos demais objetivos da maneira desejada. Este fato não é um problema, pelo contrário, é um indicador que a abordagem foi feita de forma criativa.

Uma vez que cada objetivo fundamental tenha sido considerado individualmente para a identificação de alternativas, o processo é repetido considerando-se dois objetivos por vez, tentando gerar alternativas que sejam boas para os dois objetivos. Espera-se que as alternativas geradas neste processo sejam refinamentos ou combinações das alternativas geradas ao analisar cada objetivo individualmente. O processo é repetido considerando-se três alternativas simultaneamente, e assim sucessivamente, até que todas os objetivos fundamentais sejam analisados individualmente.

¹⁵ PITZ, G. F.; SACHS, N. T.; HEERBOTH, T. Procedures for eliciting choices in the analysis of individual decisions. **Organizational Behavior and Human Performance**, New York, v.26, p.396-408, 1980.

A próxima etapa sugerida é analisar todas as alternativas geradas e verificar se é possível agrupá-las em um conjunto de alternativas compatíveis. Este conjunto gerado é uma nova alternativa que atenderá a um número maior de objetivos fundamentais.

Keeney (1992) enfatiza que se os objetivos fundamentais não forem estabelecidos de forma detalhada, pode haver limitação na identificação de alternativas. Como exemplo deste fato, pode ser citado o atendimento a um objetivo fundamental relacionado à redução de consumo de água por parte de uma indústria. Alternativas sobre como minimizar perdas por meio do aumento da conscientização dos colaboradores e redução de vazamentos podem ser facilmente identificadas. No entanto, se na estrutura dos objetivos fundamentais não forem identificados objetivos fundamentais detalhados, como redução do consumo de água, gasto na remoção do calor gerado no processo produtivo, ou minimização da água gasta no processo de geração de vácuo, alternativas como substituição dos ejetores por bombas de vácuo ou de trocadores de calor refrigerados a água por *air-coolers*, podem não ser identificadas. Jungermann, Von Ulardt e Hausmann ¹⁶ (1983 apud KEENEY, 1992, p.203) afirmou que mais alternativas são geradas quando o nível de detalhamento dos objetivos fundamentais é aumentado.

Criação de Alternativas a Partir dos Atributos

Keeney (1992) esclarece que os atributos especificados para um dado objetivo fundamental definem o seu significado de forma mais precisa, servindo de critérios para a identificação e seleção de alternativas. Como exemplo, pode ser citado o objetivo fundamental manter bom relacionamento com a comunidade. Um atributo para medir o atendimento a este objetivo pode ser a minimização de reclamações por parte da comunidade, ou percepção da comunidade a respeito da postura da empresa frente a temas ambientais. Se o primeiro atributo é selecionado, alternativas relacionadas à minimização dos impactos ambientais que possam ser percebidas pela comunidade tenderão a ser priorizadas em relação às alternativas relacionadas a programas de educação ambiental para a comunidade. No entanto, se o atributo escolhido for a percepção da comunidade sobre a postura da empresa frente a questões ambientais, a alternativa escolhida pode ser a adoção de programas de educação ambiental. Se os dois atributos forem selecionados, as duas alternativas tenderão a ser identificadas e escolhidas. Neste caso, o objetivo fundamental

¹⁶ JUNGERMANN, H.; VON ULARDT, I.; HAUSMANN, L. The role of the goal for generating actions. In: HUMPRHEYS, P.; SVENSON, O.; VARI, A. (Ed) **Analyzing and aiding decision process**. Amsterdam: North Holland, 1983.

poderia ser desdobrado em dois: melhorar a percepção da comunidade sobre a postura da empresa e minimizar o número de reclamações por parte da comunidade.

O Uso da Função Utilidade na Criação de Alternativas

A função de utilidade aditiva, conforme discutido na seção 3.4.2, é representada pela equação $V(X_1, X_2, \dots, X_n) = \lambda_1 V_1(X_1) + \lambda_2 V_2(X_2) + \dots + \lambda_n V_n(X_n)$, onde $V_i(X_i)$ representa a contribuição do atributo i para alcançar o objetivo fundamental e λ_i representa o peso que o atributo i possui em relação aos demais atributos. Portanto, a análise da função utilidade permite identificar quais os atributos possuem maior influência no resultado final, e concentrar os esforços na criação de alternativas para esses atributos (KEENEY, 1992). Se a função utilidade para uma dada decisão com apenas dois atributos for $V(X_1, X_2) = 0,9V_1(X_1) + 0,1V_2(X_2)$, a alocação de esforços para criar alternativas que maximizem o resultado do atributo 1 em uma unidade terá um impacto no resultado final nove vezes maior que a criação de uma alternativa que aumente em uma unidade o resultado do atributo 2.

Criação de Alternativas a Partir dos Objetivos Intermediários

Cada objetivo intermediário influencia pelo menos um objetivo fundamental. Portanto, cada alternativa que influencie um objetivo intermediário afetará pelo menos um objetivo fundamental. Conseqüentemente, a busca de alternativas para atingir os objetivos intermediários pode gerar alternativas úteis para atingir os objetivos fundamentais (KEENEY, 1992).

A identificação de novas alternativas é um importante passo do processo de tomada de decisão, na medida em que possibilita que alternativas que atendam melhor aos objetivos da organização sejam consideradas. Além das técnicas apresentadas por Keeney (1992), e do conhecimento sobre os mecanismos de bloqueio mental discutidos por Clemen e Reilly (2001), a estrutura de um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004 auxilia neste processo, provendo informações que possibilitam o conhecimento do contexto da decisão.

3.3 Modelagem da Estrutura do Problema

Segundo Clemen e Reilly (2001), a modelagem da estrutura do problema e da decisão a ser tomada incluem as seguintes etapas:

- a) Estruturação dos elementos de tomada de decisão de uma forma lógica - para tanto, são utilizados os diagramas de influência e as árvores de decisão. Estas ferramentas, juntamente com uma estrutura de valores bem definida, constituem-se num modelo de decisão que evidencia todos os elementos de decisão: objetivos relevantes, decisões a serem tomadas, incertezas e conseqüências;
- b) Refinamento e clara definição dos elementos envolvidos no modelo de decisão - neste caso, é necessário ter certeza de que as decisões a serem tomadas, as alternativas existentes, os eventos incertos envolvidos, bem como a mensuração das conseqüências se dê tendo como referência os objetivos especificados. Apesar das muitas conseqüências poderem ser medidas em escalas naturais, o valor atual de um investimento pode ser medido em reais (R\$), por exemplo. Objetivos não quantitativos, como a melhoria da saúde ou minimização de um impacto ambiental, são de mensuração mais complexa. Nestes casos, é necessária a criação de uma escala formal para mensurar o nível de atendimento aos objetivos definidos.

3.3.1 Estruturação dos Elementos de Decisão: Diagramas de Influência e Árvores de Decisão

A estruturação de uma decisão consiste na identificação dos elementos envolvidos na decisão: decisões a serem tomadas - alternativas existentes, eventos incertos e seus resultados, e conseqüências – as relações de influência existentes entre os diversos elementos e a seqüência com que esses eventos ocorrerão. Para tanto, podem ser utilizados o digrama de influência e a árvore de decisão, que permitem uma visualização gráfica da estrutura do problema. As Figuras 9 e 10 representam, respectivamente, o diagrama de influência e a árvore de decisão para o caso do trocador de calor.

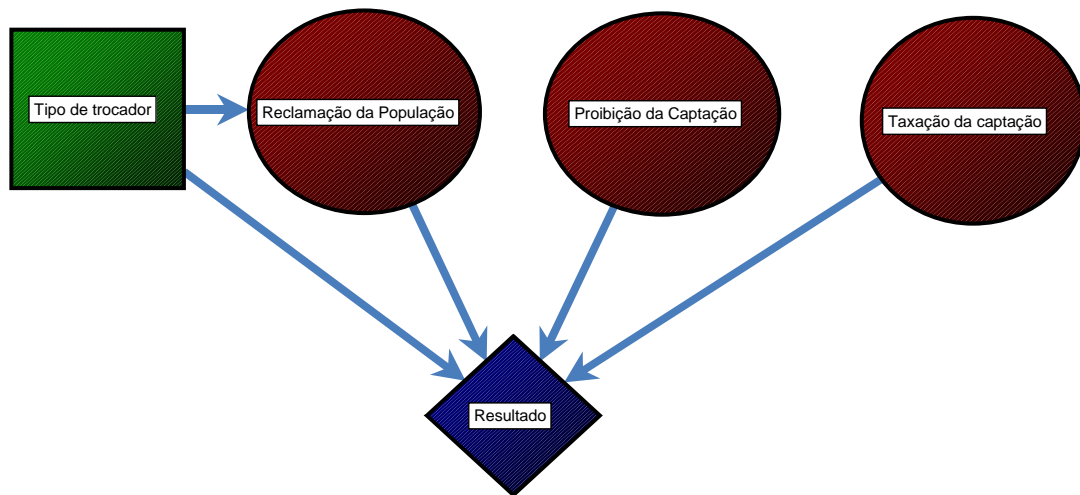


Figura 9 – Diagrama de influência
 Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Clemen e Reilly (2001), os diagramas de influência e as árvores de decisão são ferramentas complementares. A primeira indica as relações existentes entre os diversos elementos, não inclui todos os elementos existentes no problema e permite explicar mais facilmente a estrutura do problema a outras pessoas. A segunda apresenta os elementos em seqüência cronológica, é mais detalhada permitindo uma reflexão mais profunda e a realização de análise de sensibilidade para probabilidades e valores de entrada.

É possível estruturar o problema sem a utilização da árvore de influência. Raiffa (1977), estrutura diversos problemas sem utilizar o diagrama de influência, que foi criado somente na década seguinte, e compara a árvore de decisão a um mapa rodoviário, bem como enfatiza a utilidade da mesma para visualizar o problema e para calcular qual das alternativas oferece o melhor retorno à organização.

Esta dissertação não utiliza o diagrama de influência na estruturação do problema, embora o autor reconheça a utilidade desta ferramenta para a visualização de problemas mais complexos e para comunicar facilmente a outros envolvidos a estrutura do problema.

3.3.1.1 Árvores de Decisão

A árvore de decisão é uma representação gráfica do problema em análise, onde os eventos envolvidos são representados cronologicamente. A árvore de decisão do caso do trocador de calor, representada na Figura 10, foi construída com o auxílio do programa *Precision Tree*, sendo importante ressaltar que este programa não contém uma base de dados própria, todos os valores são definidos pelos usuários. Quando não são introduzidos valores, o programa assume valores que não possuem significado para o caso em análise. Conforme a simbologia usada por este programa, os eventos de decisão são representados por quadrados, chamados de nós de decisão. Os eventos associados às probabilidades são representados por círculos, denominados nós de eventos incertos. As alternativas existentes são representadas por retas (ramos) que saem dos nós de decisão ou dos nós de eventos incertos.

Como exemplo de aplicação da árvore de decisão será usado o caso do trocador de calor. Para tanto é necessário fornecer algumas informações adicionais para contextualizar o problema.

A empresa está localizada nas margens de um pequeno córrego, que receberá o nome fictício de Córrego Seco, e captava aproximadamente $20 \text{ m}^3/\text{h}$. No período de seca a vazão captada aproximava-se da vazão mínima do Córrego Seco.

Do total captado, $10 \text{ m}^3/\text{h}$ destinavam-se a um condensador de vapor. A água de resfriamento ao passar pelo condensador, um trocador tipo casco-tubo, retirava a energia do vapor condensando-o e aquecendo-se de 30° para 40°C . Para ser reutilizada, essa água passava por uma torre de resfriamento que recebia um fluxo de ar em contra-corrente. Uma parcela do fluxo da água evaporava-se ao entrar em contato com o ar, resfriando a corrente de água de 40° para 30°C , tornando-a apta a retornar ao circuito de água de refrigeração. A parcela de água evaporada correspondia a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ e era repostada a partir da captação do córrego.

Em função da baixa vazão do afluente, comparado à captação da indústria, havia o receio do órgão responsável pela outorga do uso da água restringir o volume de captação. A organização acreditava que se ocorresse uma restrição na captação ela seria da ordem de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ para garantir mais de 50% da vazão do afluente no período de seca. Outra incerteza existente era a cobrança pelo uso da água, pois havia a possibilidade de ser iniciada a cobrança pelo uso da água captada e também havia incerteza quanto ao valor que seria cobrado.

Em virtude do fato da vazão do Córrego Seco aproximar-se de zero após a captação, havia a possibilidade de queixas da comunidade com repercussão para a imagem da empresa. Essa possibilidade era considerada baixa em virtude do trecho entre a captação e o ponto de deságüe no córrego ser canalizado e subterrâneo, dificultando a percepção por parte da comunidade da vazão do Córrego Seco e, pelo fato de não haver nenhum usuário à jusante da captação. O risco associado ao dano à imagem da empresa só existe durante o período em que não houver restrição por parte do órgão responsável pela outorga. A partir do momento em que a restrição fosse estabelecida, a empresa não realizaria captação em volume que reduzisse a vazão do Córrego Seco para próximo de zero, eliminando o risco para a imagem da empresa.

Esse condensador de vapor apresentava elevado grau de corrosão e incrustação e necessitava ser substituído. A petroquímica tinha duas alternativas:

- 1) substituir o condensador atual por outro condensador do mesmo tipo, casco-tubo; ou
- 2) optar por um condensador tipo *air-cooler*.

Este tipo de trocador de calor não utiliza água de resfriamento, eliminando-se a necessidade de captar 10 m³/h, pois o vapor passa por tubos aletados¹⁷, que recebem um fluxo de ar perpendicularmente aos tubos, de modo que o ar remove o calor, condensando o vapor. Destaque-se que este tipo de trocador de calor é mais caro que o casco e tubo. A representação deste problema na árvore de decisão é indicada na Figura10. Os valores de probabilidade indicados nesta Figura foram criados pelo próprio programa, gerando probabilidades iguais para cada ramo, não representando as probabilidades envolvidas no caso.

¹⁷ São tubos destinados à construção de *air-coolers*, que possuem pinos ou chapas soldados na parte externa, normalmente de forma perpendicular à linha de centro do tubo, com o objetivo de aumentar a área de troca térmica.

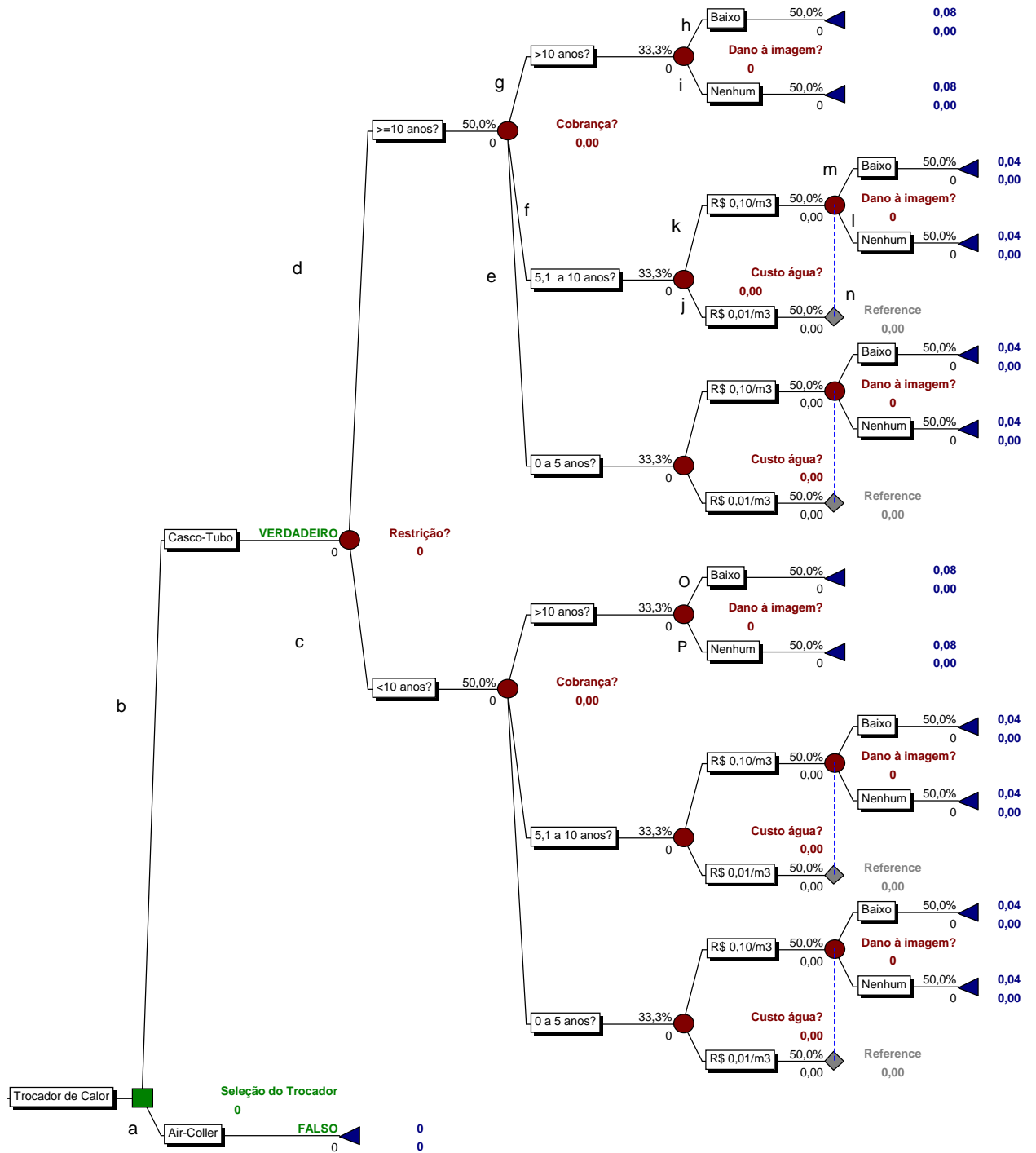


Figura 10 - Seleção do trocador de calor
 Fonte: Elaborado pelo autor

A representação da Figura 10 foi elaborada com o programa *Precision Tree*, que é um dos cinco programas que compõem o pacote de programas *DecisionTools* da Palisade. Os números que aparecem na árvore de decisão são os valores padrões do programa *Precision Tree*. Os valores específicos para o caso em questão serão introduzidos posteriormente.

Para interpretar o diagrama é necessário estabelecer alguns conceitos definidos pela Palisade Corporation (2008). Em um nó de decisão deve haver um ramo para cada alternativa existente, deve haver tantos ramos quanto forem as alternativas e os ramos devem ser mutuamente excludentes, isto é, a escolha de um ramo elimina a possibilidade de escolher outros ramos. Em um nó de evento incerto deve ter tantos ramos quantos forem as possibilidades existentes e a ocorrência de um evento definido em um dos ramos deve implicar na impossibilidade de ocorrerem os eventos definidos nos demais ramos.

A árvore de decisão representa de forma cronológica, da esquerda para a direita, os eventos que são controlados pelo tomador de decisão, os nós de decisão, e os eventos que não são controlados por ele ou pela organização que representa, nós de eventos incertos.

Neste exemplo, o tomador de decisão tem duas escolhas, optar por substituir o atual trocador de calor por um *air-cooler*, ou substituir o trocador de calor por outro do mesmo modelo, casco e tubo. Esta decisão é representada pelo nó de decisão denominado de “Seleção do Trocador” e representado por um quadrado com dois ramos saindo do mesmo, cada ramo representando uma das possíveis decisões, opções “a” ou “b”. Se o tomador de decisão optar pelo *air-cooler*, ele incorrerá no custo maior do equipamento. Se a opção for pelo “Trocador Casco e Tubo”, o custo de instalação será menor, porém, há várias incertezas relacionadas a essa opção.

A primeira incerteza representada pelo nó “Restrição” refere-se à possibilidade do órgão competente restringir a vazão a ser captada. Este nó possui os ramos “c” e “d” que representam as possibilidades da restrição ser realizada somente num horizonte igual ou superior a 10 anos, neste caso o custo adicional a ser considerado é nulo, visto que o período de tempo considerado na análise econômica do investimento é de 10 anos. Por outro lado, se a restrição ocorrer em menos de 10 anos, haverá um aumento no custo devido à necessidade de comprar água para suprir a vazão que deixou de ser captada.

Se não ocorrer restrição em um período de tempo inferior a dez anos, ramo “d”, a árvore de decisão indica que o próximo evento incerto é o nó “Cobrança?”, representando a possibilidade

de haver cobrança pela água captada do Córrego Seco. Os três ramos, “e”, “f” e “g”, representam as possibilidades consideradas, que são: a cobrança ser iniciada em um período de tempo de 0 a 5 anos; ser iniciada após 5,1 e antes de 10 anos e; da cobrança ser iniciada após 10 anos. Se a cobrança vier a ser efetuada num prazo superior a 10 anos, ela não introduzirá impacto na avaliação econômica, visto que o horizonte considerado é de 10 anos. Neste caso, a próxima possibilidade indicada pela árvore de decisão é o nó “Dano à imagem?”.

O dano à imagem pode ser nenhum, ramo “i”, caso não haja nenhuma manifestação de partes interessadas, ou de baixa magnitude, ramo “h”. Tendo em vista que não há partes interessadas diretamente afetadas pela redução da vazão e pelo fato do Córrego Seco ser canalizado até o desembocar no rio principal, as possibilidades de ocorrerem danos à imagem de média ou alta magnitude são considerados não aplicáveis a este caso. Caso haja um dano à imagem de baixa magnitude, esse fato deve ser valorado para poder ser considerado na avaliação econômica, isto é, deve ser realizado um *trade-off* entre a imagem e o lucro da organização.

Foi discutido o ramo “g” e seus desdobramentos, voltando ao nó “Cobrança?” há duas outras possibilidades: a possibilidade da cobrança ser iniciada em um período de tempo entre 5,1 e 10 anos, ramo “f”. Isto implica em um impacto na avaliação econômica, a árvore de decisão indica que foram consideradas duas possibilidades: a água captada ser cobrada à taxa de R\$ 0,01/m³, ramo “j” ou; o valor cobrado ser de R\$ 0,03/m³, ramo “k”. Após o ramo “k” há o nó “Dano à Imagem?”, com os ramos “l” e “m” indicando a possibilidade de haver nenhum dano ou danos de baixa magnitude. A discussão destes ramos é similar à discussão dos ramos “i” e “h”.

O losango que aparece no final do ramo “j” é denominado nó de referência, é um recurso do programa *Precision Tree* para facilitar a construção de árvores de decisão e reduzir o número de ramos, facilitando sua compreensão. Ele representa uma sub-árvore, neste caso o nó de referência está ligado por uma linha pontilhada ao nó “Dano à Imagem?”, o que significa que o nó de referência equivale ao nó “Dano à Imagem?” e seus ramos.

A última possibilidade do nó “Cobrança?” é o ramo “e”, que indica a possibilidade da cobrança ser iniciada em um prazo menor, de 0 a 5 anos. A discussão das possibilidades decorrentes deste nó é a mesma realizada para os ramos “j” e “k”.

Na discussão precedente foram detalhadas as possibilidades decorrentes do ramo “d” do nó “Restrição?”. A discussão das possibilidades associadas ao ramo “c” é similar.

O modelo de decisão deve passar pelo teste de clareza, para tanto os eventos incertos devem estar claramente definidos. O teste consiste em imaginar que no futuro todas as informações referentes a todos os aspectos da decisão serão conhecidas. Se com essas informações as questões abaixo forem respondidas afirmativamente, o modelo está aprovado no teste de clareza.

As questões são:

- a) Os eventos incertos estão claramente definidos, de modo a permitir que um observador externo soubesse exatamente o que ocorreu?
- b) As alternativas existentes para cada decisão são claras o suficiente para que qualquer um saiba o que elas significam?
- c) As conseqüências estão claramente definidas e são mensuráveis?

As perguntas devem ser aplicadas a cada elemento existente na árvore de decisão. Se a resposta for negativa, o elemento que gerou essa resposta deve ser re-avaliado para atingir o nível de clareza necessário (CLEMEN; REILLY, 2001).

A discussão realizada sobre cada ramo da árvore de decisão demonstrou que os elementos da árvore de decisão estão claramente definidos.

Para cada evento incerto existem várias alternativas e a cada alternativa está associada a uma probabilidade. Estas incertezas devem ser analisadas e estimadas para que possa ser tomada uma decisão com maior chance de obter resultados ótimos.

3.3.2 Modelagem da Incerteza

Em muitos problemas os resultados de uma decisão são perfeitamente conhecidos e, portanto, uma vez tomada a decisão, o resultado é certo. Porém, em outros problemas os resultados não dependem unicamente da decisão tomada, os resultados reais serão conhecidos somente depois da decisão ser tomada. Este fato deve-se às incertezas envolvidas.

Segundo Hammond et al. (2004), uma vez identificadas as incertezas, deve-se pensar sistematicamente nelas, compreendendo os vários resultados possíveis e a probabilidade de cada

um ocorrer, bem como os impactos resultantes. Segundo Raiffa (1977), para avaliar os impactos resultantes de cada alternativa pode ser utilizado o conceito de Valor Monetário Esperado (VME), caso seja possível expressar os resultados em termos monetários. Caso não seja possível, é necessário construir uma escala formal para avaliar como cada um dos objetivos fundamentais é afetado pelos resultados decorrentes das escolhas realizadas.

3.3.2.1 Valor Monetário Esperado

O conceito de valor monetário está associado a situações que envolvem incertezas, não sendo possível definir o resultado monetário da decisão de forma precisa, pois o resultado monetário está associado a uma probabilidade de ocorrência. Na árvore de decisão representada na Figura 11, em cada ramo existe um valor que será obtido caso aquela possibilidade ocorra e uma probabilidade de ocorrência. O valor monetário esperado é a soma dos produtos do resultado monetário pela probabilidade de ocorrência de cada ramo de um nó de evento incerto. Matematicamente, ele é expresso pela seguinte fórmula:

$$\text{VME} = \sum_{i=1}^n (v_i p_i)$$

Na fórmula, “i” representa cada uma das alternativas existentes em um nó de evento incerto, e “n” representa o número de alternativas existentes. Pela fórmula, é possível concluir que o VME representa o valor médio que o nó de evento incerto representa, o nó de evento incerto é valorado pelo VME.

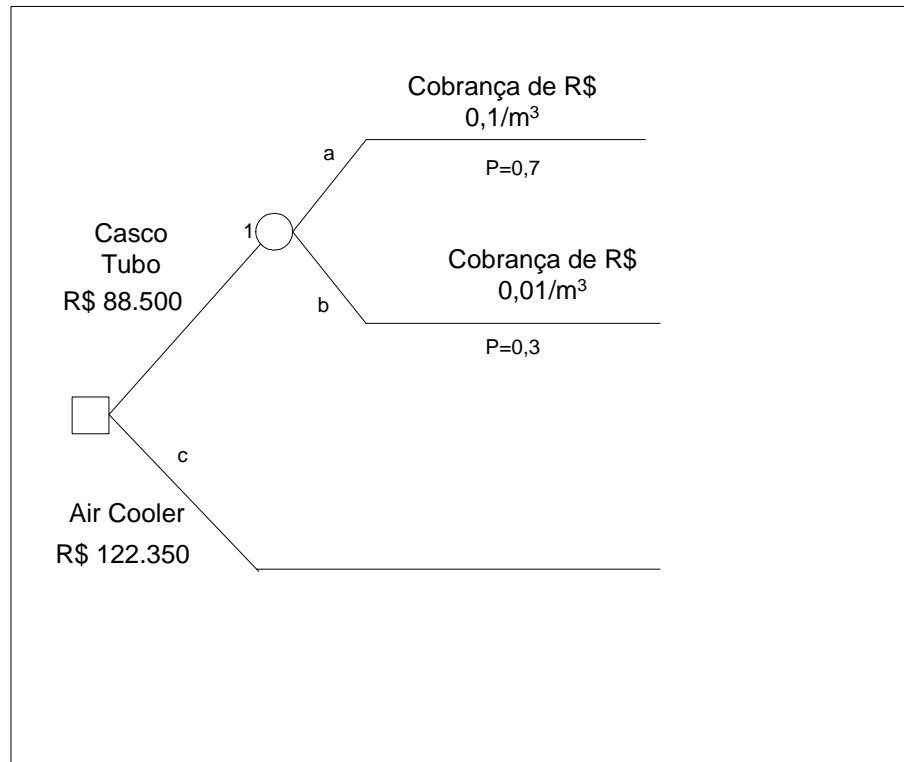


Figura 11 - Árvore de Decisão e Valor Monetário Esperado I
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando a árvore de decisão da Figura 11, o valor monetário esperado do nó de evento incerto “1” é:

Horizonte de tempo considerado = 10 anos

Volume Captado em 10 anos = $10 \text{ m}^3/\text{h} \times 720 \text{ h}/\text{mês} \times 12 \text{ meses}/\text{ano} \times 10 \text{ anos} = 864.000 \text{ m}^3$

$$\text{VME} = \underbrace{864.00 \text{ m}^3 \times 0,1 \text{ R\$/m}^3}_{63.072} \times \underbrace{0,7}_{\text{Probabilidade}} + \underbrace{864.000 \text{ m}^3 \times 0,01 \text{ R\$/m}^3}_{\text{Custo}} \times \underbrace{0,3}_{\text{Probabilidade}} = \text{R\$}$$

Custo da captação de água a R\$ 0,1/m³

Probabilidade da água ser taxada a R\$ 0,1/m³

Custo da captação de água a R\$ 0,01/m³

Probabilidade da água ser taxada a R\$ 0,01/m³

Portanto, o nó de evento incerto 1 tem um Valor Monetário Esperado de R\$ 63.072,00. O VME pode ser interpretado como sendo a média ponderada dos valores de cada ramo do nó de evento incerto, tendo como fator de ponderação a probabilidade de ocorrência de cada nó.

Este exemplo contém duas simplificações, uma das simplificações deve-se ao fato de não ser considerado o efeito dos juros nos pagamentos futuros pelo custo da água. Para que seja possível comparar o custo de captação da água com os diferentes valores do trocador casco-tubo e do *air-cooler*, que serão pagos no momento da instalação. Para tanto é necessário utilizar Valor Presente, referente ao fluxo de caixa representado pelos pagamentos mensais do custo da água. O Valor Presente do fluxo de caixa é calculado pela seguinte fórmula:

$$VP_{fc} = P_{gt} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Onde:

VP_{fc} = valor presente do fluxo de caixa

P_{gt} = pagamento mensal realizado

i = taxa de juros considerada para o período

n = número de períodos considerados

O Valor Presente do fluxo de caixa considera a taxa de juros que remuneraria o capital, caso a empresa o aplicasse no mercado financeiro ou em outra aplicação considerada adequada pela empresa. Cada empresa define essa taxa de juros, chamada de Taxa Interna de Retorno (TIR). Essa taxa é utilizada para avaliar a viabilidade de investimentos e realização de outros cálculos financeiros.

A TIR é um valor conhecido no momento em que se toma a decisão. Porém, quando se considera cenários de longo prazo, como é o caso deste exemplo, deveria ser utilizada a TIR que representasse a taxa de juros média, que a organização obteria pelo seu capital durante o período

do cenário considerado. Esta taxa média não é conhecida, ela também representa uma incerteza, e pode ser incluída como mais uma variável na análise do problema. Neste exemplo, será utilizada uma TIR de 15% ao ano, que era o valor aproximado usado pela empresa petroquímica na época.

Para calcular o Valor Presente do fluxo de caixa, é necessário conhecer o pagamento mensal, a taxa de juros a ser considerada, ou a TIR, e o número de pagamentos. Considerando que os pagamentos são mensais e realizados no final de cada mês, tem-se:

$$n = \text{número de pagamentos mensais} = 120$$

$$i = 15\% \text{ ao ano, ou } 1,17\% \text{ ao mês}$$

$$P_{gt} = \text{valor do pagamento} = 10 \text{ m}^3/\text{h} \times 720 \text{ h/ mês} \times \text{Custo da Água por m}^3$$

Considerando-se o custo da captação de água igual a R\$ 0,10/m³, tem-se:

$$P_{gtR\$ 0,1/m^3} = 10 \text{ m}^3/\text{h} \times 720 \text{ h/ mês} \times R\$0,10/\text{m}^3 = R\$ 720/\text{mês}$$

Considerando-se o custo da captação de água igual a R\$ 0,01/m³, tem-se:

$$P_{gtR\$ 0,01/m^3} = 10 \text{ m}^3/\text{h} \times 720 \text{ h/ mês} \times R\$0,01/\text{m}^3 = R\$ 72/\text{mês}$$

Utilizando-se o programa Excel para calcular o VP, obtém-se o resultado mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo do Valor Presente

Custo da Água	R\$ 0,10/m ³	R\$ 0,01/m ³
N Períodos	120	120
TIR	1,17%	1,17%
Pagamento Mensal	R\$ 720	R\$ 72
Valor Presente	-R\$ 46.300	-R\$ 4.630

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os resultados dos VPs, pode-se calcular o VME para o nó de evento incerto “1” sem a simplificação realizada anteriormente.

$$\text{VME} = \underbrace{\text{R\$ } 46.300}_{\text{VP do custo da captação de água a R\$ } 0,1/\text{m}^3} \times \underbrace{0,7}_{\text{Probabilidade da água ser taxada a R\$ } 0,1/\text{m}^3} + \underbrace{\text{R\$ } 4.630}_{\text{VP custo da captação de água a R\$ } 0,01/\text{m}^3} \times \underbrace{0,3}_{\text{Probabilidade da água ser taxada a R\$ } 0,01/\text{m}^3} = \text{R\$ } 33.799$$

Portanto, o VME do nó de evento incerto “1”, passou de R\$ 63.072,00 para R\$ 33.799,00 quando foi considerado o efeito dos juros. O VME que deve ser usado é o calculado considerando-se o efeito dos juros.

O valor do nó de evento incerto deve considerar o custo, ou o lucro, associado às etapas que o antecedem. Neste caso, a etapa anterior a ele é o custo do trocador de calor, que ainda não foi considerado. Portanto, a cada um dos ramos do nó de evento incerto “1” deve ser somado o custo de R\$ 88.500,00, assim, o valor esperado do nó de evento incerto passa a ser R\$ 122.299,00. Esta situação é representada pela Figura 12.

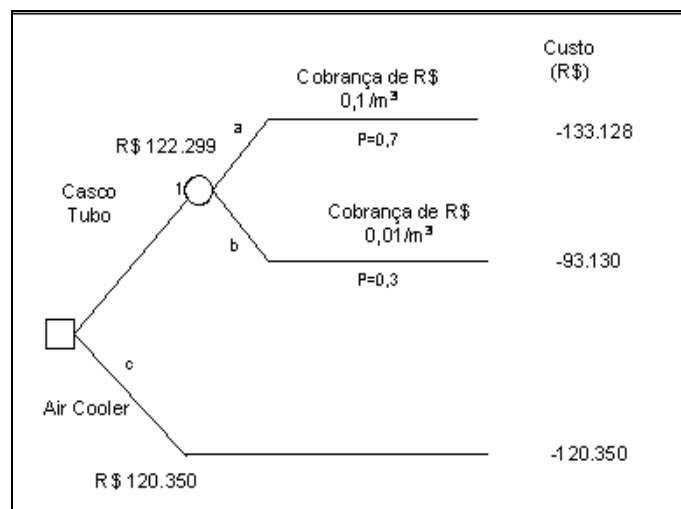


Figura 12 - Árvore de decisão e Valor Monetário Esperado II
Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 12 mostra que o custo esperado de optar pelo trocador de calor casco-tubo é R\$122.299,00, enquanto que o custo de optar-se pelo *air-cooler* é R\$ 120.350,00. Deve-se, portanto desprezar a opção do trocador de calor tipo casco-tubo e optar-se pelo *air-cooler*.

Este exemplo, tem por objetivo esclarecer a forma como o programa *Precision Tree* calcula os valores associados à árvore de decisão.

Para resolver o exemplo precedente, foi necessário conhecer os custos envolvidos em cada ramo e as probabilidades de ocorrência de cada uma das alternativas associadas aos nós de eventos incertos. Todos os valores envolvidos estavam expressos em valores monetários e puderam ser comparados diretamente.

No caso do trocador de calor da Figura 10, a cobrança pela captação da água não tem início no primeiro mês, a cobrança pode ter início no período de 0 a 5 anos ou no período de 5,1 a 10 anos. Considerando-se a média de cada período, a cobrança teria início 2,5 anos ou 7,5 anos após o mês 1. O valor calculado de cada fluxo de caixa deve ser convertido para o valor no mês 1, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Onde:

VP = valor presente

VF = valor futuro

i = taxa de juros considerada para o período

n = número de períodos considerados

Os cálculos dos valores presentes dos fluxos de caixa da cobrança pela captação estão detalhados no apêndice A; a determinação do custo de compra da água, decorrente da restrição de captação, está detalhada no apêndice B e os custos dos equipamentos estão no apêndice C; os resultados foram lançados no *Precision Tree*. É importante ressaltar que o valor estimado para a cobrança da água era o valor que acreditava-se como mais provável na época em que a decisão foi tomada.

O valor referente ao custo da compra de água foi obtido de uma empresa de transporte e venda de água da região em fevereiro de 2009. Os custos do trocador de calor casco-tubo e do *air-cooler*, por sua vez, foram obtidos pelo autor, em dezembro de 2008, de uma empresa multinacional especializada em projeto e construção desses equipamentos.

Como o uso de dados monetários obtidos em datas distintas representa um erro, seria possível aplicar uma taxa de deflação específica para o setor de equipamentos para procurar minimizar essa distorção. Neste exemplo não foi aplicada nenhuma taxa de deflação, visto que a intenção é exemplificar como o processo de decisão ocorre, bem como demonstrar uso do software *Precision Tree*, e não chegar a uma conclusão, mais de uma década depois, de qual teria sido a melhor decisão na época.

No exemplo do Trocador de Calor, nem todos os valores estão expressos em termos monetários. O dano à imagem não possui uma escala natural expressa em valores monetários, sendo necessário criar uma escala de valores e definir os *trade-offs* entre esses valores, conforme discutido na seção 3.4.3. Os valores de probabilidade representados na Figura 10 (Seleção do Trocador de Calor) foram gerados automaticamente pelo programa *Precision Tree* e não representam as probabilidades associadas ao caso.

3.3.2.2 Probabilidade Subjetiva

Raiffa (1977), esclarece que peritos estatísticos, probabilistas e analistas de decisão diferem entre si a respeito dos fundamentos lógicos da análise de decisões e no que se refere aos conselhos que devem ser dados aos usuários.

Há duas correntes, os bayesianos¹⁸, ou subjetivistas, que desejam introduzir julgamentos e sensações intuitivas diretamente na análise formal do problema da decisão. Os não-bayesianos,

¹⁸ O termo bayesino deve-se ao Reverendo Thomas Bayes, que escreveu “Um Ensaio Para a Solução de Um Problema na Doutrina do Acaso”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1763, onde sugeriu que opiniões probabilísticas, fundamentadas em meros palpites, poderia ser combinadas com probabilidades baseadas em frequências relativas, pelo uso do Teorema de Bayes, um resultado simples do uso das probabilidades condicionais.

ou objetivistas, acreditam que esses aspectos subjetivos devem ser deixados de fora da análise formal, e que somente podem ser usados para ligar o mundo real aos resultados objetivos obtidos pela análise formal.

Raiffa (1977), declara-se bayesiano e reconhece que as divergências podem ocorrer, de forma respeitosa, entre profissionais competentes.

Raiffa (1977), esclarece que há diferentes níveis de incerteza. Em um pólo estão os eventos, que apesar de incertos, tem a probabilidade é conhecida. Como o lançamento de um dado, que é construído para que a probabilidade de dar um resultado entre um e seis seja igual; neste caso há uma quantidade enorme de testes que confirmam a probabilidade esperada. No pólo oposto estão os eventos incertos cuja probabilidade de ocorrência não é conhecida à priori. Para estes eventos, é necessário que o decisor coloque em uma escala suas opiniões subjetivas sobre as incertezas relevantes, em termos de probabilidades subjetivas, e use estas probabilidades para analisar o problema e decidir que ação adotar.

Segundo Clemen e Reilly (2001), as pessoas estão acostumadas a fazerem julgamentos a respeito de incertezas, e fazem isso frequentemente. Muitas de suas declarações envolvem avaliações informais da incerteza, que envolve um evento. Declarações como: “hoje deve fazer sol”, ou “o risco de câncer devido a exposição aos fumos de cigarro é pequeno”, envolvem uma avaliação subjetiva, pessoal, da incerteza num nível básico. Clemen e Reilly (2001) destacam que a avaliação subjetiva da incerteza é um importante fator na análise da decisão. Uma tendência básica da moderna teoria da decisão é que julgamentos subjetivos da incerteza podem ser feitos em termos de probabilidade.

Dentro do contexto ambiental são realizadas muitas avaliações subjetivas da incerteza. Por exemplo, uma empresa que está decidindo sobre a ampliação de uma unidade industrial e de construção de uma nova ETE, para atender ao aumento da geração de efluentes, avalia a probabilidade da legislação ambiental aplicável ao efluente tornar-se mais restritiva; também avalia a probabilidade de que seja necessária uma nova ampliação da unidade industrial, no futuro, em função do crescimento da demanda, resultando na necessidade de uma nova ampliação da ETE. Dependendo da disponibilidade de tempo e dos recursos que os decisores dispõem para tomar essa decisão, eles podem ser obrigados a realizar uma avaliação subjetiva das incertezas envolvidas e decidir, com base nessa avaliação, qual a especificação final do efluente, qual a

capacidade dessa ETE e se ela deve ser do tipo modular, permitindo ampliações futuras. Se dispuserem de mais recursos e de tempo, podem contratar estudos mais precisos de mercados ou consultarem especialistas das diversas áreas.

No exemplo da Seleção de um Trocador de Calor, um fator determinante na solução é a definição das probabilidades envolvidas, se as probabilidades associadas à restrição da captação e à probabilidade da cobrança de água forem avaliadas considerando que as mesmas ocorrerão e em um curto espaço de tempo, e que os valores da cobrança serão elevados, essa avaliação leva à decisão para a escolha do *air-cooler*. Por outro lado, se essas probabilidades forem avaliadas considerando-se que não haverá cobrança de água, que não haverá restrições à captação, e que não ocorrerão reclamações quanto à vazão do Córrego Seco após a captação realizada, esta avaliação leva à escolha do trocador de calor casco-tubo.

A avaliação das probabilidades subjetivas é uma etapa crucial do processo de tomada de decisão, e os fatores que podem introduzir vieses nas avaliações devem ser conhecidos para minimizar os erros.

3.3.2.2.1 Os Mecanismos Heurísticos e os Vieses na Avaliação da Probabilidade Subjetiva

A avaliação da probabilidade subjetiva pode ser afetada pelos mecanismos utilizados pela mente humana, de forma inconsciente, para lidar com situações complexas. Esses mecanismos foram denominados de heurísticos por Tversky e Kahneman (1974). Um exemplo desse mecanismo é a avaliação de distâncias com base na nitidez do objeto. Quanto mais nítido, mais perto julga-se que o objeto está. Este “atalho mental” permite julgamentos rápidos e facilitam as decisões. Porém, justamente pelo fato de serem atalhos mentais, esses mecanismos não são seguros, ou seja, estão sujeitos a erros. Por exemplo, como destaca Hammond et al. (2004), em dias nublados os objetos parecem estar mais longe do que realmente estão.

Embora não seja possível livrar a mente humana desses possíveis erros inconscientes, o conhecimento e compreensão desses mecanismos permitem compensar a sua existência (HAMMOND et al., 2004).

Tversky e Kahneman (1974), citam três mecanismos heurísticos que tendem a introduzir vieses nas avaliações:

- 1) a avaliação por similaridades ou por estereótipos;
- 2) disponibilidade; e
- 3) âncora e ajuste.

A avaliação por similaridade, ou por estereótipos, consiste em julgar se alguém, ou algo, pertence a uma determinada categoria ou grupo, avaliando-se as similaridades das informações disponíveis do que está sendo julgado contra um estereótipo dessa categoria ou grupo, desconsiderando-se outras informações relevantes.

Um dos dados que tende a ser desconsiderado são os dados estatísticos disponíveis. O fato de ser identificada uma característica típica de um grupo em um indivíduo, tende levar à conclusão de que o indivíduo pertence ao grupo, desconsiderando-se as probabilidades conhecidas disponíveis. Tversky e Kahneman (1974, p.1124, tradução nossa) citam como exemplo a avaliação da probabilidade de uma pessoa ser um fazendeiro, um vendedor, um piloto de aviões ou um bibliotecário a partir da seguinte descrição: “Steve é uma pessoa muito tímida e retraída, sempre busca ajudar os outros, mas tem pouco interesse por outras pessoas ou pelo mundo real. Tem uma alma limpa e humilde, com necessidade de organização e paixão pelos detalhes”. A probabilidade de Steve ter uma dessas profissões é avaliada com base na similaridade entre a descrição dada e os estereótipos de cada profissão, quanto maior a semelhança, maior a probabilidade de ter a profissão. Neste caso, a avaliação da probabilidade de Steve ser um bibliotecário é avaliada como alta em virtude da semelhança com o estereótipo de bibliotecário, desconsiderando-se que o número de fazendeiros na população é muito maior que o de bibliotecários.

Outra consequência da avaliação por similaridade é a desconsideração do tamanho das amostras. Para avaliar a probabilidade de obter-se um resultado específico em uma amostra retirada de uma dada população, as pessoas tipicamente utilizam a heurística da similaridade. Isto é, a probabilidade de obter-se um dado resultado, por exemplo, que a altura média de uma amostra aleatória de 10 homens seja de 1,80 metros, é avaliada pela similaridade entre este resultado e a média deste parâmetro na população, isto é, com a altura média de toda a população. A similaridade entre o resultado específico da amostra e a média deste parâmetro na população não

depende do tamanho da amostra, depende apenas da diferença entre o resultado específico considerado e da média da população. Conseqüentemente, quando a probabilidade é avaliada pela similaridade, o tamanho da amostra é desconsiderado (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). Em testes realizados, pessoas foram solicitadas a avaliar a probabilidade de que a altura média das pessoas de uma dada amostra fosse maior que 1,80 m. Os resultados obtidos foram os mesmos, para amostras de 10.000, 100 ou 10 homens, desconsiderando-se que a probabilidade de obter-se resultados diferente da média é maior para amostras pequenas, e que amostras maiores tendem a aproximar-se mais da média, isto é, tem uma menor dispersão (KAHNEMAN; TVERSKY¹⁹ 1972 apud TVERSKY; KAHNEMAN 1974, p.1125).

Os mesmos autores afirmam que em situações onde pessoas são solicitadas a realizar previsões, seja de preços, impactos ou probabilidades, estas avaliações são freqüentemente feitas somente com base na avaliação por similaridade. Por exemplo, dá-se uma descrição de uma fábrica a um grupo de pessoas, sendo posteriormente solicitado a esse grupo que avalie o impacto ambiental da mesma. A avaliação do impacto ambiental da fábrica será tanto maior quanto pior for a descrição da fábrica; inversamente, quanto mais favorável for a descrição da fábrica, menor será a estimativa do impacto. A avaliação não é afetada pelo nível de confiança que pode ser creditado à descrição, nem pela ausência de dados que possam subsidiar a estimativa do impacto ambiental. Este fato pode ser particularmente importante para empresas que estejam em vias de defender uma solicitação de licença ambiental em uma audiência pública. A veiculação de notícias desfavoráveis na mídia, mesmo que não relacionadas a questões ambientais, tende a maximizar a percepção dos impactos e riscos, podendo causar dificuldades na aprovação da licença.

Os erros induzidos pela avaliação por similaridade não estão restritos a pessoas com pouco conhecimento técnico. Um estudo de estatística intuitiva realizada com experientes pesquisadores em psicologia revelou uma crença difícil de ser removida, que os autores denominaram de “lei dos pequenos números”, de acordo com a qual mesmo pequenas amostras seriam altamente representativas das populações das quais foram retiradas. Como conseqüência, muita credibilidade é conferida a resultados decorrentes de pequenas amostragens, causando uma super-avaliação grosseira da utilidade dos resultados obtidos (TVERSKY; KAHNEMAN, 1971).

¹⁹ KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Subjective probability: a judgment of representativeness. **Cognitive Psychology**, New York, v.3, p.430-454, July 1972.

O segundo mecanismo heurístico citado por Tversky e Kahneman (1974) é a disponibilidade. Segundo os autores, existem situações em que as pessoas avaliam a frequência ou probabilidade de um evento com base na facilidade com que obtém informações de casos similares na memória. A heurística da disponibilidade é útil, visto que se obtém mais facilmente da memória informações de eventos que ocorrem com maior frequência do que de eventos que ocorrem mais raramente. No entanto, a disponibilidade é afetada por outros fatores, além da probabilidade ou frequência com que os eventos ocorrem. Conseqüentemente, o uso da heurística da disponibilidade leva a vieses previsíveis. O fato de um acidente ser presenciado, tende a aumentar a avaliação da probabilidade de ocorrência de um acidente similar. O impacto na avaliação da probabilidade também é influenciado pela intensidade da experiência. Uma pessoa que tenha estado dentro de uma casa em chamas, tenderá a superestimar mais a probabilidade de um novo incêndio do que alguém que apenas tenha lido a reportagem sobre esse incêndio. Os indivíduos tendem a recuperar mais facilmente da memória fatos com os quais estão mais familiarizados. Um grupo de indivíduos que receba informações da ocorrência de eventos com os quais estão familiarizados e de eventos que são estranhos a eles tenderá a lembrar-se mais dos eventos familiares, distorcendo as avaliações de probabilidade ou de frequência, no sentido de superestimar os eventos familiares ao grupo. Clemen e Reilly (2001) informam que a heurística da disponibilidade é afetada pela atenção dispensada na mídia para um dado fato, se a atenção dispensada pela mídia não for coerente com a ocorrência dos fatos. Neste caso, o fato realçado pela mídia tenderá a ser avaliado com uma probabilidade de ocorrência superestimada. Tversky e Kahneman (1974) esclarecem também que algumas vezes a avaliação da probabilidade não é feita a partir de dados armazenados na mente, mas sim, por dados gerados pela imaginação, que desempenha um papel importante na avaliação de probabilidades. Os riscos ambientais decorrentes de uma instalação industrial, por exemplo, são avaliados imaginando-se as diversas formas como a indústria poderia afetar o meio ambiente. Se muitos eventos que podem causar impactos são imaginados de forma vívida, a indústria poderá parecer excessivamente perigosa, apesar da facilidade com que tais desastres são imaginados não refletirem, necessariamente, a probabilidade real de tais desastres ocorrerem. Inversamente, os riscos podem ser grosseiramente subestimados se alguns perigos da indústria forem difíceis de serem concebidos, ou se simplesmente eles não vêm à mente.

A experiência pessoal dos profissionais que atuam na área ambiental também tende a introduzir vieses devido à heurística da disponibilidade. Como exemplo, cita-se o fato do autor ter sido membro da equipe de auditoria que realizou a certificação da Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR em 2000. Após alguns meses da auditoria, ocorreu um acidente que causou o vazamento de 4 milhões de litros de petróleo cru para os rios Iguazu e Barigui. A repercussão do caso na mídia, associada à intensidade da experiência, resultou na super-avaliação da probabilidade da ocorrência de fatos semelhantes por parte dos membros da equipe auditora. Este fato causou reflexos nas auditorias realizadas posteriormente por diversos auditores, na forma de aumento do tempo alocado para a verificação da manutenção preventiva de tubulações e para avaliar o atendimento a emergências, mesmo em empresas com menor potencial de risco, apesar de avaliações posteriores terem concluído pela adequação da auditoria realizada na REPAR.

Tversky e Kahneman (1974) esclarecem que a experiência tem ensinado, em geral que: - eventos com maior frequência de ocorrência são lembrados de forma mais clara e mais rapidamente do que casos de eventos que ocorrem de forma menos frequente; e - eventos com alta probabilidade de ocorrência são mais fáceis de serem imaginados que os improváveis. Desta forma, o ser humano possui à sua disposição um procedimento, a heurística da disponibilidade, para realizar estimativas de frequências e probabilidades com base na facilidade com que as operações mentais de recuperação de dados ou de construção hipóteses podem ser realizadas. Entretanto, este procedimento valioso resulta em erros sistêmicos.

O terceiro mecanismo heurístico citado pelos autores é a ancoragem e ajuste. Em muitas situações, pessoas fazem estimativas partindo de um valor inicial que é ajustado até atingir a avaliação final. O valor inicial, ou ponto de partida, pode ser influenciado pela forma como o problema é formulado ou pode ser resultante de uma avaliação incompleta de todos os dados disponíveis. Em ambos os casos, os ajustes realizados são normalmente insuficientes para compensar o desvio inicial (SLOVIC; LICHTENSTEIN²⁰ 1971, apud TVERSKY; KAHNEMAN 1974, p.1128). Isto é, diferentes pontos de partidas resultarão em estimativas diferentes, influenciadas pelo valor inicial. Este fenômeno é chamado de ancoragem (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).

²⁰ SLOVIC, P.; LICHTENSTEIN, S. Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgment. **Organizational Behavior and Human Performance**, New York, v.6, p. 649-744, 1971.

Para demonstrar que o ajuste realizado é normalmente insuficiente, os mesmos autores solicitaram aos participantes de um teste para realizarem estimativas, em porcentagem, para várias questões, por exemplo o número de países africanos que são membros da ONU. Para cada questão, um número entre 0 e 100 era determinado por meio de uma roleta, na presença dos participantes do teste. Os participantes eram solicitados a informar se suas estimativas eram superiores ou inferiores ao número obtido na roleta e qual seria o ajuste necessário para atingir ao valor estimado pelo participante. Vários grupos foram testados com diferentes números iniciais para cada questão e foi observada uma influência marcante do número aleatório inicial nas estimativas. Por exemplo, a estimativa média para o número de países africanos que são membros da ONU foi de 25% para o grupo que teve 10 como estimativa inicial e de 45% para o grupo que tirou 65 na roleta (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).

A ancoragem não ocorre apenas quando é dada uma estimativa inicial a um indivíduo, ocorre também quando alguém realiza uma estimativa inicial baseado em uma avaliação parcial dos dados. Em um estudo de estimativa numérica intuitiva, dois grupos foram solicitados a realizar, em 5 segundos, a estimativa de uma operação matemática. O primeiro grupo foi solicitado a realizar a estimativa de produto $8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$, o segundo grupo foi solicitado a estimar o produto de $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 5 \times 7 \times 8$. Em virtude do curto espaço de tempo, não era possível realizar todas as operações, sendo possível apenas realizar algumas das operações e estimar o resultado final. O primeiro grupo teve como estimativa média 2.250, o segundo grupo teve como estimativa média 512. Sendo que o resultado real é 40.320. Os resultados das primeiras operações realizadas pelo primeiro grupo ($8 \times 7 \times 6 \dots$) são maiores que os resultados das operações realizadas pelo segundo grupo ($1 \times 2 \times 3 \dots$), demonstrando que a estimativa inicial incompleta influenciou o resultado final. O fato das estimativas dos dois grupos serem inferiores ao valor real comprova que os ajustes realizados são insuficientes (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).

O mesmo efeito de ancoragem ocorre na avaliação da probabilidade de sucesso de eventos conjuntivos e disjuntivos²¹. Bar-Hillel²² (1973 apud TVERSKY; KAHNEMAN 1974, p.1129)

²¹ Tversky e Kahneman (1974) utilizam o termo *conjunctive events* para designar os eventos que são compostos por vários sub-eventos interligados e que necessitam ser concluídos satisfatoriamente para que o evento seja considerado concluído ou satisfatório. O termo *disjunctive events* é utilizado pelos autores para eventos que para serem considerados concluídos ou satisfatórios necessitam que apenas um dos vários sub-eventos possíveis ocorra.

conduziu um estudo onde os participantes podiam apostar em uma de duas alternativas oferecidas. Três tipos de eventos foram utilizados:

- 1) eventos simples, como retirar uma bola vermelha de um saco contendo 50% de bolas vermelhas e 50% de bolas brancas;
- 2) eventos conjuntivos, tal como retirar uma bola vermelha sete vezes seguidas, com reposição, de um saco contendo 90% de bolas vermelhas e 10% de bolas brancas; e
- 3) eventos disjuntivos, tais como retirar pelo menos uma vez uma bola vermelha, em sete tentativas consecutivas, com reposição, de um saco contendo 10% de bolas vermelhas e 90% de bolas brancas.

Neste teste, a maioria dos participantes preferiu apostar no evento conjuntivo, cuja probabilidade de sucesso era de 48%, ao invés de apostar no evento simples, cuja probabilidade de sucesso era de 50%. A maioria dos participantes também preferiu apostar no evento simples, ao invés de apostar no evento disjuntivo, cuja probabilidade de sucesso era de 52%. Portanto, a maioria dos participantes preferiu apostar nos eventos com menor probabilidade de sucesso nas duas apostas. Este padrão de escolha ilustra uma regra geral. Estudos de escolha em jogos e em julgamentos de probabilidade indicam que as pessoas tendem a superestimar a probabilidade de eventos conjuntivos (COHEN; CHESNICK; HARAN,²³ 1972 apud TVERSKY; KAHNEMAN 1974, p.1129) e a subestimar a probabilidade de eventos disjuntivos. Estes vieses são explicados pelo efeito da ancoragem. A probabilidade de um evento simples (sucesso em qualquer uma das etapas) provê um ponto de partida natural para as estimativas das probabilidades dos eventos conjuntivos e disjuntivos. Pelo fato dos ajustes a partir do ponto inicial serem tipicamente insuficientes, a estimativa permanece muito próxima da probabilidade do evento simples em ambos os casos. A probabilidade dos eventos conjuntivos é menor que a probabilidade de cada evento simples, enquanto que a probabilidade dos eventos disjuntivos é maior que a probabilidade de cada evento simples. Como consequência do efeito da ancoragem, a

²² BAR-HILLEL, M. On the subjective probability of compound events. **Organizational Behavior and Human Performance**, New York, v.9, p.396-406, 1973.

²³ COHEN, J.; CHESNICK, E. I.; HARAN, D. A confirmation of the inertial psi-effect in sequential choice and decision. **British Journal of Psychology**, London, v.63, p.41-46, 1972.

probabilidade global do evento conjuntivo é superestimada e a do evento disjuntivo é subestimada (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).

Os vieses na avaliação de eventos compostos de diversas etapas são relevantes no contexto do planejamento. A conclusão satisfatória de um evento deste tipo, tal como o desenvolvimento de um novo produto, tipicamente tem um caráter conjuntivo: para que o evento seja concluído de forma satisfatória, cada uma das etapas deve ser concluída de forma satisfatória. Mesmo que cada etapa tenha uma probabilidade elevada de sucesso, a probabilidade global do evento pode ser muito baixa se o número de etapas for grande. A tendência geral de superestimar a probabilidade de eventos conjuntivos leva a um otimismo injustificado de que o plano seja bem sucedido ou que o projeto seja concluído no prazo. De forma inversa, estruturas disjuntivas são normalmente encontradas na avaliação de riscos. Sistemas complexos, tal como um reator nuclear ou uma planta petroquímica, apresentarão mau funcionamento se um dos seus componentes essenciais falharem. Mesmo que a probabilidade de falha de cada componente seja pequena, a probabilidade de falha do sistema pode ser elevada. Portanto, a direção do viés causado pelo ancoramento pode ser prevista a partir da estrutura do problema. Eventos com estruturas que necessitem que várias etapas ocorram para que o evento seja considerado concluído, ou eventos disjuntivos, tendem a ter sua probabilidade de sucesso superestimada, enquanto que eventos com estruturas onde a ocorrência de uma das etapas leva à conclusão do evento, eventos disjuntivos, tendem a ter sua probabilidade subestimada (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974, p.1129).

A heurística da ancoragem exerce influência relevante na construção de distribuições de probabilidades subjetivas. Estas distribuições são normalmente construídas perguntando-se ao decisor, ou a um especialista, o valor de uma variável que corresponde a um dado percentil. Considerando-se como variável o número de reclamações decorrentes de problemas ambientais de uma empresa, pergunta-se qual o número de reclamações que, com 90% de certeza, será maior que o número médio de reclamações. Tversky e Kahneman (1974) realizaram diversos experimentos e constataram que os valores atribuídos aos percentis 1%, 10%, 90% e 99% eram mais próximos da média que os valores reais destes percentis, resultando numa distribuição de probabilidade mais estreita que a real. Parte deste viés é atribuída à ancoragem, visto que o valor de partida natural é a melhor estimativa da probabilidade de ocorrência. A partir da estimativa inicial são feitos ajustes para chegar aos percentis desejados; como os ajustes realizados são normalmente inferiores aos necessários, resulta que os extremos se aproximam da média.

Segundo Clemen e Reilly (2001), o viés introduzido pelo mecanismo de ancoragem é maior na determinação das distribuições de probabilidade contínuas do que as avaliações de probabilidade pontuais. Este fato deve-se à forma como a distribuição da probabilidade contínua é determinada, partindo-se da mediana ou média, e caminhando-se para os extremos. Isto induz a uma subestimativa das probabilidades associadas aos extremos.

Clemen e Reilly (2001) citam o viés motivacional. Enquanto os vieses anteriores estavam associados à forma como o ser humano processa a informação em seu cérebro, este viés é introduzido por fatores motivacionais, ou incentivos, induzindo um indivíduo a reportar uma estimativa de probabilidade que não é a que ele realmente acredita. Os autores citam como exemplo a tendência de previsões do tempo cometerem erros persistentes em super-avaliarem a probabilidade de chuva, talvez pelo fato das críticas por não chover serem menores que as feitas por quem saiu sem esperar pela chuva e foi surpreendido por ela.

O conhecimento dos mecanismos heurísticos associados à avaliação de probabilidades permite aos que estão realizando essas avaliações reconhecerem e minimizarem seus efeitos. Do ponto de vista ambiental, um dos mecanismos mais críticos é o da disponibilidade. Tendo em vista a atual importância dada pela mídia às questões ambientais, a disponibilidade de fatos relacionados a acidentes ambientais, ou outros eventos indesejáveis, é elevada. Tendendo a induzir as pessoas a superavaliarem as estimativas de ocorrência de tais fatos.

3.3.2.2.2 Probabilidade: Uma Interpretação Subjetiva

Muitas vezes a probabilidade é apresentada em termos de frequência ou média de uma longa série de eventos. Esta abordagem é adequada quando avalia-se a probabilidade de jogar um dado e ele cair com a face 5 para cima; ao se repetir este experimento diversas vezes, a probabilidade será de sempre de um sexto. Porém, há situações onde não é possível ou recomendável repetir o evento; nestes casos não é adequado interpretar a probabilidade como estando associada a uma longa série de eventos, como é o caso da avaliação da probabilidade de ocorrer um grave acidente numa usina nuclear num horizonte de 10 anos (CLEMEN; REILLY, 2001).

No caso de construção de uma ETE, ou de substituição de um trocador de calor, é provável que a organização não construa outra num horizonte de tempo curto, portanto, não existe uma longa série de eventos, permitindo que o erro de uma decisão seja compensado pelas decisões acertadas sobre as próximas ETEs.

Há casos onde a abordagem da probabilidade como uma longa série de eventos é apropriada, porém, o evento já ocorreu e o resultado não é conhecido por uma pessoa. Nestes casos existe a incerteza, porém, ela não reside no evento, e sim na mente da pessoa que desconhece o resultado.

Um exemplo dessa incerteza é a situação em que uma organização está decidindo se compra um empreendimento industrial. Empresas metalúrgicas que utilizaram solventes organoclorados como desengraxantes de peças ou indústrias químicas que utilizaram os mais diversos produtos químicos, podem ter passivos ambientais. O fato já ocorreu, pode haver pessoas que conhecem a contaminação, mas o comprador a desconhece; neste caso, para ele existe incerteza sobre a existência ou não de passivo ambiental.

Segundo Raiffa (1977), nas decisões que envolvem incertezas, o decisor deve por, em uma escala, suas opiniões subjetivas sobre as incertezas relevantes, em termos de probabilidades subjetivas, e usar essas probabilidades para analisar o problema em questão. É importante ressaltar que a probabilidade subjetiva representa a estimativa de quem a faz, e não necessariamente uma probabilidade que mantenha um vínculo direto com a realidade.

Segundo Clemen e Reilly (2001), a teoria da decisão requer números para as probabilidades e não palavras como “comum”, “incomum” ou “raro”. Em um estudo de Beyth-Marom (1982 apud CLEMEN; REILLY, 2001, p.298)²⁴ mostrou que a frase “existe uma chance não desprezível de [...]” estava relacionada com uma probabilidade subjetiva de 0,36 a 0,77. Além disso, a probabilidade subjetiva associada à frase “existe uma pequena chance de chover amanhã” pode ser muito diferente da probabilidade subjetiva associada à frase “existe uma pequena chance de um ônibus espacial explodir”. Estes exemplos mostram a importância de transformar as opiniões subjetivas em probabilidades subjetivas, expressas de forma numérica.

²⁴ BEYTH-MAROM, R. How probable is probable? A numerical translation of verbal probability expressions. **Journal of Forecasting**, Chichester, n.1, p.257-269, 1982.

3.3.2.2.3 Avaliação das Probabilidades Subjetivas no Exemplo “Seleção do Trocador de Calor”

Os Apêndices D e E apresentam técnicas que auxiliam a avaliação das probabilidades subjetivas, tanto as probabilidades discretas quanto as contínuas. Nesta seção é utilizado o método direto, onde o avaliador expressa diretamente, em termos de probabilidade, seus valores.

Como o caso em análise já ocorreu, cabe destacar que a avaliação das probabilidades após a ocorrência dos fatos em análise é diferente da avaliação realizada antes da ocorrência do mesmo. O avaliador possui dados que não teria durante a avaliação e, mesmo que procurasse colocar-se na situação anterior à ocorrência do fato, dificilmente ele conseguiria desconsiderar todo o conhecimento adquirido posteriormente.

O objetivo de avaliar as probabilidades envolvidas ao caso em questão é, unicamente, exemplificar a aplicação da técnica e possibilitar uma discussão das interfaces de um SGA baseado na NBR ISO 14001 com a avaliação das probabilidades subjetivas.

Para avaliação das probabilidades é necessário que o decisor possua informações relevantes sobre o fato em análise. Neste sentido, um SGA possui elementos que propiciam informações relevantes.

Um dos elementos de um SGA que auxiliam a estimativa das probabilidades é o elemento 4.3.2 Requisitos legais e outros, que requer que a organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento(s) para identificar e ter acesso a requisitos legais aplicáveis e a outros requisitos subscritos pela organização relacionados aos seus aspectos ambientais. Outro requisito é o 4.6 Análise pela administração que requer que nas análises pela administração sejam considerados como dados de entrada as possíveis comunicações de partes interessadas, incluindo reclamações e mudanças de circunstâncias, bem como os requisitos legais.

Estes dados propiciam informações para que o tomador de decisão possa ter uma visão mais abrangente do problema e realizar uma avaliação das probabilidades subjetivas com maior propriedade.

No caso em questão, o comitê da bacia, que tem a autoridade de estabelecer as cobranças pelo uso da água, entre outras atribuições, estava em fase de formação. A mídia especializada estava dando bastante ênfase à questão referente aos comitês de bacias e à possibilidade de ser

estabelecida a cobrança pelo uso da água. Acrescente-se que nas entidades patronais de classe este assunto também estava sendo discutido com frequência.

Em função da frequência com que o assunto estava sendo discutido em diversos fóruns, o conhecimento do mecanismo heurístico da disponibilidade é considerado relevante neste caso.

As estimativas de probabilidade realizadas pelo autor estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Probabilidades subjetivas relacionadas ao caso de seleção do trocador de calor

Ramo (Figura 10)	Evento	Probabilidade (%)
C	Ocorre restrição à captação de água no período de 0 a 10 anos	10
D	Restrição da captação de água não ocorre ou ocorre após 10 anos	90
E	Cobrança pela captação tem início no período de 0 a 5 anos	25
F	Cobrança pela captação tem início no período de 5,1 a 10 anos	50
G	Cobrança pela captação tem início após 10 anos ou não ocorre	25
H	Dano à Imagem Nulo – Captação sem restrição em 10 anos	30
I	Dano à Imagem Baixo – Captação sem restrição em 10 anos	70
J	Cobrança da captação estipulada em R\$ 0,01/m ³	30
K	Cobrança da captação estipulada em R\$ 0,10/m ³	70
L	Idem ao ramo I	Idem I
M	Idem ao ramo H	Idem H
O	Dano à Imagem Nulo – Captação com restrição entre 0 e 10 anos	80
P	Dano à Imagem Baixo – Captação com restrição entre 0 e 10 anos	20

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os valores de probabilidades e custos já determinados, é possível ter uma avaliação aproximada do custo total de cada alternativa. A Figura 13 apresenta esses resultados e a estimativa parcial do custo de cada opção.

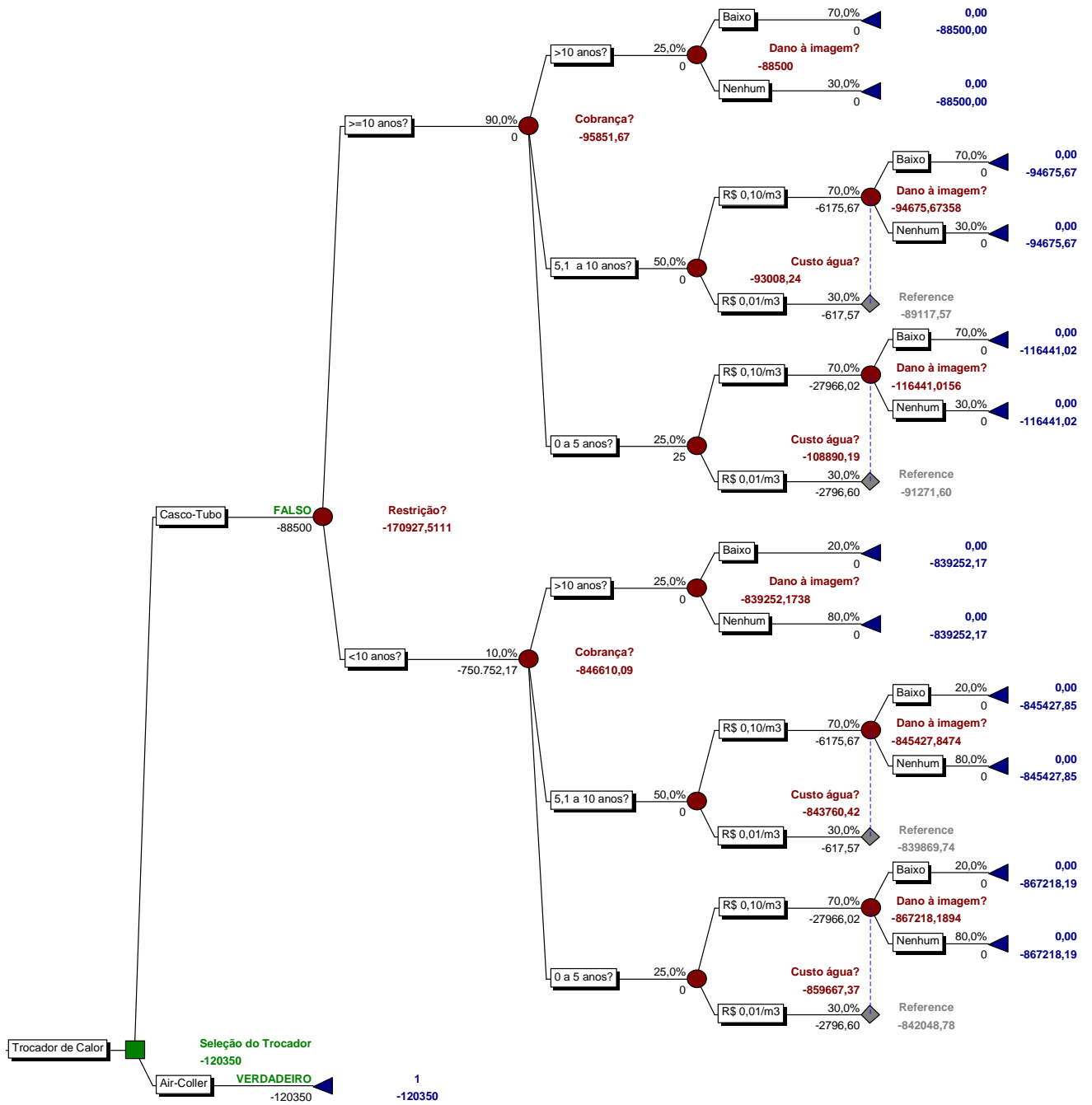


Figura 13 - Seleção do trocador de calor, sem os valores do dano à imagem
 Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando-se a Figura 13, concluí-se que mesmo sem ser considerado o possível impacto do dano à imagem, a opção pelo *air-cooler* é mais vantajosa que a opção pelo trocador casco-tubo. O custo associado à opção pelo trocador casco tubo é de R\$ 170.927,00 contra um custo de R\$120.350,00 do *air-cooler*. O possível impacto do dano causado à imagem da empresa aumentará a diferença entre as duas opções. Uma análise superficial poderia levar à conclusão que não é necessário alocar-se mais esforços para determinar o impacto do dano à imagem, visto que isto somente aumentaria a diferença entre as duas opções. Entretanto, é recomendável que se determine o impacto do dano à imagem, visto que definindo-se todas as variáveis envolvidas é possível realizar uma análise de sensibilidade. Sem esta análise, não é possível avaliar se as incertezas associadas aos dados podem interferir na decisão.

Para que o impacto do dano à imagem possa ser comparado com os custos envolvidos, e assim ser considerado na decisão, é necessário que os valores da empresa sejam conhecidos e que seja determinado os *trade-offs* entre os mesmos. Ou seja, é necessário conhecer as preferências dos decisores.

3.4 Modelagem das Preferências e *Trade-Offs*

No exemplo do trocador de calor, todas as probabilidades subjetivas foram estimadas e todos os valores monetários foram definidos. No entanto, para que a árvore de decisão possa ser resolvida é necessário que o impacto da reclamação da comunidade seja considerado. Pelo fato da reclamação da comunidade não possuir naturalmente um valor monetário associado, torna-se necessário avaliar qual a importância relativa que a empresa, ou os decisores, dá a uma reclamação da comunidade, ou em que nível uma reclamação da comunidade afeta os objetivos da organização. Esta etapa do processo de tomada de decisão é denominada de modelagem das preferências. Nesta etapa são estabelecidas as escalas para avaliação do nível de atendimento dos objetivos fundamentais. Quando os resultados de cada alternativa não podem ser expressos em termos monetários é necessário definir-se os *trade-offs* entre as diversas conseqüências.

Normalmente em decisões envolvendo questões ambientais estão envolvidas diversas variáveis que nem sempre podem ser expressas em termos monetários, como é o caso de uma reclamação da comunidade ou da extinção de uma espécie, por exemplo, sendo necessário colocar todas as

variáveis numa base comum para que possa ser realizada a ponderação entre elas. Em decisões envolvendo múltiplos objetivos, pode haver situações onde a maximização de um objetivo leve à minimização de outro, sendo necessário definir os *trade-offs* entre os objetivos conflitantes para que a melhor decisão possa ser tomada.

A definição dos *trade-offs* depende de diversos fatores, sendo a visão das partes interessadas envolvidas um ponto relevante. Nestes casos, as informações geradas por um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004, em especial pelo elemento 4.4.3 Comunicação, auxiliam na determinação dos *trade-offs*.

3.4.1 Construção de Escalas para Avaliação do Nível de Atendimento dos Objetivos Fundamentais

Os objetivos fundamentais representam as razões pelas quais os decisores se preocupam com a questão e, mais importante ainda, as alternativas existentes são avaliadas com base nos impactos que cada uma causa no nível de atendimento dos objetivos fundamentais.

Em muitas situações, as decisões não envolvem apenas um objetivo fundamental simples, que possa ser medido facilmente. Decisões com múltiplos objetivos fundamentais, com alguns deles não sendo facilmente mensuráveis através de escalas numéricas naturais, são frequentes. Para estes casos, devem ser definidas formas de avaliar o nível de atendimento dos objetivos fundamentais (CLEMEN; REILLY, 2001).

Objetivos fundamentais, como reduzir o custo, podem ser medidos diretamente em uma escala numérica natural, porém, a mensuração de objetivo como **Ser reconhecida como empresa ambientalmente responsável** não é mensurável facilmente, necessitando da construção de uma escala que possibilite avaliar em que medida este objetivo está sendo atendido.

Keeney (1992), esclarece que a mensuração do nível de atendimento dos objetivos é realizada por meio de atributos. O autor esclarece também que o termo atributo não é utilizado universalmente. Alguns autores utilizam outros termos, como: medição da efetividade, medição da performance, e critério, como sinônimos de atributo. Clemen e Reilly (2001) utilizam o termo escala de atributos dos objetivos.

Keeney (1992), descreve os três tipos de escala de atributos dos objetivos e as propriedades desejáveis para estas escalas. Os tipos de escala são: naturais; construídas e substitutas²⁵.

As escalas naturais são aquelas utilizadas de forma geral e que todos tem uma interpretação comum dessa escala. Se o objetivo é reduzir custo, a escala redução do custo em reais é uma escala natural, por outro lado, se o objetivo é reduzir resíduos, a escala redução de resíduos em quilogramas é, também uma escala natural.

Apesar das escalas naturais parecerem óbvias, há julgamentos de valores envolvidos na definição dessas escalas. Para avaliar o impacto causado pela inundação de uma área por uma represa, pode ser usada a escala de atributos “hectares de pinus”²⁶, nesta escala está implícito o julgamento de que cada hectare de pinus possui o mesmo valor ou importância. Outra escala para avaliar o impacto poderia ser o número de árvores de pinus perdidas. Esta escala considera a diferença de densidades de árvores na área, e considera, também, que cada árvore de pinus possui igual importância. Segundo o autor, sempre que se define uma escala de atributos para avaliar o atendimento aos objetivos, há julgamentos de valor envolvidos.

Se não houver uma escala natural de atributos de objetivos, ou se os julgamentos implícitos nelas forem inapropriados, há duas alternativas. Uma é a construção de uma escala de atributos para medir o objetivo de forma direta. Outra é medir o objetivo de forma indireta, usando-se uma escala substituta.

Para objetivos como “melhorar a imagem da empresa” no âmbito de negócios, ou “ ser conhecido como empresa ambientalmente responsável”, no âmbito ambiental, não existem escalas naturais, sendo necessário construir escalas de atributos para avaliar esses objetivos. Para objetivos como estes, as escalas de atributos construídas possuem uma dupla função. Além de permitirem a avaliação do nível de atendimento do objetivo, definem o que o objetivo realmente significa.

A construção destas escalas, geralmente, envolve a descrição dos diversos níveis de impacto que diretamente indicam o nível de atendimento do objetivo.

²⁵ Keeney (1992, p.101) utiliza o termo “proxy attribute” para se referir a uma escala de atributos de objetivos que é utilizada para medir indiretamente o nível de atendimento de um objetivo; nesta dissertação, o termo “escala substituta” será utilizado para referir-se a uma situação como esta.

²⁶ Keeney (1992, p.101) utiliza a escala acres de pinus, como não é comum no Brasil a utilização de acres para medir extensões de terras, utilizamos a escala hectares de pinus. Apesar da diferença existente entre essas duas unidades, o conceito implícito no exemplo é mantido.

Keeney (1992), esclarece também que as escalas não devem gerar dúvidas de entendimento aos envolvidos na decisão e apresenta um exemplo de escala de atributos, ver a Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de atributos para a atitude do público

Nível do Atributo	Descrição do nível do atributo
1	Apoio: não há grupo se opondo à empresa e pelo menos um grupo organizou apoio à empresa
0	Neutralidade: todos os grupos são indiferentes ou neutros
-1	Controverso: um ou mais grupos organizaram oposição, entretanto, nenhum grupo realizou manifestações explícitas de protesto. Outros grupos podem ser neutros ou apoiar a empresa
-2	Manifestações de protesto: exatamente um grupo realiza manifestações de protesto contra a empresa. Os outros grupos podem ser neutros ou apoiar a empresa
-3	Forte manifestação de protesto: dois ou mais grupos realizam manifestações de protesto contra a empresa

Fonte: Keeney (1992, tradução nossa)

O autor esclarece que as escalas construídas não são, necessariamente, baseadas em textos que descrevam o nível de atendimento do objetivo. Estas escalas podem ser binárias, tipo sim / não, por exemplo: haverá reclamação? As escalas construídas também podem ser baseadas em padrões visuais, como fotos que representem as conseqüências de uma dada escolha, cada foto representando um dado nível de conseqüência. Keeney (1992) cita o exemplo de avaliação das deformidades faciais com base em fotos que representam desde deformidades consideradas leves até as consideradas mais graves. No contexto ambiental, uma escala construída utilizando padrões visuais poderia ser útil na avaliação da degradação de uma determinada área.

Nos casos em que não houver uma escala de atributos naturais, nem for possível desenvolver uma escala de atributos construída que seja factível de ser utilizada, deve-se considerar a possibilidade de realizar uma avaliação indireta do objetivo, usando-se uma escala substituta. Keeney (1992) ressalta que se for utilizado uma escala substituta para um objetivo fundamental, apenas as relações percebidas entre a escala substituta e o objetivo fundamental devem ser consideradas e avaliadas. No entanto, quando a escala substituta para o objetivo fundamental for uma escala

natural para um objetivo intermediário, são consideradas e avaliadas as relações percebidas, ou calculadas, para todos os objetivos fundamentais.

Como exemplo, Keeney (1992) cita as decisões envolvendo o controle dos efeitos do dióxido de enxofre. Um objetivo fundamental para algumas cidades é minimizar os danos nas estátuas feitas de pedras e em edifícios históricos causados pela chuva ácida. Entretanto, é difícil identificar ou construir uma escala de atributos para medir esses danos. Neste caso, uma escala substituta definida pela concentração de dióxido de enxofre, medida em partes por milhão, nas vizinhanças das estátuas e edifícios pode ser apropriada. Esta escala indica os impactos relacionados ao objetivo intermediário “redução da concentração de dióxido de enxofre”. Entretanto, este objetivo intermediário também influencia os efeitos à saúde e impactos ambientais.

Keeney (1992), alerta para a complexidade do uso de escalas substitutas, pois se deseja avaliar o objetivo fundamental e se está avaliando um objetivo intermediário, sendo necessário conhecer-se a relação existente entre a variação do objetivo intermediário e seu impacto no objetivo fundamental. No exemplo da chuva ácida, deseja-se minimizar os efeitos da chuva ácida nas estátuas e monumentos, objetivo fundamental. No caso de ser adotado como escala substituta o teor de dióxido de enxofre nas imediações desses monumentos, é necessário conhecer-se a relação entre a redução, ou aumento, do teor de dióxido de enxofre nas imediações das estátuas e monumentos históricos e os danos sofridos por esses monumentos. Destaque-se que a obtenção desta relação não é simples.

Keeney (1992), conclui esclarecendo que a seleção das escalas deve considerar se as mesmas possuem três qualidades desejáveis, a saber:

- 1) mensurabilidade;
- 2) operacionalidade; e
- 3) compreensibilidade.

A mensurabilidade está associada à possibilidade de avaliação, qualitativa ou quantitativa, da escala, enquanto a operacionalidade é avaliada pela capacidade da escala em descrever as possíveis conseqüências relacionadas ao objetivo e à facilidade com que a escala permite que sejam realizados julgamentos de valor em relação aos diversos níveis de atendimento dos

objetivos. Já a compreensibilidade está associada à propriedade da escala não ser ambígua, ser clara, precisa e exata.

A seleção das escalas é uma etapa crucial no processo, pois as escalas facilitam a comunicação do que o objetivo fundamental realmente significa, aumentando a compreensão do mesmo, além de permitir a avaliação do nível de atendimento do objetivo em questão.

A norma NBR ISO 14001:2004, no elemento 4.3.1, aspectos e impactos ambientais, requer que a organização identifique os aspectos ambientais e determine quais são significativos, e não define como esta avaliação deve ser realizada. No entanto, a norma NBR ISO 14004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que provê orientações não mandatórias para SGAs certificados, sugere às organizações que considerem as características ambientais, informações sobre requisitos legais aplicáveis e outros requisitos subscritos pela organização, e preocupações de partes interessadas, tanto as internas quanto as externas.

A NBR ISO 14004:2005 orienta que a avaliação da significância poderia envolver a aplicação tanto de análise técnica quanto de julgamento por parte da organização. O resultado desta análise pode ser tanto um resultado numérico, por exemplo, com base na probabilidade ou frequência de uma ocorrência e suas conseqüências. Segundo a mesma norma, a significância também pode ser avaliada por meio da utilização de escalas quantitativas ou qualitativas expressas, por exemplo, em termos de níveis, tais como: alto, médio ou baixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Portanto, as escalas para avaliação podem ser utilizadas tanto no âmbito de um SGA para avaliar a significância dos aspectos ambientais, quanto na teoria da decisão para determinação do nível de atendimento dos objetivos fundamentais. Nas situações em que os objetivos fundamentais estão relacionados à minimização dos impactos ambientais, ou maximização do uso dos recursos naturais, os dados provenientes do processo de avaliação da significância ambiental poderão ser utilizados para avaliar o atendimento aos objetivos fundamentais.

Os conhecimentos providos pela teoria da decisão, acerca das escalas de atributos, também podem enriquecer SGAs, na medida em que possibilitam às organizações estabelecer escalas de atributos, baseados em critérios científicos, para avaliação da significância ambiental de seus aspectos ambientais.

3.4.2 Definição dos *Trade-Offs* para Decisões Envolvendo Múltiplos Objetivos

Em decisões envolvendo mais de um objetivo, podem surgir conflitos, onde a maximização de um objetivo leva à minimização de outro. Nestes casos, é necessário definir qual é a importância relativa de cada objetivo. Um aumento no valor de um objetivo justifica qual redução no valor do outro objetivo? Desta forma, o problema essencial das decisões envolvendo mais de um objetivo é definir quais são os *trade-offs* possíveis. Esta definição envolve questões subjetivas, que requerem julgamentos por parte do decisor (CLEMEN; REILLY, 2001).

Keeney (1992) esclarece que muitas escalas construídas de atributos avaliam mais de um aspecto de um problema complexo. Além dos julgamentos realizados para escolher as escalas naturais que serão utilizadas, julgamentos adicionais são necessários para estabelecer os *trade-offs* entre as diversas escalas de atributos. Um exemplo de escala que considera diversos atributos e os respectivos *trade-offs* é a escala para avaliar os impactos biológicos da instalação de uma usina termo-nuclear, que se encontra no apêndice F.

Um ponto relevante é como transformar essas avaliações em dados úteis, que possam auxiliar na tomada de decisão. Uma solução é o uso da função de utilidade aditiva.

Segundo Keeney, Raiffa e Meyer (1993), se os atributos que avaliam o nível de atendimento dos objetivos fundamentais são independentes, então pode ser usada a função de valor aditiva, matematicamente expressa pela Fórmula 1

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i V_i(x_i)$$

Onde $v_i(x_i)$ representa o valor do atributo x_i , que avalia o nível de atendimento de um dos objetivos, normalmente $v_i(x_i)$ varia de 0 a 1. O termo λ_i é um fator que representa o peso relativo dos vários atributos e deve atender aos seguintes requisitos:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \lambda_i > 0$$

O termo λ_i representa o peso que o decisor define para cada atributo, estando implícito o *trade-off* entre os diversos objetivos.

3.4.3 Avaliação dos *Trade-Offs*

Clemen e Reilly (2001) esclarecem que existem técnicas que auxiliam na determinação dos *trade-offs* entre os vários atributos e apresenta três técnicas: a Disposição por Pagar; o Balanceamento dos Pesos; e os Pesos da Loteria²⁷.

A técnica Disposição por Pagar, baseia-se na identificação do custo marginal de substituição entre um atributo particular, normalmente expresso em termos monetários, e um outro atributo qualquer. Busca-se identificar quanto o decisor está disposto a pagar para obter um incremento de uma unidade em uma dada escala de atributos. Se o valor que o decisor está disposto a pagar para obter um incremento de uma unidade for o mesmo ao longo de toda a escala de atributos, então o uso da função de utilidade aditiva pode ser usada diretamente, caso contrário, deve-se identificar o valor que o decisor está disposto a pagar para cada incremento, e utilizar uma função utilidade aditiva para cada intervalo com custo marginal de substituição constante. Conhecendo-se os custos marginais de substituição, calcula-se o valor dos λ_i .

²⁷ Os termos em inglês são, respectivamente: *Pricing Out*; *Swing Weighting*; e *Lottery Weights*.

A Substituição dos Pesos consiste em comparar individualmente cada atributo, imaginando resultados hipotéticos. A técnica baseia-se na construção de uma tabela onde a primeira linha é uma opção construída, considerando-se o pior atributo de cada opção. Cada uma das demais linhas é usada para cada um dos atributos em análise, em cada uma delas é colocada a opção que possua o melhor valor para esse atributo. Para ilustrar esta técnica, Clemen e Reilly (2001) utilizam como exemplo a decisão de compra entre três carros com cores, vidas úteis e preços diferentes, este exemplo está descrito no apêndice G.

Clemen e Reilly (2001) avaliam os pesos de cada atributo utilizando a técnica da loteria. A técnica é similar à adotada para avaliar as probabilidades subjetivas e baseia-se na identificação de uma probabilidade p que torna indiferente duas opções de loteria. Sendo as duas opções indiferentes para o decisor, isto significa que as funções valor dessas duas opções são iguais, possibilitando a determinação dos fatores λ_i . O exemplo utilizado pelos autores para esclarecer esta técnica está detalhado no apêndice G.

3.4.4 *Trade-Offs* e as Questões Ambientais

Nas seções anteriores foram discutidas questões referentes à elaboração de escalas de atributos para avaliar o nível de atendimento dos objetivos fundamentais, *trade-offs* envolvendo múltiplos objetivos e técnicas para auxiliar na avaliação dos *trade-offs* por parte do decisor. Porém, em SGAs os objetivos estão normalmente relacionados a questões ambientais, e praticamente nada foi discutido sobre como considerar especificamente os valores ambientais nos *trade-offs*. Esta sub-seção visa, portanto, introduzir elementos de discussão que subsidiem a realização de *trade-offs* envolvendo as questões ambientais.

Bengtsson e Steen (2000), esclarece que a questão de definição dos pesos relativos de cada impacto ambiental, para realizar os *trade-offs*, surge quando há diferentes impactos ambientais envolvidos e não é possível determinar, de forma segura, qual das opções é a melhor em todos os aspectos. Para chegar-se a uma conclusão é necessário, de forma explícita ou implícita, atribuir-se maior ou menor peso a um tipo de impacto em relação aos demais. Existindo, portanto, a necessidade de métodos para auxiliar na definição dos pesos relativos de cada impacto,

considerando as prioridades ambientais de cada parte interessada envolvida na decisão. O autor esclarece também que o processo de definição dos pesos relativos pode ser interpretado como sendo a aplicação de medidas quantitativas das severidades relativas dos diferentes impactos ambientais.

Diversos autores tem discutido formas de valorar os impactos no meio-ambiente. Se a valoração for possível, então pode ser realizado *o trade-off* com base no valor econômico do dano ou do benefício associado à escolha realizada.

Bartelmus (1994), apresenta os métodos de valoração ambiental utilizados no Sistema Integrado de Contabilidade Ambiental e Econômica (SEEA), no âmbito do Sistema de Contas Nacionais (SNA). O primeiro método utiliza uma abordagem de valoração de mercado, considerando a alteração no valor de mercado dos ativos naturais, que incluem a exaustão de recursos naturais, bem como sua degradação através da poluição e de outras atividades agressoras, na medida em que os impactos ambientais subjacentes são refletidos em valores de mercado modificados para aqueles ativos. A abordagem do valor de mercado está restrita aos ativos naturais que têm algum valor de mercado, excluindo os demais.

O segundo método, valoração do custo de manutenção, estima os custos necessários para manter o meio ambiente natural intacto durante o período contabilizado. Este método fornece um retrato mais abrangente das mudanças no valor do meio ambiente, causadas por perdas em suas funções ambientais de suprimento dos recursos naturais e de absorção de dejetos.

O terceiro método, valoração contingente, considera além dos custos incorridos pela indústria, por meio da avaliação de mercado, os custos imputados às famílias, como perda de bem-estar, saúde e recreação devidas à deterioração ambiental. As avaliações contingentes, baseadas em pesquisas de opinião sobre a disposição de pagar, ou não, para prevenir riscos ambientais, foram aplicadas, com sucesso limitado em análises de custo/benefício voltadas para programas e projetos. Sua utilidade em contabilidade ambiental é duvidosa por problemas como miopia dos consumidores e impactos enviesados de acordo com a distribuição da renda.

Segundo Bartelmus (1994) a avaliação econômica dos efeitos ambientais alcança seu limite quando vai além das abordagens de valoração de mercado e do custo de manutenção, e tenta a avaliação contingente dos efeitos de bem-estar sobre a saúde e recreação.

Comune (1994) esclarece que os diversos tipos de poluição são fenômenos objetivos, mensuráveis na maioria dos casos, cujas características principais decorrem do fato de estarem relacionadas com danos ambientais. Destaque-se que este aspecto deve ser usado para procurar valorá-los. Porém, alerta que existem certos tipos de poluição cujos efeitos não são bem conhecidos até o presente, ou cujos efeitos só se manifestam após longos períodos de exposição, de modo que a noção de danos não é suficiente. Nestes casos, os aspectos subjetivos associados passam a ter relevância na valoração do dano.

Tanto Comune (1994) quanto Bartelmus (1994) possuem abordagens semelhantes, enfatizam a necessidade de uma abordagem objetiva na valoração dos impactos ambientais, mas reconhecem as limitações existentes nos métodos disponíveis. Comune (1994) complementa esclarecendo que a utilização do conceito de meio ambiente num sentido amplo somente pode ser feita através de uma análise interdisciplinar e multidisciplinar. No entanto, a teoria (ou modelo) global que possibilite analisar todas as interações dos fenômenos do meio ambiente, ainda não se encontra plenamente desenvolvida. Na falta de uma teoria global, são empregadas abordagens econômico-ecológicas que, mesmo não sendo totalmente adequadas, permitem a realização de aplicações práticas bastante úteis.

Para auxiliar a determinação dos *trade-offs* nas situações em que não é possível realizar uma valoração objetiva dos danos ou benefícios ambientais, podem ser utilizadas ferramentas adotadas na análise do ciclo de vida de produtos. Bengtsson e Steen (2000), afirma que os métodos adotados na análise do ciclo de vida para definição dos pesos relativos de cada impacto não se restringem as estas aplicações, podem ser utilizadas para definir prioridades na definição de qual impacto ambiental deve ser minimizado em uma indústria, entre outras aplicações possíveis em Sistemas de Gestão Ambientais.

A norma NBR ISO 14004:2005 esclarece que no processo de avaliação da significância ambiental podem ser utilizadas diversas abordagens, citando a análise do ciclo de vida como uma das abordagens possíveis.

Manzini e Vezzoli (2002) esclarece que os métodos utilizados na avaliação do ciclo de vida dos produtos procuram determinar os impactos causados no meio ambiente pelos produtos em estudo,

com o objetivo de comparar o impacto ambiental total causado pelo produto, citando os métodos *Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden* (CML) e Eco Indicator 95²⁸

Segundo Manzini e Vezzoli (2002), os métodos CML e Ecoindicador 95 consistem na quantificação das emissões ou extração de um dado produto, podendo ser usado um fator de equivalência que considere a contribuição relativa da substância em relação a um padrão²⁹; esta quantificação é normalizada tendo-se como uma base um valor de referência.

$$\text{Pontos}_i = \text{Quantidade}_i \times \text{Fator Equivalência}_i$$

$i = \text{substância em questão}$

$$\text{Pontos Normalizados}_i = \frac{\text{Pontos}_i}{\text{Valor Referência}_i}$$

O valor de referência usado para a normalização é avaliado com base na importância média que um europeu dá ao impacto ambiental por um determinado período.

Os pontos normalizados de cada impacto ambiental são avaliados com base no princípio da distância do nível objetivo.

Para a obtenção de um valor único que considere todos os impactos ambientais é definido um fator de peso para cada impacto. Este fator de peso é avaliado com base no princípio da distância de um nível objetivo. Assume-se, portanto, que a gravidade de um impacto pode ser avaliado com base na diferença entre o nível atual e o nível desejado.

Manzini e Vezzoli (2002) esclarece que os resultados de cada impacto podem, então, ser comparados para verificar os danos ou benefícios relativos de cada um, ou serem somados para determinação do impacto total.

²⁸ O método Eco Indicator encontra-se atualmente na versão 1999.

²⁹ Como fatores de equivalência pode-se citar o Ozone Depletion Potential (ODP), que define o potencial de destruição relativo de camada de ozônio de cada produto, ou o Global Warming Potential (GWP), que define o potencial relativo de aquecimento global das substâncias.

Na determinação do peso de cada impacto os seguintes valores são considerados:

- a) Morte – o fator de peso é definido considerando-se a morte de uma pessoa em um milhão de habitantes em um ano;
- b) Ecossistemas da Europa – o efeito danificará 5% dos ecossistemas da Europa;
- c) Períodos de grande poluição – serão improváveis os períodos de grande poluição.

A fórmula que representa o impacto total é:

$$I_{total} = \sum_{i=1}^n \lambda_i (\text{Pontos Normalizados})_i$$

Analisando-se a fórmula do impacto total do método CML e Ecoindicator 95, vê-se que ela corresponde à função aditiva de valor proposta por Keeney e Raiffa (1993) para avaliar o nível de atendimento dos objetivos fundamentais. Os pontos normalizados referentes a cada impacto ambiental correspondem à função $v_i(x_i)$, que representa os valores dos atributos que são considerados na avaliação do nível de atendimento dos objetivos fundamentais.

Bengtsson e Steen (2000), ensina que a definição de qual peso relativo deve ser atribuído a cada tipo de impacto ambiental depende de diversos fatores, os mais importantes são o propósito a que se destina o estudo, ou decisão em questão, e o público envolvido ou afetado pela decisão. Uma organização possui diversas partes interessadas: clientes, empregados, acionistas, autoridades locais, companhias de seguro, fornecedores, bancos, vizinhos, etc. Todas partes interessadas tem interesses legítimos na performance da organização, mas estes interesses podem variar. Cada pessoa ou grupo possuem diferentes concepções do que é ambientalmente correto, diferentes

atitudes diante dos riscos e diferentes valores a respeito de *trade-offs* entre situações atuais e futuras. A responsabilidade por definir quais preocupações devem ser consideradas na definição dos *trade-offs* é do decisor. Porém, esta decisão deve ser coerente com os valores e princípios das partes interessadas mais relevantes. Conclui-se que os modelos utilizados para auxiliar na definição dos pesos relativos de cada impacto, para que possam ser realizados os *trade-offs*, devem considerar tanto os efeitos ambientais associados à decisão, quanto as atitudes dos grupos sociais envolvidos, ou afetados pelos efeitos da decisão.

Todos os métodos de avaliação dos impactos ambientais requerem algum tipo de modelagem das conseqüências. Os modelos mais complexos procuram, de forma explícita, relacionar causas e efeitos, procurando dar uma indicação do grau do dano, ou benefício, que uma certa intervenção pode causar em uma variável específica do meio ambiente, por exemplo, alteração da concentração de um poluente específico e seu impacto na saúde. Estas sistemáticas são denominadas como abordagem com base no dano. Há modelos mais “modestos”, que não tentam prever os efeitos em detalhes, mas apenas avaliar em que grau uma certa substância ou intervenção pode impactar um problema ambiental ou uma categoria de impacto sem entrar nos detalhes de como os danos ocorrem. Estas sistemáticas são denominadas de abordagem com base na categoria de impactos (BENGTSSON; STEEN, 2000).

Os métodos para avaliação dos pesos relativos podem apresentar diferentes resultados para um mesmo problema. O autor compara quatro métodos para definição dos pesos relativos. Estes métodos são gerais, isto é, não foram definidos para um estudo em particular, e permitem realizar uma avaliação completa dos impactos ambientais. Cada método possui características específicas, diferindo-se entre si em termos do tipo de modelagem do impacto utilizado, da forma adotada para definir os valores ou preferências, possuindo diferentes abrangências geográficas. O Quadro 5 a seguir apresenta as principais características dos métodos em questão.

	Ecoscarcity 97	EDIP	Ecoindicator 99	EPS 2000d
Modelagem do impacto	Categoria de impacto (parcial)	Categoria de impacto	Dano	Dano
Fonte dos valores	Metas da política suíça	Metas da política dinamarquesa	Painel representando diferentes pontos de vista	Disposição da sociedade em pagar para evitar um dano
Escopo geográfico	Suíça	Dinamarca	Europa	Mundial
Parâmetros considerados				
- Emissões	Sim	Sim	Sim	Sim
- Recursos naturais	Somente energia	Sim	Sim	Sim
- Ambiente de trabalho	Não	Sim	Não	Não

Quadro 5 - Principais características dos métodos de ponderação dos impactos

Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

Segundo o autor, os dois primeiros métodos pertencem a um grupo de métodos denominado distância da meta. O princípio deste conjunto de métodos é avaliar o quociente entre os níveis atuais de emissões em uma área geográfica, normalmente países, e o nível considerado crítico, ou com a meta. Esta relação indica o quão crítico um tipo de emissão é. As emissões de substâncias que estão muito acima do nível considerado crítico é atribuído um fator de ponderação maior que às emissões de substâncias onde a distância da meta não é tão grande. Segundo Finnveden³⁰ (1999 apud BENGTTSSON; STEEN, 2000, p.104) um ponto crítico desta classe de métodos é a forma como as metas são definidas. Dúvidas e críticas podem ser levantadas contra o método distância da meta baseados nas metas definidas pelas políticas públicas devido à possibilidade das metas possuírem relevâncias distintas e apenas a relação entre o valor atual e a meta não é um bom indicador para avaliar qual das emissões é a mais severa. No entanto, se na elaboração das metas os conflitos entre as mesmas tiverem sido discutidas explicitamente, esta crítica é atenuada. Um ponto fraco dos métodos baseados nas metas para emissões nacionais ou regionais é que eles são válidos apenas para o país ou região em questão.

Bengtsson e Steen (2000) esclarece que para o método suíço Ecoscarcity 97 os valores críticos foram obtidos da política ambiental suíça. Metas para substâncias específicas foram usadas, quando disponíveis, em outros casos, como para os gases de efeito estufa, para o qual é adotado o

³⁰ FINNVEDEN, G. **A critical review of operational valuation/weigthing methods for life cycle assessment**. Naturvardsverket, Stocholm: AFN, 1999. (AFR-report 253)

método de contribuição por categoria de impacto. Este método considera apenas o consumo de energia, não considerando os demais consumos de recursos naturais.

Outro método pertencente à classe da contribuição por categoria de impacto, segundo o mesmo autor, é o *Environmental Design of Industrial Products* (EDIP). Este método considera tanto as emissões quanto o consumo de recursos naturais e foi desenvolvido com base na política ambiental dinamarquesa, com vistas a auxiliar os projetistas de produtos, fornecendo-lhes uma ferramenta de avaliação ambiental de fácil uso.

Os outros dois métodos, Ecoindicator 99 e EPS 2000d, pertencem à classe de métodos que avaliam as consequências ambientais chegando ao detalhe do dano causado.

O Ecoindicator 99 é o resultado de uma ampla revisão do método Ecoindicator 95. Este método inclui a modelagem dos danos causados pelos impactos em ecossistemas, saúde humana, e recursos não renováveis. A modelagem dos danos considera a média das condições europeias. A definição dos pesos relativos foi definida a partir de um painel envolvendo usuários e especialistas em análise de ciclo de vida, tendo sido aplicado um formulário aos participantes para avaliar os pesos relativos. Este método possui três conjuntos de modelagem de danos e fatores de ponderação, considerando diferentes perspectivas culturais, a saber:

- a) individualista – I;
- b) hierarquista – H; e
- c) igualitário - E.

Ao aplicar o método é possível selecionar cada uma das perspectivas ou a média delas (BENGTSSON; STEEN, 2000). O Apêndice H apresenta detalhes das diversas perspectivas deste método.

O método *Environmental Priority Strategies in Product Design* (EPS) é mantido pela Universidade de Tecnologia de Chalmers, por meio do Center of Environmental Assessment of Products and Material Systems (CPM). O método padrão do EPS está atualmente na versão 2000, sendo conhecido como EPS 2000d (CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2008). Segundo Bengtsson e Steen (2000), este método adota a disposição da sociedade em pagar para evitar danos para modelar e ponderar os efeitos nos seres humanos, biodiversidade, recursos

renováveis, capacidade de produção de ecossistemas agricultáveis, e valores culturais e recreacionais. O modelo considera médias mundiais.

Em virtude das concepções dos métodos de avaliação do ciclo de vida, a aplicação de diferentes métodos pode levar a resultados distintos. Para ilustrar esta possibilidade, Bengtsson e Steen (2000) utiliza os quatro métodos discutidos para avaliar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida, decorrente da utilização de envelope de papel e da utilização de envelope de polietileno como embalagem de um jornal. Os resultados obtidos mostraram grande diferença, os resultados mais extremos foram os obtidos pelo método Ecoindicator 99 – I.I indicando que o impacto ambiental do uso do envelope de polietileno representa 35% do impacto ambiental causado pelo envelope de papel, e pelo método Ecoindicator 99 – *Egalitarian egalitarian* (EE), cujo resultado aponta o envelope de papel como mais impactante que o envelope de polietileno. Desta forma, o autor demonstrou que a utilização de diferentes métodos pode levar a conclusões opostas. Os detalhes deste estudo encontram-se no apêndice I.

Crítica ao Processo de Ponderação

A aplicação de diferentes métodos pode resultar em conclusões opostas. Fatos como este mostram que a aplicação dos processos de ponderação não garantem que a “verdade” sobre qual é a opção com menor impacto ambiental seja descoberta. Há um debate intenso sobre a conveniência da aplicação dos métodos de ponderação e sobre a forma como devem ser aplicados. Bengtsson e Steen (2000) esclarece que a ISO e a Setac realizaram dois fóruns para debater este tema. As pessoas contrárias ao uso do processo de ponderação alegam que o processo é subjetivo por natureza e que não deve ser misturado com as etapas objetivas utilizadas na avaliação dos impactos. Outro ponto de preocupação levantado é a possibilidade da perda da liberdade para analisar os resultados do processo de avaliação dos impactos se o processo de ponderação for adotado como obrigatório e conclusivo. Esta crítica foi incorporada no texto da norma ISO 14042 (apud BENGTTSSON; STEEN, 2000) que estabelece: “o processo de ponderação não pode ser utilizado para comparações assertivas sem a participação do público”. Comparações assertivas é definido como “definição da superioridade geral”.

Na continuação dos debates, ficou claro que o processo de ponderação era aceito e considerado útil pelos que estavam familiarizados com o processo, porém, era questionado pelos que não

tinham nenhuma ou possuíam apenas pouca familiaridade com o processo. Segundo o autor, a rejeição ou aprovação do método seguia correlação com o local de origem dos participantes, e esta tendência poderia estar associada ao fato de que se não houver profissionais com experiência na aplicação e interpretação do processo de ponderação, os riscos de erros são elevados, aumentando o risco de decisões equivocadas nas regiões onde não há tradição na aplicação dos métodos.

Os que defendem os métodos de ponderação argumentam que não é possível realizar escolhas claras e transparentes entre conceitos técnicos se não for realizado uma ponderação. Se um processo formal de ponderação é adotado, os resultados estão abertos para discussão e críticas. Este fato é particularmente valioso para processos democráticos de definição de políticas e diretrizes públicas, como, por exemplo, para a reciclagem ou uso de alguns tipos de materiais, esclarece o autor.

O processo de análise de ciclo de vida, incluindo o processo de ponderação não é uma ferramenta mecanicista, mas um sistema de análise das intervenções, onde a cultura organizacional, julgamentos, capacidade de persuasão dos argumentos e crenças e estilos pessoais assumem relevante importância. O autor esclarece que a condução do processo de análise requer uma grande habilidade em lidar com questões sociais, experiência e habilidade em lidar com situações delicadas por parte de quem está conduzindo a análise. Para concluir, o autor cita Majone³¹ (1995 apud BENGTTSSON; STEEN, 2000, p.108) o qual afirmou que a natureza do processo é mais social que lógica.

3.4.5 *Trade-off* no Caso do Trocador de Calor

No caso do trocador de calor da Petroquímica Internacional, todos os eventos puderam ser valorados com base em seu valor de mercado ou na estimativa do valor da cobrança pelo uso da água. Todos têm um valor monetário naturalmente associado. No entanto, o dano à imagem não possui um valor monetário naturalmente associado. Para que este dano possa ser comparado com as demais variáveis, é necessário que seja estabelecido o *trade-off* entre o dano e as demais

³¹ MAJONE, G. The craft of applied systems analysis. In: KEYS, P. **Understanding the process of operational research**. Chichester: Wiley, 1995.

variáveis. Como todas as demais variáveis estão valoradas em termos monetários, se for possível estabelecer qual o custo que a empresa atribui a possíveis danos à imagem, o *trade-off* estará definido.

Em função da empresa ser uma multinacional do ramo petroquímico, sujeita a acidentes e à questionamentos de ordem ambiental, havia uma preocupação corporativa com a preservação da imagem e do patrimônio em âmbito mundial. Para assegurar que a matriz tivesse controle sobre possíveis danos ao patrimônio e à imagem, havia um procedimento de comunicação corporativa que obrigava cada unidade a reportar à matriz eventos que pudessem afetar a empresa. Este procedimento classificava os eventos em três níveis de gravidade e, para cada nível de gravidade eram definidos os níveis hierárquicos a serem comunicados e a amplitude das ações que deveriam ser tomadas. A classificação dos eventos relacionados a perdas patrimoniais e danos à imagem é detalhada no Quadro 6.

Gravidade	Perdas Patrimoniais	Danos à Imagem
Baixo	Perdas até US\$ 20.000	Manifestações de descontentamento de indivíduos isolados, sem a participação da mídia. Notificações de agentes de fiscalização que não envolvam multas.
Médio	Perdas superiores a US\$ 20.000 e inferiores a US\$ 50.000	Manifestações de descontentamento realizadas de forma organizada, porém de caráter local. Notícias na mídia local (municipal) desfavoráveis à empresa. Autuações de órgãos fiscalizadores.
Alto	Perdas superiores a US\$ 50.000	Manifestações de descontentamento de âmbito estadual, nacional ou internacional. Notícias desfavoráveis na mídia estadual, nacional ou internacional. Embargo ou solicitação de embargo de unidades. Situações que possam comprometer a saúde pública.

Quadro 6 - Classificação de danos patrimoniais e danos à imagem da Petroquímica Internacional

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando-se os ensinamentos de Keeney (1992), o Quadro 6 é uma escala de atributos que contém julgamentos implícitos, perdas de até US\$ 20.000 são equivalentes a danos baixos, ou pequenos, à imagem. Portanto, o procedimento corporativo da Petroquímica Internacional definia os *trade-offs* entre danos à imagem e valores monetários. Como danos baixos à imagem equivalem a perdas de US\$ 1 (não havia definição de um valor mínimo abaixo do qual não era

necessário reportar) até US\$ 20.000, o valor utilizado como *trade-off* para danos baixos à imagem será a média, isto é, US\$ 10.000. De forma análoga, o valor equivalente para um dano médio à imagem é de US\$ 35.000. No entanto, não é possível determinar-se o valor equivalente para danos altos à imagem com os dados do procedimento corporativo, Quadro 6, pelo fato deste nível ser o mais elevado, não definido um limite superior. Caso fosse necessário definir-se o valor equivalente para danos altos à imagem, os dados disponíveis não seriam suficientes, sendo necessário avaliar o valor atribuído pelos decisores ao evento específico.

Para a conversão em reais do valor atribuído ao dano baixo à imagem foi utilizada a taxa de câmbio de 1,11 reais por dólar (DI TIZIO, 2009), resultando em R\$ 11.100,00. Com a definição do *trade-off* entre valor monetário e dano baixo à imagem, todos os dados necessários para a solução da árvore de decisão do caso do trocador de calor foram determinados, e estão representados na Figura 14 a seguir.

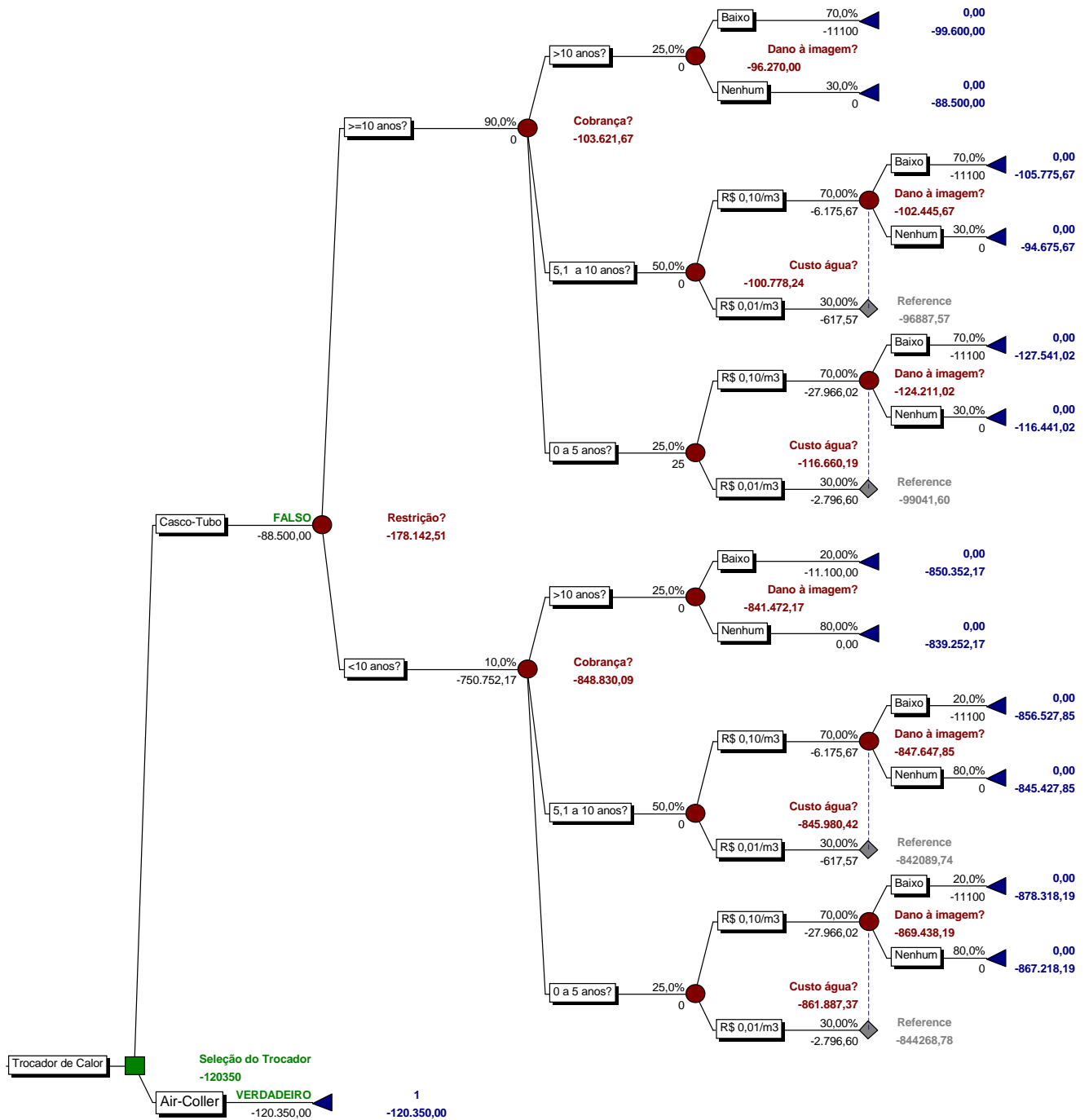


Figura 14 - Seleção do trocador de calor, com todos os valores
 Fonte: Elaborado pelo autor

Com a inclusão do valor do dano à imagem, o custo da opção pelo trocador casco tubo passou de R\$ 170.927 para R\$ 178.142. A inclusão do valor do *trade-off* não resultou em inversão da melhor alternativa, no entanto, com todos os dados incluídos na árvore de decisão, é possível realizar a análise de sensibilidade.

3.5 Análise de Sensibilidade

Os processos envolvidos nas tomadas de decisão utilizam informações como probabilidades subjetivas, fatores de ponderação para a realização de *trade-offs* entre diferentes objetivos e atributos, custos e lucro, entre outros. Estes dados possuem incertezas que podem afetar a escolha da melhor alternativa. Se as diferenças dos resultados esperados das diversas alternativas forem grandes, e as incertezas forem pequenas, estas incertezas não afetarão a tomada de decisão. Porém, se as diferenças entre os resultados esperados das diversas alternativas forem pequenas, e as incertezas forem grandes, as incertezas poderão interferir na decisão tomada. Para avaliar em que nível as incertezas podem afetar a tomada de decisão é realizada a análise de sensibilidade. Caso a análise de sensibilidade indique que as incertezas podem interferir na escolha da melhor alternativa, o decisor pode optar por alocar mais recursos para melhorar a qualidade dos dados que apresentam incertezas relevantes.

Clemen e Reilly (2001) esclarecem que a análise de sensibilidade pode ser realizada por vários métodos. O método unidimensional de sensibilidade consiste em manter constante todas as variáveis que afetam o resultado esperado da decisão, exceto uma. Esta variável é alterada ao longo de uma faixa de valores, analisando-se o impacto que essa alteração causa no resultado esperado, mantendo-se as demais variáveis constantes. A representação cartesiana dos resultados esperados para cada alternativa em função do valor atribuído à variável permite identificar os pontos em que as alternativas tornam-se igualmente atraentes e as faixas de valores em que cada alternativa é mais vantajosa.

Para que a análise de sensibilidade possa ser aplicada em todas as variáveis que interferem na decisão é necessário modificar a forma como a árvore de decisão da Figura 14 foi construída. A árvore de decisão foi construída introduzindo-se na mesma os resultados dos diversos custos envolvidos, mas não foram introduzidos os valores dos parâmetros que determinaram esses

custos. No caso do custo da água comprada, foi introduzido o valor do custo, mas não as variáveis que determinaram esse custo, como o custo unitário da água, o mês em que ocorreu a restrição à captação e a taxa de juros considerada. Desta forma, o programa *PrecisionTree* pode realizar a análise de sensibilidade variando o custo da água, mas não pode realizar a análise de sensibilidade para as variáveis que determinam esse custo. Para eliminar essa restrição é necessário construir uma árvore de decisão que inclua essas variáveis, este tipo de árvore é denominada de *linked-tree*. A Figura 15 representa essa árvore.

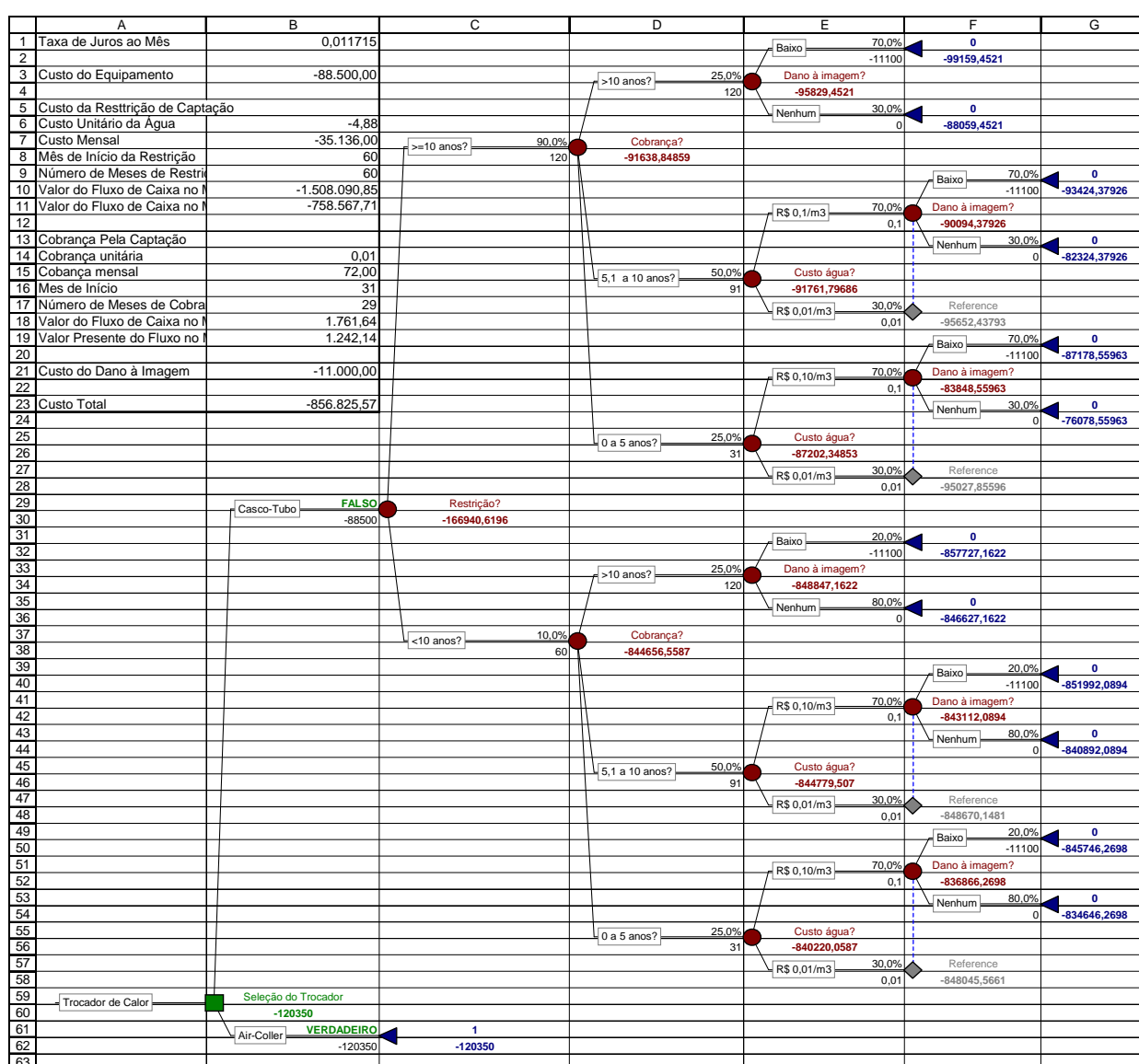


Figura 15 - Árvore de decisão do caso trocador de calor no formato *linked-tree*

Fonte: Elaborado pelo autor

A diferença básica da árvore da Figura 15 em relação à da Figura 14 é a introdução das fórmulas que determinam os custos envolvidos; estas fórmulas estão nas células A1 a B23. Outra mudança é a não inclusão do custo de cada alternativa diretamente na árvore de decisão, na célula D16, por exemplo, não foi introduzido o custo decorrente da proibição da captação da água, mas sim o mês em que a restrição ocorreu. O custo da restrição é calculado pelas fórmulas introduzidas e considerada no custo final desses ramos da árvore de decisão; os valores das células G10 e G14 já incorporam esse custo. Desta forma, é possível realizar a análise de sensibilidade para todas as variáveis envolvidas.

Aplicando-se a análise de sensibilidade às diversas variáveis envolvidas no exemplo do trocador de calor, Figura 15, é possível identificar aquelas que tem maior influência sobre a decisão e as que necessitam de uma análise mais detalhada para apurar a precisão dos dados. A Figura 16 a seguir apresenta os dados de saída do software *PrecisionTree* para a variável “custo do *air-cooler*”.

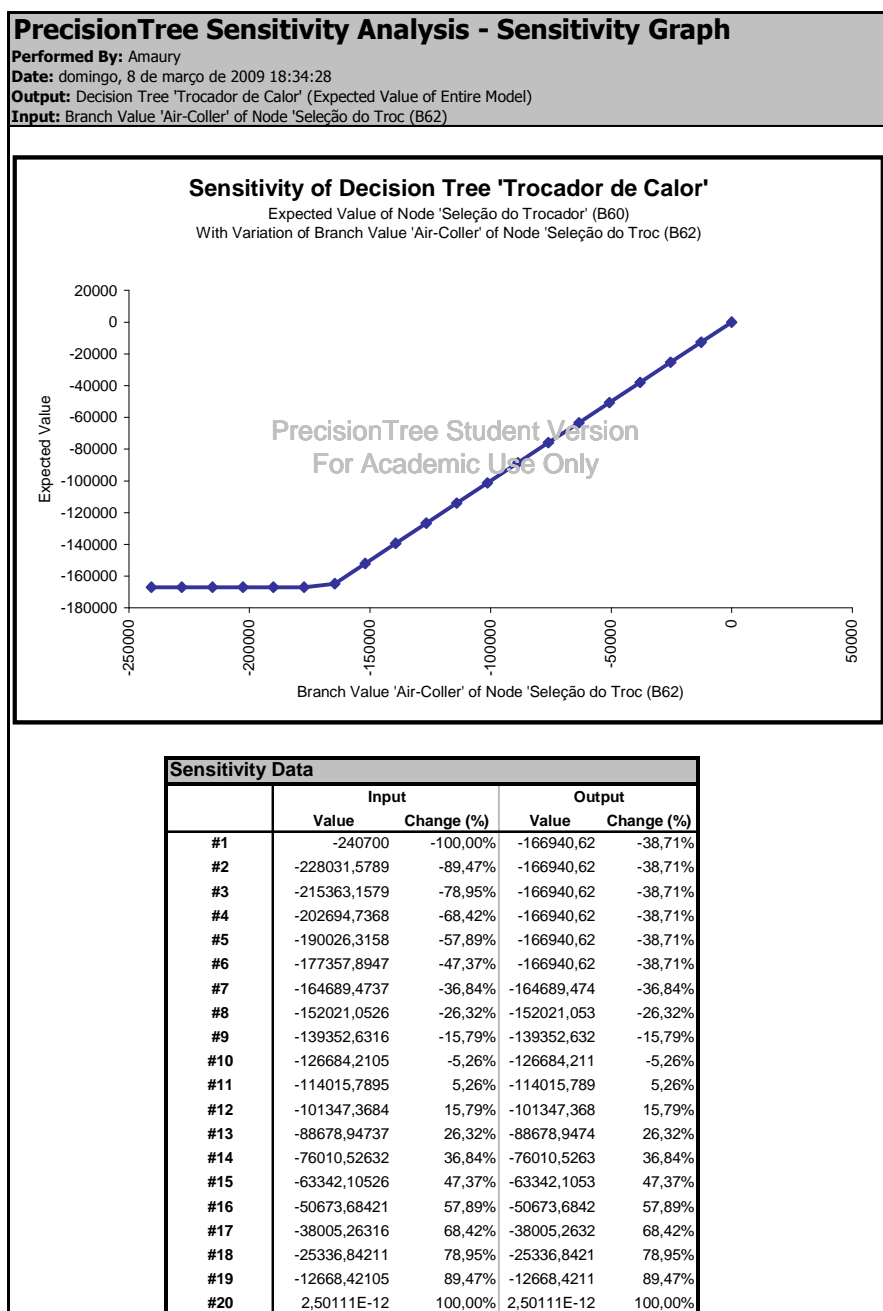


Figura 16 - Análise unidimensional do custo do *air-cooler*

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise da Figura 16 mostra que a escolha do *air-cooler* é a melhor opção se o custo do mesmo for igual ou inferior a R\$ 178.142,00. Note-se que para essa faixa de preço, o valor esperado é igual ao custo do *air-cooler*. Para custos superiores a R\$ 178.142,00 o gráfico assume a forma de uma reta paralela ao eixo X, indicando que o aumento do preço do *air-cooler* não afeta mais o valor esperado, pois a opção do trocador de calor tipo casco-tubo passou a ser mais vantajosa. As

figuras geradas pelo *software PrecisoTree* indicam a célula da árvore de decisão que foi analisada, neste caso, no cabeçalho da Figura 16, na linha input, é indicado que a célula é a B62.

Realizando-se a mesma análise considerando-se como variável o mês em que é imposta a restrição à captação da água, obtém-se a Figura 17.

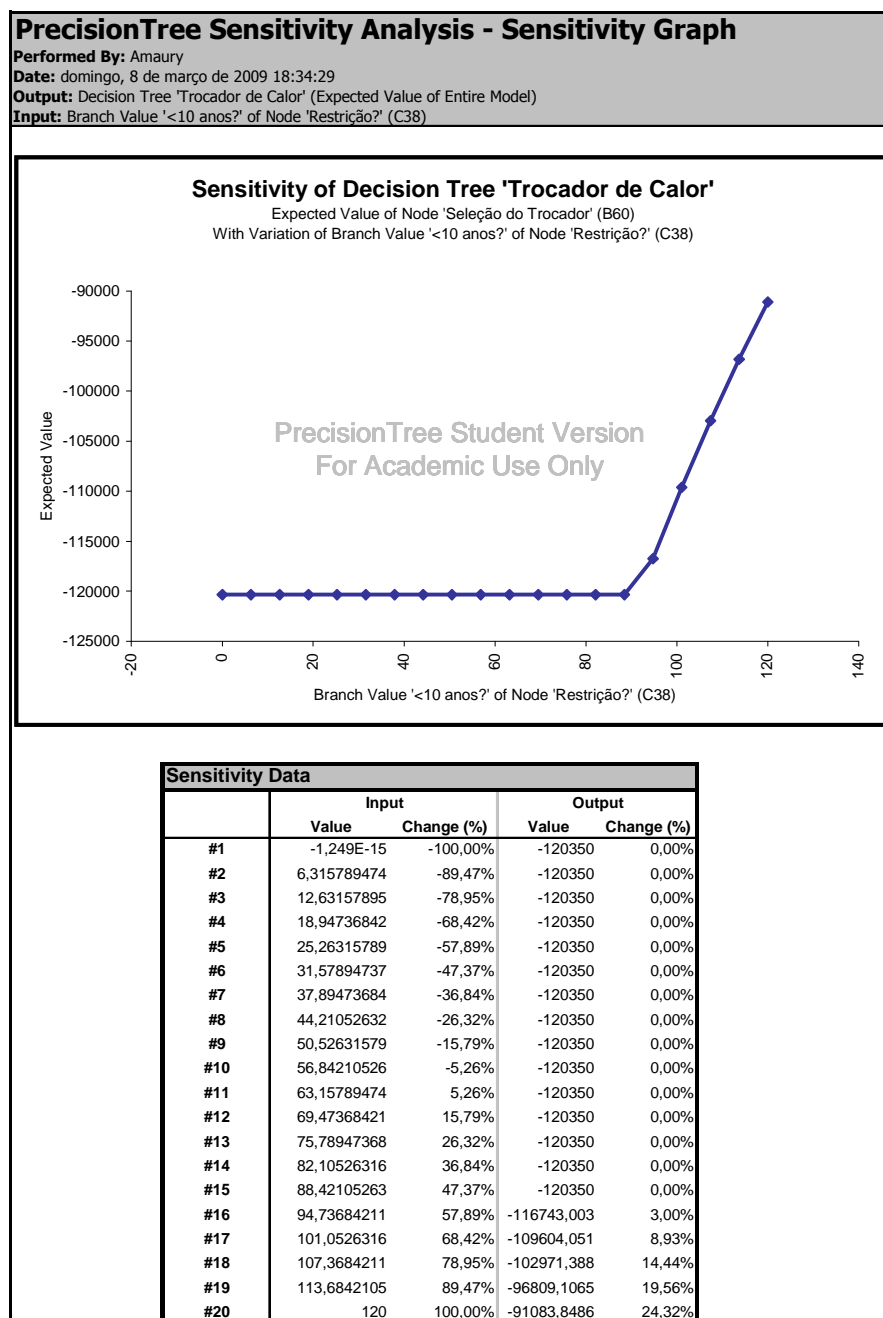


Figura 17 - Análise unidimensional da variável “mês de início da restrição”

Fonte: Elaborado pelo autor

A reta paralela ao eixo do X, que se inicia em zero e continua até 91, significa que se a restrição à captação de água no Córrego Seco tiver início no mês 91 ou antes, a melhor opção é o air-coller e o valor esperado da opção é R\$ 120.350,00 negativos. A partir do mês 92 a reta passa a ser inclinada, indicando uma redução do valor esperado; esta redução se deve ao fato da melhor alternativa passar a ser a opção pelo trocador casco-tubo. Quanto mais tarde ocorrer a restrição à captação, menor será a despesa da empresa com a compra de água em carretas.

Clemen e Reilly (2001) esclarecem que o diagrama de tornado é útil para comparar os resultados das análises unidimensionais das diversas variáveis de interesse. A análise unidimensional é realizada para cada variável, verificando-se que impactos ela introduz nos resultados esperados da alternativa em questão, quando ela é alterada do menor valor até o maior valor possível. Os resultados são representados pelas diversas barras horizontais do diagrama de tornado. Quanto maior a barra, maior é o impacto que a variável introduz nos resultados esperados. O gráfico é feito colocando-se as barras maiores na parte superior e as menores na parte inferior, permitindo uma rápida visualização das variáveis de maior relevância.

A análise que o diagrama de tornado possibilita realizar fornece uma visão clara de quais variáveis possuem maior influência no resultado final, sendo que estas devem ser objeto de uma avaliação mais acurada sobre a qualidade dos dados, enquanto que as variáveis que possuem menor impacto não necessitarão de esforços adicionais para melhorar a precisão das estimativas.

O gráfico de tornado para o exemplo do trocador de calor é mostrado na Figura 18

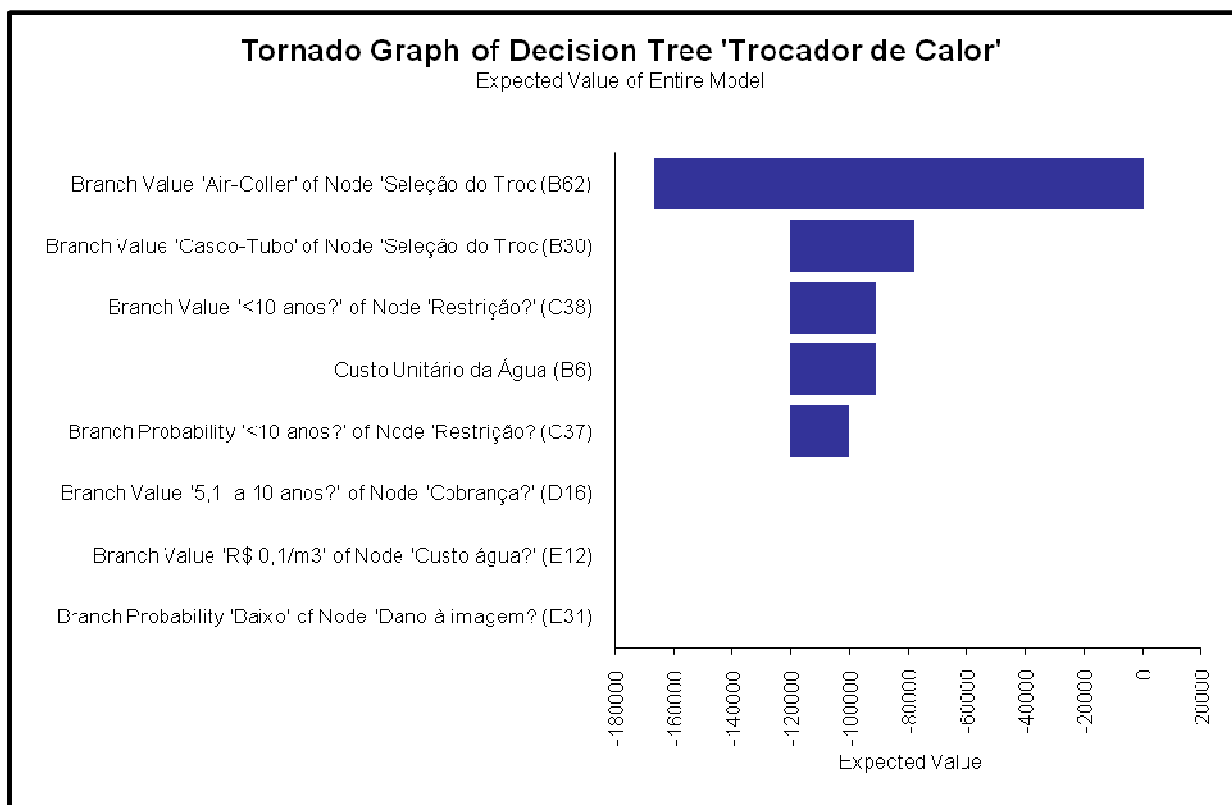


Figura 18 - Gráfico de tornado para o exemplo do trocador de calor
Fonte: Elaborado pelo autor

As oito linhas ao lado esquerdo do gráfico representam as variáveis que foram analisadas, o endereço de células no final de cada linha indicam a posição da variável analisada na árvore de decisão da Figura 15. As variáveis são dispostas no gráfico de tornado segundo o seu impacto na decisão final, sendo que as variáveis de maior influência são listadas no topo e as de menor influência na base do gráfico. O eixo X do gráfico representa a variação que o valor esperado tem em decorrência da variável analisada. Neste exemplo, a análise de sensibilidade foi realizada considerando-se uma faixa com início em -100% e término em $+100\%$ do valor inicial.

O gráfico indica que os dois fatores de maior influência são os custos do trocador de calor (B62) e do *air-cooler* (B30), seguidos pelo mês em que a restrição à captação de água tem início (C38), pelo custo unitário da água comprada (B6), e pela probabilidade da restrição ocorrer (C37). O gráfico também indica que as variáveis mês de início da cobrança pela captação (D16), custo da cobrança pela captação da água (E12) e dano à imagem (E31), não interferem na decisão.

A análise bidimensional de sensibilidade é utilizada para avaliar o impacto no resultado esperado alterando-se os valores de duas variáveis simultaneamente. Normalmente as variáveis escolhidas são as que apresentaram maior relevância na análise realizada com o auxílio do diagrama de tornado. Se a decisão em questão envolver apenas duas alternativas, a análise pode ser realizada a partir de um gráfico cartesiano, onde cada eixo representa uma das variáveis consideradas. O objetivo é determinar a região do gráfico onde estão localizados os conjuntos de pontos que tornam uma alternativa mais vantajosa que a demais, ou seja, identificar a linha que separa a região onde uma opção é mais vantajosa que a outra. Esta análise é realizada utilizando-se uma inequação, cuja forma geral é:

$$V_A(x_1, x_2) - V_B(x_1, x_2) < 0$$

Onde $V_A(X_1, X_2)$ representa o valor assumido pela alternativa A em função dos valores das variáveis X_1 e X_2 . A região dos pontos (X_1, X_2) onde V_A é maior que V_B , representa a região onde a alternativa A é mais vantajosa que a alternativa B.

Aplicando-se a análise bidimensional às variáveis custo unitário da água (B6) e mês de início da restrição à captação, obtém-se o gráfico da região estratégica, mostrado na Figura 19.

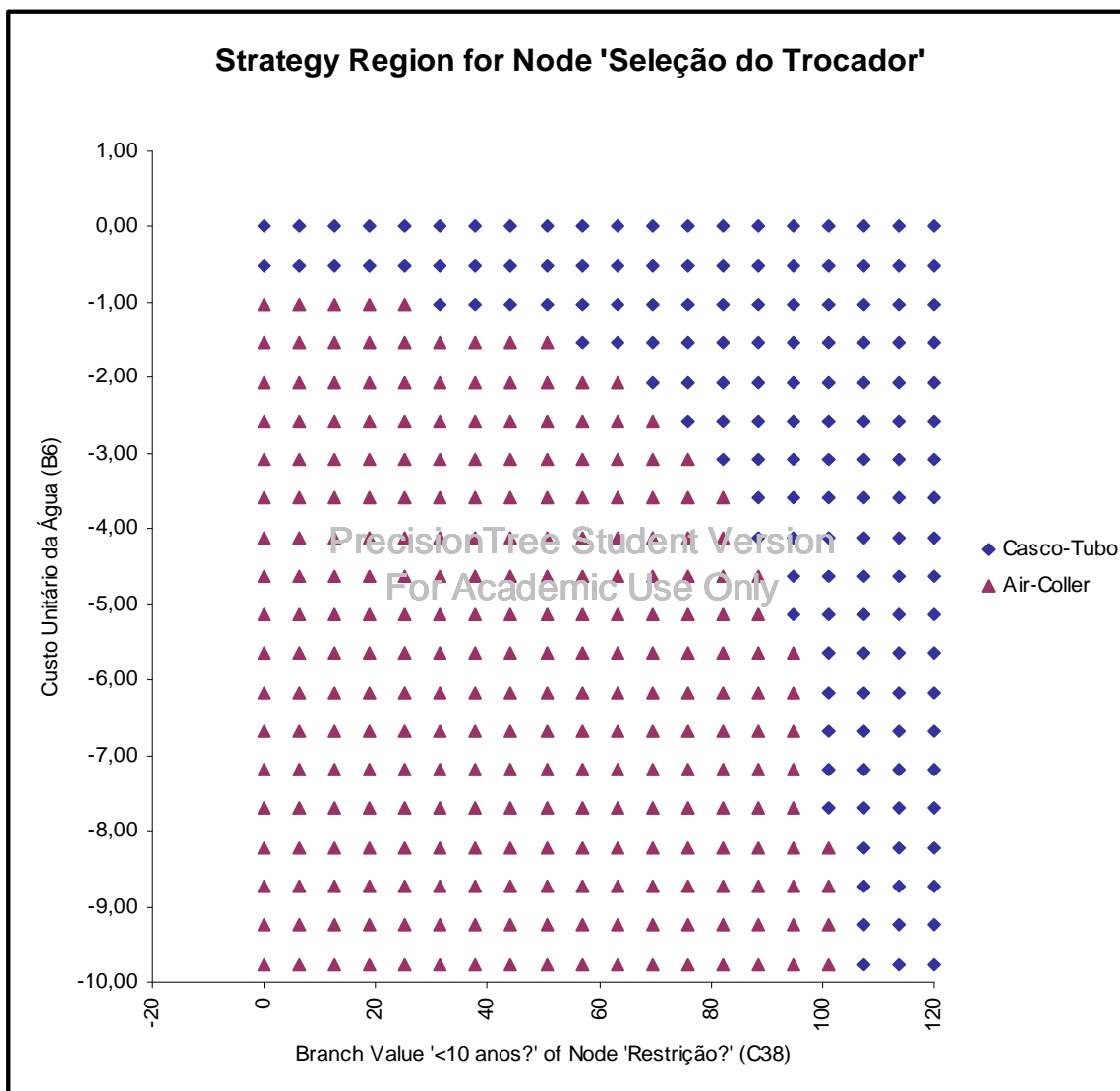


Figura 19 - Gráfico da região estratégica para as variáveis custo unitário da água e mês de início da restrição à captação

Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico da região estratégica para as variáveis custo unitário da água e mês de início da restrição à captação a região marcada pelos triângulos demarca o conjunto de valores mês de início da restrição e custo unitário da água que tornam a opção pelo *air-cooler* mais vantajosa, a área demarcada pelos losangos representa a região onde a opção pelo trocador de calor casco-tubo é mais vantajosa. A análise do gráfico indica que quanto maior for o custo da água e quanto mais cedo ocorrer a restrição à captação, mais vantajosa é a opção pelo *air-cooler*.

A análise da influência simultânea de duas variáveis também pode ser feita utilizando-se a equação que representa o impacto das mesmas no resultado final, a equação pode ser representada como:

$$V = f(x_1, x_2)$$

O gráfico resultante desta função é tri-dimensional, a Figura 20 representa o gráfico das mesmas variáveis consideradas no gráfico da Figura 19. No gráfico tri-dimensional, observa-se um plano paralelo aos eixos X e Y, que corta o eixo Z, eixo do valor esperado, no valor de R\$ 120.350,00 negativos. Este plano representa o conjunto de pontos que tornam a opção pelo *air-cooler* mais vantajosa, motivo pelo qual o valor esperado desses pontos corresponde ao custo do *air-cooler*. Na medida em que o custo unitário da água é reduzido e o mês em que tem início a restrição pela captação da água é postergado, a opção pelo trocador casco tubo torna-se mais vantajosa. Este fato é representado no gráfico da Figura 20 pelo plano inclinado, que tem início na cota Z de menos R\$ 120.350,00 e segue até menos R\$ 91.000,00 que é valor esperado para a opção pelo trocador de calor casco tubo para a hipótese de não haver restrição à captação de água.

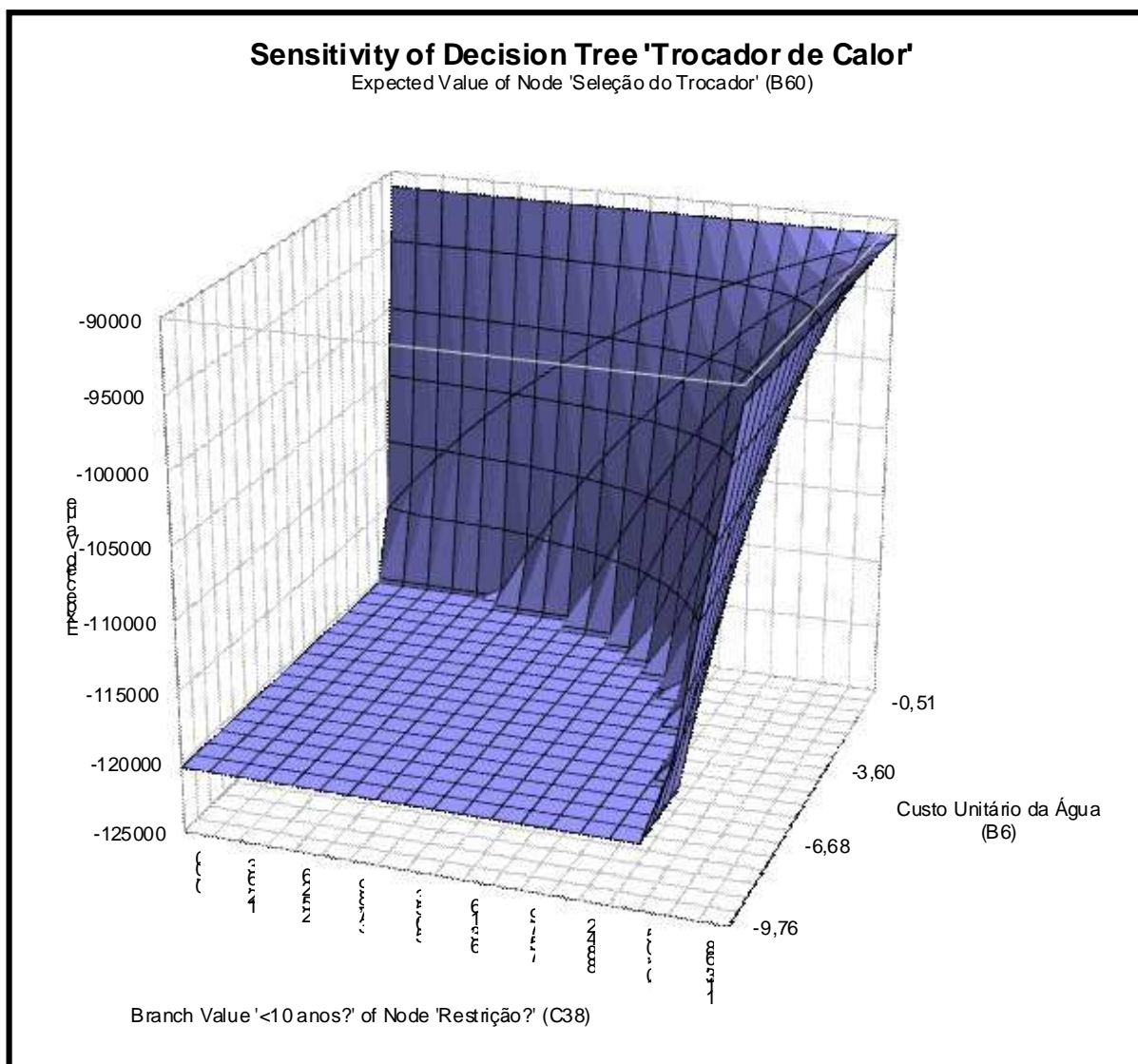


Figura 20 - Gráfico de análise da sensibilidade das variáveis custo unitário da água e mês de início da restrição à captação

Fonte: Elaborado pelo autor

No caso da decisão envolver mais de duas alternativas, Clemen e Reilly (2001) esclarecem que a análise bidimensional pode ser aplicada. Nestes casos devem ser traçadas as curvas que delimitam as regiões que tornam a opção A mais atraente que a B, a opção B mais atraente que a C, e a opção A mais atraente que a C. Desta forma, obtém-se um gráfico indicando as opções mais vantajosas.

A partir da análise de sensibilidade identifica-se quais são as variáveis que possuem maior influência no resultado esperado, utilizando-se a análise unidimensional e o diagrama de tornado.

Com a utilização da análise bidimensional, constrói-se o gráfico indicando as regiões que tornam uma opção mais vantajosa em relação às demais, em função dos valores das duas variáveis em análise. Se os valores originalmente estimados para essas variáveis indicarem que os mesmos estão próximos da curva que delimita as regiões mais favoráveis para cada opção, pode ser necessário melhorar a qualidade dos dados utilizados, ou modificar a modelagem realizada. Uma possível remodelagem é considerar um dado que era considerado constante como sendo uma distribuição de probabilidades. Como exemplo hipotético, cita-se um caso em que uma reclamação havia sido considerada como sendo média, e, em função da análise de sensibilidade, ela é desdobrada em três alternativas: reclamação de baixa intensidade, reclamação de média intensidade e reclamação intensa. Cada uma associada a uma probabilidade de ocorrência. Desta forma, é possível realizar uma análise mais detalhada, possibilitando um aprimoramento no modelo (CLEMEN; REILLY, 2001).

Em situações onde há muitas variáveis associadas a incertezas, a árvore de decisão torna-se extremamente complexa e confusa, nestes casos, ao invés de representar-se em cada nó de chance as diversas possibilidades com seus valores e probabilidades, pode-se utilizar a representação indicada na Figura 21.

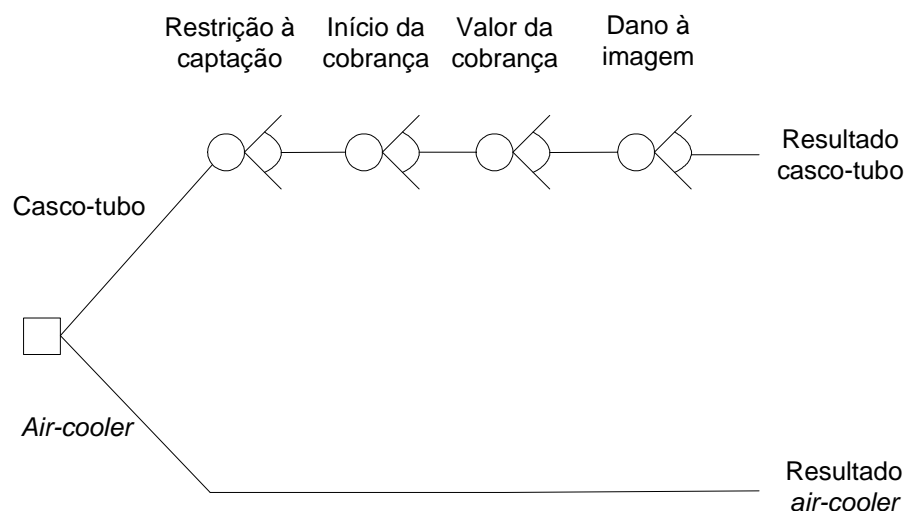


Figura 21 - Árvore de decisão - escolha entre um trocador casco-tubo e um *air-cooler*
 Fonte: Elaborado pelo autor

A cada nó de chance é associada uma função de probabilidade que relaciona os possíveis valores às suas probabilidades de ocorrência. Nestes casos pode ser utilizada a simulação de Monte Carlo. Este tipo de simulação calcula os valores da árvore de decisão, alterando os valores das variáveis, de forma a cobrir toda a faixa de valores possíveis para cada uma das variáveis. No final de diversas simulações, é possível traçar um histograma ou um perfil de risco dos resultados, e a partir destes dados, calcular o resultado médio. Estes dados subsidiam a escolha entre as duas alternativas (CLEMEN; REILLY, 2001).

Bengtsson e Steen (2000) aplica o método de Monte Carlo para avaliar em que grau as incertezas existentes no método EPS2000d podem afetar a decisão sobre qual tipo de envelope possui menor impacto ambiental, o de papel ou o de polietileno. Do ponto de vista matemático, a pergunta a ser feita é: qual é a probabilidade que a diferença entre o resultado do impacto ambiental causado pelo uso do envelope de papel menos o resultado do impacto ambiental causado pelo uso do envelope de polietileno seja negativo? O resultado da simulação é apresentado na Figura 22.

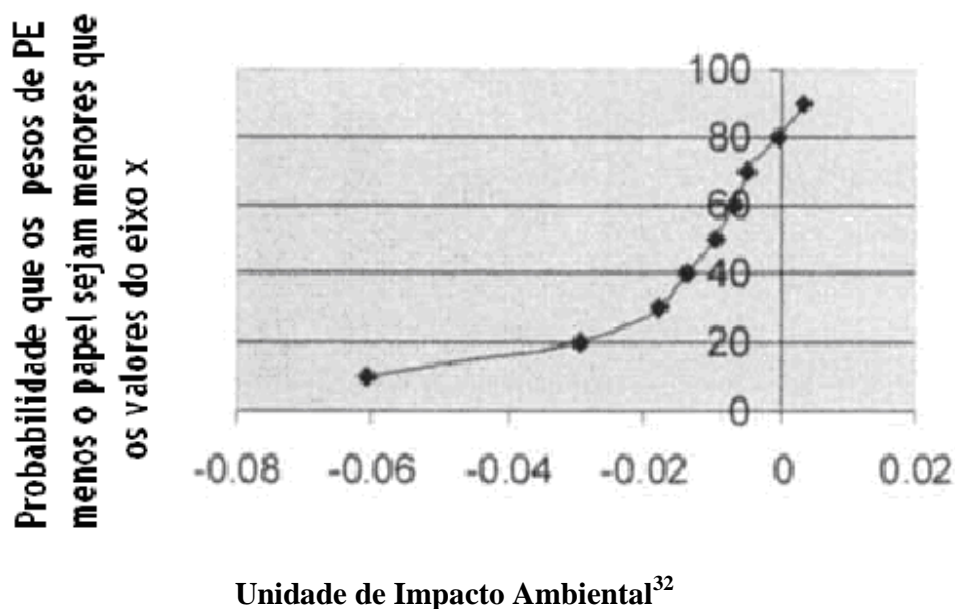


Figura 22 - Simulação de Monte Carlo da diferença dos impactos ambientais entre o uso de envelope de papel e envelope de polietileno
 Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

³²

Bengtsson e Steen (2000) utiliza o termo ELU – Environmental Load Unit.

No gráfico da Figura 22, o eixo horizontal representa a diferença entre os impactos ambientais, medidos em *Environmental Load Unit* (ELU), ou Unidade de Carga Ambiental, e o eixo vertical representa as probabilidades. Analisando-se o gráfico, conclui-se que a probabilidade do impacto ambiental resultante do uso do envelope de papel ser maior que o impacto ambiental resultante do envelope de polietileno é de 80%. Analisando-se sobre outra perspectiva, há 20% de chance do resultado do processo de ponderação dos impactos ambientais ser falso e a melhor opção ser o uso do envelope de papel e não do polietileno.

O autor esclarece que para um melhor entendimento do motivo da análise de sensibilidade indicar uma incerteza tão elevada para o caso dos envelopes, outros métodos de análise podem ser aplicados. Uma análise possível é a determinação das sensibilidades relativas. A sensibilidade relativa é a relação σ_x/Δ_x , onde σ_x é a incerteza de x , expressa pelo desvio padrão de x , e Δ_x é a variação de x necessária para mudar a prioridade. A relação informa quão importante é a precisão de x na prioridade obtida. Para aplicar este método aos fatores de ponderação utilizados na definição das prioridades, é necessário que as estimativas das incertezas dos fatores de ponderação utilizados sejam conhecidas. O autor esclarece que somente estavam disponíveis os dados de incerteza dos fatores de ponderação do método EPS2000d. Os resultados desta avaliação são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de sensibilidade da prioridade para os vários fatores de ponderação do método EPS2000d

Parâmetro	Sensibilidade Relativa
Fator de ponderação para as reservas de petróleo	1,2
Fator de ponderação para YOLL ³³	0,82
Fator de caracterização do dióxido de carbono para o YOLL	0,65
Metano	0,65
Fator de ponderação para morbidades severas	0,45

Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

³³

YOLL – Years Of Lost Life, é um indicador associado à perda de anos de vida.

Analisando-se a Tabela 4, conclui-se que o desvio padrão associado ao fator de ponderação para as reservas de petróleo é 20% maior que o necessário para alterar a prioridade obtida na análise dos impactos, já o desvio padrão do fator de ponderação para o YOLL é 82% do que seria necessário para alterar a prioridade. Com base na Tabela 4 é possível compreender porque a simulação de Monte Carlo indicou que confiança no resultado obtido era de apenas 80%.

3.5.1 Avaliação da Necessidade de Análises Adicionais e Definição do Momento de Tomar a Decisão

Após a realização da análise de sensibilidade, a próxima etapa é a avaliação da necessidade de realização de análises adicionais (Figura 2). Esta análise pode ser dividida em duas etapas. A primeira etapa é constituída pela avaliação do impacto de cada variável no resultado final. Se as incertezas envolvidas puderem interferir no resultado final a ponto de alterar a melhor alternativa, o decisor deve avaliar a conveniência de refinar os dados que introduziram as incertezas no modelo. Na segunda etapa o decisor realiza uma avaliação do modelo como um todo, à luz dos conhecimentos adquiridos na etapa de análise das incertezas. Nesta etapa o decisor conhece o impacto de cada variável no resultado final, o que pode sugerir novas alternativas.

Considerando-se o exemplo do trocador de calor, o Diagrama de Tornado indica que há 5 variáveis que podem interferir da decisão. O custo do *air-cooler* e do trocador de calor são as duas variáveis que possuem maior influência, o que justificaria um refinamento destes dados. Apesar dos custos terem sido obtidos por meio de cotação junto a um fabricante tradicional do setor, uma possibilidade seria realizar uma cotação com outros fornecedores, o que possibilitaria obter-se um valor mais refinado. As duas outras variáveis que têm maior influência sobre o resultado final são o período em que ocorre a restrição à captação da água e o custo de compra da água (células C38 e B6 da Figura 15). Tendo em vista que estas duas variáveis estão associadas à restrição da captação de água do córrego, a criação de alternativas que minimizem estes custos poderiam melhorar o modelo. Uma nova alternativa poderia ser que uma vez estabelecida a restrição à captação da água, a empresa não ficaria passivamente pagando os custos decorrentes desta situação, mas sim, iniciaria o processo de substituição do trocador de calor casco tubo pelo *air-cooler*. Esta nova alternativa teria a desvantagem da empresa incorrer no

custo dos dois equipamentos, mas teria a vantagem de restringir o custo da compra da água ao período de compra e instalação do equipamento, que pode ser estimado entre 9 e 12 meses. A árvore de decisão seria revisada, incluindo a nova alternativa, uma nova análise de sensibilidade seria realizada, bem como uma nova avaliação da necessidade de refinamentos.

Um fator relevante a ser considerado é o tempo disponível para a tomada de decisão. Caso o tempo seja exíguo, o refinamento de alguns dados, bem como a remodelagem do problema pode ser restringida, ou até mesmo a análise de sensibilidade pode não ser realizada.

No exemplo do trocador de calor, foram consideradas diversas etapas do processo de tomada de decisão. No entanto, nem sempre é necessário percorrer todas as etapas. Segundo Keeney (2004), nem todas as decisões necessitam de todas as ferramentas da teoria da decisão (Figura 4). Dependendo da complexidade, algumas decisões podem ser imediatas, outras podem ser resolvidas com a aplicação do pensamento focado no valor, outras com aplicação de parte da teoria da decisão e poucas necessitariam de ferramentas mais avançadas, como a realização de *trade-offs* ou análise de sensibilidade. O decisor deve evoluir ao longo das etapas preconizadas pela teoria da decisão até ponto em que fique claro qual é a melhor alternativa ou até o momento em que o custo adicional da realização das novas etapas do processo da teoria da decisão seja maior que a diferença dos custos, ou benefícios, entre as alternativas existentes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A norma NBR ISO 14001:2004 foi criada, inicialmente na versão 1996, em função da mudança da visão das organizações sobre as questões ambientais, sendo a Rio-92 um dos marcos dessa mudança. No decorrer dos 13 anos de sua existência, aproximadamente 130.000 empresas implementaram sistemas de gestão ambiental baseados nesta norma, demonstrando a ampla aceitação da mesma por parte das empresas. Apesar dos benefícios que a norma traz para a gestão ambiental das organizações que a adotaram como modelo de gestão, a norma NBR ISO 14001:2004 possui um caráter genérico, definindo o que deve ser feito, mas não define como deve ser feito, deixando que a organização escolha como atender aos requisitos estabelecidos pela norma. Esta característica tem vantagens e desvantagens, a principal vantagem é a flexibilidade que existe para as organizações definirem a forma como implementar o sistema de gestão, permitindo adequar o sistema às necessidades e particularidades das diversas organizações. A desvantagem intrínseca a esta plasticidade oferecida pela norma é a não definição de como implementar os seus requisitos, cabendo a cada organização defini-lo. Esta característica permeia todos os requisitos da norma, inclusive a análise pela administração, onde são definidos os objetivos que a organização deve alcançar, bem como o requisito “objetivos, metas e programas”, onde os responsáveis pelos objetivos e metas devem definir a forma como alcançá-los. Como decorrência desta característica, a norma NBR ISO 14001:2004 não diferencia os diversos tipos de decisão que as organizações normalmente necessitam tomar, bem como as implicações inerentes a cada tipo de decisão. Decorrente deste fato, surge a necessidade de adoção de métodos para auxiliar nos processos de tomada de decisão.

Adicionalmente, a NBR ISO 14001:2004 é baseada no ciclo P.D.C.A., o que a torna uma ferramenta útil para a gestão ambiental no plano operacional das organizações, onde é possível conhecer os resultados das decisões em um intervalo de tempo que viabilize a retroalimentação do ciclo P.D.C.A. No entanto, no plano estratégico, o horizonte de tempo considerado é longo, tornando a retroalimentação do ciclo P.D.C.A. muitas vezes inviável. Nestes cenários, as incertezas podem tornar-se relevantes e as decisões podem não permitir pequenos ajustes ao longo do tempo para corrigir as decisões iniciais, que é uma das características da melhoria contínua. Esta discussão está sumarizada no Quadro 7.

Vantagens	Limitações
Ampla aceitação	-----
Fácil adaptação e plasticidade	Caráter genérico O quê X Como
-----	Não diferencia os tipos de decisão Ruptura X Incremental
Melhoria contínua – P.D.C.A	Inadequação a rupturas, que envolvem: - Prazos longos - Recursos elevados - Incertezas relevantes

Quadro 7 - Vantagens e limitações da ISO 14001:2004

Fonte: Elaborado pelo autor

É neste contexto que a teoria da decisão apresenta-se como um instrumento de apoio aos SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004, possuindo abordagens sistêmicas e ferramentas que complementam estes SGAs. A aplicação da teoria da decisão implica na necessidade de coleta de dados para serem usados no processo decisório, sendo que um SGA baseado na NBR ISO 14001:2004, implementado de forma a buscar o melhor resultado para a organização, possui sistemáticas que coletam e analisam periodicamente diversos dados que são necessários para a alta administração poder tomar decisões.

Em um SGA é obrigatório o estabelecimento de objetivos de forma coerente com os valores definidos na política ambiental da organização, o desdobramento do objetivo em uma ou mais metas e a definição de programas de gestão, ou planos de ação, detalhando as ações necessárias para alcançar o objetivo. A teoria da decisão, por sua vez, possui métodos para auxiliar na identificação de alternativas e escolha da que melhor atende à organização. Para tanto, a teoria da decisão, usando a abordagem do pensamento focado no valor, prescreve que sejam identificados os objetivos fundamentais de nível mais elevado, objetivos fundamentais de nível inferior e os objetivos intermediários. Existe uma correlação entre a terminologia adotada pela teoria da decisão e pela NBR ISO 14001:2004. Os objetivos fundamentais de nível mais elevado equivalem aos itens da política ambiental, os objetivos fundamentais de níveis inferiores podem equivaler tanto aos objetivos ambientais quanto às metas ambientais, e os objetivos

intermediários equivalem às metas ambientais. O conhecimento desta correlação facilita a aplicação da teoria da decisão nas decisões realizadas dentro do contexto dos SGAs.

Para aplicar-se a teoria da decisão é necessário, além do conhecimento dos objetivos envolvidos, informações a respeito do contexto que envolve a decisão. Parte significativa destas informações é fornecida pelo SGA. O elemento aspectos ambientais fornece as informações relacionadas aos aspectos e impactos ambientais envolvidos; o item requisitos legais e outros informa quais são os requisitos legais aplicáveis e os possíveis acordos realizados pela organização; a sistemática de comunicação permite conhecer a percepção das partes interessadas, sejam elas comunidade ou órgãos reguladores; o monitoramento e medição fornece uma visão sobre a situação da empresa em relação aos seus principais impactos ambientais; e a avaliação do atendimento aos requisitos legais informa a situação de conformidade legal da empresa. Estas informações ajudam a compor o contexto em que a decisão está inserida.

Nenhuma decisão pode ser melhor que a melhor alternativa conhecida, portanto, a identificação de novas alternativas é fundamental para a qualidade da decisão. Neste sentido, a NBR ISO 14001:2004 não fornece nenhuma orientação, a contribuição dos SGAs para esta etapa reside nas informações usadas para compor o contexto da decisão, para subsidiar a aplicação da teoria da decisão. A identificação de novas alternativas é uma das etapas do processo de tomada de decisão, complementando esta lacuna da norma NBR ISO 14001:2004. A teoria da decisão, através do pensamento focado no valor, permite que novas alternativas sejam identificadas a partir do conhecimento dos objetivos fundamentais, objetivos intermediários e dos atributos. A análise de cada um destes e a busca de formas de como aumentar o atendimento dos mesmos auxilia na identificação de novas alternativas, induzindo os envolvidos a analisarem todas as perspectivas do contexto da decisão em busca de alternativas. Para aumentar o número de alternativas identificadas, a teoria da decisão utiliza conhecimentos da psicologia cognitiva para entender os bloqueios mentais que dificultam a identificação de novas alternativas. Este conhecimento pode ser usado na definição de métodos de identificação que minimizem estes bloqueios, porém, o simples conhecimento destes mecanismos já auxilia os envolvidos na identificação de alternativas a minimizar os mesmos. Com estas abordagens, é possível identificar alternativas que talvez não fossem identificadas, aumentando a qualidade das decisões tomadas no âmbito dos SGAs.

Após a identificação das alternativas, é necessário escolher a que melhor atende aos diversos objetivos envolvidos. A norma NBR ISO 14001:2004 fornece orientações gerais sobre os temas que devem ser considerados na definição dos objetivos e metas, tais como requisitos legais, questões tecnológicas, operacionais, entre outras, porém, não fornece orientação sobre como realizar a seleção nem como tratar situações onde haja incertezas envolvidas. A teoria da decisão oferece um instrumental que possibilita realizar a escolha da melhor alternativa com uma abordagem científica, considerando os valores da organização. Entre o instrumental disponibilizado destacam-se:

- a) a árvore de decisão;
- b) a avaliação das conseqüências com base nos objetivos da organização; e
- c) os *trade-offs* entre os diversos objetivos envolvidos.

Em questões onde haja muitas alternativas, torna-se complexo uma avaliação global do problema e a identificação da melhor alternativa. A árvore de decisão é uma ferramenta que possibilita representar graficamente as diversas opções e eventos existentes, bem como tratar matematicamente os resultados, positivos ou negativos, decorrentes de cada escolha feita ou de cada evento que ocorre, facilitando a escolha da melhor alternativa em situações complexas. Para realizar o tratamento matemático das conseqüências é necessário criar escalas de valores para avaliar o nível com que cada alternativa atende aos objetivos envolvidos. Caso não haja uma escala natural que possa ser usada, pode ser utilizada uma escala construída ou escalas substitutas. Em situações onde há diversos objetivos envolvidos, pode haver conflitos entre os mesmos, onde a maximização de um objetivo leve à minimização de outro. Nestes casos deve ser estabelecido o valor relativo entre os mesmos, ou seja, devem ser estabelecidos os *trade-offs* entre os objetivos. A literatura relacionada à teoria da decisão fornece orientações sobre a criação de escalas de valores e realização dos *trade-offs*. Convém ressaltar que a análise do ciclo de vida (ACV) pode ser considerada uma ferramenta da teoria da decisão, tendo em vista que a mesma foi desenvolvida para permitir que fosse escolhida a alternativa, entre as diversas disponíveis, que apresente menor impacto ao meio ambiente, bem como é mencionada pela norma NBR ISO 14004:2005 como sendo uma das alternativas para realizar a avaliação da significância ambiental dos impactos envolvidos. Desta forma, a ACV pode ser usada para auxiliar na definição dos

trade-offs entre os diversos objetivos ambientais, bem como ser aplicada diretamente nos SGAs para auxiliar na avaliação da significância dos impactos ambientais. Vê-se, portanto, que as ferramentas da teoria da decisão não apenas podem ser usadas no SGA para auxiliar na definição da melhor alternativa para atender aos objetivos e metas, como também para auxiliar na definição da significância dos impactos ambientais.

A possibilidade de obter-se resultados diferentes quando são utilizadas ferramentas distintas de ACV não devem ser encaradas como uma limitação, mas sim, como uma característica intrínseca dos processos que envolvem valores individuais ou de grupos. Cada ferramenta de ACV traz consigo hipóteses que devem ser conhecidas, para que seja possível selecionar-se aquela que mais se aproxima das opiniões de quem está tomando as decisões.

Há situações em que os eventos envolvidos não são eventos certos, eles podem ocorrer ou não, tornando a consequência de uma escolha dependente da ocorrência desses eventos incertos. A norma NBR ISO 14001:2004 não fornece nenhuma diretriz para tratar estes casos. A teoria da decisão permite o tratamento matemático das consequências por meio da utilização da probabilidade subjetiva, as consequências são expressas em termos de valores esperados, visto que eles estão associados a uma probabilidade de ocorrência. Este ferramental permite que as decisões em ambientes de incerteza sejam modeladas, permitindo que os decisores tenham uma visão do global do problema, incluindo as incertezas envolvidas.

O resultado final da modelagem das consequências indica qual das alternativas é a mais vantajosa. Para chegar-se a essa conclusão foram utilizados dados que possuem incertezas envolvidas. Se as incertezas forem pequenas e as diferenças entre os resultados esperados das diversas alternativas forem grandes, as incertezas não influenciarão na decisão. No entanto, se as incertezas forem grandes e as diferenças entre os resultados esperados forem pequenas, as incertezas poderão afetar na escolha da melhor alternativa. Para avaliar o nível em que cada variável pode interferir na tomada de decisão, utiliza-se uma ferramenta da teoria da decisão, a análise de sensibilidade, que permite identificar as variáveis cujas incertezas possuem maior impacto na decisão, possibilitando ao decisor refletir sobre a necessidade de alocar mais recursos para refinar os dados dessas variáveis. Esta análise também fornece subsídios para a reavaliação da modelagem do problema e para a identificação de novas alternativas, que poderiam ser consideradas irrelevantes antes do conhecimento do impacto das diversas variáveis na decisão.

Uma questão crucial no processo de tomada de decisão é o momento em que o decisor julga ter os dados suficientes para escolher a melhor alternativa. Não sendo requerido cumprir todas as etapas do processo completo de tomada de decisão. Na medida em que o decisor evolui ao longo das etapas do processo de tomada de decisão, ele amplia sua compreensão do problema e do contexto envolvido. Em alguns casos, a simples compreensão dos objetivos envolvidos, associado ao pensamento focado no valor, já é suficiente para tornar claro qual é a melhor alternativa, ou a criação de novas alternativas possibilita a identificação de uma que seja melhor que as demais no atendimento a todos objetivos envolvidos. Em casos mais complexos, pode ser necessária a definição dos *trade-offs* envolvidos, a determinação das probabilidades subjetivas envolvidas, bem como a realização da análise de sensibilidade. Outros fatores relevantes na definição do momento de concluir o processo de tomada de decisão são o tempo e os recursos disponíveis, que podem obrigar o decisor a tomar a decisão, mesmo julgando que seria conveniente aprofundar-se mais no processo. Esta flexibilidade da teoria da decisão em permitir ao decisor escolher o melhor momento de concluir o processo adequa-se à realidade do mundo empresarial, que possui uma dinâmica própria, e agrega valor ao processo de decisão no âmbito dos SGAs. Esta discussão está sintetizada no Quadro 8.

Teoria da Decisão	ISO 14001:2004
Criação de Alternativas Conhecer o contexto Pensamento focado no valor Bloqueios – psicologia cognitiva	Não aborda estes temas É uma fonte de informações
Seleção da melhor alternativa - Árvore de decisão - Probabilidades subjetivas - Avaliação com base nos objetivos - <i>Trade-offs</i> entre os objetivos - ACV	Orientação geral - Aspectos financeiros - Tecnológicos, etc
Análise de sensibilidade	Não aborda este tema

Quadro 8 - Teoria da decisão & ISO 14001:2004

Fonte: Elaborado pelo autor

Conclui-se, portanto, que os SGAs baseados na NBR ISO 14001:2004 e a teoria da decisão são complementares. Os primeiros fornecem dados e requerem que os gestores tomem decisões, porém não recomenda nenhum método para o processo de tomada de decisão. A segunda, define sistemáticas para o processo de tomada de decisão, inclusive para cenários de longo prazo, necessitando de informações para a realização destes processos, sendo os SGAs fornecedores de parte dos dados necessários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: Sistema de gestão ambiental: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14004**: Sistema de gestão ambiental: diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 45p.

BARTELMUS, P. A contabilidade verde para o desenvolvimento sustentável. In: MAY, P. H.; MOTTA, R. S. (Org.). **Valorando a natureza**: análise econômica para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994. cap.9, p.157-176.

BELL, D. E.; SCHLEIFER JUNIOR, A. **Decision making under uncertainty**. Cambridge: Course Technology, 1995. 203p.

BENGTSSON, M.; STEEN, B. Weighting in LCA: approaches and applications. **Environmental Progress**, Hoboken, v.19, n.2, p.101-109, Summer 2000.

BERNSTEIN, P. L. **Desafio aos deuses**: a fascinante história do risco. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997. 389p.

BORMANN, F. H.; KELLERT, S. R. (Ed.) **Ecology, economics and ethics**: the broken circle. Connecticut: Yale University Press, 1991.

BUCHANAN, L; O'CONNEL, A Decision making: a brief history. **Harvard Business Review**, Boston, v.84, n.1, p.33-41, Jan./Feb. 2006

CARVALHO, C. S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas**: uma proposta baseada na análise de decisão. 1996. 192f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **EPS - Environmental Priority Strategies**. Disponível em: <<http://eps.esa.chalmers.se/defaultmethod.htm>>. Acesso em 05 set. 2008.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. **Making hard decisions**: with decision tolls. 2. ed. Belmont: Duxbury Press, 2001. 733p.

COMITE BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. **Interpretação NBR ISO 14001 (2004)**. Rio de Janeiro: CB-38, 2006. 7p. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb38/>>. Acesso em: 02 nov. 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Acidentes ambientais na indústria química e no armazenamento**. São Paulo: Cetesb, 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/acidentes/industriais/introducao.asp>>. Acesso em: 02 mar. 2008.

COMUNE, A. E. Meio ambiente, economia e economistas: uma breve discussão. In: MAY, P. M.; MOTTA, R. S.(Org.). **Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994. cap.4, p.47-49.

DANTAS, E. V. **Tratamento de água de refrigeração e caldeiras**. Rio de Janeiro: José Olímpio Editora, 1988. 370p.

DI TIZIO, I. L. **Cotação Oficial do Dólar – US\$**. Disponível em: <<http://www.ditizio.ecn.br/tabelas/dolar.html>>. Acesso em: 02 mar. 2009.

FISHER, R.; URY, W. **Como chegar ao sim: a negociação de acordos sem concessões**. Rio de Janeiro: Imago, 1985. 143p.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Índice geral de preços**. Disponível em: <http://fgvdados.fgv.br/dsp_gratuitas.asp#>. Acesso em: 27 fev. 2009.

GREGORY, R. S.; KEENEY, R. L. Making smarter environmental management decisions. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v.38, n.6, p.1601-1612, Dec. 2002.

HAMMOND, J. S. et al. **Decisões inteligentes: somos movidos a decisões – como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão**. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2004. 228p.

HORNBY, A. S. **Oxford advanced learner's dictionary of current english**. 7. ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 1780p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA INDUSTRIAL - INMETRO. **Certificados ISO 14001 emitidos no mundo por continentes**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/gestao14001/continentes.asp?Chamador=INMETRO14>>. Acesso em: 08 out. 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **The ISO survey – 2006**. Geneve: ISO, 2007. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/survey2006.pdf>>. Acesso em 08 out. 2008.

JOSEPH, L. A. et al. Teaching students to make better decisions about de environment: lessons from decision sciences. **The Journal of Environmental Education**, Washington, v.32, n.1, p.33-44, Fall 2004.

KAUFMANN, A. **A ciência da tomada de decisão**: uma introdução à praxiologia. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975. 213p.

KEENEY, R. L. Making Better Decision Makers. **Decision Analysis**, Baltimore, v.1, n.4, p.193-204, Dec. 2004.

KEENEY, R. L. **Value-focused thinking**: a path to creative decisionmaking. London: Harvard University Press, 1992. 416p.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.; MEYER, R. F. **Decisions with multiples objectives**: preferences and tradeoffs. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 569p.

KERN, D. Q. **Processos de transmissão de calor**. Rio de Janeiro : Guanabara Dois, 1982. 671p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002. 321p.

MATHESON, D.; MATHESON, J. **The smart organization**: creating value through strategic R&D. Boston: Harvard Business School Press, 1998. 292p.

PALISADE CORPORATION. **User's guide Precision Tree**: decision analysis add-in for Microsoft Excel. 5. ed. Ithaca: Palisade Corporation, 2008. 239p.

PARIKH, J. et al. Padrões de consumo: a força propulsora do esgotamento ambiental. In: MAY, P. M.; MOTTA, R. S.(Org.). **Valorando a natureza**: análise econômica para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994. cap.1, p.1-10.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (Ed). **Chemical engineers' handbook**. 5. ed. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, 1973.

PRODUCT ECOLOGY CONSULTANT. Eco-indicator 99. Disponível em: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/european_lca.htm>. Acesso em: 04 set. 2008.

RAIFFA, H. **Teoria da decisão**: aulas introdutórias sobre escolhas em condições de incerteza. Petrópolis: São Paulo: Vozes, EDUSA, 1977. 346p.

SILVA, R. B. et al. **Manual de termodinâmica e transmissão de calor**. 4. ed. São Paulo: EPUSP, 1972.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Belief in the law of small numbers. **Psychological Bulletin**, Washington, v.76, n.2, p.105-110, 1971.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Judgements under uncertainty: heuristics and biases. **Science**, Washington, v.185, p.1124-1131, 1974.

U.S. TECHNICAL ADVISORY GROUP TO ISO/TECHNICAL COMMITTEE 207. **Clarification of Intent of ISO 14001:2004**. Milwaukee: ANSI/ASQ, 2006.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação- Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 24p.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.11**. 3. ed. Curitiba: Positivo Informática, 2004.

GIRON, F. G.; MARTINEZ, M. L. (Ed.) **Applied decision analysis**. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1998. 257p.

GLOSSÁRIO

Aspectos ambientais	Elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente.
Desempenho ambiental	Resultados mensuráveis da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais.
Impacto ambiental	Qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização.
Meio ambiente	Circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações.
Melhoria contínua	Processo recorrente de se avançar com o sistema da gestão ambiental com o propósito de atingir o aprimoramento do desempenho ambiental geral, coerente com a política ambiental da organização.
Meta ambiental	Requisito de desempenho detalhado, aplicável à organização ou a parte dela, resultante dos objetivos ambientais e que necessita ser estabelecido e atendido para que tais objetivos sejam atingidos.
Objetivo ambiental	Propósito ambiental geral, decorrente da política ambiental, que uma organização se propõe a atingir.
Organização	Empresa, corporação, firma, empreendimento, autoridade ou instituição, ou parte ou uma combinação desses, incorporada ou não, pública ou privada, que tenha funções e administração próprias.
Parte interessada	Indivíduo ou grupo interessado ou afetado pelo desempenho ambiental de uma organização.
Política ambiental	Intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental, conforme formalmente expresso pela Alta Administração. A política ambiental provê uma estrutura para ação e definição de seus objetivos ambientais e metas ambientais.
Prevenção de poluição	Uso de processos, práticas, técnicas, materiais, produtos, serviços ou energia para evitar, reduzir ou controlar (de forma separada ou combinada) a geração, emissão ou descarga de qualquer tipo de poluente ou rejeito, para reduzir os impactos ambientais adversos.

APÊNDICE A - Custos da Cobrança da Água

No caso do trocador de calor há três possibilidades relacionadas ao início da cobrança. A cobrança é iniciada após 10 anos, neste caso não há custo a ser considerado, pois o horizonte do estudo é de 10 anos. Na segunda opção cobrança inicia-se entre 5 e 10 anos, era considerada a média desses períodos, ou seja, a cobrança terá início após 7,5 anos. De forma similar, será considerado que para a terceira opção, início da cobrança entre 0 e 5 anos, a mesma começará em 2,5 anos. Os seguintes dados foram utilizados no cálculo:

-A taxa de juros utilizada é de 15% aa ou 1,17% ao mês

-Volume de água igual a 10 m³/h ou 7.200 m³/mês.

-Os períodos equivalem a um mês.

O cálculo foi realizado com auxílio do software Excel e está detalhado na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Custo da Taxação da Captação

Taxa de juros considerada: 15% ao ano ou 1,17% ao mês				
		Custo da Água	R\$ 0,01/m ³	R\$ 0,10/m ³
Início da Cobrança no Período	Valor do desembolso mensal (R\$)	72	720	
91 (7,5 anos)	Número de Períodos	29,00	29,00	
	Valor do Fluxo de caixa do período 91 ao 120, no período 91	-1.761,64	-17.616,44	
	Valor Presente no período 1	-617,57	-6.175,67	
31 (2,5 anos)	Número de Períodos	89,00	89,00	
	Valor do Fluxo de caixa do período 31 ao 120, no período 91	-3.966,21	-39.662,05	
	Valor Presente no período 1	-2.796,60	-27.966,02	

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B - Custos da Restrição da Captação de Água

1 Custo Unitário da Água

1.1 Custo em fevereiro de 2009

Carreta de 30m³

Distância de transporte, ida e volta: 60 Km

Custo por m³: R\$ 13,75/m³

3.1 Custo em dezembro de 1997 –conversão pelo IGPM

O site da Fundação Getulio Vargas (2009) GV, indica que o índice para fevereiro de 2009 é 410,85 e para dezembro de 1997 é 145,69. Portanto, o valor de fevereiro de 2009 deve ser dividido por 2,82.

Custo em dezembro de 1997: R\$ 4,88/m³

4 Custo Total da Compra de Água

Período de compra: meses 61 ao 120

Desembolso mensal: 7.200 m³ X 4,88 R\$/m³ = R\$ 35.136,00

Taxa de Juros: 1,17% ao mês

O resultado do cálculo do valor presente do fluxo de caixa no mês 61 e do valor presente no mês um, calculados com o auxílio do Excel estão detalhados na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Custo da Restrição da Captação

Taxa de juros ao mês	1,170%
Número de Períodos (meses)	60
Custo Mensal (R\$)	35.136,00
Valor do Fluxo de caixa do período 61 ao 120, no período 61 (R\$)	-1.508.695
Valor Presente no período 1 (R\$)	-750.752

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C - Custos do Trocador de Calor e do *Air-Cooler*

1 Carga Térmica

A vazão de vapor a ser condensada era de aproximadamente 8,4 ton/hora, saturado e a uma pressão absoluta de 3,5 Kgf/cm². Segundo Silva et al. (1972, p.C1.2), a entalpia de condensação do vapor saturado é 513,1 Kcal/Kg. A carga térmica é calculada pela formula dada por Kern (1982 p.212)

$$Q = V \cdot \Delta h_c$$

Onde :

Q = carga térmica, em Kcal/h

V = vazão do fluído, em Kg/h

Δh_c = entalpia de condensação, em Kcal/Kg.

Portanto: $Q = 8.400 \text{ Kg/h} \times 513,1 \text{ Kcal/Kg} = 4.310.040 \text{ Kcal/h}$

Entalpia do vapor saturado

2 Vazões do Trocador de Calor

A carga térmica da água de refrigeração é calculada pela formula dada por Kern (1982 p.86)

$$Q = V C \cdot \Delta t.$$

Onde :

Q = carga térmica, em Kcal/h

V = vazão do fluído, em Kg/h

C = calor específico, em Kcal/(Kg.°C)

Rearranjando a fórmula, para calcular a vazão, temos:

$$V = Q / (C \cdot \Delta t).$$

Como a carga térmica removida pela água de refrigeração é a mesma gerada pela condensação do vapor, e a diferença de temperatura da água de refrigeração é de 10 °C – a temperatura de entrada é 30 °C e a de saída é 40 °C, temos:

$$Q = 4.310.040 \text{ Kcal/h}$$

$$\Delta t = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C = 1 \text{ Kcal / (Kg.}^{\circ}\text{C)} - \text{Perry e Chilton (1973)}$$

$$V_{\text{Aref}} = 431.000 \text{ Kg/h}$$

3 Vazões da Torre de Resfriamento

O dimensionamento de trocadores de calor casco tubo é influenciado por dois fatores principais: as vazões dos fluídos; e pela carga térmica a ser trocada entre os fluídos. Segundo Dantas (1988, p.10-16), as perdas por evaporação, por arraste e por purga em uma torre de resfriamento são dada pelas seguintes fórmulas:

$$E = 0,00185.(\Delta t.V) \text{ onde:}$$

$$E = \text{perdas por evaporação, em m}^3/\text{h}$$

$$V = \text{vazão da água de refrigeração, em m}^3/\text{h}$$

$$\Delta t = \text{diferença de temperatura da água de refrigeração na entrada e na saída da torre, em }^{\circ}\text{C}$$

$$R = \alpha.V, \text{ para torres novas o valor adotado é } 0,0005$$

$$R = \text{perda por arraste em torres de refrigeração}$$

$$P = E / (C-1) - R$$

$$P = \text{água purgada para manter a concentração de sais dentro de valores aceitáveis}$$

C = ciclo de concentração, relação entre a concentração de um sal na água de refrigeração e sua concentração na água de alimentação. Esta relação era de aproximadamente 5.

$$A = P+R+E$$

A = vazão de água que necessita ser alimentada à torre de resfriamento para compensar as perdas.

Portanto as vazões são:

$$E = 0,00185 \times 10 \times 431 = 7,97 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$R = 0,005 \times 431 = 0,21 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P = 7,97 / (5-1) - 0,21 = 1,78 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 7,97 + 0,21 + 1,78 = 9,96 \text{ m}^3/\text{h}$$

4 Dados para estimativa dos trocadores de calor

a) Air-Cooler

Lado tubos

Vapor de água saturado a 3,5 Kgf/cm²g

Vazão = 8,4 ton/h

b) Trocador Casco-Tubo

b.1) Lado Tubos – Água de resfriamento

Temperatura de entrada: 30 °C

Temperatura de saída: 40 °C

Vazão: 431 m³/h

Número de passes: a ser definido pelo fabricante

b.2) Lado Casco - Vapor

Vapor de água saturado a 3,5 Kgf/cm²g

Vazão = 8,4 ton/h

5 Determinação dos Custos dos Equipamentos

Os custos dos equipamentos foram determinados por uma empresa especializada no projeto e fabricação de trocadores de calor, esses dados estão na Anexo A. Pelo fato da mesma ter solicitado que seu nome não fosse divulgado, todas as referências ao nome da empresa foram removidas das folhas de especificação.

6 Custos da Instalação

Em virtude do equipamento atualmente instalado ser um trocador casco-tubo, a opção pelo *air-cooler* implica num custo adicional para a adequação da área, o que inclui construção de fundações próprias, alteração no *lau-out* das linhas de água de resfriamento e de vapor e construção das instalações elétricas para os ventiladores. A estimativa do custo adicional de instalação é de R\$ 30.000,00.

7 Custos a Serem Considerados

a) Opção pelo *Air-Cooler*:

Equipamento: R\$ 310.000,00

Adequação das Instalações: R\$ 30.000,00

Custo Total da Opção: R\$ 340.000,00

b) Opção pelo Trocador Casco-Tubo

Equipamento: R\$ 250.000,00

Custo Total da Opção pelo Trocador Casco-Tubo: R\$ 250.000,00

c) Correção dos valores para a data em que a decisão foi tomada

Em virtude da decisão ter sido tomada há aproximadamente 10 anos, é necessário deflacionar os custos. O indicador utilizado é o Índice Geral de Preços do Mercado (IGPM).

A correção por um indicador de inflação não assegura que o valor calculado seja o valor efetivo da época. Os índices de inflação refletem a inflação média de um período, fatores como elevação dos custos do aço, ocorrido nos últimos três anos, tem um impacto sobre a

média dos preços, porém, o impacto nos preços dos produtos que os utilizam aço é maior que o impacto causado na inflação média. Portanto, mesmo utilizando-se cotações realizadas por empresas especializadas, os preços dos equipamentos na data em que a decisão foi tomada apresentam incertezas.

Segundo a Fundação Getulio Vargas (2009), o índice do IGPM em dezembro de 1997 era 145,69 e em dezembro de 2008 era de 411,57, portanto, os valores de fevereiro de 2008 devem ser divididos por 2,82 para serem convertidos nos valores de dezembro de 1997. Portanto, os valores a serem considerados são:

- 5 Custo Total da Opção pelo Trocador Casco-Tubo: R\$ 88.500,00
- 6 Custo Total da Opção pelo *air-cooler*: R\$ 120.350,00

APÊNDICE D - Avaliação de Probabilidades Discreta

Clemen e Reilly (2001) sugere três métodos para avaliar a probabilidade subjetiva, primeira é a abordagem direta; neste caso, pergunta-se diretamente ao especialista ou tomador de decisão qual a probabilidade que ele julga estar associada a um dado evento.

O segundo método consiste em perguntar ao especialista ou tomador de decisão qual a aposta que ele aceitaria fazer. A idéia é determinar a quantidade de ganho e perda que torna a opção de aposta indiferente para o tomador de decisão. Se os valores de ganho ou perda fazem com que a escolha da opção em que se deve apostar seja indiferente, então o valor esperado da aposta é o mesmo, independentemente da opção feita. A partir desta igualdade é calculada a probabilidade subjetiva.

Um exemplo, referente à construção de uma ETE, esclarece a aplicação deste método: uma organização está decidindo sobre o projeto de uma estação de tratamento de efluentes, a legislação em vigor define os padrões de lançamento de efluente a serem atendidos, porém, existe um projeto de lei que tornará mais restritivo os padrões de lançamento. Se for aprovado o projeto de lei, o custo da estação de tratamento de efluentes que atende aos novos requisitos será maior que o custo da estação de tratamento convencional, que atende aos requisitos atuais. Existe a opção da ampliação da estação convencional, e, caso seja aprovada a nova legislação, realizar modificações na estação convencional para adequá-la às novas exigências, porém, o custo da estação convencional somado ao custo das modificações necessárias é maior que o custo de construir a estação que atenda à nova legislação. Neste caso, o conhecimento da probabilidade da nova lei ser aprovada é importante para a tomada de decisão. A forma de avaliar a probabilidade subjetiva baseia-se em perguntar ao tomador de decisão ou especialista qual das apostas ele prefere:

Aposta A: Ganhar X se a legislação for aprovada nos próximos 10 anos

 Perder Y se a legislação não for aprovada nos próximos 10 anos

Aposta B: Perder X se a legislação for aprovada nos próximos 10 anos

 Ganhar Y se a legislação não for aprovada nos próximos 10 anos

Se as apostas A e B são indiferentes para o tomador de decisão, então o valor esperado das duas apostas são iguais, tem-se então:

$P(LA)$ = probabilidade da legislação ser aprovada

$P(LNA)$ = probabilidade da legislação não ser aprovada = $1-P(LA)$

$X \cdot P(LA) - Y \cdot [1 - P(LA)] = -X \cdot P(LA) + Y \cdot [1 - P(LA)]$

Isolando $P(LA)$, temos:

$P(LA) = Y / (X + Y)$

Ao ser encontrado os valores de X e Y que tornam as apostas A e B indiferentes, o valor da probabilidade subjetiva pode ser determinado.

O terceiro método, sugerido por Clemen e Reilly (2001), é uma alternativa ao segundo método, pois o tomador de decisão pode ter restrições pessoais a fazer apostas. O método consiste em propor duas loterias, a primeira loteria é baseada na própria questão em estudo, com um prêmio claramente vantajoso em relação ao segundo prêmio, e a segunda loteria é a loteria de referência com os mesmos prêmios da primeira loteria. A árvore de decisão que representa esta situação é mostrada na Figura 23.

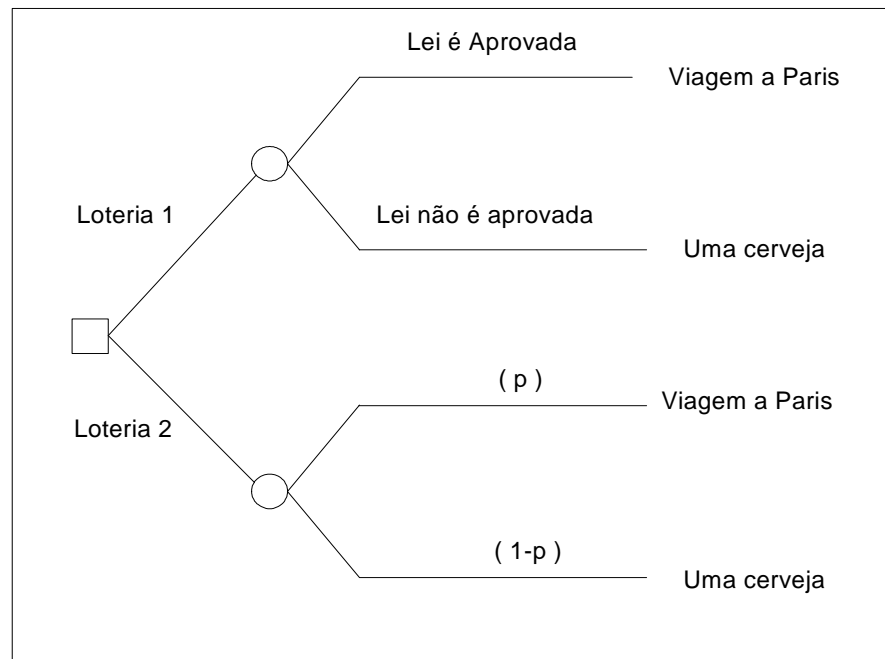


Figura 23 - Árvore de decisão referente à determinação de probabilidades subjetivas

Fonte: Clemen e Reilly (2001)

Em casos onde os eventos não são independentes, é importante checar a coerência entre as probabilidades obtidas, se é avaliada a probabilidade $P(A)$, $P(B/A)$ e $P(A \text{ e } B)$, então esses valores devem atender à equação $P(B/A) = P(A \text{ e } B) / P(A)$; se isto não ocorrer é necessário reavaliar as probabilidades.

APÊNDICE E - Avaliação da Probabilidade Contínua

Uma técnica para avaliar uma probabilidade contínua é determinar diversas probabilidades acumuladas, e usar esses dados para traçar o gráfico da Função de Probabilidade Acumulada. Determina-se as probabilidades $P (A \leq X)$, usando-se um dos métodos utilizados para determinação de uma probabilidade discreta. Se A for a ocorrência de uma reclamação da comunidade contra a empresa por odor num dado intervalo de tempo, podem ser determinadas as probabilidades de haver uma reclamação no horizonte de 2, 4, 6, 8 e 10 anos. A tabela 7 ilustra uma função de probabilidade hipotética:

Tabela 7 - Probabilidade acumulada

Tempo (anos)	Probabilidade de ocorrer uma reclamação
2	0,05
4	0,15
6	0,35
8	0,60
10	0,95

Fonte: Elaborada pelo autor

É possível usar técnicas cognitivas primárias para avaliar a probabilidade associada a um evento, Tversky e Kahneman (1974) denominaram essas técnicas de heurísticas. Segundo Clemen e Reilly (2001) essas técnicas são simples, porém, estão sujeitas a vários vieses.

APÊNDICE F - Escala de Atributos para Impactos Biológicos Decorrentes da Instalação de uma Usina Termo-Nuclear

Keeney (1992) usa como exemplo de tabela de atributos que considera diversos atributos e seus respectivos *trade-offs* a tabela a seguir:.

Tabela 8 - Escala construída de atributos para impactos biológicos decorrentes da instalação de uma usina termo-nuclear

Nível do Atributo	Descrição do nível do atributo
0	Perda completa de 1,0 milha quadrada de terras que são totalmente utilizadas para agricultura ou totalmente urbanizadas; não há nenhuma perda de comunidades biológicas nativas
1	Perda completa de 1,0 milha quadrada de terras utilizadas principalmente para agricultura (75%) e 25% de florestas em regeneração;
2	Perda completa de 1,0 milha quadrada de terras usadas para agricultura (50%) e 50% de terras impactadas de outras formas (desmatadas ou em estágio inicial de regeneração); não há perdas mensuráveis de pântanos ou de habitats de espécies ameaçadas
3	Perda completa de 1,0 milha quadrada de terras com habitat recentemente impactado (desmatadas ou aradas) com impactos adicionais em áreas vizinhas distantes até uma milha da borda, com habitat previamente impactados; ou perda de 15% de pântanos ou de habitat de espécies ameaçadas
4	Perda completa de 1,0 milha quadrada de terras com uso de 50% para agricultura e de 50% de florestas em regeneração avançada ou outras comunidades não impactadas; 15% de perda de pântanos ou de habitat de espécies ameaçadas
5	Perda completa de 1,0 milha quadrada de comunidades do deserto maduras e não impactadas; 15% de perda de pântanos ou de habitat de espécies ameaçadas
6	Perda completa de 1,0 milha quadrada de florestas regeneradas; ou perda de 50% de animais de grande porte e aves de grande porte; ou perda de 50% de pântanos ou de habitat de espécies ameaçadas
7	Perda completa de 1,0 milha quadrada de comunidade madura ou 90% de perda de pântanos produtivos ou de habitat de espécies ameaçadas
8	Perda completa de 1,0 milha quadrada de florestas virgens e/ou de pântanos e/ou habitat de espécies ameaçadas

Fonte: Adaptado de Keeney (1992, tradução nossa)

A Tabela 8 foi construída tendo o nível zero com o menor impacto biológico e o nível 8 representando o maior impacto biológico possível, e com diversos julgamentos de valor, ou *trade-offs*, implícitos. Os níveis 3, 4 e 5 foram construídos considerando-se que a perda de habitat de espécies ameaçadas e a perda de pântanos são igualmente importantes. O nível 4 considera

que florestas em regeneração avançada possuem o mesmo valor que outras comunidades (que não sejam florestais) não impactadas (KEENEY, 1992).

A Tabela 8 já inclui os *trade-offs* entre os diversos atributos que envolvem a determinação dos impactos biológicos, porém, não são apenas os impactos biológicos que influenciam a decisão do local em que uma usina termo-nuclear deve ser construída. Há outros impactos que são analisados, e que, também, podem ser avaliados com base em escalas construídas de atributos, que possibilitarão avaliar os diversos locais em relação aos impactos.

APÊNDICE G - Determinação dos Fatores de Ponderação λ_i pelos Métodos da Substituição dos Pesos e pelo Método dos Pesos da Loteria.

1 – Método da Substituição dos Pesos para determinação dos Fatores de Ponderação λ_i

Clemen e Reilly (2001) usam como exemplo para ilustrar a técnica de Substituição dos Pesos a decisão de compra de um carro, em que os três carros hipotéticos possuem preços, cores e vidas úteis diferentes, conforme indicado na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 - Carros disponíveis

Carro	Preço	Vida Útil	Cor
A	17.000	12	Vermelho
B	8.000	6	Vermelho
C	12.000	6	Amarelo

Fonte: Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Tabela 10 - Substituição dos pesos

Atributos escalonados, do pior para o melhor	Conseqüências em comparação	Ordem de Preferência	Nota	Peso (λ)
Benchmark	6 anos, 17.000, vermelho	4		
Vida Útil	12 anos, 17.000, vermelho			
Preço	6 anos, 8.000, vermelho			
Cor	6 anos, 17.000, amarelo			

Fonte: Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

A primeira linha da tabela 10 representa um carro hipotético, contendo os piores valores de cada atributo, a segunda linha representa o carro que possui a melhor vida útil, a terceira linha, o melhor preço e a quarta linha, a cor preferida. Portanto, a pior opção é a primeira linha, que é a 4^ª em preferência, conforme indicado na coluna Ordem de Preferência.

A próxima etapa consiste na colocação dos carros em ordem de preferência. O decisor deve avaliar as opções e, de acordo com seu julgamento, colocar os carros em ordem de preferência. A

pior opção é dada nota zero, à melhor opção é dada nota 100. A tabela 11 representa o julgamento feito pelo decisor, que priorizou o preço.

Tabela 11 - Substituição dos pesos, com a ordem de preferência definida

Atributos escalonados, do pior para o melhor	Conseqüências em comparação	Ordem de Preferência	Nível de satisfação	Peso (λ)
Benchmark	6 anos, 17.000, vermelho	4	0	
Vida Útil	12 anos, 17.000, vermelho	2		
Preço	6 anos, 8.000, vermelho	1	100	
Cor	6 anos, 17.000, amarelo	3		

Fonte: Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

A próxima etapa é a atribuição das notas às demais opções. Para definir a nota para o carro da segunda linha, a pergunta a ser feita é: que nível de satisfação você teria trocando um carro com vida útil de 6 anos por um com vida útil de 12 anos, com um preço de 17.000, ao invés de 8.000? O nível de satisfação deve ficar entre 0 e 100. Pergunta similar é feita em relação ao carro com cor amarela: que nível de satisfação você teria ao trocar um carro vermelho por outro amarelo, pagando 17.000 ao invés de 8.000. Os julgamentos do decisor estão descritos na tabela 12.

Tabela 12 - Substituição dos pesos, com as notas

Atributos escalonados, do pior para o melhor	Conseqüências em comparação	Ordem de Preferência	Nível de satisfação	Peso (λ)
Benchmark	6 anos, 17.000, vermelho	4	0	
Vida Útil	12 anos, 17.000, vermelho	2	75	
Preço	6 anos, 8.000, vermelho	1	100	
Cor	6 anos, 17.000, amarelo	3	10	

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

A determinação dos pesos é feita considerando-se que a soma deles deve ser igual a 1, dividindo-se o nível de satisfação de um dado atributo pela somatória dos níveis de satisfação de todos os

atributos. Para o caso do atributo vida útil, $\lambda_p = 100/(100+75+10+0) = 0,541$, a tabela 13 mostra os resultados.

Tabela 13 - Substituição dos pesos, com os pesos

Atributos escalonados, do pior para o melhor	Conseqüências em comparação	Ordem de Preferência	Nível de Satisfação	Peso (λ)
Benchmark	6 anos, 17.000, vermelho	4	0	
Vida Útil	12 anos, 17.000, vermelho	2	75	$\lambda_v = 0,405$
Preço	6 anos, 8.000, vermelho	1	100	$\lambda_p = 0,541$
Cor	6 anos, 17.000, amarelo	3	10	$\lambda_c = 0,054$
Total			185	1,000

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Com a determinação dos pesos, a função de valor aditiva está completa:

$$V(\text{preço; vida útil, cor}) = \lambda_p V(p) + \lambda_v V(v) + \lambda_c V(c)$$

É importante ressaltar que o Nível de Satisfação utilizado na determinação dos pesos não é o valor dos atributos ($V(x_i)$). O Nível de Satisfação avalia como a satisfação varia ao realizar-se os *trade-offs* entre os diversos atributos. Os valores dos atributos são definidos a partir das escalas de atributos específicas para cada atributo. A tabela 14 mostra as escalas de atributos.

Tabela 14 - Escalas de atributos para a decisão de compra de um carro

Valor da função $V(x_i)$	Preço		Vida Útil		Cor	
	Valor do Atributo	$V(p)$	Valor do Atributo	$V(v)$	Descrição do Atributo	$V(c)$
Máximo	8.000	100	12	100	Amarelo	100
A ser definido	P	$V(p)$	V	$V(v)$	Outra cor	$V(c)$
Mínimo	17.000	0	6	0	Vermelho	0

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Os valores que a função aditiva de valor assume para outras opções de carros com outros preços e diferentes vidas úteis, são calculadas por interpolação, já o valor da função para outra cor deve ser avaliada pelo tomador de decisão, considerando-se que amarelo representa 100% de satisfação e a cor vermelha representa satisfação zero.

Com os valores dos pesos (λ) e da função de valor aditivo para cada atributo, a função pode ser usada para avaliar cada uma das opções existentes.

$$V(\text{preço; vida útil, cor}) = 0,541V(p) + 0,405V(v) + 0,054V(c)$$

O carro que deve ser o escolhido é aquele que apresentar o maior valor para a função de valor aditivo.

Deve ser ressaltado que os carros que podem ser avaliados por esta função devem ter os atributos dentro das faixas máximas e mínimas avaliadas. Para avaliar atributos fora destas faixas, o decisor deve reavaliar seus julgamentos e construir uma nova função de valor aditiva, pois nada garante que a extrapolação dos resultados da função para fora das faixas iniciais continue a representar a preferência do decisor. Por este motivo, é importante que na elaboração da função sejam considerados os valores extremos com que o decisor pode se deparar na tomada da decisão.

2 Método dos Pesos da Loteria, para determinação dos Fatores de Ponderação λ_i

Clemen e Reilly (2001) utilizam o mesmo exemplo da decisão de compra entre três carros distintos, citado no item anterior, para ilustrar esta técnica. A técnica consiste em apresentar ao decisor duas opções, sendo que uma das opções apresenta duas possibilidades, ter o carro com os melhores atributos, com uma probabilidade p ou ter o carro com os piores atributos com a probabilidade $1-p$. A outra opção não apresenta incerteza, o carro terá um dos atributos com a melhor pontuação e os demais atributos com a pior pontuação. Essas situações são apresentadas de forma esquemática na figura 24.

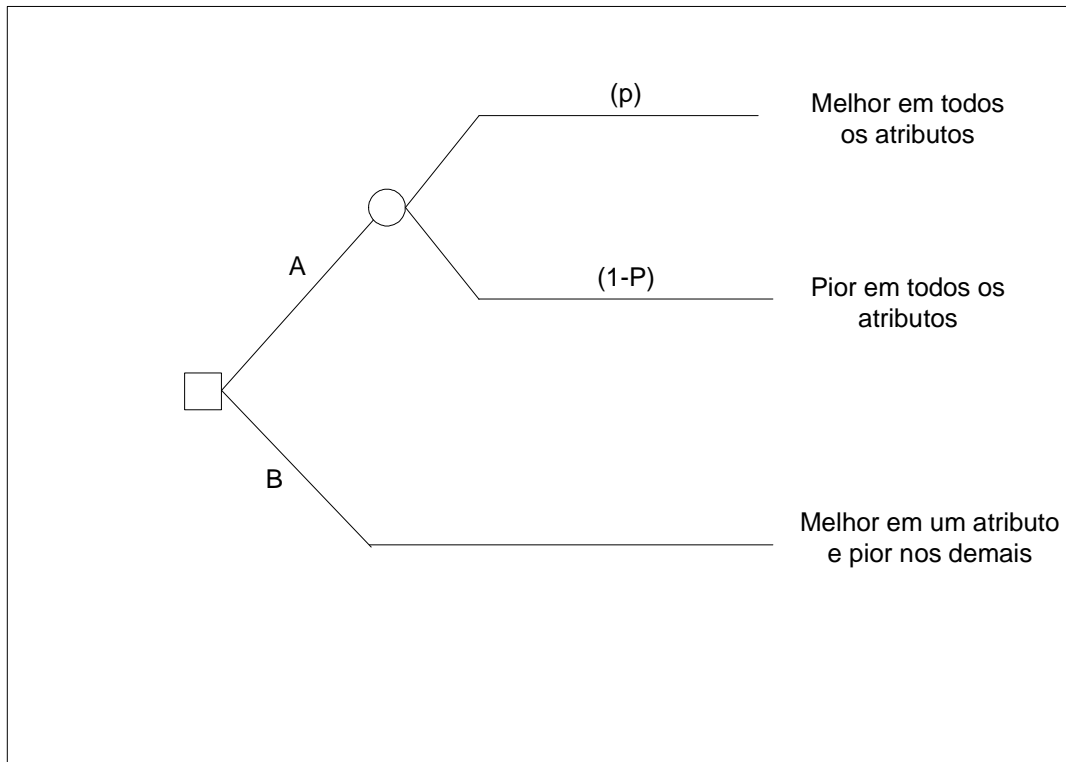


Figura 24 - Avaliação do peso dos atributos usando a técnica das loterias I
Fonte: Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Iniciando a avaliação pelo preço, pergunta-se ao decisor qual a probabilidade p que torna as opções A e B indiferentes.

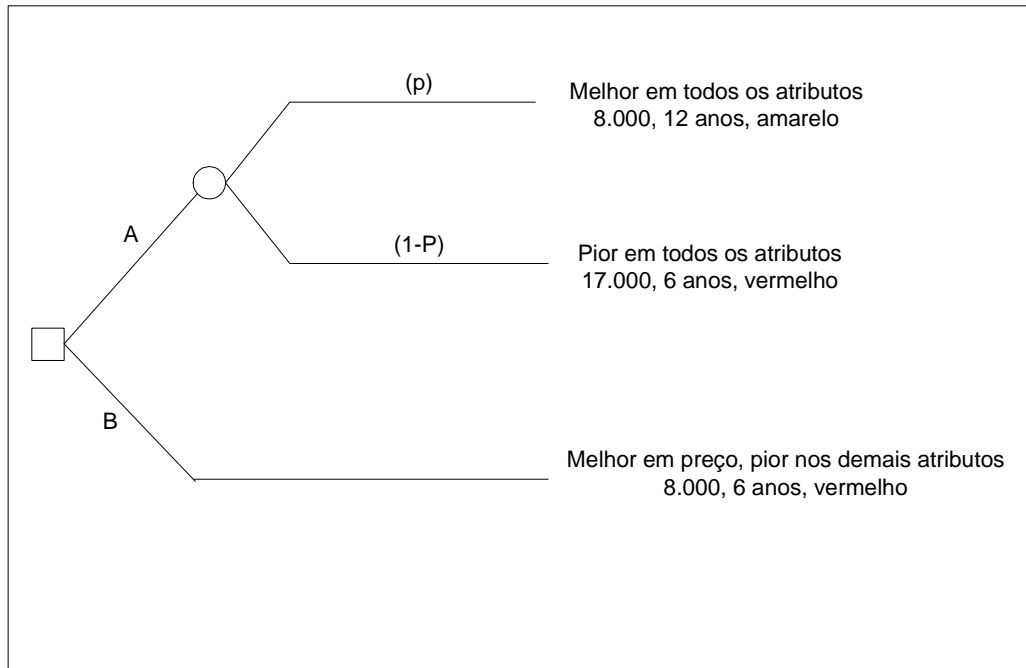


Figura 25 - Avaliação do peso dos atributos usando a técnica das loterias II
 Fonte: Clemen e Reilly (2001, tradução nossa)

Admitindo-se que o decisor indique que a probabilidade é 0,55, iguala-se as duas funções de valor aditiva para as opções A e B

$$\begin{aligned} &\lambda_P V_P(8000) + \lambda_V V_V(12) + \lambda_C V_C(\text{Amarelo}) = \\ &0,55[\lambda_P V_P(8000) + \lambda_V V_V(12) + \lambda_C V_C(\text{Amarelo})] + \\ &0,45[\lambda_P V_P(17000) + \lambda_V V_V(6) + \lambda_C V_C(\text{Vermelho})] \end{aligned}$$

Como os valores das funções variam de 0 a 1, e foram escolhidos os valores extremos, temos:

$$V_P(8000) = 1; V_V(12) = 1; V_C(\text{Amarelo}) = 1; V_P(17000) = 0; V_V(6) = 0 \text{ e } V_C(\text{Vermelho}) = 0.$$

Substituindo-se na equação temos:

$$\lambda_P = 0,55 (\lambda_P + \lambda_V + \lambda_C)$$

Como $\lambda_P + \lambda_V + \lambda_C = 1$, temos:

$$\lambda_P = 0,55$$

Ou seja, o valor da probabilidade que leva à indiferença entre as duas opções é o peso do atributo que tem o melhor valor na opção B.

Para se determinar os valores de λ_V e λ_C , repete-se a pergunta ao decisor, alterando-se na opção B o atributo que possui o melhor valor.

APÊNDICE H - Detalhes das Diversas Perspectivas do Método Ecoindicator 99

Segundo o site da Product Ecology Consultant (2008) empresa holandesa responsável pelo software Ecoindicator 99, na perspectiva hierarquista, a contribuição da saúde humana e da qualidade do ecossistema é de 40% para cada um e recursos naturais contribui com 20%. Os efeitos respiratórios e o aquecimento global dominam os danos para a saúde humana; o uso da terra domina os danos para a qualidade do ecossistema; e o uso de combustível fóssil domina os recursos naturais. A figura 26, ilustra a contribuição de cada um dos impactos.



Figura 26 - Contribuição de cada impacto na perspectiva hierarquista
 Fonte: Product Ecology Consultant (2008)

Na perspectiva igualitária, a qualidade do ecossistema responde por 50% do resultado total. A figura 27 ilustra a contribuição de cada fator.

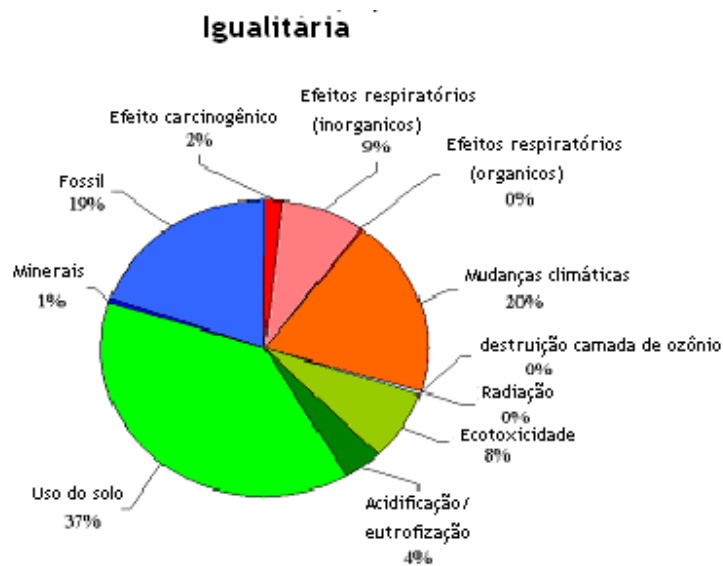


Figura 27 - Contribuição de cada impacto na perspectiva igualitária
 Fonte: Product Ecology Consultant (2008)

Na terceira perspectiva, a saúde humana é a mais importante, a depleção das reservas de combustíveis fósseis não representa um dano, reduzindo a importância dos recursos não renováveis. A figura 28 detalha a perspectiva Individualista.

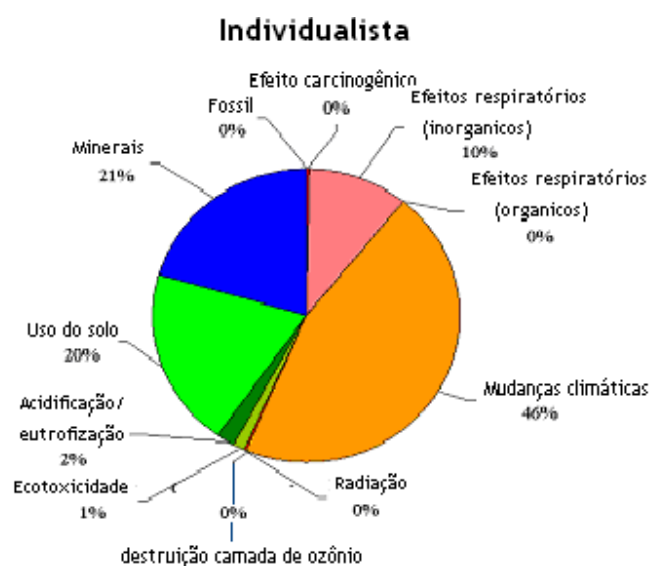


Figura 28 - Contribuição de cada impacto na perspectiva individualista
 Fonte: Product Ecology Consultant (2008)

O site da Product Ecology Consultants (2008) esclarece que as contribuições das categorias dos danos dependem do peso atribuído pelo painel à contribuição de uma categoria de impacto, dentro de uma categoria de dano, é determinada pela modelagem do dano.

APÊNDICE I - Avaliação dos Impactos Ambientais com a Utilização de Diferentes Métodos de Análise de Ciclo de Vida.

Para ilustrar as diferenças nos fatores de ponderação, resultantes da aplicação dos métodos Ecoscarcity 97; EDIP; EPS 2000d e Ecoindicator 99, Bengtsson e Steen (2000) refere-se à escolha do material a ser utilizado como envelope para um jornal científico. As opções são a utilização de um envelope de papel de 20 gramas ou de polietileno pesando 5 gramas. O jornal é transportado por avião até os aeroportos locais, e depois distribuído para os assinantes por caminhões. Se for utilizado o papel, 20% é reciclado e 80% é descartado no lixo comum. A porcentagem do papel reciclado destinado à substituição de papel novo é de 95% e 5% é incinerado com recuperação da energia. A maior parte do lixo doméstico é destinada a aterros sanitários, 80% e o restante é incinerado com recuperação de energia. Se o polietileno é utilizado, 100% é descartado no lixo comum. Nos sistemas de incineração, o calor recuperado do papel ou do polietileno substituem uma matriz energética composta por 10% de óleo combustível, 40% de carvão e 50% de energia recuperada.

A figura 29 apresenta os impactos ambientais calculados para cada uma das opções pelos diversos métodos de ponderação. Os resultados estão normalizados de forma que o maior resultado de cada método seja igual a um. Nas figuras 30 e 31, são apresentadas as contribuições individuais de cada emissão para o impacto total, resultante das diferentes sistemáticas de ponderação de cada método.

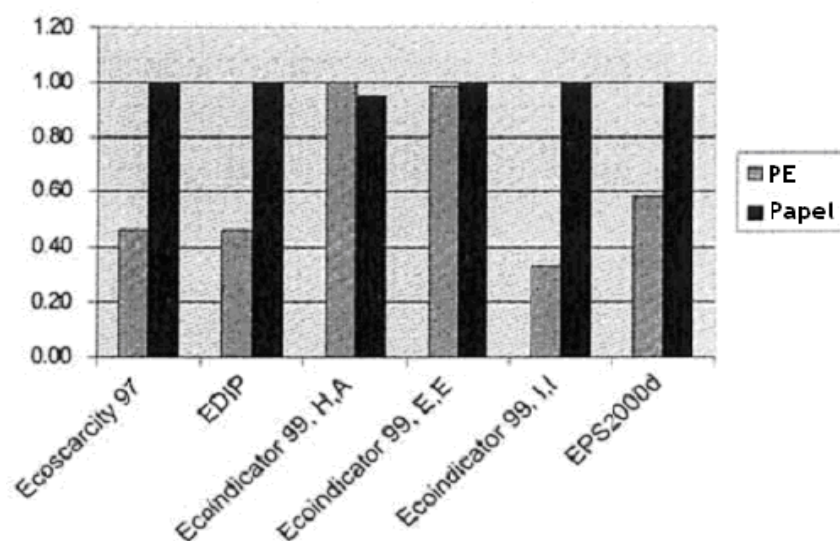


Figura 29 - Comparação dos impactos ambientais devido à utilização de envelope de papel ou de polietileno

Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

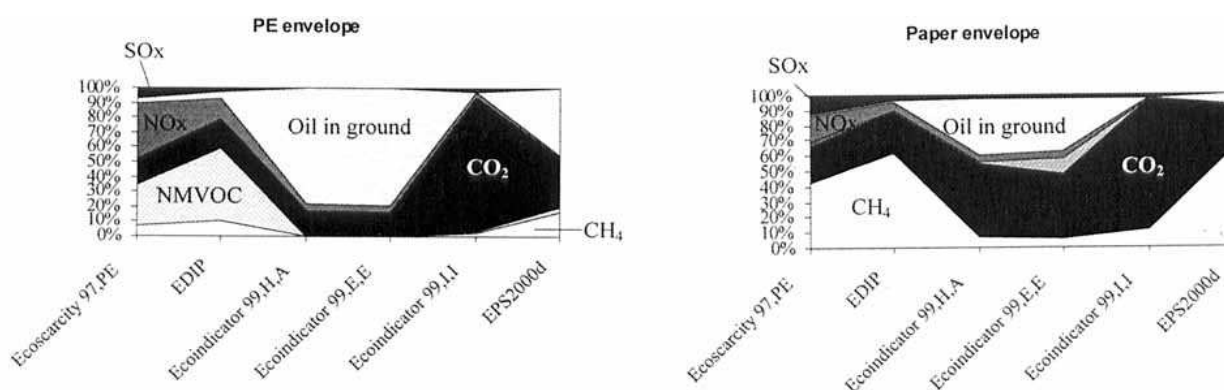


Figura 30 - Contribuição relativa para impacto total resultante de cada um dos métodos para o envelope de polietileno

Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

Figura 31 - Contribuição relativa para impacto total resultante de cada um dos métodos para o envelope de papel

Fonte: Bengtsson e Steen (2000, tradução nossa)

A figura 30 mostra que o impacto ambiental total do envelope de papel é significativamente maior que o do envelope de polietileno, segundo os métodos Ecoscarcity 97, EDIP, Ecoindicator 99, I,I e EPS 2000d. A diferença entre os impactos ambientais do papel e do polietileno é menor quando aplicado o método Ecoindicator 99 E,E. Porém quando o método aplicado é o

Ecoindicator 99 H,A a situação se inverte e o impacto do envelope de polietileno passa a ser maior que o do envelope de papel.

Os autores analisam os resultados e esclarecem que observando-se as figuras 30 e 31, constatando que nos métodos baseados no critério distância-da-meta, Ecoscarcity 97 e EDIP, as emissões que possuem regulamentações mais abrangentes apresentam praticamente a mesma contribuição para o impacto total. Os métodos baseados na modelagem dos danos, Ecoindicator e EPS, tem maior foco nos assuntos com maior impacto no futuro, como o aquecimento global (dióxido de carbono e metano) e na depleção dos combustíveis não renováveis.

ANEXO A – Detalhamento e Custos dos Trocadores de Calor

Os custos dos equipamentos foram determinados por uma empresa especializada no projeto e fabricação de trocadores de calor. Pelo fato da mesma ter solicitado que seu nome não fosse divulgado, todas as referências ao nome da empresa foram removidas das folhas de especificação, e será utilizado o nome fictício de Cascos & Hélices Ltda.

Custos dos Equipamentos

Air-Cooler: R\$ 310.000,00

Trocador Casco-Tubo: R\$ 250.000,00

Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company: Estudo Casco-Tubos x Air Cooler					
2	Location:					
3	Service of Unit: Condensador de Vapor			Our Reference:		
4	Item No.:			Your Reference:		
5	Date: 29-10-2008	Rev No.: 0	Job No.:			
6	Size 734 --2000	mm	Type BEU	hor	Connected in 1 parallel	1 series
7	Surf/unit(eff.)	67.7	m ²	Shells/unit 1	Surf/shell (eff.)	67.7 m ²
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT					
9	Fluid allocation	Shell Side		Tube Side		
10	Fluid name	Vapor		Agua		
11	Fluid quantity, Total	kg/h	8400	431000		
12	Vapor (In/Out)	kg/h	8400			
13	Liquid	kg/h	8400	431000	431000	
14	Noncondensable	kg/h				
15						
16	Temperature (In/Out)	°C	147.28	147.28	30	39.84
17	Dew / Bubble point	°C	147.28	147.28		
18	Density	kg/m ³	2.33	919.07	997.25	994.49
19	Viscosity	cp	0.014	0.1995	0.7998	0.6554
20	Molecular wt, Vap					
21	Molecular wt, NC					
22	Specific heat	kcal/(kg C)	0.5608	1.0129	1.0008	1.0002
23	Thermal conductivity	kcal/(h m C)	0.025	0.594	0.523	0.533
24	Latent heat	kcal/kg	505.06	505.06		
25	Pressure	kgf/cm ²	4.5		6	
26	Velocity	m/s		13.82		2.41
27	Pressure drop, allow./calc.	kgf/cm ²	0.2	0.134	0.8	0.225
28	Fouling resist. (min)	m ² h C/kcal	0.0001		0.0004	
29	Heat exchanged	4242946	kcal/h	MTD corrected		112.29 °C
30	Transfer rate, Service	558.1	Dirty	1156.2	Clean	3974.8 kcal/(h m ² C)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch	
32		Shell Side		Tube Side		
33	Design/Test pressure	kgf/cm ²	6/7.8 /	6/7.8 /		
34	Design temperature	°C	200	80		
35	Number passes per shell		1	2		
36	Corrosion allowance	mm	1.6	1.6		
37	Connections	In	203.2/150 ANSI	355.6/150 ANSI		
38	Size/rating	Out	76.2/150 ANSI	355.6/150 ANSI		
39	mm/	Intermediate	/150 ANSI	/150 ANSI		
40	Tube No. 289Us	OD 19.05	Tks-avg 2.11	mm	Length 2000	mm Pitch 25.4 mm
41	Tube type Plain	Material SA-214 K01807			Tube pattern 30	
42	Shell CS	ID	OD 750	mm	Shell cover CS	
43	Channel or bonnet CS	Channel cover				
44	Tubesheet-stationary SA-516 70	Tubesheet-floating				
45	Floating head cover	Impingement protection Circular plate on bundle				
46	Baffle-crossing SA-516 60	Type single seg	Cut(%d) 44	vert Spacing: c/c 150.37	mm	
47	Baffle-long	Seal type	Inlet		334.46	mm
48	Supports-tube	U-bend	Type			
49	Bypass seal	Tube-tubesheet joint		groove/expand		
50	Expansion joint	Type				
51	RhoV2-Inlet nozzle	2227	Bundle entrance 586	Bundle exit 2		kg/(m s ²)
52	Gaskets - Shell side	Tube Side				
53	Floating head					
54	Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class	B
55	Weight/Shell	2283.5	Filled with water	3414.8	Bundle	1391.2 kg
56	Remarks					
57						
58						

Figura 32 – Folha de Dados do Trocador de Casco e Tubo
Fonte: Cascos & Hélices Ltda

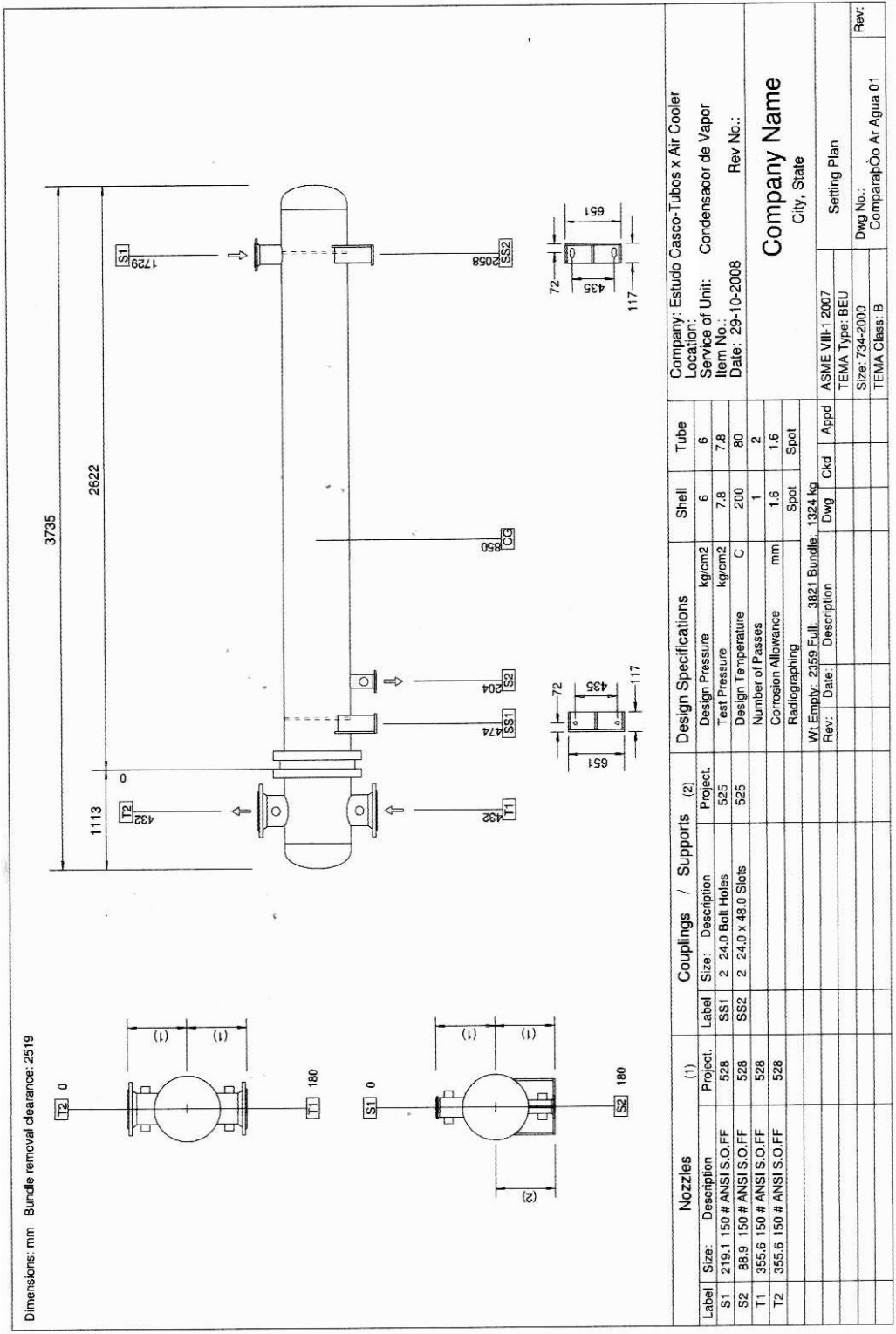


Figura 33 - Dimensional do Trocador Casco-Tubo
 Fonte: Cascos & Hélices Ltda

Air-Cooled Exchanger																						
Data Sheet																						
Proposal Nr	0			Customer	DS Nr					4-26- 0.0000 01												
Order Nr				Project	Alternative																	
1	Item																					
2	Description																					
3	Type				FORCED			Nr Bays		1												
4	Arrangement				Bay Size W x L			2195	X	6656 mm												
5	Heat Exchanged		4250704		Kcal/h		LMTD		63.18	C												
6	Transfer Rate/Finned		35.3		Kcal/m2hC		Extended Surface		1910.0	m2												
7	Fouling Factor		0.00010		m2hC/Kcal		Outside Bare Surface			m2												
8	Product Side																					
9	Product				Vapor			Service														
10	Temperature		In		147.3		C		Out		146.6	C										
11			Liquid		Vapor				Liquid		Vapor											
12	Flow				8400				8400.1			Kg/h										
13	Mol. Weight		18		18				18		18											
14	Density		922.51		2.37				922.63		2.36											
15	Viscosity		0.1854		0.0140				0.1856		0.0140											
16	Specific Heat		1.0225		0.5416				1.0224		0.5480											
17	Latent Heat		505.90						506.01													
18	Conductivity		0.5736		0.0245				0.5736		0.0245											
19	Dew Point				C		Pour Point				C											
20	Condensation						Operation Pressure at Inlet		4.50		Kg/cm2(A)											
21							Allowable/Calc. Pressure Drop		0.10		0.02 Kg/cm2											
22	Air Side																					
23	Inlet Temperature		32.00		C		Average Outlet Temperature		115.39		C											
24	Air Quantity		211596.4		Kg/h		Air Quantity/Fan				m3/s											
25	Static Pressure Drop		27.37		mm W G		Relative Humidity at				%											
26	Air Temperat Min		-17.78		C		Altitude Above Sea level				m											
27	Construction																					
28	Design Pressure		0.0		Kg/cm2		Code		ASME Sec VIII Div. 1/ API 661		U- Stamp: No											
29	Test Pressure		Code		Kg/cm2		Approval Of Documents		Customer		Customer											
30	Design Temperature		C		C		Inspection by		Customer		Customer											
31	Tube Bundle			Header			Tube			High-Fin												
32	Arrangement / Unit			Type			COVER BONETT			Dimensions			25.40 mm									
33	Bundles in Parallel			Material			SA-516-60/70			Wall Thick			2.77 mm									
34	Bays in Parallel			Plug Material						Fin Length			5860 mm									
35	Tube Rows/Bundle			Gasket Material			Flat soft iron			Material			SA-179									
36	Tubes/Bundle			Corr. Allowance			3 mm			FIN			Plain Round									
37	Tube Pitch			Conn Tube - Tubesheet						Dimensions			15.87 mm									
38	Number of Passes			Inlet Number/Size			1			10			in									
39	Split Header			Outlet Number/Size			1			4			in									
40	Flow type			Flange type			ASME #150 WN-RF			SA-105			Bond Type	GFIN								
41	Mechanical Equipment																					
42	Fan			Motor			Drive															
43	Diameter		1824 mm		Arrangement				Type		HTD											
44	RPM		min-1		RPM		1180 min-1															
45	Shaft Power		kW		HP /Motor		15 kW				Accessories											
46	Number of Blades				Cycles		60 Hz		Vibration Switches		Yes											
47	Blades Material		Aluminum		Voltage		440 V		Louvres		No											
48	Nr Fans / Bay		2		Enclosure		IP W 55		Walkway Header		No											
49	Nr Fans / Bay Autovab.		0		Classif.		Zone 2, Group II A/B, T3		Walkway Motor/Fan		No											
50	S. P. L / Fan at 1 m		85 dB(A)						Painting:													
51	Remarks:									According STD Petrobras												
52																						
53																						
54																						
55	Revision		Original		A		B		C		D		E		F		G		H		I	
56	Date																					
57	Elaborated by																					
58	Verified by																					

Figura 34 - Folha de Dados do Air-Cooler
Fonte: Cascos & Hélices Ltda

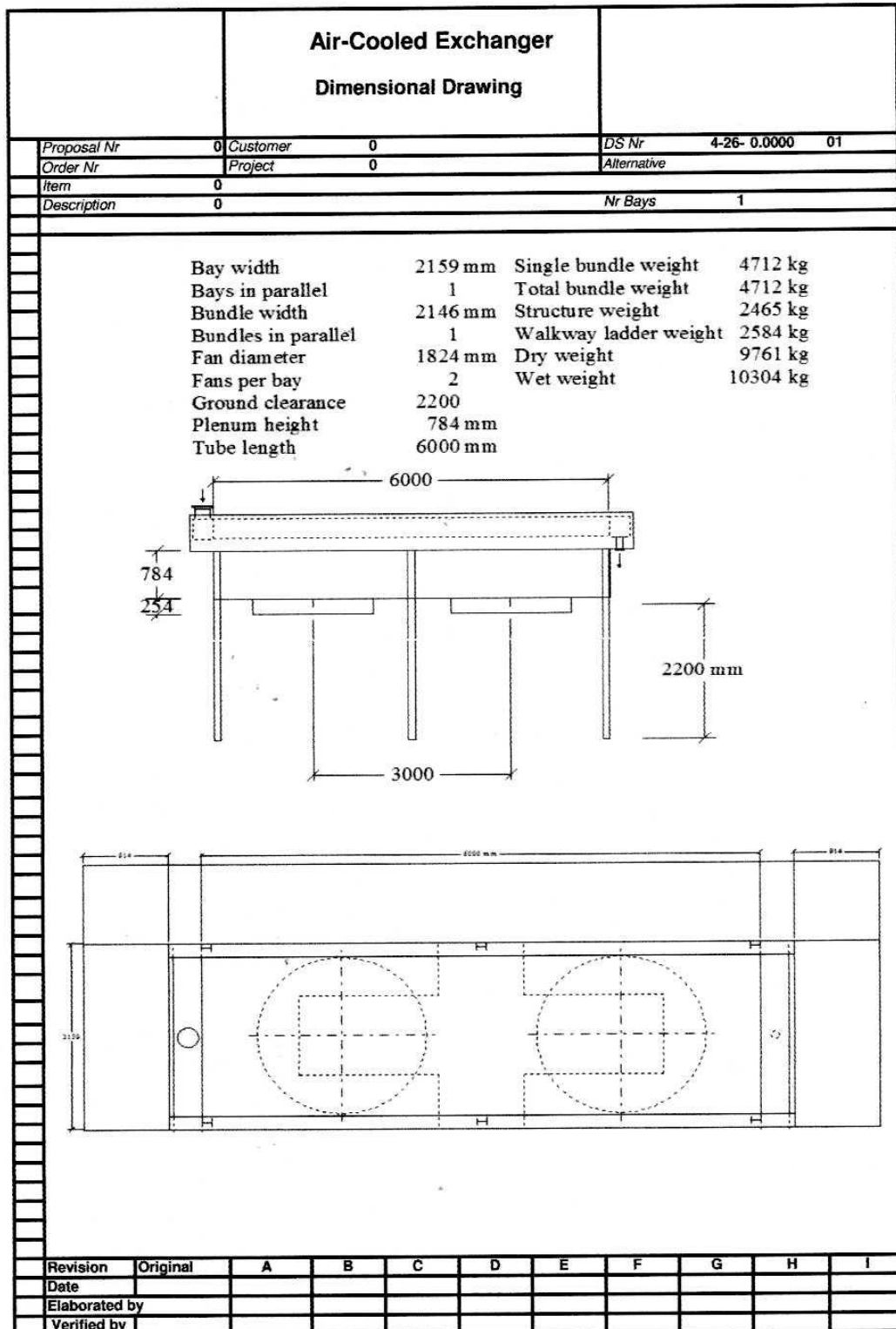


Figura 35 - Dimensional do Air-Cooler

Fonte: Cascos & Hélices Ltda

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)