

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A PRIORIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS NO SETOR DE SISTEMAS DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

**Leandro Valente Nicolau**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A PRIORIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS NO SETOR DE SISTEMAS DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

**LEANDRO VALENTE NICOLAU**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Conclusão  
do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS  
NO SETOR DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

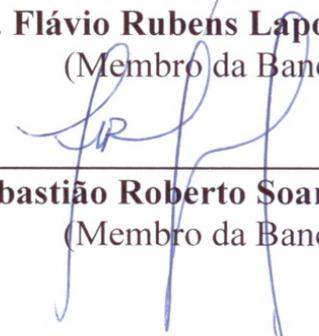
**LEANDRO VALENTE NICOLAU**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental –TCC II**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Peter Batista Cheung**  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Flávio Rubens Lapolli**  
(Membro da Banca)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares**  
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2007**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Peter Batista Cheung, pela orientação na realização deste trabalho.

Aos meus pais, José Antônio e Julia Maria, que me apoiaram e, acima de tudo, sempre me deram as oportunidades necessárias para buscar meus sonhos.

A minha namorada, Adriana, pela compreensão e paciência neste período difícil de minha vida.

A todos os meus familiares, amigos e conhecidos, que estiveram participando direta e indiretamente da conclusão desta nova etapa de minha vida.

"O mundo é perigoso não por causa daqueles que  
fazem o mal, mas por causa daqueles que  
vêm e deixam o mal ser feito"  
Albert Einstein

## RESUMO

Atualmente nos países subdesenvolvidos, como o Brasil, os recursos para investimentos na área de sistemas de esgotamento sanitário, quando existem, são limitados, tendo-se a necessidade de uma priorização de investimentos neste setor. O presente trabalho utiliza a metodologia multicriterial ELECTRE I, concomitantemente à adoção de diferentes cenários, para a hierarquização de oito alternativas reais de investimento. Para priorização destas alternativas ponderou-se sete critérios com diferentes características (social, econômica e ambiental) e estes com o objetivo de uma maior contribuição do desenvolvimento sustentável destes projetos. Para os três cenários propostos, as alternativas melhor hierarquizadas foram as alternativas E e G, sendo que estas se mostraram, dentro dos cenários deste trabalho, melhores perante as demais opções de investimento. Sendo assim, considerou-se a viabilidade dos critérios adotados, bem como a metodologia multicriterial ELECTRE I para a resolução da problemática deste estudo, possibilitando uma melhora no processo de tomada de decisão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise multicriterial, sistemas de esgoto, priorização de investimentos.

## ABSTRACT

At this moment in underdeveloped countries, like Brazil, the resources for investments on the area of sewers systems, when they exist, are limited, having the necessary priority of investments in this sector. The present work uses a multicriterial methodology ELECTRE I, concomitant to the adoption of different sceneries, for the hierarchy of eight real alternatives of investments. For the priority of these alternatives consider seven criterions with different characteristics (social, economic and environmental) with an objective of improving contribution to a sustainable development of these projects. For the tree scenery proposed, the better alternatives hierarchies were the alternatives E and G, which in the scenery of this work, are better than the other choices of investments. As such, these considered the viability of the adopt criteria's as well the multicriterial methodology ELECTRE I for the resolution of the problematic of this study, providing an improvement on the decision making process.

**KEY - WORDS:** Multicriterial analyses, sewer systems, investments prioritization.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>2</b>
2.1 Objetivo geral .....	2
2.2 Objetivo específico .....	2
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>3</b>
3.1 Planejamento Ambiental.....	3
3.2 Tomada de Decisão.....	3
3.3 Métodos Multicriteriais .....	5
3.4 Critérios de Avaliação.....	6
3.5 Escolha do Método Adequado.....	7
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>8</b>
4.1 Critérios Adotados .....	8
4.1.1 Critérios relacionados às características econômicas .....	9
4.1.2 Critérios relacionados às características sociais .....	9
4.1.3 Critérios relacionados às características ambientais .....	10
4.2 Pesos dos Cenários.....	10
4.3 Concepção do banco de dados .....	13
4.4 Detalhamento da metodologia multicriterial a ser utilizada .....	13
4.4.1 Método ELECTRE I .....	14
4.5 Adoção do <i>Software</i> para execução da metodologia.....	18
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>20</b>
5.1 Cenário 1 .....	20
5.2 Cenário 2 .....	22
5.3 Cenário 3.....	23
5.4 Considerações finais .....	25
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>26</b>

**7 REFERÊNCIAS..... 28**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE MATRIZ DE CONCORDÂNCIA .....	15
FIGURA 2 - EXEMPLO DE MATRIZ DE DISCORDÂNCIA .....	16
FIGURA 3 - EXEMPLO DE MATRIZ DE CONCORDÂNCIA PARA “P” $\geq$ 0,7... 17	
FIGURA 4 - EXEMPLO DE MATRIZ DE DISCORDÂNCIA PARA “Q” $\leq$ 0,3 .... 17	
FIGURA 5 -RESOLUÇÃO DO GRÁFICO DE KERNEL PARA O EXEMPLO VISTO .....	18
FIGURA 6 - ENTRADA DE DADOS DO <i>SOFTWARE</i> EXCEL 2003 .....	19
FIGURA 7 - <i>LAYOUT</i> DAS MATRIZES DE CONCORDÂNCIA E DISCORDÂNCIA NO <i>SOFTWARE</i> EXCEL 2003 .....	19
FIGURA 8 - MATRIZ DE CONCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 1 .....	20
FIGURA 9 - MATRIZ DE DISCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 1 .....	20
FIGURA 10 - GRÁFICO DE KERNEL PARA O CENÁRIO 1 .....	21
FIGURA 11 - MATRIZ DE CONCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 2 .....	22
FIGURA 12 - MATRIZ DE DISCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 2 .....	22
FIGURA 13 - GRÁFICO DE KERNEL PARA O CENÁRIO 2 .....	23
FIGURA 14 - MATRIZ DE CONCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 3 .....	24
FIGURA 15 - MATRIZ DE DISCORDÂNCIA PARA O CENÁRIO 3 .....	24
FIGURA 16 - GRÁFICO DE KERNEL PARA O CENÁRIO 3 .....	25

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -PERCENTAGENS ADOTADAS PARA OS CRITÉRIOS DENTRO DE SUAS CARACTERÍSTICAS .....	11
TABELA 2 -PONDERAÇÕES ADOTADAS PARA O CENÁRIO 1 .....	11
TABELA 3 -PONDERAÇÕES ADOTADAS PARA O CENÁRIO 2 .....	12
TABELA 4 -PONDERAÇÕES ADOTADAS PARA O CENÁRIO 3 .....	12
TABELA 5 -DADOS DE ENTRADA PARA A METODOLOGIA MULTICRITERIAL .....	13

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1976, a Organização das Nações Unidas (ONU) globalizou as considerações dos países desenvolvidos com relação ao planejamento do meio ambiente e discutiu alguns critérios de planejamento e de tomada de decisão. Isto é motivado pelos critérios ambientais que tornaram-se obrigatórios nos projetos de engenharia e principalmente na área de infra-estrutura, o que de certa forma causa impactos ao meio ambiente. Tais critérios auxiliam na priorização dos projetos através de uma análise comparativa dos usos e de suas alternativas, uma vez que as demandas são elevadas e os financiamentos limitados.

No Brasil, órgãos de financiamento no setor saneamento, seja público ou privado, têm encontrado dificuldades na alocação de verbas no setor. Considerando a necessidade em se priorizar ações, tais órgãos acabam buscando simples relações sem embasamento teórico, pois adotam critérios subjetivos para justificar as tomadas de decisão e dificilmente leva em consideração o planejamento integrado (ambiental, social e econômico).

A tomada de decisão em planejamento ambiental, especificamente para sistemas de esgotamento sanitário, envolve um grande número de variáveis tanto dos meios físicos e biológicos como dos meios sociais e econômicos, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de uso. Existem disponíveis na literatura científica, diversas ferramentas que permitem reunir vários critérios e valorar os mesmos, para com isso obter diferentes alternativas visando os interesses múltiplos. Segundo ZUFFO (1998), a seleção do método depende do problema particular considerado e das preferências dos tomadores de decisão.

Em vista dos critérios a serem considerados na realização de projetos de sistemas de esgotamento sanitário e suas subjetividades, neste trabalho será utilizada a metodologia Relações das Aproximações Hierárquicas (*Outranking*), que tem como intuito lidar com critérios quantitativos e qualitativos simultaneamente, além de poder considerar alternativas incomparáveis, na qual o decisor não pode ordená-las. Dentre os exemplos de metodologias multicriteriais para a resolução desta problemática, será utilizado, para este trabalho, a metodologia ELECTRE I.

As questões de referência para este estudo são as seguintes: a) A metodologia multicriterial em questão pode ser aplicada ao presente estudo?; b) Os critérios que irão ser adotados são significativos para uma convergência da solução?

Na busca de oferecer uma contribuição com embasamento teórico aos tomadores de decisão, centra-se a pesquisa na aplicação de uma metodologia multicriterial para alocação de recursos na área de sistemas de esgoto doméstico, considerando simultaneamente diferentes aspectos (ambiental, social e econômico).

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por objetivo aplicar e avaliar uma metodologia multicriterial, para auxiliar a tomada de decisão em investimentos na área de sistemas de esgotamento sanitário, sob a ótica de contribuição do desenvolvimento sustentável.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Os objetivos específicos serão: (a) definir e averiguar os critérios usados na análise multicriterial, (b) quantificar e qualificar os pesos dos mesmos, (c) verificar os resultados gerados pela metodologia multicriterial. Para isso, serão estudadas oito alternativas reais de investimentos que envolva tomada de decisão na área de sistemas de esgoto.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

Nos anos 70 e 80, desenvolveu-se a maioria dos métodos de gestão com parâmetros atrelados a conservação do meio ambiente. Os norte-americanos foram os primeiros a se preocupar com os Estudos de Impacto Ambiental (EIA); logo em seguida, países como Canadá (1973), Alemanha (1975), França (1976) e Holanda (1980) evidenciaram as suas preocupações (SANTOS, 1995). Com isso, na década de 80 tem-se uma grande procura por pesquisas voltadas ao uso de métodos multicriteriais, englobando o aspecto ecológico aos aspectos sociais e econômicos.

No Brasil, a preocupação sobre a questão ambiental toma vulto com a criação da SEMA (Secretaria Especial de Meio Ambiente). A preocupação em avaliar impactos e zonedar o ambiente com o intuito de planejá-lo surge em documento legal (PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente) de 1981, através da criação do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente) e do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), cujo regulamento objetiva obter instrumentos eficientes de controle ambiental. Nesse mesmo ano, a Lei 6902/81 estabelece as Áreas de Proteção Ambiental (APA) que visam conservar ou melhorar as condições ecológicas de uma região, e cujo princípio de análise é o zoneamento ambiental. O EIA é implantado somente cinco anos depois, através da Resolução CONAMA 001/86 (ZUFFO, 1998).

O EIA veio como uma ferramenta de planejamento ambiental, que utiliza vários critérios associados a uma tomada de decisão. Com essa linha de pensamento, tem-se seguido outros planejamentos como: Plano Diretor (PD), Zoneamento Ambiental (ZA), Planos de Bacias Hidrográficas (PBH) ou Áreas de Proteção Ambiental (APA) entre outros (SANTOS, 1995).

Todas estas ferramentas norteiam-se em princípios comuns do planejamento ambiental, ou seja, como um processo contínuo, que envolve decisões, ou seleções, a cerca de formas alternativas de utilização de recursos disponíveis, com o objetivo de atingir metas específicas em um determinado período de tempo, no futuro (CONYERS e HILLS, 1984).

Comumente, o planejamento ambiental abrange uma gama de problemas complexos, dos quais se tem certas quantificações de informações e dependências de um grupo de decisores. Por esta estruturação, há necessidade de sistematização organizada para quantificação e qualificação da resposta. Neste caso, os Modelos de Auxílio à Tomada de Decisão (MATD) vem a ser uma ferramenta necessária para este tipo de metodologia, porque têm a capacidade de definir problemas, estruturar diagnósticos, sumarizar resultados, ordenar, solucionar e decidir sobre alternativas e diretrizes (HOLLICK, 1981).

#### **3.2 TOMADA DE DECISÃO**

No desenvolvimento de projetos de sistemas de esgotamento sanitário tem-se focalizado, tradicionalmente, a análise custo/benefício. Com este tipo de escolha, tem-se uma maior ponderação aos custos e uma menor ponderação aos benefícios de um modo geral. Uma análise realista deveria incluir objetivo ambiental, social e regional, além do custo/benefício.

Com o aumento da necessidade de identificar e considerar vários objetivos simultaneamente, a análise de problemas de sistemas em larga escala, algumas ferramentas têm sido criadas ou adaptadas para uma melhor escolha do Tomador de Decisão (DM - *Decision Maker*) (ZUFFO, 1998).

O “Decisor” ou “Tomador de Decisão” é o órgão ou indivíduo que detém o poder de definir, escolher, rejeitar e decidir. “Escolher e preferir são tarefas que o decisor tem de exercer por si próprio, ninguém pode realizá-las por ele, ninguém pode tomar o seu lugar. Mesmo quando, em desespero, ele se abandona ao destino e decidi não decidir” (ZELENY, 1982).

O decisor pode escolher meios que não levam em consideração um processo estruturado, basicamente pela avaliação dos dados e/ou pareceres de especialistas. No entanto, quando se tem certa complexidade do problema a decisão não dependerá de uma única pessoa, e a estruturação do problema e a sistematização das respostas tornam-se fundamentais nestas ocorrências (ZUFFO, 1998).

Em muitos estudos o decisor tem que se prestar a considerar, ouvir e ponderar de uma forma geral, dentre as várias divergências existentes nas opiniões. Isto é necessário para uma conseqüente adequação à tomada de decisão. Em vista de circunstâncias progressivamente mais complexas, torna-se também importante envolver, manter e continuamente rever e atualizar todo um repertório de pontos de vista, valores, opiniões e convicções a cerca da realidade (BANA e COSTA, 1988).

Em muitas situações, a explicação das alternativas a comparar revela-se uma fase crucial e difícil do apoio à decisão, como também, a definição dos critérios de avaliação que só são definidos após a identificação dos pontos de vista a considerar. Também são dependentes das informações e/ou banco de dados disponíveis e da confiabilidade dessas informações (ZUFFO, 1998).

Na fase de análise do sistema de estudo, quando da formulação do problema e da identificação do objetivo principal do processo de avaliação, pretende-se escolher a melhor alternativa ou, também, delimitar o subconjunto das boas, ordená-las decrescentemente na preferência global. Nesta fase, pretende-se comparar as vantagens e desvantagens relativas de decisão potenciais, face a um conjunto de critérios de avaliação. Pode-se, ainda, descrevê-las e caracterizar suas múltiplas conseqüências, de maneira a facilitar a avaliação e comparação dos seus méritos e desvantagens relativos (BANA e COSTA, 1988).

Quando existir um grande número de critérios, mencionados por diferentes autores, pode haver dificuldade de agregação, evidenciando-se a necessidade de consolidação em menor número de critérios. Por outro lado, o número também não poderá ser reduzido a ponto de desconsiderar importantes descrições. Na realidade, novamente a quantidade de critérios é dependente das informações coletadas e da veracidade do banco de dados pesquisados (ZUFFO, 1998).

Uma outra avaliação dá-se na fase de “síntese” em que se pretende elucidar “a alternativa”, usando métodos multicriteriais para alicerçar-se. Com essas ferramentas os Tomadores de Decisão pode-se estar revendo seus pontos de vistas e preferência, para um aprendizado e uma busca da solução.

Segundo Bana e Costa (1988), quando o problema envolve um conjunto pequeno e discreto de objetivos ele geralmente é tratado como problema multicritério ou multiatributo (MCDA – *Multi Criterial Decison Aid*), ou seja, consideram-se os critérios a serem obedecidos para o atendimento dos objetivos estabelecidos. Este problema é caracterizado por um conjunto pequeno de alternativas explicitamente

definidas através das suas valorações, segundo os vários critérios. O resultado da fase de análise dessas alternativas concretiza-se em uma “matriz multicritério de avaliação”.

### 3.3 MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Os métodos multicriteriais tiveram seu início no século XVIII, com pesquisas de Bernoulli, quando modelava as preferências individuais para escolher entre opções com riscos (SILVESTRE, 2002). Estudos posteriores mostraram que os problemas de decisão não podiam ser solucionados baseados somente em um critério.

Segundo ZUFFO (1998), a caracterização desses problemas dá-se pela falta de recurso para uma quantidade de atividades em diferentes áreas, com diferentes objetivos e na maioria das vezes conflitantes entre si, valorizando assim a tomada de decisão.

Na década de 70, pela escassez de verbas e pela preservação do meio ambiente, os decisores procuraram incluir no processo de decisão tanto os fatores concretos (valores definidos monetariamente), como os fatores abstratos (qualidade ambiental, saúde, realização pessoal, dentre outros) no intuito de tomar uma decisão mais racional em resposta às novas exigências da sociedade moderna (RABBANI, 1996).

Em 1972 ocorreu a primeira conferência internacional de análise de multicritério “*First International Conference on Multiple Criteria Decision Making*” consolidando a comunidade científica.

Os pesquisadores norte-americanos na análise multicriterial tiveram suas preferências para uma otimização das decisões dos tomadores de decisão (*Decision Makers – DM*) e demonstrando assim suas preferências em três técnicas: a) Técnicas que geram o conjunto de soluções não dominadas; b) Técnica que incorpora preferências do decisor; c) Técnicas que utilizam uma articulação progressiva das preferências (ZUFFO, 1998).

Os norte americanos tiveram algumas críticas por consequência das suas preferências. Bernard Roy, precursor desses métodos na França, levantou algumas considerações básicas sobre o MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*) (ZUFFO, 1998).

Primeiramente ele critica a escola americana sob o ponto de vista principal da sua abordagem, que é a figura do tomador de decisão (DM).

A segunda preocupação seria quanto a busca de uma “melhor solução” para os objetivos, baseados em teoremas, corolários, conceito e otimização de funções objetivos. Conseqüentemente podendo levar o tomador de decisão a um direcionamento para uma determinada decisão, considerando uma função preferência (ZUFFO, 1998).

Diferentemente da escola americana, os europeus passaram a usar o MCDM com uma nova formação de conceito (MCDA – *Multi-Criteria Decision Aid*). As quais levam em consideração: a) A não existência de um problema isolado; b) Cada observador vê o problema de forma diferente segundo o seu sistema de valores; c) Dependência do observador para a elaboração e estruturação do problema; d) A não segregação dos elementos objetivos dos subjetivos pois, dentro do processo decisório, eles possuem interconexão; e) O decisor pode modificar os seus pontos de

vista iniciais à medida que vai aumentando, durante o processo de seleção de alternativas, seu conhecimento sobre o problema (ZUFFO, 1998).

Percebe-se a divergência das escolas, tendo a escola americana (MCDM) um conjunto de alternativas bem definidas, na qual o problema é solucionado, baseado em um único critério que representa as preferências do decisor e num modelo matemático bem conhecido na busca de uma solução ótima. No caso da MCDM, o paradigma utilizado é o racionalismo. A MCDA, por sua vez, admite que o conjunto de alternativas se modifique com o desenvolvimento do processo. O poder de decisão é representado por um ou mais decisores e as preferências não são bem definidas, devido à percepção, às incertezas e às contradições dos tomadores de decisão envolvidos no processo. Também se observa que não é esperada uma solução ótima somente por meio de um modelo matemático, pois os aspectos culturais, pedagógicos e situacionais também fazem parte do cenário decisório. No caso da MCDA, o paradigma utilizado é o construtivo (ROY, 1996).

### 3.4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

No sentido de atingir um determinado objetivo, normalmente é necessário que diversos critérios tenham de ser avaliados e combinados através de procedimentos que se designam precisamente por Análises de Decisão Multicritério (MALCZEWSKI, 1999).

Um Critério representa uma condição de avaliação, que pode ser quantificado ou avaliado de forma a ordenar as alternativas de decisão em termos do desempenho ou eficácia dessas alternativas. É, portanto, a medida de uma evidência que, entre outras, serve de base para a decisão. Os critérios podem, ainda, ser divididos em Exclusões e Fatores (RAMOS, 2000).

Alternativas ou opções de decisão estão no topo das tomadas de decisão, porque a menos que haja mais de uma alternativa ou modo de proceder, não há escolha a ser feita e nenhuma decisão a ser tomada. Uma alternativa define os valores das variáveis de decisão, que por sua vez são quantidades mensuráveis controladas pelo decisor (CAFISO *et al.* 2002).

Embora em muitas decisões esteja apenas em causa um objetivo, normalmente envolvendo vários critérios, ocorrem também situações em que importa decidir face a diversos objetivos (e também diversos critérios). Este último caso configura um problema multi-objetivo, no qual os objetivos podem ser complementares ou conflituosos. Portanto, duas classes de MCDA podem ser definidas: os multi-atributos (MADA, *Multiattribute Decision Analyses*) e os multi-objetivos (MODA, *Multiobjective Decision Analyses*). MADA e MODA são ainda subdivididas de acordo com o tipo de decisor, que pode ser um único indivíduo ou um grupo. Essas duas categorias são, cada uma, divididas em decisões determinísticas, probabilísticas e nebulosas (*fuzzy*).

Problemas determinísticos assumem que os dados e informações necessários são conhecidos e confiáveis e que existe uma relação determinística conhecida entre cada decisão e a corresponde conseqüência. A análise probabilística assume uma quantidade de incerteza no que tange ao estado do problema e em relação a cada decisão e sua conseqüência, tratando essa incerteza como um processo estocástico. A análise nebulosa também considera a incerteza, tratando-a sob a ótica da imprecisão inerente às informações envolvida no processo decisório (MALCZEWSKI, 1999).

O processo de MCDA considera as preferências dos decisores, que são estabelecidas no momento em que se mede a importância relativa de cada critério e suporta a escolha da melhor (ou mais eficiente) alternativa. O estabelecimento de preferência pode ser *a priori* ou *a posteriori*. Os métodos de articulação *a priori* exigem que o tomador de decisão especifique seus julgamentos com valores, que são traduzidos na escolha particular de alternativas. É um método relevante nos casos em que as preferências do tomador de decisão devem ser justificadas e racionalizadas. Por outro lado, métodos de articulação *a posteriori* (ou progressiva) e preferências permitem ao tomador de decisão explorar o espaço de decisão sistematicamente, sem ter que especificar qualquer preferência anterior. É um método mais aberto à manipulação por usuários qualificados e ainda é menos defensivo quando soluções têm que ser justificadas e racionalizadas (CAFISO *et al.*, 2002).

Outro aspecto a considerar nos processos decisórios é o risco. Em um problema multicritério está implícita a avaliação de diferentes aspectos que contribuem (a favor ou contra) uma decisão. A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles (os melhores, os piores, os médios, ou qualquer combinação) e a forma como uns critérios podem compensar outros, são aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos. Entre as atitudes mais externas de risco na avaliação – pessimistas (conservadoras) e otimistas (arriscadas) – pode haver lugar para cenários de avaliações que sejam mais compatíveis com o problema decisório em questão (RAMOS, 2000).

### 3.5 ESCOLHA DO MÉTODO APROPRIADO

A escolha do método de MCDA é muito importante, uma vez que tem um efeito significativo no resultado final da análise. É então, necessário que esse ponto seja discutido entre todos os autores. As características e propriedades desse método devem ser compatíveis com a natureza específica do problema de decisão e no propósito da avaliação. Com relação à natureza do problema, a alocação de verbas para rede coletoras de esgoto, deve ser considerada como um problema baseado na combinação de diferentes tipos de critérios (qualitativos e quantitativos). Algumas técnicas de MCDA trabalham bem com séries contínuas de alternativas e critérios pertencentes a um domínio (econômico, por exemplo), enquanto outras consideram apenas uma pequena série e de alternativas discretas, mas são mais eficientes para lidar com critérios heterogêneos (JOERIN *et al.*, 2001; LIMA 2003).

Nenhum método se apresenta eficiente para todos os tipos de aplicações em processos decisórios. Além disso, a escolha do método MCDA faz parte da fase de construção do problema e os decisores precisam concordar plenamente com o método escolhido. Os vários tipos de método diferem no modo como as preferências em relação aos vários critérios são especificadas e no modo como as alternativas são ordenadas (hierarquizadas). Os resultados também diferem de uma metodologia para a outra, por exemplo, como um ranking de alternativas, como um ranking de grupos de alternativas ou simplesmente como uma preferência (CAFISO *et al.*, 2002).

Existem vários métodos MCDA, mas duas categorias principais podem ser consideradas: métodos que usam agregação completa, como o MAUT (*Multiple Attribute Utility Function*) e o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), e métodos que usam a agregação parcial, como ELECTRE (*Elimination and Choice Translating*

*Algorithm*) e o PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*). Os dois últimos tipos são chamados métodos de subordinação, do inglês *outranking* (LIMA, 2003).

Joerin *et al.* (2001) afirmam que os métodos *outranking* são mais apropriados para estudos de planejamento do uso do solo, pois podem lidar simultaneamente como critérios quantitativos e qualitativos. Os *scores* dos critérios podem ainda ser mantidos em suas próprias unidades, o que é importante quando esses critérios são relativos a diferentes domínios (por exemplo, econômicos, sociais, ambientais). Além do que, as alternativas podem ser bastante diferentes. Por exemplo, uma situação comum é uma alternativa com muitas vantagens econômicas e sérios impactos ambientais, enquanto outra apresenta as características opostas. Nesses casos, o decisor pode não ser capaz de ordená-las. Essas alternativas são consideradas incomparáveis, e os métodos *outranking* são os únicos que podem considerar essa situação.

Neste trabalho será adotada a teoria vista acima (Relações das Aproximações Hierárquicas - *outranking*), que foi uma das teorias proposta por PARDALOS *et al.* (1995). Essa escolha deu-se por ser uma teoria recentemente proposta, por dividir os principais grupos de métodos existentes e por ser uma hipótese que lida com critérios quantitativos e qualitativos simultaneamente.

O conceito desta família nasceu pelas dificuldades concretas e é atribuído a Bernard Roy. ROY (1968) apresenta o método ELECTRE I (*ELimination Et Coix Traduisant la REalité*) que se baseia nas representações relacionais das preferências do decisor. A partir deste criaram-se algumas variações do método gerando a “Família ELECTRE”. Este método é muito usado pelos europeus, por não incluir os “vícios” de um decisor. No mais, haverá um aprofundamento desta família na metodologia deste trabalho.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CRITÉRIOS ADOTADOS

Segundo Malczewski (1999), para obter um resultado expressivo perante um objetivo, há uma necessidade de que vários critérios sejam avaliados e combinados por meio de uma metodologia que lide com as diferentes características dos seus critérios.

Um critério, como visto no capítulo 3 (item 3.4), é um estado e um julgamento das alternativas em questão, culminando em uma ordenação. Logo, é uma quantificação de uma característica da alternativa, que contribuirá para a tomada de decisão.

As alternativas são consideradas a base para todo o desenvolvimento de uma metodologia multicriterial, porque havendo somente uma alternativa, não haveria necessidade de nenhuma escolha e nenhuma decisão será tomada (CAFISO *et al.* 2002).

Com o intuito de uma melhor hierarquização das alternativas, o presente trabalho tem, como premissa básica para a ponderação, três tipos de características: a) características econômicas; b) características Sociais; c) características Ambientais.

Para a ponderação das Características Econômicas adotaram-se dois tipos de critérios: o critério relacionado ao custo efetivo da execução do sistema de esgoto e os custos relativos ao gasto de energia por estes empreendimentos.

No caso das Características Sociais adotaram-se três tipos de critérios: o critério mudanças induzidas pelas obras, o critério Índice de Desenvolvimento Humano e o critério População Atendida pelo sistema de esgoto.

Por último, as Características Ambientais, que tiveram os critérios a redução de Tanque Séptico e a redução de esgoto a céu aberto.

Para uma maior compreensão dos critérios adotados, segue abaixo as devidas explicações para cada uma das características (econômica social e ambiental).

#### 4.1.1 Critérios relacionados às características econômicas

Energia Elétrica: dado que os projetos de sistemas de esgoto, em sua maioria, detêm equipamentos que geram um custo com o uso da energia elétrica, e estes permeiam por toda a vida do sistema, fora levado em consideração estes valores.

Este critério fora determinado através do gasto de energia, em Reais por mês (R\$/mês), despendido pelas bombas usadas nos projetos de redes de esgoto. Para a quantificação destes custos será usada a fórmula a seguir:

$$C_{energia} = P * N_b * C \quad (01)$$

onde:

$C_{energia}$  = custo em Reais pelo uso da energia;

$P$  = Potência requerida pela bomba em Cavalos Vapor (C.V.)

$N_b$  = número de horas de bombeamento

$C$  = custo unitário de energia elétrica, em Reais por Kilowatts hora.

Para a ponderação do critério de energia elétrica, foram considerados alguns ajustes:

- a) Adotou-se o tempo máximo de 21 horas de bombeamento;
- b) Adotou-se o custo unitário usado pela Companhia de Energia Elétrica de Santa Catarina (Celesc);
- c) Adotou-se para a potência das bombas um rendimento de 75%;

Custo de Implantação: foram considerados para este critério os custos relativos, em reais (R\$), para a implantação dos sistemas de esgotamento sanitário.

#### 4.1.2 Critérios relacionados às características sociais

Mudanças de atividades induzidas pelas obras: por meio das atividades geradas pela execução de sistemas de esgotamento sanitário, ponderou-se este critério.

Para a classificação deste critério foram adotados os conceitos usados pelo Ministério das Cidades na Sistemática 2007. São elas:

- a) Forte: intervenção em ambientes sensíveis ou que provoque (ou implique em) mudanças significativas nas condições de vida da população beneficiada, influenciando as alterações de sua rotina cotidiana (no que tange a mudança de

hábitos ou de padrões/ tradições culturais); intervenções que demande atitudes novas por parte da população.

b) Médio: intervenções cujas mudanças decorrentes no comportamento da população não ocasionem resistência ou estranhamento por parte desta.

c) Baixo: intervenções que não chegue a provocar no comportamento diário da população beneficiada, ou quando esse benefício for indireto, não influenciando em sua relação rotineira com o ambiente onde vive.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): para este critério foi adotada (vide abaixo) uma escala de classificação das alternativas:

- Alto:  $0,7 \leq \text{IDH} < 1,0$ ;
- Médio:  $0,7 < \text{IDH} \leq 0,3$ ;
- Baixo:  $0,3 < \text{IDH} < 0,0$ .

População Atendida: tendo em vista que muitos projetos de esgoto não abrangem 100% da população, este critério abordará o número de habitantes (hab.) atendido com o sistema de esgotamento sanitário.

#### 4.1.3 Critérios relacionados às características ambientais

Redução de Tanques Sépticos: partindo-se do ponto de vista que muitas vezes este tipo de tratamento é executado e operado de uma forma inadequada, apesar de sua validade como tratamento de efluente doméstico, a sua quantificação deu-se na forma da redução, deste tratamento, após a execução do sistema de efluente doméstico.

Redução de esgoto a céu aberto: dado que ainda existem regiões onde não há nenhum tipo de tratamento, lançando muitas vezes seus efluentes em córregos, rios e até mesmo no mar, ponderou-se este critério, através do número de famílias que passaram a lançar o seu efluente adequadamente (coleta, transporte, tratamento e destinação final).

## 4.2 PESOS DOS CENÁRIOS

Para a arbitragem dos pesos relativos para cada um dos critérios escolhidos, foram elaborados três cenários. Cada cenário representou uma maior ponderação a uma das características (econômicas sociais ou ambientais). Esta ponderação deu-se com o intuito de priorizar as alternativas que melhor se demonstrassem dentro dos três cenários.

Dentro das características abordadas (econômica, social e ambiental), cada critério inserido em sua característica específica recebeu uma percentagem do valor estipulado para cada característica, ou seja, os critérios vão compor uma porcentagem de cada característica. Esta percentagem deu-se para todos os cenários descritos. Para a averiguação da percentagem adotada para os critérios encontram-se na tabela 1.

Tabela 1: Percentagem adotada para os critérios dentro de suas características

<b>Características</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Percentagens</b>
Econômicas	Custo de Implantação	40%
	Gasto com energia	60%
	Σ das ponderações	100%
Sociais	Mudanças Induzidas pelas Obras	20%
	IDH	40%
	População Atendida	40%
	Σ das ponderações	100%
Ambientais	Redução de Tanque Séptico	30%
	Redução de Esgoto á céu aberto	70%
	Σ das ponderações	100%

Fonte: Elaboração do autor.

No primeiro cenário, tendo como premissa básica uma maior ponderação das características econômicas, ponderou-se com uma valoração cinco para as características econômicas, três para as características sociais e dois para as características ambientais. Segue abaixo as ponderações adotadas para este cenário (tabela 2).

Tabela 2: Ponderações adotadas para o cenário 1.

<b>Características</b>	<b>Crítérios</b>			<b>Ponderação Cenário 1</b>
	<b>Denominação</b>	<b>Participação</b>	<b>Ponderação</b>	
Econômicas	Custo de Implantação	40%	2,0	5,0
	Custo de Energia	60%	3,0	
	Total:	100%	5,0	
Sócias	Mudanças Induzidas pelas Obras	20%	0,6	3,0
	IDH	40%	1,2	
	População Atendida	40%	1,2	
	Total:	100%	3,0	
Ambientais	Redução de Tanque Séptico	30%	0,6	2,0
	Redução de Esgoto a céu aberto	70%	1,4	
	Total:	100%	2,0	
<b>Total:</b>				<b>10,0</b>

Fonte: Elaboração do autor.

Para o segundo cenário, ponderou-se com maior valoração as características sociais, recebendo estas a ponderação cinco. As características ambientais receberam ponderação três e as características econômicas, ponderação dois. Sendo assim, segue a tabela 3 com as ponderações para o cenário 2.

Tabela 3: Ponderações adotadas para o cenário 2.

Características	Critérios			Ponderação Cenário 2
	Denominação	Participação	Ponderação	
Econômicas	Custo de Implantação	40%	0,8	2,0
	Custo de Energia	60%	1,2	
	Total:	100%	2,0	
Sócias	Mudanças Induzidas pelas Obras	20%	1,0	5,0
	IDH	40%	2,0	
	População Atendida	40%	2,0	
	Total:	100%	5,0	
Ambientais	Redução de Tanque Séptico	30%	0,9	3,0
	Redução de Esgoto a céu aberto	70%	2,1	
	Total:	100%	3,0	
Total:				10,0

Fonte: Elaboração do autor.

Por último, no terceiro cenário, ponderou-se com uma maior valoração as características ambientais, com ponderação cinco. Para as características sociais ponderou-se com o valor três e para as características econômicas ponderou-se com o valor dois.

Tabela 4: Ponderações adotadas para o cenário 3.

Características	Critérios			Ponderação Cenário 3
	Denominação	Participação	Ponderação	
Econômicas	Custo de Implantação	40%	0,8	2,0
	Custo de Energia	60%	1,2	
	Total:	100%	2,0	
Sócias	Mudanças Induzidas pelas Obras	20%	0,6	3,0
	IDH	40%	1,2	
	População Atendida	40%	1,2	
	Total:	100%	3,0	
Ambientais	Redução de Tanque Séptico	30%	1,5	5,0
	Redução de Esgoto a céu aberto	70%	3,5	
	Total:	100%	5,0	
Total:				10,0

Fonte: Elaboração do autor.

### 4.3 CONCEPÇÃO DO BANCO DE DADOS

As informações para o fomento desta metodologia partiram de pesquisas realizadas para os Projetos Básicos de Sistemas de Efluentes Domésticos (2006), para a Diretoria de Vigilância Epidemiológica do Estado de Santa Catarina (2006), pelo IBGE (2006) e pelo Ministério das Cidades (2007), para especificamente, todas as alternativas abordadas nesse trabalho.

O intuito desta pesquisa, com os dados disponíveis, foi quantificar e qualificar os critérios abordados e caracterizar os mesmos, para com isso ter-se com a análise multicriterial uma priorização de investimento.

Com a execução dos procedimentos descritos no item 4.1, obtiveram-se os dados de entrada para a análise multicriterial das alternativas de investimentos. Segue, abaixo, o quadro referido.

**Tabela 5: Dados de entrada para a metodologia multicriterial ELECTRE**

**I.**

Dados de Entrada									
		A	B	C	D	E	F	G	H
Características Econômicas	Custo de Implantação (R\$10 <sup>3</sup> )	39.261,5	8.634,6	5.447,0	5.119,0	1.702,8	1.299,6	533,0	2.860,9
	Custo de Energia Elétrica (R\$)	74.536,0	7.986,0	17.302,8	14.640,8	19.965,0	3.993,0	5.324,0	21.296,0
Características Sociais	Mudanças Induzidas pelas Obras	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto	Baixo	Médio
	IDH	Alto	Médio	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Alto
	População Atendida (hab.)	48.214,0	768,0	809,0	6.435,0	5.275,3	4.950,0	1.751,0	1.789,0
Características Ambientais	Redução de Tanque Séptico (nº de Tanque Séptico)	11.633,0	498,0	94,0	1.875,0	3.003,0	1.340,0	653,0	926,0
	Redução de Esgoto a céu aberto (nº famílias)	267,0	48,0	21,0	375,0	1.280,0	621,0	238,0	11,0

Fonte: Projetos Básicos de sistemas de esgoto (2006), Diretoria de Vigilância Epidemiológica (2006), IBGE (2006) e Ministério das Cidades (2007).

### 4.4 DETALHAMENTO DA METODOLOGIA MULTICRITERIAL A SER UTILIZADA

A escolha da metodologia multicriterial deste trabalho foi baseada nas revisões bibliográficas vistas anteriormente. Sendo assim, o uso de uma metodologia para embasamento de uma possível solução não se torna uma tarefa fácil, que dependerá, entre outras coisas, da familiaridade do tomador de decisão com a(s) metodologia(s) adotada (s).

Nos problemas que envolvem alocação de verbas para sistemas de esgotamento sanitário, os critérios de ordem qualitativa e quantitativa evidenciam-se, além da grande quantidade de informações. Com isso, a escolha da metodologia fica atrelada aos dados disponíveis para o estudo. Após verificação dos dados e avaliação das características da problemática do estudo, evidenciou-se a análise multicriterial da família ELECTRE, por possuir uma maior aceitação para problemas com este cunho (Joerin *et. al*; 2001). O que se descreve sobre a metodologia multicriterial ELECTRE I e II é que, por meio de adoção de pesos para os critérios e comparação entre as alternativas, ir-se-á obter uma hierarquização das alternativas, sem causar uma insatisfação para os critérios adotados.

Para o presente estudo foi realizada uma primeira hierarquização seguindo a metodologia ELECTRE I. Esta metodologia tem por objetivo uma ordenação parcial das alternativas, ou seja, ele irá priorizar as melhores opções dentro dos critérios adotados para a problemática. A ordenação total destas alternativas é dada na metodologia ELECTRE II, que no presente trabalho não será aprofundada.

Para um aprofundamento da metodologia ELECTRE I, segue abaixo a descrição do método.

#### 4.4.1 Método ELECTRE I

Segundo ZUFFO *et al.* (1998), o nascimento da metodologia multicriterial ELECTRE deu-se por BENAYOU *et al* no início da década de 60, sendo logo em seguida aperfeiçoada por BERNARD ROY em 1968.

Evidenciam-se pelos autores três conceitos metodológicos:

- 1- Concordância;
- 2- Discordância;
- 3- Valores Limites (*threshold values*).

Como ponto de partida, o tomador de decisão terá que definir os pesos para os critérios adotados, normalmente arbitrados como  $\alpha(1)$ ,  $\alpha(2)$ , ...,  $\alpha(i)$ , isto para todo o critério  $l$  e para toda a alternativa  $k$ . Para esta metodologia as ponderações e os critérios para a hierarquização das alternativas obrigatoriamente terão que permanecer constantes.

Sendo assim, a concordância dá-se pela comparação entre duas alternativas  $i$  e  $j$  (aleatoriamente) obtendo a quantificação do número de critérios onde  $i$  é preferida em relação a  $j$ , ou  $i$  é igual a  $j$  ( $i=j$ ).

Representação dos índices:

Determina-se  $I$ , como sendo um subconjunto de  $m$  critérios e divide-se  $I$  em três subconjuntos diferentes:

$$I^+ = I^+ (i, j) - \{k \in I: i > j\} \text{ } i \text{ é preferível a } j;$$

$$I^- = I^- (i, j) - \{k \in I: i = j\} \text{ } i \text{ é equivalente a } j, \text{ e}$$

$$I = I (i, j) - \{k \in I: i < j\} \text{ } j \text{ é preferível a } i.$$

assim:

$$W^+ = \sum_{i \in I^+} \alpha_i$$

$$W^= = \sum_{i \in I^=} \alpha_i$$

$$W^- = \sum_{i \in I^-} \alpha_i$$

A partir dos resultados acima se tem a possibilidade de gerar o índice de concordância  $c(i,j)$ , por intermédio da equação descrita abaixo:

$$c(i,j) = [(W^+ + (1/\text{fator}) W^-)] / [(W^- + W^= + W^+)]$$

Alguns autores entram em discordância perante a utilização do “fator” expresso na fórmula vista acima. É visto que em trabalhos como o de ROY (1986) e de BENAYOUN *et al.* (1966), que os mesmos não fazem o uso deste “fator” ou consideram ele como sendo igual à unidade. Diversamente, autores como GOICOECHEA *et al.* (1982) e GOBBETTI (1993) ponderam este “fator” como sendo um valor igual a 2 (ZUFFO *et al.* 1998).

Neste estudo conforme explanação de ZUFFO, (1998) seguiu-se a ponderação adotada pelos autores GOICOECHEA e GOBBETTI.

Para a melhor explanação desta metodologia, adotaram-se as matrizes de concordância e discordância (figuras 1 e 2). O exemplo de matriz de concordância, após o cálculo do índice de concordância, segue abaixo para apreciação.

Figura 1: Exemplo de Matriz de Concordância  $i \times j$  (7x7).

	A	B	C	D	E	F	G
A	X	0,375	0,400	0,250	0,175	0,250	0,263
B	0,625	X	0,700	0,550	0,400	0,125	0,225
C	0,000	0,300	X	0,175	0,200	0,100	0,000
D	0,750	0,450	0,825	X	0,400	0,250	0,350
F	0,825	0,600	0,800	0,600	X	0,575	0,400
G	0,750	0,875	0,900	0,750	0,425	X	0,700
H	0,738	0,775	1,000	0,650	0,600	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

O conceito de discordância se complementa ao de concordância, tendo como representação do “desconforto” na opção da alternativa  $i$  sobre a  $j$ . Primeiramente define-se uma escala de intervalos e estes intervalos terão que ser comuns a cada critério, por intermédio de diferentes escalas. A escala será utilizada para comparar o “desconforto” causado entre o pior e o melhor valor de um determinado critério para uma determinada alternativa. Representa-se o índice de discordância pela equação descrita abaixo:

$$d(i,j) = \max_{k \in I} \{[z(j,k) - z(i,k)]\} / R^*$$

onde:

$z(j, k) \Rightarrow$  é a avaliação da alternativa  $j$ , segundo a escala numérica para o critério  $k$ ;

$R^* \Rightarrow$  é o maior valor das escalas numéricas.

Gerando-se os cálculos para a matriz de discordância e as respectivas escalas de intervalos, evidencia-se a matriz, como exemplo, na a figura 2 abaixo:

Figura 2: Exemplo de Matriz de Discordância  $i \times j$  (7x7).

	A	B	C	D	E	F	G
A	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200
B	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100
C	0,200	0,200	X	0,300	0,200	0,200	0,200
D	0,200	0,000	0,100	X	0,300	0,200	0,000
F	0,200	0,000	0,100	0,300	X	0,200	0,000
G	0,000	0,000	0,200	0,400	0,200	X	0,000
H	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Ao término dos cálculos das matrizes de concordância e discordância é estabelecido os “Valores Limites” ( $p$ ,  $q$ ), para ambas as matrizes. Estes dois valores são adotados pelo tomador de decisão (ZUFFO *et al.* 1998). Esta variação ocorre entre zero e um, tal que a alternativa  $i$  será preferia a alternativa  $j$ , se e somente se:

$$c(i,j) \geq "p" \text{ e } d(i,j) \leq "q"$$

Para os exemplos vistos acima (figuras 1 e 2) e para o presente trabalho adotaram-se os valores de “ $p$ ” e “ $q$ ” como sendo 0,700 e 0,300 respectivamente. Lembrando que uma ponderação diferenciada da adotada, somente irá abranger ou restringir as alternativas escolhidas e não alterando a hierarquização das mesmas. Abaixo seguem as matrizes de concordância e discordância, já com as intersecções em vermelho, para os valores adotados de “ $q$ ” e “ $p$ ” (figura 3 e 4).

Figura 3: Exemplo de Matriz de Concordância  $ixj$  (7x7) para “ $p$ ”  $\geq 0,700$ .

	A	B	C	D	E	F	G
A	X	0,375	0,400	0,250	0,175	0,250	0,263
B	0,625	X	0,700	0,550	0,400	0,125	0,225
C	0,000	0,300	X	0,175	0,200	0,100	0,000
D	0,750	0,450	0,825	X	0,400	0,250	0,350
F	0,825	0,600	0,800	0,600	X	0,575	0,400
G	0,750	0,875	0,900	0,750	0,425	X	0,700
H	0,738	0,775	1,000	0,650	0,600	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 4: Exemplo de Matriz de Discordância  $ixj$  (7x7) para “ $q$ ”  $\leq 0,300$ .

	A	B	C	D	E	F	G
A	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200
B	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100
C	0,200	0,200	X	0,300	0,200	0,200	0,200
D	0,200	0,000	0,100	X	0,300	0,200	0,000
F	0,200	0,000	0,100	0,300	X	0,200	0,000
G	0,000	0,000	0,200	0,400	0,200	X	0,000
H	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Após a verificação dos valores limites das matrizes de concordância e discordância, evidenciam-se os pares para a construção do gráfico de Kernel. Os pares para o exemplo proposto acima são: (4  $\succ^1$  1), (5 $\succ$ 1), (6 $\succ$ 1), (7 $\succ$ 1), (7 $\succ$ 2), (6 $\succ$ 2), (2 $\succ$ 3), (4 $\succ$ 3), (5 $\succ$ 3), (6 $\succ$ 3), (7 $\succ$ 3), (6 $\succ$ 7).

Utiliza-se para a formação do gráfico a relação de preferência, no qual cada nó representará cada alternativa. Construído o gráfico faz-se necessário a determinação do Kernel. Os nós contidos no Kernel representam aquelas alternativas que são preferidas sobre as relações básicas de ordenação.

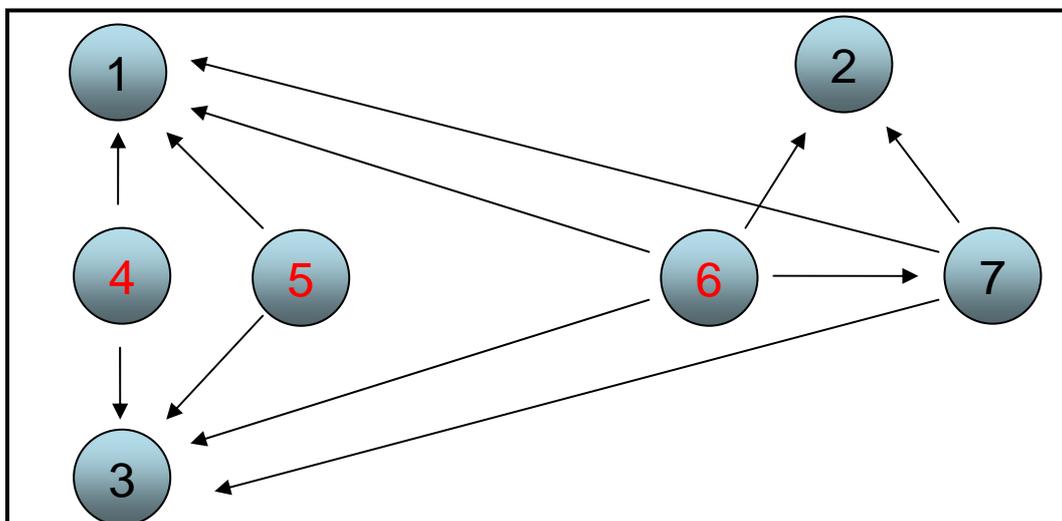
Para construção do gráfico de Kernel, torna-se necessário seguir as premissas de sua metodologia, que são:

- a) Nenhum sistema em Kernel domina outro sistema também em Kernel;
- b) Todo sistema fora de Kernel é dominado por pelo menos um sistema em Kernel;
- c) Os sistemas fora de Kernel são eliminados para efeito de considerações futuras.

<sup>1</sup>  $\succ$  = Simbologia que expressa preferência.

Seguindo esses conceitos dá-se a resolução do gráfico de Kernel (figura 5).

Figura 5: Resolução do gráfico de Kernel para os exemplos de matrizes de concordância e discordância visto anteriormente, em vermelho destacam-se as alternativas hierarquizadas.



Fonte: Elaboração do autor.

Após a visualização do gráfico, ficam evidentes as alternativas que adentraram a primeira hierarquização. São elas: alternativa 4, alternativa 5 e alternativa 6. Com este resultado obtém-se uma ordenação parcial das melhores alternativas perante a quantidade inicialmente abordada.

#### 4.5 ADOÇÃO DO *SOFTWARE* PARA EXECUÇÃO DA METODOLOGIA

Em vista da realização de uma quantidade de operações, verificações e ponderações para a execução deste estudo, optou-se, *a priori*, pela adoção de uma ferramenta que pudesse estar realizando esta operacionalização com uma maior flexibilidade e exatidão. Concomitantemente a esta prioridade, avaliou-se o uso de uma ferramenta que apresentasse uma maior acessibilidade perante as pessoas que poderia vir a abordar esta metodologia (ELECTRE I). Dentro destes dois objetivos evidenciou-se o pacote Office 2003, mais precisamente o *software* Excel 2003.

Sabe-se que já existem programas que operacionalizem esta metodologia multicriterial, mas para uma maior sensibilidade, do tomador de decisão, com os resultados gerados optou-se por executar esta operacionalização.

Abaixo é mostrada a interface do programa com a entrada dos dados (Figura 6) e as possíveis soluções de Matriz de concordância e discordância (figura 7).

Figura 6: Entrada de dados no software Excel 2003.

Características Personagem Privado				
Ponderação dos Pesos por Critério				
Critérios Econômicos	Custo de Implantação	40%	0,8	2,0
	Gasto com energia	60%	1,2	2,0
Critérios Sociais	Mudanças pelas Obras	20%	0,6	3,00
	IDH	40%	1,2	
	População Atendida	40%	1,2	
Critérios Ambientais	% de redução de Fossa Sépticas	30%	1,5	5,00
	% de redução de Esgoto a céu aberto	70%	3,5	
Σ dos pesos:				10,0

Critérios	Alternativas							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Econômico	Custo com Implantação							
	1	20	20	20	30	30	40	30
Social	Custo com Energia Elétrica							
	1	20	10	15	10	30	20	5
Ambiental	Mudanças Induzidas pelas Obras							
	1	1	2	1	2	1	3	2
	IDH							
Ambiental	População Atendida							
	1	2	1	1	2	1	2	1
	Redução do uso de Fossa Sépticas							
Ambiental	Redução do lançamento de esgoto a céu aberto							
	45	1	1	20	40	10	5	5
	10	1	1	20	45	30	10	1

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 7: Layout das Matrizes de Concordância e Discordância no software Excel 2003.

MATRIZ DE CONCORDÂNCIA								
X	0,650	0,680	0,360	0,270	0,360	0,445	0,680	
0,350	X	0,590	0,310	0,180	0,150	0,120	0,415	
0,320	0,410	X	0,160	0,090	0,120	0,000	0,385	
0,640	0,690	0,840	X	0,180	0,360	0,620	0,800	
0,730	0,820	0,910	0,820	X	0,840	0,680	0,930	
0,640	0,850	0,880	0,640	0,160	X	0,740	0,840	
0,555	0,880	1,000	0,380	0,320	0,260	X	0,865	
0,320	0,585	0,615	0,200	0,070	0,160	0,135	X	

MATRIZ DE DISCORDÂNCIA								
X	0,400	0,300	0,300	0,600	0,500	0,500	0,400	
0,600	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200	
0,600	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100	
0,300	0,200	0,200	X	0,300	0,200	0,200	0,200	
0,100	0,200	0,000	0,100	X	0,300	0,200	0,000	
0,400	0,200	0,000	0,100	0,300	X	0,200	0,000	
0,500	0,000	0,000	0,200	0,400	0,200	X	0,000	
0,500	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X	

Fonte: Elaboração do autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho foram organizados em quatro partes, sendo a primeira, referente ao cenário um, com uma maior valoração das características econômicas. Na segunda parte, referente à maior ponderação das características sociais, obteve-se o cenário dois, e para o cenário três ponderou-se uma maior valoração para as características ambientais. Finalizando, na quarta parte, as considerações finais para as alternativas melhores hierarquizadas perante os três cenários.

### 5.1 CENÁRIO 1

Neste cenário, como visto no capítulo quatro (Tabela 2), ponderou-se de forma a valorizar as características econômicas, recebendo assim uma ponderação cinco, distribuídos, conforme a porcentagem adotada (Tabela 1), entre os dois critérios adotados. Já as características sociais e ambientais ficaram com uma ponderação três e dois respectivamente para a distribuição entre os seus respectivos critérios. Geram-se assim, as matrizes de concordância e discordância para o cenário um, abaixo expõe-se as matrizes de concordância e discordância (Figuras 8 e 9).

Figura 8: Matriz de concordância para o cenário um.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,350	0,380	0,270	0,180	0,270	0,250	0,380
B	0,650	X	0,680	0,550	0,360	0,150	0,210	0,490
C	0,620	0,320	X	0,220	0,180	0,120	0,000	0,460
D	0,730	0,450	0,780	X	0,360	0,270	0,320	0,680
E	0,820	0,640	0,820	0,640	X	0,600	0,380	0,870
F	0,730	0,850	0,880	0,730	0,400	X	0,620	0,780
G	0,750	0,790	1,000	0,680	0,620	0,380	X	0,910
H	0,620	0,510	0,540	0,320	0,130	0,220	0,090	X

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 9: Matriz de discordância para o cenário um.

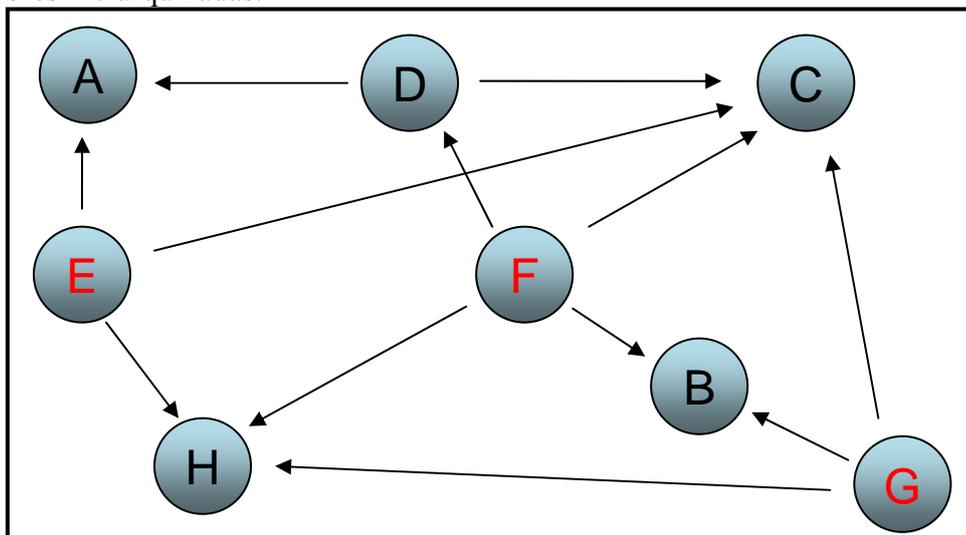
	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,400	0,300	0,300	0,600	0,500	0,500	0,400
B	0,600	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200
C	0,600	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100
D	0,300	0,200	0,200	X	0,300	0,200	0,200	0,200
E	0,100	0,200	0,000	0,100	X	0,300	0,200	0,000
F	0,400	0,200	0,000	0,100	0,300	X	0,200	0,000
G	0,500	0,000	0,000	0,200	0,400	0,200	X	0,000
H	0,500	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Com estes resultados, obtiveram-se os índices satisfatórios para os valores de “q” e “p”, destacados em vermelho: (D>A), (E>A), (F>B), (F>B), (D>C), (E>C), (F>C), (G>C), (F>D), (E>H), (F>H) e (G>H).

Seguindo as diretrizes do gráfico de Kernel, visto no capítulo 4 (item 4.4.1), gera-se o gráfico. Abaixo, segue o gráfico para explanação (Figura 10).

Figura 10: Gráfico de Kernel para o cenário 1, em vermelho as alternativas melhores hierarquizadas.



Fonte: Elaboração do autor.

Para este cenário, a metodologia ELECTRE I hierarquizou como sendo as melhores alternativas de investimentos, os projetos E, F e G destacados em vermelho.

Fazendo-se uma análise das alternativas caso a caso, para a alternativa hierarquizada e, para o critério custo de implantação, esta se inseriu nos três menores custos envolvidos. Já no critério custo de energia elétrica, esta se inseriu na sexta colocação, ou seja, sendo uma das alternativas de pior investimento conforme gasto despendido para este critério. Fazendo-se a análise multicriterial total desta alternativa, percebe-se que para os critérios ambientais, com valoração 2, esta alternativa se evidencia com sendo a melhor ponderada para o critério redução de esgoto a céu aberto e a segunda melhor ponderada para o critério redução de fossas sépticas. Nos critérios sociais esta alternativa se mostrou, no critério população atendida, a terceira melhor enquadrada e para os outros 2 critérios ela se mostrou dentro das melhores, tendo ponderação média para ambas. Logo, apesar desta alternativa não ter demonstrado um bom desempenho para um critério de importância para este cenário, esta alternativa, em uma visão geral das ponderações, se mostrou uma alternativa viável a investimento, como hierarquizado pela metodologia.

Em relação ao projeto F, ele obteve uma a máxima ponderação para o critério custo de energia elétrica e a segunda melhor ponderação para o critério custo de implantação. Por estas valorações ele se mostra uma alternativa viável de investimento, apesar de ter obtido, de um modo geral, uma ponderação mediana para as características sociais e ambientais.

Em se tratando da alternativa G, esta se mostrou com uma boa ponderação, sendo a melhor opção para o critério custo de implantação e a segunda melhor opção para o critério custo de energia elétrica. Para os critérios sociais e ambientais, assim como a alternativa F, recebeu uma ponderação mediana. Sendo assim, a alternativa G tornasse uma alternativa possível de financiamento.

Com o visto, para o cenário 1, com os dados e os critérios abordados neste trabalho a metodologia multicriterial ELECTRE I se mostrou uma ferramenta para auxílio à hierarquização de projetos de sistemas de efluentes sanitários.

## 5.2 CENÁRIO 2

Para este cenário, ponderou-se com uma maior valoração para os critérios sociais (vide tabela 3) e este recebendo uma ponderação cinco. Para as outras duas características, ambiental e econômica, ponderou-se com três e dois, respectivamente. Visto isto, adentra-se nas matrizes de concordância e discordância. Abaixo segue as matrizes de concordância e discordância para apreciação (Figuras 11 e 12).

Figura 11: Matriz de concordância para o cenário dois.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,550	0,600	0,440	0,290	0,440	0,395	0,600
B	0,450	X	0,610	0,410	0,220	0,250	0,160	0,425
C	0,400	0,390	X	0,240	0,110	0,200	0,000	0,375
D	0,560	0,590	0,760	X	0,220	0,440	0,500	0,720
E	0,710	0,780	0,890	0,780	X	0,840	0,600	0,910
F	0,560	0,750	0,800	0,560	0,160	X	0,620	0,760
G	0,605	0,840	1,000	0,500	0,400	0,380	X	0,855
H	0,400	0,575	0,625	0,280	0,090	0,240	0,145	X

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 12: Matriz de discordância para o cenário dois.

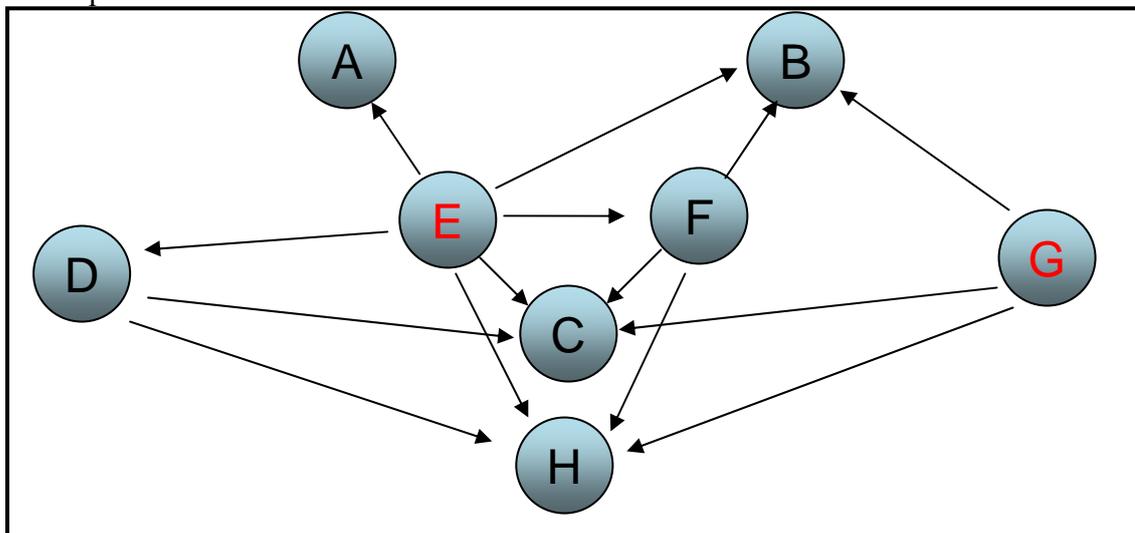
	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,400	0,300	0,300	0,600	0,500	0,500	0,400
B	0,600	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200
C	0,600	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100
D	0,300	0,200	0,200	X	0,300	0,200	0,200	0,200
E	0,100	0,200	0,000	0,100	X	0,300	0,200	0,000
F	0,400	0,200	0,000	0,100	0,300	X	0,200	0,000
G	0,500	0,000	0,000	0,200	0,400	0,200	X	0,000
H	0,500	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Gerada as matrizes de concordância e discordância evidenciam-se os índices de satisfatório, destacados em vermelho: (E>A), (E>B), (F>B), (G>B), (D>C), (E>C), (F>C), (G>C), (E>D), (E>F), (D>H), (E>H), (F>H) e (G>H).

Seguindo as premissas de Kernel, gerou-se abaixo o gráfico (Figura 13).

Figura 13: Gráfico de Kernel para o cenário 2, em vermelho as alternativas melhores hierarquizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cenário 2, a metodologia multicriterial (ELECTRE I) priorizou como sendo as melhores alternativas para investimento, os projetos E e G destacados em vermelho.

Fazendo a análise destas soluções, percebe-se que a alternativa E, para o critério população atendida, ficou entre as três melhores ponderadas. Para os dois outros critérios das características sociais, a mesma se colocou entre as melhores. Com relação aos critérios ambientais, esta alternativa recebeu a melhor ponderação para o critério redução de esgoto a céu aberto e a segunda melhor colocação para o critério redução de fossa séptica. Finalizando, para os critérios econômicos esta se mostrou razoável perante os 2 critérios.

Em se tratando da alternativa G, a mesma obteve para o critério mudanças induzidas pelas obras a melhor ponderação, já para o critério IDH, a mesma se enquadrou entre as melhores. Para o critério população atendida, esta alternativa recebeu a sexta colocação dentre o total de alternativas. Mas, fazendo-se uma análise multicriterial desta alternativa, percebe-se que nas características econômicas, esta recebe a melhor colocação dentro do critério custo de implantação e a segunda melhor dentro do critério custo de energia elétrica.

Logo, com as considerações apresentadas para ambas alternativas, percebe-se que a metodologia (ELECTRE I) aplicada a este cenário, elegeu corretamente as duas melhores alternativas, demonstrando ser, assim como o cenário um, uma ferramenta adequada para a priorização de investimentos no setor.

### 5.3 CENÁRIO 3

Em se tratando do cenário três, ponderou-se com maior valoração as características ambientais (vide tabela 4). Sendo assim, pela metodologia ELECTRE I executam-se as matrizes de concordância e discordância. Abaixo, segue para apreciação as matrizes comentadas anteriormente (Figura 14, 15 e 16).

Figura 14: Matriz de concordância para o cenário três.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,650	0,680	0,360	0,270	0,360	0,445	0,680
B	0,350	X	0,590	0,310	0,180	0,150	0,120	0,415
C	0,320	0,410	X	0,160	0,090	0,120	0,000	0,385
D	0,640	0,690	<b>0,840</b>	X	0,180	0,360	0,620	<b>0,800</b>
E	<b>0,730</b>	<b>0,820</b>	<b>0,910</b>	<b>0,820</b>	X	<b>0,840</b>	0,680	<b>0,930</b>
F	0,640	<b>0,850</b>	<b>0,880</b>	0,640	0,160	X	<b>0,740</b>	<b>0,840</b>
G	0,555	<b>0,880</b>	<b>1,000</b>	0,380	0,320	0,260	X	<b>0,865</b>
H	0,320	0,585	0,615	0,200	0,070	0,160	0,135	X

Fonte: Elaboração do autor.

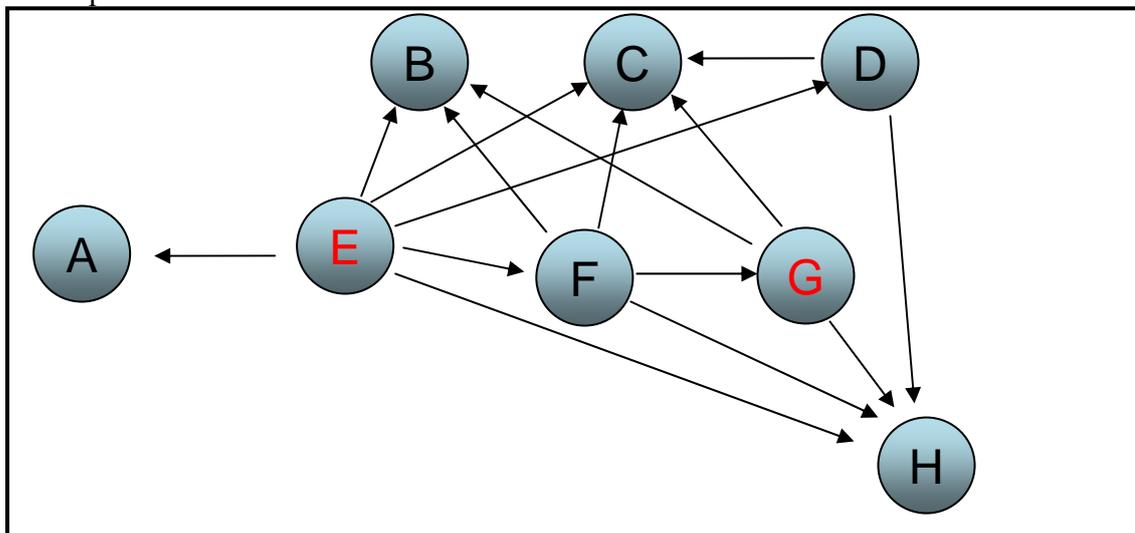
Figura 15: Matriz de discordância para o cenário três.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	X	0,400	0,300	0,300	0,600	0,500	0,500	0,400
B	0,600	X	0,200	0,300	0,600	0,400	0,200	0,200
C	0,600	0,200	X	0,300	0,600	0,400	0,200	0,100
D	0,300	0,200	<b>0,200</b>	X	0,300	0,200	0,200	<b>0,200</b>
E	<b>0,100</b>	<b>0,200</b>	<b>0,000</b>	<b>0,100</b>	X	<b>0,300</b>	0,200	<b>0,000</b>
F	0,400	<b>0,200</b>	<b>0,000</b>	0,100	0,300	X	<b>0,200</b>	<b>0,000</b>
G	0,500	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,200	0,400	0,200	X	<b>0,000</b>
H	0,500	0,300	0,100	0,300	0,600	0,400	0,300	X

Fonte: Elaboração do autor.

Após a execução das matrizes, evidenciam-se os índices satisfatórios e estes destacados em vermelho: (E>A), (E>B), (F>B), (G>B), (D>C), (E>C), (F>C), (G>C), (E>D), (E>F), (F>G), (D>H), (E>H), (F>H) e (G>H).

Figura 16: Gráfico de Kernel para o cenário 3, em vermelho as alternativas melhores hierarquizadas



Fonte: Elaboração do autor

Relacionado ao cenário 3, a metodologia priorizou as alternativas E e G destacados em vermelho, como sendo as melhores alternativas para investimento.

Fazendo uma análise destas priorizações, percebe-se que a alternativa E recebeu uma maior ponderação para o critério redução de esgoto a céu aberto e a segunda melhor ponderação para o critério redução de fossa séptica. Em se tratando dos critérios sociais, esta se mostrou de uma forma geral uma boa hierarquização, já para os critérios econômicos uma alternativa regular.

Para a alternativa priorizada G, esta mostrou-se, para as características ambientais, uma alternativa regular. Com relação aos critérios sociais esta apontou para uma ponderação mediana e por último, os critérios econômicos ponderaram-se como uma alternativa boa.

Fazendo a análise multicriterial desta, ainda que esta não tenha alcançado uma boa ponderação para os critérios ambientais, de uma maneira geral a hierarquização organizada pela metodologia mostra-se correta para este cenário.

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fazer-se uma análise global dos resultados apresentados pelos cenários abordados neste estudo, percebeu-se que as alternativas E e G são as melhores hierarquizadas para um posterior investimento, isto dado que as mesmas foram eleitas, perante os três cenários, as melhores alternativas para investimento. Mas, caso ocorresse uma priorização, para os cenários 1, 2 e 3, de alternativas diferenciadas para cada cenário, ter-se-ia a necessidade do envio de questionários especializados para a real ponderação de cada critério e assim, tornando inviável este estudo.

Percebeu-se também que a alternativa F, não priorizada nos cenários 2 e 3, devido à dominância exercida pela alternativa G, poderá ser uma alternativa classifica em uma posterior hierarquização das alternativas restantes.

Assim, com os resultados obtidos neste trabalho, percebe-se que a aplicação da metodologia multicriterial ELECTRE I, utilizando-se das características ambientais e sociais juntamente com as econômicas, mostra-se, uma boa ferramenta para auxílio à tomada de decisão para a priorização de projetos em sistemas de esgoto.

Um importante ponto a observar é que com a inclusão das características sociais e ambientais, possibilitou-se uma maior análise e mais correta das problemáticas que envolvem a escolha de sistemas de esgoto.

É importante também frisar que os resultados obtidos por esta metodologia dependem diretamente de dois fatores para a hierarquização final do tomador de decisão:

- a) Da disponibilidade dos dados;
- b) Da veracidade dos dados.

Solucionados estes problemas, poderão ser criados outros critérios para uma maior abrangência desta problemática, mas sempre ponderando com a viabilidade de solução.

Um outro aspecto a ser considerado foi à adoção de uma percentagem para cada critério em uma determinada característica, obtendo-se uma melhor ponderação do critério perante a sua característica.

Finalizando, um aspecto também destacável relacionado a este tema da-se com a adoção dos critérios ambientais e sociais, primando-se por projetos com uma maior valoração para com a sociedade e maior sustentabilidade ambiental.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho levantou características de oito projetos de sistemas de esgoto para possível investimento no setor, adotando-se, além das características econômicas, usualmente priorizadas, características sociais e ambientais.

Para a execução da hierarquização dos projetos adotou-se, conforme visto na revisão bibliográfica, a metodologia multicriterial ELECTRE I, e esta se mostra adequada para a solução de problemas com este cunho, podendo incorporar de uma maneira sistemática as características sociais, ambientais e econômicas.

Para a solução desta problemática, juntamente com metodologia multicriterial, adotou-se três diferentes cenários, sendo que cada cenário possuiu uma maior ponderação para determinadas características (ambiental, social e econômica). Dentro destas características somaram-se sete critérios, com os mesmos sendo ponderados diferentemente dentro de cada característica.

Após análise, observou-se neste trabalho, que a metodologia multicriterial ELECTRE I se mostrou apropriada para resolução de problemas como os abordados, hierarquizando, dentre os três cenários, as alternativas E e G como sendo as possíveis opções para investimento.

Com relação à metodologia abordada no estudo, observou-se que, para os critérios Índice de Desenvolvimento Humano e Mudanças Induzidas pelas Obras existe, *a posteriori*, poder-se-ia adotar escalas mais sensíveis. Isto, visto que as alternativas obtiveram, em sua maioria, ponderações entre médio e alto.

Vê-se a importância em destacar também que, para uma melhor hierarquização das alternativas, faz-se necessário a disponibilidade dos dados e a sua veracidade, gerando-se assim uma hierarquização com maior confiabilidade.

Percebe-se que, com a realização de um planejamento integrado (social, econômica e ambiental) e concomitantemente com a adoção de uma metodologia multicriterial, contribui-se para a aproximação do meio social e ambiental, muitas vezes não ponderados, com as características econômicas, gerando-se assim, uma maior sustentabilidade das ações realizadas pelos tomadores de decisão.

## 7 REFERÊNCIAS

BANA e COSTA, C. - (1988) - *Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. Investigação Operacional*, 8(1), pp. 117- 139.

CAFISO, S.; GRAZIANO, A.; KERALI, H.R.; ODOKI, J.B. (2002). *Multicriteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management. Transportation Research Record* 1816. TRB. Washintong, D.C., pp 73-84.

CONYERS, D.; HILLS, P. (1984).- *An Introduction to development Planning in the third world. Chichester*, John Wisley & Sons.

HOLLICK, M. (1981) - *The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment. Journal of Environmental Manangement*, p.65-78.

IBGE (2006), website: <http://www.ibge.gov.br>

JOERING, F.; THÉRIAULT, M.; MUSY, A. (2001) “ *Using GIS and outraking multicriteria analysis for land use suitability assessment*” *International Journal of Geographical Information Science*, v 15, n.2, p. 153-174.

KORHONEN, P.; MOSKOWITZ, H. e WALLENIUS, J. (1992) - *Multiple criteria decision support - A review. European Journal of Operational Research*, 63, pp. 361-375.

LIMA, R. S. (2003). *Uma metodologia de apoio à decisão espacial para o planejamento e gestão de serviços de educação e saúde sob uma ótica do transporte. Tese (Doutorado)*. 200p. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

LUCENA, L.F.L. (2002) – *A análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais. Tese (Mestrado)*.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2007) – *Sistemática 2007 - Manual para Apresentação de Propostas*.

MALCZEWSKI, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc.

PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y. e ZOPOUNIDIS, C. (1995) (eds) - *Advances in Multicriteria Analysis. (Nonconvex optimization and its application; V.5)*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. P 249.

RABBANI, S.J., S.R., RABBANI, (1996). *Decision in Transportation With the Analytic Hierarchy Process*, Campina Grande, UFBP.

RAMOS, R.A.R. (2000). *Localização Industrial – um modelo espacial para o nordeste de Portugal. Tese (Doutorado)*. Universidade do Minho. Braga, Portugal.

ROY, B. (1996). *Multicriteria Methodology for decision aiding*. Kluwer Academic Publishers.

SANTOS, P.P. (2006) – Relatório: *Destino de Esgoto por Municípios e Regionais de Saúde*. Diretoria de Vigilância Epidemiológica/Secretaria do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SANTOS, R. F. (1995) – ‘*Apostila do curso "IC-755 Planejamento Ambiental"*, FEC-UNICAMP.

VALÉRIA A.C. GRAÇA.(2003) – *Metodologia avaliação de conforto ambiental com o conceito de otimização multicritério para projetos escolares*.

ZELENY, M. (1982) – *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill Book Company. New York.

ZUFFO, A.C. (1998). *Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos*. Tese (doutorado). São Carlos-SP.