

Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP na avaliação da qualidade ambiental de nascentes

Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process – AHP in the evaluation of environmental quality of sources

Celso Henrique Leite Silva Junior ¹, Ana Talita Galvão Freire ² e Jonas Jansen Mendes ²

¹Engenheiro Ambiental, Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, Brasil

²Graduandos do Curso de Engenharia Ambiental, Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade CEUMA - UniCEUMA, São Luís, MA, Brasil

Resumo

O presente trabalho objetivou a avaliação da qualidade ambiental das nascentes do rio Bacanga utilizando uma metodologia pouco empregada nesses tipos de estudos, a Teoria Fuzzy. No cálculo do Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes, para a ponderação dos parâmetros foi utilizado o AHP (Analytic Hierarchy Process - Processo Analítico Hierárquico). Como resultado, das 11 nascentes analisadas 5 nascentes foram enquadradas na classe A com Qualidade Ambiental Ótima, 3 nascentes foram enquadradas na classe B com Qualidade Ambiental Boa, 2 nascentes foram enquadradas na classe C com Qualidade Ambiental Razoável e 1 nascente enquadrada na classe D com Qualidade Ambiental Ruim, nenhuma nascente foi enquadrada na classe E com Qualidade Ambiental Péssima. O uso da Lógica Fuzzy com o AHP demonstrou-se eficiente na classificação das nascentes. As nascentes enquadradas nas classes C e D necessitam de medidas mitigadoras para a recuperação ambiental das mesmas. A urbanização foi identificada como o principal agente de degradação das nascentes estudadas.

Palavras-chave: Impactos Ambientais. Recursos Hídricos. Estado do Maranhão.

Abstract

This study aimed to evaluate the environmental quality of the river Bacanga sources using a methodology rarely used in these types of studies, the Fuzzy Theory. In calculating the Environmental Quality Index of Sources, for the weighting of parameters was used the AHP (Analytical Hierarchical Process). As a result, the 11 sources analyzed 5 sources were framed in class A with Environmental Quality Best, 3 sources were framed in class B with Environmental Quality Good, 2 sources were framed in class C with Environmental Quality Reasonable and 1 source framed in class D with Environmental Quality Poor, no source was framed in class E with Environmental Quality Rubbish. The use of Fuzzy Logic with AHP demonstrated to be efficient in the classification of sources. The sources classified in the C and D classes require mitigation measures for the environmental recovery of the same. Urbanization was identified as the main agent of degradation of the studied sources.

Keywords: Environmental Impacts. Water Resources. State of Maranhão.

1 Introdução

No Brasil o processo de ocupação humana de um modo geral caracterizou-se pela falta de planejamento e conseqüente degradação dos recursos naturais. Nesse sentido áreas naturais foram sendo fragmentadas, cedendo espaço para as culturas agrícolas, as pastagens e as cidades, muitas destas passando por acelerados processos de crescimento, na maioria, sendo impactados pelos processos de urbanização desordenada.

No contexto da ocupação humana de forma desordenada está incluída a água, imprescindível à vida e atividades humanas por suas funções no abastecimento público, industrial, agropecuário e na preservação da vida aquática. Três quartos da superfície da Terra são cobertos por água, sendo 97,4% de água salgada, presente nos oceanos, e 2,6 % de água doce, desta 0,59% ocorre em lençóis de água e 0,007% em lagos (CORSON, 2002).

Na atual realidade dos recursos hídricos frente à ocupação humana desordenada estão inseridas as nascentes que são componentes essenciais para a manutenção dos recursos hídricos superficiais. Entende-se por nascente o afloramento do lençol freático que vai dar origem a uma fonte de água de acúmulo como os lagos e lagoas, ou cursos d'água (regatos, ribeirões e rios), não possui lugar bem definido, pode ser formada por uma área por exemplo, desta forma o sistema de nascentes deve ser preservado e é constituído pela vegetação, solo, rochas e relevo das áreas adjacentes e ao montante das nascentes (CALHEIROS, 2009).

A legislação brasileira através do "Novo Código Florestal", Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 em seu Capítulo II, Seção I, Art. 4º, Inciso IV considera como Área de Preservação Permanente (APP), "as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros" (BRASIL, 2012). Desta maneira a nascente e sua vegetação de entorno são protegidos devido a sua fragilidade e utilidade, podendo ser alteradas somente mediante confirmada necessidade de utilidade pública. Em áreas rurais consolidadas "será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros" (BRASIL, 2012).

No ano de 2008, estudo realizado por Vinhote nas nascentes do rio Bacanga localizadas na Área de Proteção Ambiental do Maracanã utilizando metodologia própria constatou que apenas 1 (uma) das 8 (oito) nascentes identificadas e analisadas encontrava-se bem preservada uma vez que não existiam muitas ocupações humanas no entorno nem áreas de agricultura ou áreas abertas e a vegetação encontrava-se sem alterações significativas. No entanto as outras 7 nascentes encontram-se bem pressionadas pela expansão urbana que é crescente e expressiva na área do bairro do Maracanã (VINHOTE, 2008).

O manejo ambiental das nascentes é uma tecnologia fundamentada em comportamentos hidrológicos das bacias hidrográficas, tendo em vista que tais fundamentos variam de acordo com os ecossistemas. Toda a parte do ciclo hidrológico envolvida no manejo das nascentes ocorre, portanto, numa área da superfície que se enquadra na definição de bacia hidrográfica (VALENTE, 2009). Pode-se resumir dessa maneira que para o correto manejo das nascentes deve-se considerar as relações entre os aspectos do meio físico, biológico e antrópico no contexto da bacia hidrográfica que segundo Rodrigues e Adami (2005) corresponde um sistema que compreende um volume de materiais, com predomínio de sólidos e líquidos, próximo à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que a partir da disponibilidade de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou uma rede de canais fluviais. Incluindo dessa maneira todos os espaços e circulação, armazenamento, e de saídas da água e do material por ela transportado, que mantem as relações com esses canais.

As análises ambientais utilizando Lógica Fuzzy tem se mostrado eficientes no tratamento e síntese de dados compatíveis com a realidade, quando combinada com a técnica AHP (Analytic Hierarchy

Process - Processo Analítico Hierárquico), as incertezas relacionadas às análises são significativamente reduzidas (PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy (ou conjuntos difusos) foi elaborada por Zadeh (1965). Segundo Aguado e Cantanhede (2010) a diferença entre a lógica Fuzzy e a lógica booleana é a capacidade desta de se aproximar do mundo real onde não existe somente respostas extremas. A lógica Fuzzy dá espaço ao meio termo apresentando ainda a possibilidade de mensurar o grau de aproximação da solução exata e assim inferir algo que seja necessário. Diferentemente da Lógica Booleana que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso (1 ou 0), a lógica Fuzzy, trata de valores que variam entre 0 e 1, uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade, logo 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente (RIGNEL et al., 2011).

Segundo Raffo (2012), o Processo Analítico Hierárquico é uma metodologia matemática que tem como principal objetivo ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do usuário com o modelo matemático, e fazer isso de forma qualitativa. O referido método foi desenvolvido por Saaty (1980).

Pinese Júnior e Rodrigues (2012) complementam que o Processo Analítico Hierárquico é a criação de uma hierarquia de decisão, composta por níveis de importância que permitem uma visão global das relações inerentes ao processo, e para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si. Já Silva e Nunes (2009) comentam que esse processo baseia-se em lógica de comparação par a par (Pairwise Comparison), onde diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente e comparados entre si e um valor de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre os fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro em relação à tomada de decisão.

Tendo em vista a legislação relativa ao manejo de nascentes, a disponibilidade de técnicas de análise ambiental eficientes e a evidente degradação destas no contexto da Bacia Hidrográfica do rio Bacanga é pertinente a necessidade da avaliação ambiental dessas nascentes com o propósito de se obter dados para auxiliar na correta gestão desse componente hidrológico tão importante para a manutenção do rio Bacanga.

O presente trabalho apresentou como objetivo, avaliar a qualidade ambiental das nascentes do rio Bacanga utilizando a abordagem Fuzzy tendo como apoio o Processo Analítico Hierárquico – AHP.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A Bacia do Bacanga encontra-se situada na porção noroeste da Ilha do Maranhão no município de São Luís – MA, entre as coordenadas 2° 32' 26" S; 44° 16' 00" W e 2° 38' 07" S; 44° 19' 6" W, com área aproximada de 110 Km². Limitando-se a norte com a baía de São Marcos e com a Bacia do Rio Anil; ao sul, com a chapada do Tirirical; a leste, com as Bacias do Rio Anil, Paciência e Cachorros; e a Oeste, com a Bacia do Itaqui (MMT, 2007) (Figura 1).

Na Bacia Hidrográfica do rio Bacanga encontrasse o reservatório do Batatã que é responsável por parte do abastecimento do município de São Luís – MA, sendo administrado pela CAEMA (Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão).

Foram adotadas para a avaliação ambiental as nascentes levantadas por Vinhote (2008): Nascente 8; Nascente 7; Nascente 2. E também foram avaliadas outras novas nascentes apontadas por moradores da área da bacia e foram nomeadas da seguinte forma: Nascente Nova 1; Nascente Nova 3; Nascente Nova 4; Nascente Nova 5; Nova Nascente 6; Nascente Mãe Isabel; Nascente Riacho da Lapa; Nascente Rio da Bica. Totalizando assim 11 nascentes para a avaliação.

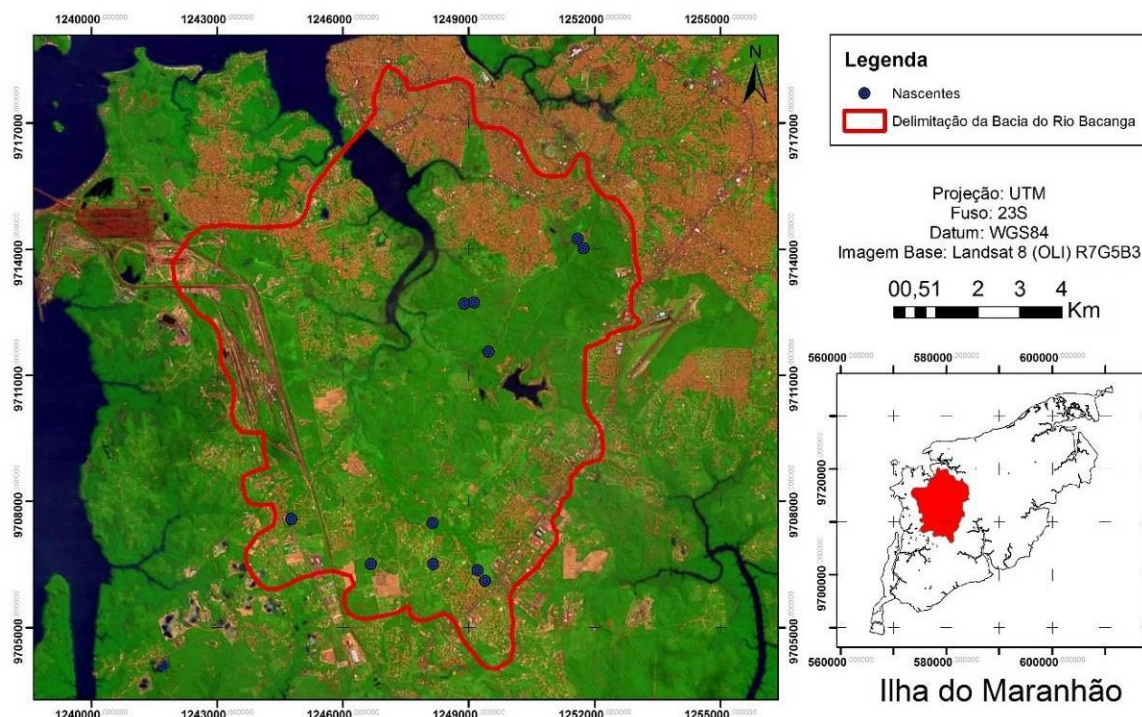


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

2.2 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais e softwares com o objetivo de auxiliar na realização da pesquisa: GPS (Garmin GPSmap 60CSx), Câmera Fotográfica (Fujifilm FinePix F550EXR), Trena, Software LibreOffice Calc e um Copo de Béquer.

2.3 Metodologia

Para a realização do presente trabalho dividiu-se a metodologia em quatro etapas distintas que constaram de Levantamento Bibliográfico, Coleta dos Dados em Campo, Tabulação e Processamento dos Dados e Classificação das Nascentes, de acordo com a esquematização da figura 2.

Para a definição dos pesos utilizados adotou-se a teoria AHP e para os cálculos referentes a classificação das nascentes a aplicação de Lógica Fuzzy (Operador Fuzzy Ponderado AHP).

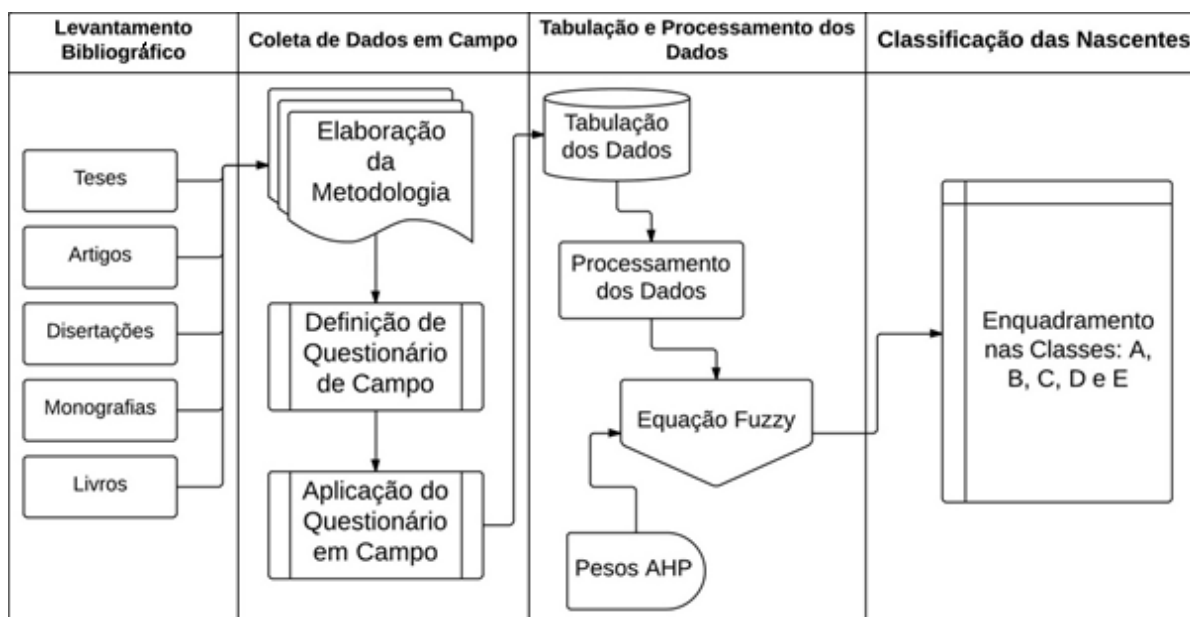


Figura 2 – Organograma metodológico.

2.3.1 Levantamento bibliográfico

Nessa etapa foi realizado levantamento bibliográfico pertinente aos temas abordados no presente trabalho. Para o levantamento foram usados Teses, Dissertações, Monografias e Artigos de Periódicos.

2.3.2 Coleta dos dados em campo

Para a coleta dos dados em campo foi utilizado um questionário com 11 perguntas (Parâmetros) que foram respondidas a partir das observações em campo (Qualificações) com a ajuda da comunidade local. O parâmetro transparência da água foi feito através da verificação visual em um copo de Béquier. As atividades de campo foram realizadas entre os dias 27 de outubro de 2012 e 02 de novembro de 2012. Os parâmetros e suas respectivas qualificações são descritos na tabela 1. Na coluna “Pesos AHP” são apresentados os pesos AHP para cada parâmetro analisado. Para as qualificações dos parâmetros (Coluna “Qualificações”) ficou atribuído o valor Fuzzy de “0” para a coluna “Q1”, onde as qualificações não foram possíveis de serem verificadas no caso de nascentes que encontravam-se secas, “0,334” para as qualificações da coluna “Q2”, “0,668” para as qualificações da coluna “Q3” e “1” para as qualificações da coluna “Q4” (Figura 3). Os valores foram atribuídos empiricamente com base nos pesos já atribuídos por Gomes et al. (2005).

Para o cálculo dos pesos AHP, foi utilizado o software PriEsT 2.0 (SIRAJ et al., 2013), onde obteve-se o valor de RC: 0,0730 (7,30 %).

Tabela 1 – Parâmetros analisados.

Pesos AHP	Parâmetros	Qualificação			
		Q1	Q2	Q3	Q4
0,158	Cor da água	Nula	Escura	Clara	Transparente
0,115	Resíduos no entorno	Nula	Muito	Pouco	Sem resíduos
0,124	Óleos	Nula	Muito	Pouco	Sem óleos
0,139	Esgoto	Nula	Esgoto doméstico	Fluxo superficial	Sem esgoto
0,182	Preservação da vegetação	Nula	Alta degradação	Baixa degradação	Preservada
0,069	Proteção do local	Nula	Sem proteção	Com proteção c/ acesso	Com proteção s/ acesso
0,069	Proximidade de residências ou estabelecimento	Nula	<50 metros	Entre 50 e 100 metros	>100 metros
0,054	Tipo de área de inserção	Nula	Ausente	Propriedade privada	Áreas protegidas
0,026	Odor	Nula	Cheiro forte	Cheiro fraco	Sem cheiro
0,030	Espumas	Nula	Muita	Pouca	Sem espumas
0,034	Material flutuante	Nula	Muito	Pouco	Sem flutuantes

Q1: Valor Fuzzy 0; **Q2:** Valor Fuzzy 0,334; **Q3:** Valor Fuzzy 0,668; e **Q4:** Valor Fuzzy 1.

Fonte: Modificado de Gomes et al. (2005) e Silva Junior et al. (2013).

2.3.3 Tabulação e processamento dos dados

Os dados foram tabulados no software LibreOffice Calc e posteriormente foi feito os cálculos utilizando a equação do operador Fuzzy Média Ponderada AHP, adaptada da fórmula da média ponderada, onde a ponderação foi realizada através dos pesos AHP, conforme a Equação 1.

$$IQA_N = \sum_{i=1}^{11} PP_{AHP} VFQ_P \quad (1)$$

Onde:

IQAN = Índice de Qualidade Ambiental da Nascente.

PPAHP = Peso de Ponderação AHP do Parâmetro.

VFQP = Valor Fuzzy da Qualificação do Parâmetro.

11 = Número de parâmetros analisados.

2.3.4 Classificação das nascentes

Para a classificação das nascentes foi utilizado 5 classes de qualidade ambiental, onde cada classe está associada a um intervalo de um possível valor de "IQAN" para cada nascente (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação das nascentes de acordo com o valor de "IQAN".

Classe	Qualidade Ambiental	Valor de "IQAN"
A	Ótima	0,840 - 1
B	Boa	0,630 - 0,840
C	Razoável	0,420 - 0,630
D	Ruim	0,210 - 0,420
E	Péssima	0 - 0,210

3 Resultados e Discussão

As nascentes analisadas estão descritas na Tabela 3 com número de identificação, nome, coordenadas (UTM) e bairro de localização. Na Figura 3 é apresentado o resultado do registro fotográfico de cada nascente. Nas fotos é possível observar as nascentes que estavam secas na ocasião da avaliação.

Os resultados da coleta de dados em campo são apresentados na Tabela 4. Na mesma tabela, na coluna “Frequência (%)” são apresentados a frequência da ocorrência de qualificação de parâmetros ideais para cada nascente.

Tabela 3 – Nascentes com coordenadas de localização (UTM) e seus bairros de localização.

Número	Nome	Coordenada	Bairro
1	Nascente 2 (VINHOTE, 2008) (Figura 3.A)	579530 m E; 9708547 m S; 37,376 m	Maracanã
2	Nascente 7 (VINHOTE, 2008) (Figura 3.B)	578047 m E; 9708542 m S; 28,483 m	Maracanã
3	Nascente 8 (VINHOTE, 2008) (Figura 3.C)	576163 m E; 9704600 m S; 20,313 m	Vila Maranhão
4	Nascente Nova 1 (Figura 3.D)	580580 m E; 9708404 m S; 42,423 m	Maracanã
5	Nascente Nova 3 (Figura 3.E)	580756 m E; 9708163 m S; 34,973 m	Maracanã
6	Nascente Nova 4 (Figura 3.F)	579504 m E; 9709514 m S; 18,631 m	Maracanã
7	Nascente Nova 5 (Figura 3.G)	580422,277 m E; 9714694,079 m N; 48 m	Coroadinho
8	Nova Nascente 6 (Figura 3.H)	580767,480 m E; 9713533,199 m N; 42 m	Estrada de acesso à Barragem do Batatã
9	Nascente Mãe Isabel (Figura 3.I)	583007,785 m E; 9715988,380 m N; 29 m	Estrada da CAEMA
10	Nascente Riacho da Lapa (Figura 3.J)	580193,736 m E; 9714657,362 m N; 35 m	Estrada do Sítio do Físico
11	Nascente Rio das Bicas (Figura 3.L)	582875,125 m E; 9716212,611 m N; 15 m	Coroadinho



Figura 3 – registro Fotográfico das nascentes.

Tabela 4 – Tabulação dos dados coletados em campo.

Parâmetros	Nascentes											Frequên- cia (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Cor da água	0,000	0,668	0,334	0,000	0,000	0,668	1,000	0,668	1,000	1,000	0,668	27,27
Resíduos no entorno	1,000	1,000	1,000	1,000	0,668	1,000	1,000	0,668	1,000	1,000	0,668	72,73
Óleos	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	72,73
Esgoto	1,000	1,000	1,000	0,334	0,334	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	81,82
Preservação da vegetação	1,000	1,000	1,000	0,668	0,668	1,000	1,000	0,668	1,000	1,000	1,000	72,73
Proteção do local	1,000	0,668	1,000	1,000	0,668	1,000	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	36,36
Prox. de resid. ou estab.	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	1,000	1,000	0,668	1,000	0,334	36,36
Tipo de área de inserção	1,000	1,000	0,668	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,668	81,82
Odor	0,000	1,000	0,668	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	63,64
Espumas	0,000	0,668	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	63,64
Material flutuante	0,000	0,668	1,000	0,000	0,000	1,000	0,668	0,334	0,334	0,334	0,668	18,18
IQAN	0,582	0,857	0,823	0,429	0,368	0,902	0,966	0,803	0,931	0,954	0,811	
Classe da Nascente	C	A	B	C	D	A	A	B	A	A	B	

Em relação a cor da água somente 27,27 % (3 nascentes) das nascentes apresentaram água de cor transparente. Das 8 nascentes restantes, 3 nascentes (Nascentes 1, 4 e 5) estavam secas. Segundo SABESP (2013) a cor da água é um parâmetro analítico que indica a presença substâncias dissolvidas na água, LQA (2013) afirma, que o parâmetro da cor da água resulta da existência de substâncias em solução que pode ser causada por elementos como o ferro ou manganês, pela decomposição da matéria orgânica da água (principalmente vegetais), pelas algas ou pela introdução de esgotos industriais e domésticos.

A respeito das 3 nascentes que se encontravam secas, esse fenômeno pode ser explicado principalmente por não apresentarem distância mínima de 50 m estabelecida na legislação, o que pode ter afetado a disponibilidade de água, aliado a esse fato está também a precipitação que no ano de 2012 foi bem abaixo da média devido à seca ocorrida no ano de 2012 na região Nordeste (LEIVAS et al., 2012, 2014). De acordo com Calheiros (2009) o despenho e características das nascentes são resultantes da infiltração em toda a bacia hidrográfica e não somente na área circundante da nascente, assim toda a área da bacia merece atenção quanto a preservação, o que vai determinar a disponibilidade de água na nascente em quantidade e estabilidade ao longo do ano, incluindo na época de seca. De uma maneira geral no estado do Maranhão é possível observar que a precipitação vem diminuindo ao longo dos últimos anos conforme constatado por Silva et al. (2014) ao analisar as estações meteorológicas presentes no estado.

Um fator importante na disponibilidade de água nesses componentes hidrológicos é a questão da atual demanda pelo uso de mananciais subterrâneos na Ilha do Maranhão. Felix et al. (2013), afirma que no universo que inclui os poços com pedidos de outorga na Ilha ouve um aumento do número de pedidos de autorização do uso da água (de 2008-2012), que foi gerado pelo crescimento imobiliário, comercial e industrial. É importante observar que existem centenas de poços na área da Bacia do Bacanga que são perfurados à revelia para os mais diversos fins o que afeta substancialmente a disponibilidade hídrica das nascentes. Essa crescente demanda de água é impulsionada principalmente pelo crescimento populacional em São Luís – MA que segundo IBGE (2010) no ano de 2010 o município apresentava uma população total de 1.014.837 de habitantes com cerca de 94,5% (958.522 de habitantes) da população vivendo em áreas urbanas e em 2013 a população foi estimada pelo IBGE em 1.053.919 de habitantes (BRASIL, 2013).

Das 11 nascentes 72,73 % não apresentaram resíduos sólidos, das 3 que apresentaram 2 não atendem a distância mínima de 50 metros de residência e estabelecimento o que facilita a ocorrência de resíduos. De acordo com Silva et al. (2006) o desequilíbrio do sistema fluvial da Bacia do Bacanga está associado a uma série de causas como desmatamento de suas margens, dispersão de resíduos sólidos e diminuição da biodiversidade, comprometendo, assim a qualidade de vidas não só das populações ribeirinhas mais como de toda a área adjacente.

A respeito da presença de óleos e esgoto 72,73 % não apresentaram óleo na água e 81,82 % não apresentaram disposição de esgoto. Das 2 nascentes que apresentaram disposição de esgoto não atendem a distância mínima de 50 m de residências e estabelecimentos. As 3 nascentes restantes da avaliação de presença de óleo, não foi possível a sua avaliação pois estavam secas e foi atribuído o valor Fuzzy nulo ("0"). A presença de óleos está principalmente ligada à disposição de esgotos doméstico.

No parâmetro preservação da vegetação apresentou 72,73 % das nascentes com vegetação ainda existente preservada, no entanto somente 36,36 % (3 nascentes) apresentam distância maior de 100 m de residências e estabelecimento o que seria ideal, somente uma nascente (Nascente 9) possui distância mínima de 50 m atendendo a legislação vigente e as outras 7 nascentes possuem distância inferior a 50 m em desacordo com a legislação.

Somente 36,36 % das nascentes apresentam proteção do local cercamento o que possibilita dessa maneira a entrada de animais e pessoas o que pode comprometer a sua estrutura.

A respeito do tipo de área de inserção cerca de 81,82 % das nascentes estão inseridas em Unidades de Conservação (UCs), isso devido a Bacia do Bacanga apresentar em sua área a Área de Proteção Ambiental do Maracanã e o Parque Estadual do Bacanga. Cerca de 81,82 das nascentes não foi identificado a presença de esgotos disposto in natura e 72,73 % não apresentaram resíduos dispostos em seu entorno.

Cerca de 63,64 % das nascentes não apresentaram odor, sendo que das 4 restantes 3 apresentavam-se secas e 1 apresentou odor devido a disposição de esgoto no local. 63,64 % das nascentes não apresentaram espuma na água sendo que das 4 restantes 3 encontravam-se secas e 1 devido a presença de material flutuante (material orgânico) e sua decomposição apresentou espuma na água.

Somente 18,18 % (2 nascentes) não apresentaram material flutuante, das 9 nascentes restantes 3 encontravam-se secas e as outras 6 apresentaram materiais flutuantes na maioria proveniente da vegetação circundante.

Das 11 nascentes analisadas 5 nascentes (Nascente 8 (VINHOTE, 2008), Nascente Nova 4, Nascente Nova 5 (Rio da Prata, Nascente Mãe Isabel e Nascente Nova 6) foram enquadradas na classe A com Qualidade Ambiental Ótima, 3 nascentes (Nascente Nova 1, Nascente Rio das Bicas e Nascente Riacho da Lapa) foram enquadradas na classe B com Qualidade Ambiental Boa, 2 nascentes (Nascente 7 (VINHOTE, 2008) e Nascente Nova 3) foram enquadradas na classe C com Qualidade Ambiental Razoável e 1 nascente (Nascente 2 (VINHOTE, 2008)) enquadrada na classe D com Qualidade Ambiental Ruim, que apresenta alto grau de degradação que segundo BRASIL (1981) é a alteração adversa das características ambientais. Não houve enquadramento de nascentes na classe E consideradas com Qualidade Ambiental Péssima.

Com o uso da Lógica Fuzzy com o auxílio do AHP para o processamento dos dados obtidos em campo, os erros inerentes a superestimação ou subestimação na classificação das nascentes é resolvido substancialmente onde cada valor de parâmetro é tratado conforme seu grau de importância, diferentemente no modelo baseado em soma linear, sugerida por Gomes et al. (2005). Linhares et al. (2012) comenta que para tratar imprecisões inerentes ao processo decisório o uso da Lógica Fuzzy com o auxílio do AHP se torna uma solução metodológica viável, já sendo amplamente empregada em diversos estudos como, por exemplo, na seleção de alternativas de projeto e planejamento de edifícios públicos, na avaliação de planos de gestão da água, no desenvolvimento de sistema de seleção de pessoal e na avaliação de desempenho de bancos.

4 Considerações Finais

Com o uso da Lógica Fuzzy integrada ao AHP foi possível tratar problemas relacionados a subestimação e superestimação da qualidade ambiental das nascentes, uma vez que cada parâmetro analisado apresentou seu valor de peso respectivo na composição do Índice de Qualidade Ambiental de cada nascente. Não foi possível encontrar na literatura outros trabalhos compatíveis com as ferramentas aqui utilizadas, no entanto, Silva Junior et al. (2013, 2014) obtiveram ótimos resultados com o uso dessas técnicas para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamento, o que demonstra que essas ferramentas apresentam grande potencial no tratamento de incertezas para a tomada das mais diversas decisões.

Das 11 nascentes analisadas 8 encontram-se com qualidade ambiental entre Ótima e Boa. Levando-se em consideração as nascentes enquadradas nas classes C e D é necessárias medidas mitigadoras para recuperação e preservação, onde será necessário primeiramente o isolamento da área a fim de evitar o acesso de animais, pessoas e veículos. Além disso, recomenda-se o uso de técnicas já difundidas no meio científico, como o plantio de mudas, nucleação, semeadura direta, indução e/ou condução da regeneração natural para a recuperação da vegetação ciliar, além de outros procedimentos sugeridos por Calheiros (2009). Para as demais nascentes é necessário a garantia da qualidade ambiental através de seu isolamento e conscientização da comunidade de entorno de cada nascente a respeito da importância desse frágil componente hidrológico.

Foi identificado não somente nas imediações das nascentes mais em toda a extensão da Bacia do Bacanga grandes problemas ligados ao uso e ocupação do solo, onde é observado o uso indiscriminado e sem manejo adequado do solo para a agricultura e pecuária a nível de agricultura familiar. A ocupação urbana desordenada estimulada pelo crescimento populacional é o fator de degradação que se destaca na Bacia do Bacanga e em suas nascentes. A implantação de indústrias na área também apresenta sua parcela de contribuição na degradação das nascentes do Bacanga. Assim, a urbanização não planejada configura-se como o principal fator de degradação das nascentes do Rio Bacanga.

Referências

- AGUADO, A. G.; CANTANHEDE, M. A. **Lógica Fuzzy**. 2010. Disponível em: <http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_logicaFuzzi.pdf>. Acesso em: 2 out 2013. 12 p.
- BRASIL. **Diário Oficial da União - nº 167, quinta-feira, 29 de agosto de 2013**. Brasília: Imprensa Nacional, 2013. p. 65-83.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 22 set. 2013.
- BRASIL. **Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 1 nov 2012.
- CALHEIROS, R. de O. et al. **Preservação e recuperação das nascentes de água e vida**. 2 ed. São Paulo: SMA, 2009. 36 p.
- CORSON, W. H. **Manual global de ecologia**. 4 ed. São Paulo: Editora Augustus, 2002. 413 p.
- FELIX, A. S. et al. O uso da água outorgada na ilha de São Luís no período o uso da água outorgada na ilha de São Luís no período de 2008 a 2012. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Bento Gonçalves, ABRH, 2013. p. 1-8.
- GOMES, P. M. et al. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia – MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v. 17 n. 32, p. 103-120, 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 22 out. 2013.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 2 jan. 2013.
- LEIVAS, J. et al. Monitoramento da seca ocorrida em 2012 no Nordeste brasileiro a partir dos dados do Spot-Vegetation e TRMM. VI GEONORDESTE. **Anais...** Aracaju: RESGEO, 2012
- LEIVAS, J. F. et al. Monitoramento da seca 2011/2012 no Nordeste brasileiro a partir do satélite Spot-Vegetation e TRMM. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 211–221, 2014.
- LINHARES, C. G. et al. O método Fuzzy AHP aplicado à análise de riscos de usinas hidrelétricas em fase de construção. In: Congresso Latino-Iberoamericano de Investigação Operacional. **Anais...** Rio de Janeiro, SOBRAPO, 2012. 13 p.
- LQA - LABORATÓRIO DE QUALIDADE DE ÁGUA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Qualidade da água**. 2013. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/lqa/qualidade.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2013.
- MMT – MNT PLANEJAMENTO E CONSULTORIA. **Programa de recuperação e melhoria da qualidade de vida do Bacanga**. São Luís, 2007. 83 p.
- PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, n. 2012, p. 4–26, 2012.
- RAFFO, J. G. de G. O processo analítico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, v. 23, 2012, p. 26-37.
- RIGNEL, D. G. de S. et al. Uma introdução a Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011.

- RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 239 p.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-hill, 1980. 287 p.
- SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade da água**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=40>>. Acesso em: 1 jun 2013.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Avaliação ambiental preliminar das nascentes do Rio Bacanga, São Luís - MA, 2012. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Bento Gonçalves, ABRH, 2013. p. 1-8.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Mapeamento da suscetibilidade natural a movimentos de massa para a bacia hidrográfica do Rio Anil, São Luís - MA. **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**, v. 14, p. 118–122, 2014.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Uso de Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o Operador Fuzzy Média Ponderada AHP: o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Anil em São Luís – MA. **Revista de Geografia**, v. 3, n. 2, p. 1–7, 2013.
- SILVA, C. A. de; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Natal, INPE, 2009. p. 5435-5442.
- SILVA, F. B. et al. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**, v. 14, p. 123–125, 2014.
- SILVA, G. da S. et al. análise geomorfológica do sistema de drenagem do baixo rio Bacanga: São Luís/MA. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Goiânia, IAG, 2006.
- SIRAJ, S. et al. PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments. **International Transactions in Operational Research**, n. 2013, p. 1–19, 2013.
- VALENTE, O. F. **Hidrologia e manejo de pequenas bacias hidrográficas: conservação de nascentes**. 2009. Disponível em: <<http://shar.es/G7LnE>>. Acesso em: 1 nov 2012.
- VINHOTE, E. C. A. **Sustentabilidade das formas de ocupação, uso e conservação das matas ciliares nas nascentes do rio Bacanga de São Luís – MA**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Maranhão: São Luís, 2008.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets and systems. In: FOX, F (Ed.). **Systems theory**. New York: Brooklyn Institute, 1965.