

## Uso de ferramentas multicritério para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos líquidos: Métodos e Critérios

Andreia dos Santos Goffi (UTFPR) [andreiagoffi@gmail.com](mailto:andreiagoffi@gmail.com)  
Flavio Trojan (UTFPR) [trojan@utfpr.edu.br](mailto:trojan@utfpr.edu.br)  
Renata de Oliveira Nogueira (UFSJ) [renataoliveiranog@gmail.com](mailto:renataoliveiranog@gmail.com)  
Andressa dos Santos Goffi (UNIOESTE) [goffiandressa@gmail.com](mailto:goffiandressa@gmail.com)

### Resumo

Decisões ambientais devem englobar o maior número de variáveis possíveis uma vez que essas afetam não apenas situações locais, mas sim o ambiente global. A escolha dessas variáveis bem como o método de tratamento delas é algo bastante complexo e muitas vezes conflitante. Neste sentido, os métodos multicritérios têm sido aplicados às questões ambientais, contudo pouco se tem em relação a sua aplicação específica ao saneamento. Considerando esta lacuna no conhecimento, este trabalho realizou um extenso levantamento bibliográfico com o objetivo de verificar as principais ferramentas e critérios que vêm sendo aplicados a diferentes contextos decisórios a fim de maximizar a eficiência na escolha do sistema de tratamento de esgotos domésticos. O instrumento de intervenção adotado foi o processo estruturado de pesquisa a literatura ProKnow-C (*Knowledge Development Process - Constructivist*). Para tal, foram pesquisados artigos publicados entre 1970 e 2015 em periódicos científicos disponíveis no portal da CAPES. Entre os trabalhos levantados, verificou-se apenas 8 trabalhos realizados no Brasil e foi observado o método multicritério AHP como o mais popular. E por meio da revisão estruturada da literatura notou-se a utilização de 56 critérios, os quais foram reclassificados em critérios legais, critérios de custo, critérios técnicos, sociais e ambientais. Deste modo, foi possível enfatizar a necessidade quanto à análise apropriada dos elementos intervenientes na tomada de decisão gerando diversas oportunidades de discussão quanto à tomada de decisão nas organizações sanitárias, especialmente brasileiras, tendo em vista tamanha sua complexidade.

**Palavras chave:** Tomada de Decisão, Tecnologias de Tratamento de Esgotos, Saneamento.

## Use of multicriteria tools applied to liquid waste treatment technology alternatives: Methods and Criteria

### Abstract

Environmental decision should involve the maximum number of variables. The choice of these variables as well as their method of treatment is quite complex and often conflicting. In this sense, the advanced methods have been applied to environmental issues, but a few of them are applied to the sanitation. Based on that, this paper conducted an extensive literature aiming to verify the main tools and criteria that have been applied to different decision-making contexts in order to maximize efficiency in choosing the wastewater treatment system. The adopted intervention instrument was the process structured search to literature –ProKnowC (*Knowledge Development Process - Constructivist*). For that, it was researched articles published between 1970 and 2015 in scientific journals available in the CAPES portal. Among the works raised were checked only 8 studies conducted in Brazil, among those, it was observed that the AHP multicriteria method as the most popular. Although the structured literature review showed 56 criteria that have been used, which were reclassified on legal, cost, technical, social and environmental criteria. Therefore, it was possible to emphasize the need for proper analysis of the elements involved in the decision-making opening a lot of opportunities for discussion in decision making organizations, especially Brazil, in view of such complexity.

**Key-words:** Decision Making, Sewage Treatment Technologies, Sanitation.

## 1. Introdução

O lançamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais está entre as principais fontes de poluição dos corpos hídricos, tanto pela elevada quantidade produzida em núcleos urbanos quanto por suas características altamente poluidoras. A falta de tratamento adequado aos resíduos líquidos causa sérios problemas de eutrofização dos cursos de água e por consequência gera uma série de problemas estéticos, recreacionais, maus odores, mortandade de peixes, problemas com a toxicidade das algas, além de dificultar e elevar os custos com o tratamento da água e acarretar sérios problemas de saúde pública, propagando várias doenças de vinculação hídrica, uma vez que, a qualidade de vida da população está ligada diretamente a boas condições sanitárias (CHERNICHARO, 2001; NETO, 2007; VON SPERLING, 2014).

A crescente conscientização ambiental, principalmente com relação à preservação dos corpos de água, tem contribuído para o desenvolvimento do setor, entretanto, a situação do saneamento básico no Brasil é ainda bastante precária. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013) 82,5% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, desses apenas 48,6% da população têm acesso à coleta de esgoto, sendo que apenas 39% dos esgotos do país são tratados.

É importante ressaltar a carência de informações específicas sobre os serviços de saneamento. Especialmente considerando o fato que os dados estatísticos apresentados pelos sistemas de informações sobre o saneamento versam sobre o acesso à rede coletora de esgoto, o que representa apenas a existência do serviço no município, desconsiderando importantes fatores como a extensão da rede, a qualidade do atendimento, e a destinação final do esgoto coletado (SAIANI, 2007; LEONETI, 2009; SNIS, 2013; BNDES, 2015).

Sendo assim, um adequado sistema de tratamento de esgotos é de vital importância para a saúde pública e para o meio ambiente, porque evita riscos de contaminação e transmissão de doenças, além de ajudar no controle da poluição e eutrofização das águas (METCALF, EDDY, 2003; NETTO, 2007; VON SPERLING, 2014).

Considerando esses problemas advindos de lançamentos inadequados, fica evidente a necessidade de implantação e ampliação dos sistemas de tratamento de esgoto. Neste sentido, importantes investigações têm sido realizadas ao longo dos últimos anos, na busca por configurações modernas e eficientes para as estações de tratamento. Entretanto, a seleção destas tecnologias de tratamento de esgotos é uma decisão extremamente complexa, pois envolve um grande número de variáveis, que nem sempre são facilmente mensuráveis, e por vezes são conflitantes entre si (OLIVEIRA, 2004; ZENG *et al.*, 2007; FLORES-ALSINA *et al.*, 2008; LEONETI, 2009; HAKANEN *et al.*, 2010; HUNT, 2013; MOLINOS-SENANTE *et al.*, 2015).

As técnicas de decisão multicritério são em geral bastante úteis, especialmente na resolução deste tipo de problemáticas, uma vez que auxiliam na estruturação do problema de forma clara e sistemática (OLIVEIRA, 2004; KARIMI *et al.*, 2011; MAURER *et al.*, 2012).

Neste contexto, conhecer as aplicações de ferramentas multicritério, modelos e métodos de suporte à tomada de decisão é de grande relevância e aplicabilidade no contexto decisório, a fim de preencher uma lacuna no conhecimento e também auxiliar futuros trabalhos na escolha do método mais adequado para então definir o sistema de tratamento de esgotos que atenderá as expectativas e critérios definidos de modo eficiente.

Deste modo, este trabalho buscou descrever o cenário sanitário brasileiro, os métodos multicritérios atualmente aplicados ao processo decisório, bem como os critérios utilizados, considerando o amplo número de variáveis intrínsecas à tomada de decisão no saneamento.

## 2. Tecnologias de tratamento de esgoto

Novas configurações de reatores anaeróbicos e aeróbicos vêm sendo estudadas a fim de obter sistemas de tratamento de esgotos mais eficientes, com menor volume total, e melhor utilização do volume útil reacional, conseqüentemente, atingindo melhorias da estabilidade, eficiência e facilidade de operação (VAN HAANDEL, MARAIS, 1999; CHERNICHARO, 2001; NETTO, 2007, VON VON SPERLING, 2014).

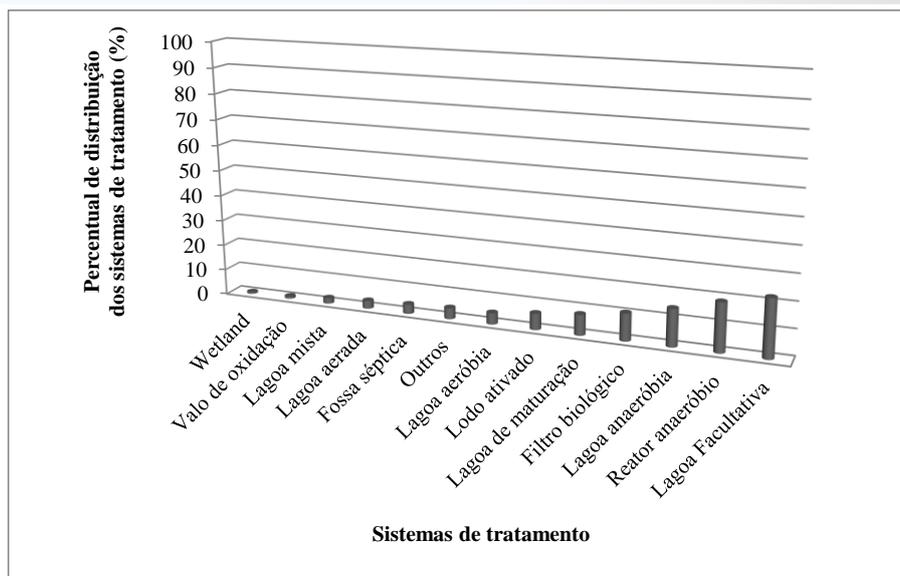
A evolução nas pesquisas têm se direcionado para sistemas simplificados e eficientes, que apresentem baixos custos e simplicidade operacional, os chamados sistemas de alto desempenho, caracterizados pela capacidade de retenção de sólidos, devido à biomassa e pela elevada atividade microbiana, mesmo com a imposição de baixo tempo de detenção hidráulica (CALLADO, FORESTI, 2001; SILVA, 2001; MENDONÇA, 2002; SILVA, NOUR, 2005; ARAÚJO, 2006). Um resumo das principais tecnologias que vêm sendo aplicada ao processo tratamento de efluentes, levantadas pela pesquisa bibliográfica, são apresentadas na Tabela 1.

Autores	Sistema	Sigla	Eficiência em termos de DQO (%)	Capacidade (L)	TDH
Zanela (1999)	Reator anaeróbio-aeróbio de fluxo horizontal	RAALF	72	2500	10; 11,5; 17,5 e 30h
Silva (2003)	Tanque séptico e filtro	TSF	97	1850	24h
Silva e Nour (2005)	Reator anaeróbio-aeróbio de fluxo horizontal	RAALF	74	2500	8h
Sarti <i>et al.</i> (2006)	Reator anaeróbio sequencial em batelada	ASBR	60	1200	8h
Sarti <i>et al.</i> (2006)	Reator com biomassa imobilizada em suporte inerte operado em batelada sequencial	ASBBR	65	1200	8h
Netto (2007)	Reator anaeróbio-aeróbio de fluxo ascendente	RAALF	95	7	6; 8 e 10h
Abreu e Zaiat (2008)	Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo	RAALF	81	6,4	6; 8; 10 e 12h
Calijuri <i>et al.</i> (2009)	Sistemas reatores anaeróbio de manta de lodo e wetlands	UASB-WC	70	48000	1,3 a 5,3d
Pontes <i>et al.</i> (2009)	Reator anaeróbio de manta de lodo	UASB	73	420	5,6h
Almeida (2010)	Reator anaeróbio-aeróbio de fluxo ascendente	RAALF	79	1	12 e 16h
Giustina <i>et al.</i> (2010)	Biofiltro aeróbio submerso	BAS	90	70	4,1, 8,2 e 12,3h
Neto e Costa (2011)	Reator híbrido, operado em bateladas sequenciais	RHBS	80	1430	8h
Prata <i>et al.</i> (2013)	Sistemas alagados construídos	SACs	70	8700	3,9; 2; 1 e 0,75d
Colares (2013)	Tanques sépticos seguidos de leitos cultivados	TSC	66	12	24h

Legenda: Tempo de Detenção Hidráulico (TDH); Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Tabela 1 – Tecnologias aplicadas ao processo tratamento

É possível observar de modo geral na tabela 1 que os sistemas combinados de tratamento demonstram elevados valores de eficiência, especialmente em termos da demanda química de oxigênio. Entretanto, a utilização destes sistemas combinados ainda não é amplamente empregada como pode ser observado no Gráfico 1.



Fonte: Adaptado de Hunt (2013)

Gráfico 1- Distribuição percentual dos sistemas de tratamento de esgoto utilizados no Brasil

### 3. Metodologia

Os métodos de pesquisa podem ser classificados quanto à forma de abordagem, em qualitativos e quantitativos. O enfoque qualitativo procura coletar dados sem a necessidade de medição numérica para descobrir ou aperfeiçoar as questões de pesquisa. Ao passo que o enfoque quantitativo faz uso da coleta de dados para testar hipóteses por meio de medição numérica e análise estatística com a finalidade de estabelecerem padrões de comportamento (SAMPIERI, COLLADO, LUCIO, 2006; CAUCHICK *et al.*, 2012).

Portanto esta pesquisa apresenta uma abordagem combinada das técnicas qualitativa e quantitativa, pois tem por objetivo levantar e detalhar o fenômeno, utilizando ferramentas matemáticas, além da pesquisa bibliográfica estruturada.

Para isso, utilizou-se o instrumento de intervenção *Knowledge Development Process – Constructivist* –PROKNOW C (ENSSLIN *et al.*, 2010), considerando que este já foi aplicado em diversos trabalhos, e apresentou resultados bastante satisfatórios, como descrito nos trabalhos de: Tasca *et al.* (2010), Bortoluzzi *et al.* (2011), Ensslin *et al.* (2012); Bruna Junior *et al.* (2012); Afonso *et al.* (2012); Chaves *et al.* (2012a); Chaves *et al.* (2012b); Back *et al.* (2012); Lacerda *et al.* (2012); Marafon *et al.* (2012); Lacerda e Ensslin (2014), Dutra *et al.* (2015), Ensslin *et al.* (2015).

O processo metodológico Proknow-C (ENSSLIN *et al.*, 2010) aplicado na pesquisa em questão, permitiu identificar e analisar um conjunto de artigos voltado ao tema, seguindo uma sequência de 3 fases estruturadas, conforme pode ser observado na Figura 1.

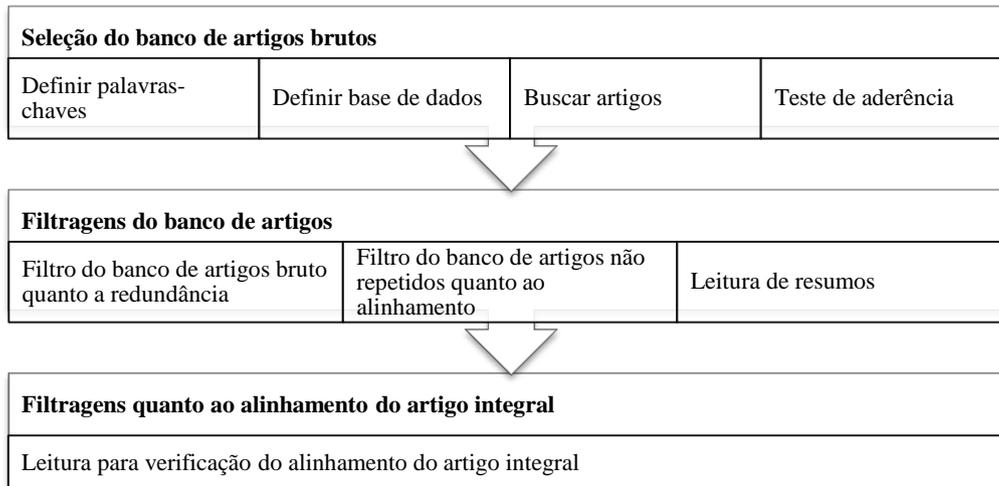


Figura 1- Processo metodológico Proknow-C

#### 4. Modelos e técnicas de apoio à tomada de decisão

A utilização de modelos e técnica de apoio à tomada de decisão permite as organizações testar, previamente, os resultados de suas decisões antes mesmo de colocá-las em prática, podendo maximizar benefícios, considerando variáveis como custo e simplicidade, além de auxiliar na redução de problemas, ou possíveis impactos negativos.

A utilização desses modelos permite as organizações características de pró-atividade frente às problemáticas que envolvem o entorno organizacional, independente da área de atuação da organização. Em síntese Gomes (2012) define que à base da teoria da decisão é um conjunto de procedimentos e métodos de análise que buscam garantir a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões, tomadas em função das informações disponíveis, fazendo sempre previsão, e antecipação de resultados.

O número de técnicas e métodos de apoio à decisão é bastante diverso, uma vez que essas técnicas variam de ferramentas mais sofisticadas como argumentação lógica e conjuntos ordenados a ferramentas mais simples (BOUYSSOU *et al.*, 2000). A utilização de cada método depende diretamente da complexidade do problema, da problemática explorada, de seus critérios, atributos e de suas alternativas de solução.

Segundo Leoneti (2009) árvores de decisão, análise de sensibilidade e diagrama de tornado, são algumas das ferramentas que são amplamente empregadas na análise e cálculo de alternativas no processo de tomada de decisão. Alguns tipos de problemas mais complexos, principalmente àqueles com múltiplos critérios e objetivos, exigem uma abordagem diferenciada. De acordo com Tchemra (2009) os métodos multicritérios podem ser diferenciados pela capacidade de considerar tanto critérios quantitativos como qualitativos, além disso, permitem a análise da decisão e ainda testam sua confiabilidade.

A escolha de um sistema de tratamento envolve uma série de variáveis e incertezas, sendo esta de grande complexidade. Estudos de modelos tem objetivado auxiliar neste processo de tomada de decisão, permitindo maior confiabilidade na escolha do sistema e gerenciamento de recursos, sejam eles, econômicos, sociais ou ambientais.

Com base no levantamento realizado, a partir da metodologia PROKNOW-C foi possível verificar os principais modelos e métodos aplicados à seleção de sistemas de tratamento, conforme descritos na Tabela 2.

Método	Sigla	Autores
<i>Analytical hierarchy process</i>	AHP	Zeng <i>et al.</i> (2006); Boas (2006); Karimi <i>et al.</i> (2010); Paula <i>et al.</i> (2013); Kalbar <i>et al.</i> (2013); Lima <i>et al.</i> (2014)
<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations II</i>	PROMETHEE II	Harada (2001); Campos <i>et al.</i> (2011); Lima <i>et al.</i> (2014)
<i>Elimination and Choice Expressing Reality I</i>	ELECTRE I	Kalbar <i>et al.</i> (2012-a)
<i>Elimination and Choice Expressing Reality III</i>	ELECTRE III	Paula <i>et al.</i> (2013)
<i>Elimination and Choice Expressing Reality IV</i>	ELECTRE IV	Campos <i>et al.</i> (2011)
<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Geometric Analysis for Interactive Aid</i>	TOPSIS	Paula <i>et al.</i> (2013)
Proposto	GAIA	Campos <i>et al.</i> (2011) Oliveira <i>et al.</i> (2004); Vasiloglou <i>et al.</i> (2008); Maurer <i>et al.</i> (2012)
Sistema ambiental de suporte a decisão	EDSS	Molinos <i>et al.</i> (2012)
<i>Cooperative game theory</i>	CGT	Kalbar <i>et al.</i> (2012-a)
<i>Grey relational analysis</i>	GRA	Zeng <i>et al.</i> (2006)
Simulação de Monte Carlo	SMC	Flores-Alsina <i>et al.</i> (2008)
Avaliação do ciclo de vida	LCA	Garrido <i>et al.</i> (2011)

Tabela 3 - Modelos de tomada de decisão aplicados ao saneamento

Na tabela 4 estão descritos 8 trabalhos que foram realizados no cenário brasileiro com o objetivo principal a aplicação de uma ferramenta multicritério como suporte a tomada de decisão no âmbito sanitário.

Autor	Modelo e/ou Método	Considerações/Conclusões
Harada (2001)	Seleção multicritério (Promethee II)	Adaptações foram necessárias para uma avaliação precisa na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento
Oliveira (2004)	Proposto	O modelo poderá auxiliar a escolha de sistemas de tratamento, bem como seu pré-dimensionamento.
Boas (2006)	Método AHP, Modelo multicritérios de análise de decisão	O modelo desenvolvido provê uma lista ordenada das alternativas de uso múltiplo possíveis de serem implantadas no reservatório. A aplicação do AHP também evidenciou dificuldades com o uso da análise multicritérios
Leoneti (2009)	Modelo proposto por Oliveira (2004)	O modelo é adequado no planejamento dos investimentos bem como para estudos de concepções de estações de tratamento
Campos (2011)	Multicritério (Promethee II; GAIA e ELECTRE IV)	Os modelos propiciaram uma análise bem detalhada sobre as potencialidades das alternativas, estruturando o processo de decisão no saneamento
Hunt (2013)	Apoio Multicritério à Decisão (AMD)	O sistema poderá auxiliar na escolha de tecnologias de tratamento de esgoto
Paula (2013)	Combinação Multiobjetivo AHP com ELECTRE TRI e TOPSIS	Mostrou-se adequada à aplicação proposta, tendo a abrangência e flexibilidade necessárias para avaliar ETES
Lima (2014)	AHP e Promethee II	Essas tecnologias foram hierarquizadas nos modelos com base em quatro critérios: ambientais, sociais, econômicos e políticos. Foram propostos quatro arranjos tecnológicos possíveis para a Região Sul

Tabela 4 - Modelos de tomada de decisão aplicados ao saneamento brasileiro

De acordo com os trabalhos levantados através do estudo bibliográfico estruturado da literatura que mais se destacou foi o modelo AHP aplicada à tomada de decisão em projetos de estações de tratamento.

Segundo Morais *et al.* (2006) um dos mais significativos problemas relacionados a gestão dos projetos de saneamento está relacionado ao conjunto de entidades públicas e privadas de interesses sociais, ambientais, políticos e econômicos que impactam no processo de gerenciamento do empreendimento. Portanto, isto ressalta a importância do uso de ferramentas que auxiliem no processo de tomada de decisão, haja visto, o elevado número de variáveis e às incertezas presentes no ambiente de projetos de saneamento básico e ambiental.

O estudo de diferentes modelos e métodos tem objetivado auxiliar neste processo de tomada de decisão, permitindo maior confiabilidade na escolha do sistema e gerenciamento de recursos, sejam eles, econômicos, sociais ou ambientais.

## 5. Definição dos critérios

Segundo Von Sperling (2014) a decisão quanto ao sistema a ser utilizado no processo de tratamento de esgoto deve ser derivada de um sério balanceamento entre os critérios técnicos e econômicos, para tanto, deve-se levar em conta o máximo de aspectos possíveis para que assim seja garantido a obtenção de uma alternativa mais adequada do tipo de sistema de tratamento.

Contudo, alguns pesquisadores tem demonstrado a importância de que além de critérios econômicos e técnicos sejam considerados outros pilares fundamentais da sustentabilidade, como os aspectos sociais e ambientais além dos econômicos e técnicos. Possibilitando por meio da sua aplicação uma visão holística do problema (ASHELEY *et al.*, 2008; BASERBA-GARRIDO *et al.*, 2014).

De acordo com Gomes (2012) alguns pontos podem ser definidos como de extrema relevância no processo de decisão, dentre estes, identifica-se os critérios e/ou atributos de decisão, neste sentido realizou-se um levantamento dos principais critérios que deveriam ser considerados no processo de decisão dos aspectos e critérios fundamentais na seleção do sistema de tratamento de esgotos.

De acordo com Von Sperling (2014) os aspectos de importância na seleção dos sistemas de tratamento nos países desenvolvidos e em desenvolvimento apresentam algumas particularidades, nos países desenvolvidos, os critérios que são considerados críticos são a eficiência, a confiabilidade, a disposição do lodo e a área necessária. Em contrapartida nos países em desenvolvimento, os itens críticos são os custos de construção, a sustentabilidade, os custos operacionais e a simplicidade da tecnologia. Fato este que chama atenção considerando o elevado número de critérios que são importantes e acabam sendo esquecidos pelos decisores na tomada de decisão, muitas vezes por desconhecimento, ou imprudência. O que reenterra a necessidade da sistematização do processo de tomada de decisão, que pode ser realizado por meio da utilização de métodos multicritérios.

De acordo com os trabalhos alçados através da revisão da literatura foi feito o levantamento dos principais critérios e subcritérios aplicados à tomada de decisão no saneamento. Na Tabela 5 são demonstrados os critérios categorizados como legais econômicos e tecnológicos, ao passo que na figura 6 são demonstrados os critérios de cunho ambiental e social.

Aspectos	Critérios	Autores
Legais	Legislação e regulamentação	Vasiloglou <i>et al.</i> (2008)
	Nível do tratamento requerido	Karimi <i>et al.</i> (2011)
	Características do afluente	Oliveira (2004); Von Von Sperling (2014)
	Vazão	Von Von Sperling (2014)
Econômicos	Custos de implantação	Vidal <i>et al.</i> (2002); Oliveira (2004); Von Sperling (2014); Zeng <i>et al.</i> (2005); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Leoneti (2012); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Custos para os usuarios	Leoneti (2012)
	Custos de manutenção	Vidal <i>et al.</i> (2002); Zeng <i>et al.</i> (2005); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Garrido <i>et al.</i> (2011); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Custos operacionais	Vidal <i>et al.</i> (2002); Oliveira (2004); Von Sperling (2014); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Garrido <i>et al.</i> (2011); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Custos do ciclo de vida	Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Custos da disposição do lodo	Karimi <i>et al.</i> (2011)
	Transporte	Garrido <i>et al.</i> (2013)
	Consumo de reagents	Garrido <i>et al.</i> (2013)
	Consumo de energia / Requisitos energéticos	Vidal <i>et al.</i> (2002); Refsgaard (2003); Oliveira (2004); Von Sperling (2014); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Garrido <i>et al.</i> (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014)
	Área requerida/ Requisitos de área	Vidal <i>et al.</i> (2002); Oliveira (2004); Von Sperling (2014); Zeng <i>et al.</i> (2005); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Kalbar <i>et al.</i> (2012); Baserba <i>et al.</i> (2012); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014)
Tecnológicos	Aplicabilidade	Karimi <i>et al.</i> (2011)
	Aspectos Climaticos	Von Sperling (2014); Hunt (2013)
	Aspectos do solo	Hunt (2013)
	Eficiência	Vidal <i>et al.</i> (2002); Von Sperling (2014)
	Restrições	Von Sperling (2014); Baserba <i>et al.</i> (2012)
	Confiabilidade	Von Sperling (2014); Kalbar <i>et al.</i> (2012); Hunt (2013)
	Maturidade da Tecnologia	Zeng <i>et al.</i> (2005)
	Estabilidade de operação	Zeng <i>et al.</i> (2005)
	Qualidade do efluente final	Von Sperling (2014)
	Simplicidade operacional e de manutenção	Oliveira (2004); Von Sperling (2014); Karimi <i>et al.</i> (2011); Kalbar <i>et al.</i> (2012); Baserba <i>et al.</i> (2012); Hunt (2013)
	Aceitabilidade	Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Durabilidade	Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Flexibilidade	Karimi <i>et al.</i> (2011); Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Sub-produtos do tratamento	Von Sperling (2014); Hunt (2013)
	Capacidade de resistência à variações	Karimi <i>et al.</i> (2011); Kalbar <i>et al.</i> (2012); Hunt (2013)
	Tempo de detenção hidráulico	Von Sperling (2014)
	Processos auxiliares requeridos	Von Sperling (2014)
	Remoção de DBO	Refsgaard (2003); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Garrido <i>et al.</i> (2011); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Garrido <i>et al.</i> (2013); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
Remoção de SS	Molinos <i>et al.</i> (2014); Karimi <i>et al.</i> (2011); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2015)	
Remoção de N	Zeng <i>et al.</i> (2005); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Garrido <i>et al.</i> (2011); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Garrido <i>et al.</i> (2013); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)	
Remoção de P	Refsgaard (2003); Zeng <i>et al.</i> (2005); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Garrido <i>et al.</i> (2011); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Hunt (2013); Garrido <i>et al.</i> (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)	
Remoção de patogenos	Hunt (2013)	
Produção de lodo	Zeng <i>et al.</i> (2005); Alegre <i>et al.</i> (2007); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)	

Tabela 5 – Aspectos e critérios legais, econômicos e técnicos importantes na seleção do sistema de tratamento de esgotos

Aspectos	Critérios	Autores
Ambientais	Impactos ambientais	Von Sperling (2014); Karimi <i>et al.</i> (2011)
	Risco	Karimi <i>et al.</i> (2011)
	Restrições ambientais	Oliveira (2004); Von Sperling (2014)
	Potencial para recuperar produtos	Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Emissões	Garrido <i>et al.</i> (2013)
	Aquecimento global potencial	Kalbar <i>et al.</i> (2012); Garrido <i>et al.</i> (2013)
	Eutrofização Potencial	Kalbar <i>et al.</i> (2012); Garrido <i>et al.</i> (2013)
	Carbon footprint	Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Sustentabilidade	Von Sperling (2014); Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Potencial para o reuso	Refsgaard (2003); Maurer <i>et al.</i> (2012); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
Adaptação as condições naturais	Refsgaard (2003)	
Sociais	Odor	Vidal <i>et al.</i> (2002); Alegre <i>et al.</i> (2007); Muga and Mihelcic (2008); Karimi <i>et al.</i> (2011); Leoneti (2012); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Atração de insetos	Von Sperling (2014); Hunt (2013)
	Aerossóis	Hunt (2013)
	Geração de empregos	Muga and Mihelcic (2008); Leoneti (2012); Kalbar <i>et al.</i> (2012)
	Ruídos	Von Sperling (2014); Hunt (2013); Molinos <i>et al.</i> (2014)
	Valorização ou desvalorização de áreas próximas	Von Sperling (2014)
	Aceitação pública	Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Complexidade	Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Estética	Molinos <i>et al.</i> (2014); Molinos <i>et al.</i> (2015)
	Mínima distância requerida	Vasiloglou <i>et al.</i> (2008)

Tabela 6 – Aspectos e critérios ambientais e sociais importantes na seleção do sistema de tratamento de esgotos

Foi possível uma série de critérios e subcritérios que têm sido utilizados para otimização da escolha de uma tecnologia de tratamento. Os critérios de maior destaque foram os critérios econômicos conforme pode ser observado nas tabelas 5 e 6, considerando número de citações e trabalhos que os consideraram, ao passo que os critérios técnicos também tiveram destaque especialmente pelo número de subcritérios.

## 6. Considerações finais

Foi possível observar, ao longo do estudo, algumas deficiências relativas, principalmente no que se refere ao banco de informações sobre o saneamento básico no Brasil, os dados são de difícil acesso, e nem sempre atualizados. Além disso, os dados demonstram apenas o acesso à rede coletora de esgoto, o que representa apenas à existência do serviço no município, desconsiderando importantes fatores como a extensão da rede, qualidade do atendimento, e a destinação final do esgoto coletado.

O processo estruturado de busca a literatura PROKNOW-C demonstrou-se bastante eficiente e prático, propiciando o conhecimento detalhado das características do conteúdo científico alinhado ao tema estudado, por meio da seleção de trabalhos extremamente alinhados a temática.

No que se refere à utilização de ferramentas de apoio à tomada de decisão, especialmente os métodos multicritério, foram encontrados alguns estudos aplicados ao saneamento, sendo um apenas de 8 trabalhos aplicados especialmente no cenário brasileiro, portanto constatou-se a necessidade de realizar estudos mais detalhados desta aplicação, considerando a importância e a carência de ferramentas que auxiliem no processo decisório na área sanitária, haja vista a complexidade encontrada para esse tipo de decisão nesse setor.

Dentro os trabalhos observados a ferramenta de maior destaque foi o Modelo multicritérios de

análise de decisão- AHP, fato este que pode ser atribuído a sua facilidade de operação, e aplicabilidade em diferentes cenários e contextos.

Verificou-se por meio dos trabalhos levantados 4 dimensões que têm sido utilizadas para a seleção dos sistemas de tratamento, as quais se dividem em 56 critérios, sendo 4 critérios relacionados à legislações, 10 definidos como critérios de custo, 23 como critérios técnicos, 11 critérios caracterizados como ambientais, e 10 critérios de cunho social. Esse grande número de critérios reintegra a importância da utilização de ferramentas multicritério para a tomada de decisão no contexto do saneamento, uma vez que a escolha de um sistema baseada em poucos critérios ou critérios inadequados pode gerar sérias consequências a longo termo.

## 7. Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Ensino Superior (CAPES), e a Fundação Araucária pelo financiamento desta pesquisa.

## Referências

**AFONSO, M. H. F.; SOUZA, J. V.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.** *Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável.* RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 5, p. 47-62, 2012.

**ARAÚJO JR., MM.** *Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de lisina.* Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 136p. 2006.

**BORTOLUZZI, S. C.** *A Avaliação de desempenho em redes de pequenas e médias empresas: estado da arte para as delimitações postas pelo pesquisador.* R. eletr. estrat. neg., v. 4, n. 2, p. 202-222, 2011.

**BOUYSSOU, D.** *Evaluation and decision models: a critical perspective.* Vol. 32. Boston/London/Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, International Series in Operations Research & Management Science 32, 2000. Disponível em <<http://www.lamsade.dauphine.fr/~bouyssou/book54.pdf>>. Acesso em: Abril, 2015.

**BOAS, C. L. V.** *Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite.* Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente). Universidade de Brasília. Brasília. 2006. 130p.

**BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO.** *Projeto BNDES Saneamento em Foco.* Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>> Acesso em: Abril, 2015.

**CALLADO, N. H.; FORESTI, E.** *Tratamento de esgoto doméstico com remoção de nitrogênio e fósforo em reatores sequenciais em batelada.* In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000. Porto Alegre. Anais do 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2000.

**CALIJURI, M. L.; Bastos, R. K. X.; Magalhães, T. B.; Capelete, B. C.; Dias, E. H. O.** *Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes.* Eng. Sanit. Ambient. Vol.14, n.3. 2009, 421-430p.

**CHAVES, L. C.** *Mapeamento do tema Gestão do Apoio à Decisão quando analisado sob a ótica de seus resultados.* S & G. Sistemas & Gestão, v. 7, p. 336-348, 2012a.

**CHAVES, L. C.** *Balanced Scorecard Na Gestão Universitária: Análise Bibliométrica Entre 2001-2011.* Revista da Faculdade de Administração e Economia - ReFAE, v. 4, p. 47-68, 2012b.

**CAMPOS, V. R.** *Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento.* Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Produção e Área de Concentração em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.170p.

**COLARES, C. J. G.; SANDRI, D.** *Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte.* Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

**CHERNICHARO, C. A. L.** *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 2º ed: Belo Horizonte. DESA-UFMG – 2001.

**DUTRA, A.; RIPOLL-FELIU, V. M.; FILLOL, A. G.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.** *The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation*. Int. J. Product. Perform. Manag. 64, p. 243–269. 2015b.

**ENSSLIN, L.** *Avaliação do Desempenho de Empresas Terceirizadas com o Uso da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão- Construtivista*. Revista Pesquisa Operacional, v. 30, n. 1, p. 125-152, 2010.

**ENSSLIN, L.** *Um Estudo Sobre Segurança em Estádios de Futebol Baseado na Análise da Literatura Internacional*; Perspectivas em Ciências da Informação; v.17, n. 2, p. 71-91, 2012.

**GARRIDO-BASERBA, M.** *Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant*. Environ. Model. Softw. 56, 74–82; 2014.

**GARRIDO-BASERBA, M.; REIF, R.; HERNÁNDEZ, F.; POCH, M.** *Implementation of a knowledge-based methodology in a decision support system for the design of suitable wastewater treatment process flow diagrams*. J. Environ. Manage. 112, 384–391, 2011.

**GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.** *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 4 ed. Editora Atlas. São Paulo. 2012.

**GIUSTINAI, S.V. D.; MIRANDA, L. A. S.; MONTEGGIA, L. O.** *Remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos por nova configuração de biofiltro aeróbio submerso no pós-tratamento de efluente de reator UASB*. Eng. Sanit. Ambient. Vol.15 no.3. Rio de Janeiro. 2010. 257-266p.

**HARADA, A. L.** *Uso de análise multicritério na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento*. Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária. Anais eletrônicos do 21 Congresso da ABES. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

**HAKANEN, J., MIETTINEN, K.; SAHLSTEDT, K.** *Wastewater treatment: New insight provided by interactive multiobjective optimization*. Decision Support Systems, v. 51, n. 2, p. 328–337, 2011.

**HUNT, C. C.** *Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Aplicado à Seleção de Sistema de Tratamento de Esgoto para Pequenos Municípios*. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

**KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R.** *The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach*. J. Environ. Manage. 128, 844–851, 2013.

**LEONETI, A. B.** *Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário*. Dissertação de Mestrado em Administração de Organizações – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP). Ribeirão Preto. 2009.

**LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; PIRES, E. C.** *Método baseado em indicadores de sustentabilidade para a escolha de estações de tratamento de esgoto*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 30, p. 56-67, 2013.

**LIMA J. D.; JUCÁ, J. F. T; REICHERT, G. A.; FIRMO, A. L.** *Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil*. Eng. Sanit. Ambient. Vol.19, n.1. 33-42p. 2014.

**PAULA, R. L.** *Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos, utilizando métodos multiobjetivo e indicadores*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. 262p.

**PONTES, P. P.; CHERNICHARO, C. A. L.** *Efeito do retorno de lodo aeróbio sobre as características da biomassa presente em reatores UASB tratando esgoto sanitário*. Eng Sanit Ambient. V.14 n.2. 2009. 223-234p.

**OLIVEIRA, S. V.W. B.** *Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário*. 2004. 293f. Tese (Doutorado em Administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

**MENDONÇA, L.C.** *Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido*. 2002. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

- METCALF; EDDY.** *Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse.* 4. ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003.
- MORAIS, D. C.; ALENCAR, L. H.; MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T.** *Apoio a decisão no gerenciamento de projeto de abastecimento de água.* XXXVIII Simpósio Brasileiro Pesquisa Operacional. Goiania – GO. 2006.
- MOLINOS-SENANTE, M., GÓMEZ, T., CABALLERO, R., HERNÁNDEZ-SANCHO, F. & SALA-GARRIDO, R.** *Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach.* Sci. Total Environ. 532, 676–687. 2015.
- MOLINOS-SENANTE, M., GÓMEZ, T., GARRIDO-BASERBA, M., CABALLERO, R. & SALA-GARRIDO, R.** *Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach.* Sci. Total Environ. 497-498, 607–17 . 2014.
- MUGA, H. E.; JAMES R. M.** *Sustainability of Wastewater Treatment Technologies.* Journal of Environmental Management (3): 437–47. doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.2008.
- NETO, L. G. L.; COSTA, R. H. R.** *Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P).* Eng Sanit Ambient. V.16 n.4. out/dez 2011 . 411-420p.
- NETTO, A. P. O.** *Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo com Recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.* 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. 2007.
- PRATA, R.C. C.; ANTONIO T. DE MATOS, A. T.; CECON, P.R.; MONACO, P. A. V.; PIMENTA, L. A.** *Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo.* Eng. Agrícola. Vol.33, n.6. 1144-1155p. 2013.
- SAIANI, C. C. S.** *Restrições à expansão dos investimentos em saneamento básico no Brasil: déficit de acesso e desempenho dos prestadores.* 2007. 315 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.
- SARTI, A.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; ZAIAT, M.; FORESTI, E.** *Tratamento de esgoto sanitário utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (escala piloto).* Rev Eng. sanit. ambient. Vol.11 - Nº 1 - jan/mar 2006, 73-82p.
- SILVA, G. H. R.** *Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio tratando esgoto sanitário: Desempenho e Operação.* Campinas: UNICAMP. Dissertação Mestrado. Campinas, SP. 2001. 166p.
- SILVA, G. H. R.; NOUR, E. A. A.** *Reator compartimentado anaeróbio/ aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de pequenas comunidades.* São Paulo, SP. 2005.
- SILVA, L. M.** *Avaliação da eficiência de sistema não Convencional de esgotos sanitários e do Impacto dos efluentes no corpo receptor.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria –RS. 2003. 150p.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013.* Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181p.
- TICHEMRA, A. H.** *Tabela de decisão adaptativa na tomada de decisão multicritério.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Engenharia Ambiental, Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G.** *O comportamento do sistema de lodos ativados- Teoria e aplicações para Projeto e Operação.* Epgraf., 1999. 472 p.
- VASILOGLOU, V.; LOKKAS, F.; GRAVANIS, G.** *New tool for wastewater treatment units location.* Desalination 248, 1039–1048. 2009.
- VIDAL, R.; MOLINER, E.; MARTÍNEZ G.; RUBIO M. C.** *Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement.* Resour C. Recycl. 2013;74:101-114. 2002.
- VON SPERLING, M.** *Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgoto, Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.* 4ª ed: Belo Horizonte, 2014.
- ZENG, G., JIANG, R.; HUANG, G.; XU, M.; LI, J.** *Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis.* J. Environ. Manage. v. 82, p. 250–259. 2007.