

Análise espacial das populações residentes em bacias hidrográficas através de indicadores socioambientais

Darllan Collins da Cunha e Silva¹
Vanessa Nastri Oliveira²
Veronica Dias Dominato²
Renan Antrizani de Oliveira²
Vanessa Cezar Simonetti¹
Jomil Costa Abreu Sales¹
José Luiz Albuquerque Filho³
Roberto Wagner Lourenço¹

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP
Avenida Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista - 18087-180 – Sorocaba – SP, Brasil
darllanamb@yahoo.com.br, va_simonetti@hotmail.com, jomilc@gmail.com,
robertow@sorocaba.unesp.br

² Universidade de Sorocaba - Uniso
Caixa Postal - 18023-000 - Sorocaba - SP, Brasil
{vanessa.nastri, v.dominato, renan_antrizani}@hotmail.com

³ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT
Avenida Professor Almeida Prado, 532 - Butantã - 05508-901, São Paulo - SP, Brasil
albuzelu@ipt.br

Abstract. Socio-environmental index and indicators are important mechanisms for communicate summary information or provide solid bases about the quality of human lives, because they are static values that dimensionalize the current moment, thus presenting a predictive potentiality for a short time period. Therefore, in this study was developed Social Inclusion Indicator (IIS) that incorporated socio-environmental information from Una River Watershed located in the Metropolitan Region of Sorocaba (RMS), using in its calculation, data from the demographic data and geoprocessing techniques, which to quantify the weight of each variable of IIS was applied Analytic Hierarchy Process (AHP) method. From the obtained results it was possible to verify that all values are below 0.50, that is, values are considered bad and inadequate. These values below expectations are justified by low-income and high illiteracy rate in the present study area. The urban area compared to rural area showed better values in part justified by the population of these areas access to education and better employment opportunities. It can be concluded that IIS is an important tool that allows identify numerically the social reality focusing on the domiciles and residents of a specific study area and therefore can serve as a decision-making tool for public managers and stakeholders on this issue.

Palavras-chaves: index, AHP, geoprocessing, census, índice, AHP, geoprocessamento, censo.

1. Introdução

Índice e indicador são, na maioria das vezes, interpretados como sinônimos, porém apresentam conceituações distintas. Para Van Bellen (2006) e Siche et al. (2007), indicador é uma ferramenta que possibilita obter informações quantificadas, isto é, numéricas sobre o estado de um fenômeno estudado. Enquanto, Diamantopoulos et al. (2000), Khanna (2000) e Shields et al. (2002) argumentam que o índice é a aglutinação de informações variadas que revelam o estado de um fenômeno observado, ou seja, índices correspondem a um nível superior de agregação de indicadores.

Independente da definição conceitual, índices ou indicadores sinalizam a situação de um fenômeno, pois são valores estáticos, isto é, dimensionam o momento atual, entretanto, o meio ambiente é um sistema dinâmico, assim, os índices têm uma potencialidade de previsão para um curto período tempo (SICHE et al., 2007).

Os índices de sustentabilidade devem ser simples de usar e fáceis de serem entendidos, além de apresentarem custo e coleta de dados viáveis, para que assim, possam ser utilizados como ferramentas de gestão, pois podem direcionar de forma eficiente as ações dos gestores em direção à sustentabilidade (GUIMARÃES; MAGRINI, 2008).

No presente estudo será gerado um Indicador de Inserção Social (IIS) representado por um valor numérico que possibilite reconhecer as desigualdades e condições sociais dos residentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una e avaliar a sustentabilidade desses indivíduos, utilizando para seu cálculo, dados do censo demográfico e técnicas de geoprocessamento.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Una localizada no Município de Ibiúna/SP, a qual está inserida na Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) e possui população de 73.309 habitantes, sendo 55,7% residentes na zona rural (SILVA et al., 2016).

Os pesos de cada uma das variáveis que compõem IIS foi obtido pelo particionamento do intervalo de 0 a 1 em 4 valores compreendendo os extremos desse intervalo e o primeiro e terceiro quartil do referido intervalo. A Tabela 1 apresenta a atribuição dos pesos de cada um dos componentes do IIS, sendo que as variáveis foram classificadas ainda, segundo o estado da condição dos ocupantes do domicílio, em ótima, boa, regular e ruim.

Tabela 1. Atribuição de pesos para cada uma das variáveis do IIS.

VARIÁVEIS	CONDIÇÕES	PESOS
Condição de ocupação do domicílio (COD) ¹	Condição ótima: domicílios particulares permanentes próprios (quitados ou em aquisição).	1
	Condição boa: domicílios particulares permanentes alugados.	0,75
	Condição regular: domicílios particulares permanentes cedidos (por empregador ou outra forma).	0,25
	Condição ruim: domicílios particulares improvisados, domicílios coletivos e outras condições de ocupação.	0
Renda (REN) ¹	Condição ótima: 3 ou mais salários mínimos per capita.	1
	Condição boa: entre 2 e < 3 salários mínimos per capita.	0,75
	Condição regular: entre 1 e < 2 salários mínimos per capita.	0,25
	Condição ruim: entre 0 e < 1 salário mínimo per capita.	0
Taxa de alfabetização (ALF) ¹	Condição ótima: Taxa de pessoas alfabetizadas com 15 anos ou mais igual a 100%.	1
	Condição boa: Taxa de pessoas alfabetizadas com 15 anos ou mais, maior ou igual a 90% e menor 100%.	0,75
	Condição regular: Taxa de pessoas alfabetizadas com 15 anos ou mais, maior ou igual a 70% e menor 90%.	0,25
	Condição ruim: Taxa de pessoas alfabetizadas com 15 anos ou mais, menor que 70%.	0
Taxa de Responsáveis pelo domicílio (RESP) ¹	Condição ótima: Taxa de pessoas responsáveis pelo domicílio com 18 anos ou mais igual a 100%	1
	Condição boa: Taxa de pessoas responsáveis com 18 anos ou mais, maior ou igual a 90% e menor 100%.	0,75
	Condição regular: Taxa de pessoas responsáveis com 18 anos ou mais, maior ou igual a 90% e menor 100%.	0,25
	Condição ruim: Taxa de pessoas responsáveis com 18 anos ou mais, menor 70%.	0

¹ Dados disponibilizados pelo IBGE apenas para domicílios particulares permanentes, excluindo-se a condição dos domicílios improvisados e coletivos.

As variáveis do IIS estudadas (Tabela 1) foram extraídas do banco de dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2012) em escala municipal por setores censitários. O valor final por setor censitário para as variáveis de Condição de ocupação do domicílio – COD e Renda – REN foi obtido por meio de uma média ponderada em função do número de domicílios em cada condição de acordo com a Equação (1):

$$Var = \frac{Co \times No + Cb \times Nb + Crg \times Nrg + Crm \times Nrm}{No + Nb + Nrg + Nrm} \quad (1)$$

Onde:

- Var é a variável estudada que pode ser a COD ou REN;
- Co é o peso da condição ótima;
- Cb é o peso da condição boa;
- Crg é o peso da condição regular;
- Crn é o peso da condição ruim;
- No é o número de domicílios classificados como condição ótima;
- Nb é o número de domicílios classificados como condição boa;
- Nrg é o número de domicílios classificados como condição regular;
- Nrm é o número de domicílios classificados como condição ruim.

Para o cálculo da taxa de alfabetização foi considerado o critério estabelecido no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) que fixou a idade máxima de 15 anos para alfabetização, ou seja, capaz de ler e escrever um bilhete simples (PNUD, 2014). Daí a opção por se medir essa capacidade na população com 15 anos ou mais de idade. A taxa de alfabetização (ALF) foi calculada por setor censitário de acordo com a Equação (2):

$$ALF = \frac{PALF}{NMSC} \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

- ALF é a taxa de alfabetização em porcentagem;
- PALF é o número de pessoas com 15 anos ou mais alfabetizadas no setor censitário;
- NMSC é o número de pessoas com 15 anos ou mais residentes no setor censitário.

Para o cálculo da taxa de responsáveis pelo domicílio foi considerado como idade mínima 18 anos, uma vez que, com essa idade a pessoa adquire a maioridade de acordo com a legislação brasileira e espera-se que tenha maturidade suficiente. A taxa de responsáveis pelo domicílio (RESP) foi calculada por setor censitário de acordo com a Equação (3):

$$RESP = \frac{PRD}{NPRDSC} \times 100\% \quad (3)$$

Onde:

- RESP é a taxa de pessoas responsáveis por domicílio em porcentagem;
- PRD é o número de pessoas com 18 anos ou mais responsáveis pelo domicílio no setor censitário;
- NPRDSC é o número total de pessoas responsáveis pelo domicílio no setor censitário.

Para quantificar o peso de cada variável do IIS foi aplicado o método proposto por Saaty (1991) de Análise Hierárquica de Processos (AHP), que permite estabelecer uma estrutura de valores entre as variáveis a partir de sua comparação par a par, possibilitando dividir o indicador em variáveis de menor importância, mantendo ao mesmo tempo, a participação dessas variáveis menores na decisão global, auxiliando no processo de tomada de decisão.

O emprego deste método deve-se à sua simplicidade, à minimização dos critérios subjetivos para a ponderação entre as variáveis e ao fato de ser consagrado em vários estudos científicos, como os realizados por Grandzol (2005), Moretti et al. (2008), Oliveira et al. (2009) e Paula e Cerri (2012).

As comparações pareadas das variáveis do IIS foram realizadas com base em uma escala de prioridades padrão, própria da Análise Hierárquica de Processos (Tabela 2).

Tabela 2. Escala de comparações da AHP, utilizada no julgamento da importância relativa de elementos na análise pareada, conforme proposto por Saaty (1991).

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Elemento ligeiramente mais importante	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Elemento medianamente mais importante	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Elemento fortemente mais importante	O julgamento favorece muito fortemente uma atividade em relação à outra.
9	Elemento absolutamente mais importante	Maior grau de certeza de favorecimento de uma atividade sobre a outra.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1991) e Paula e Cerri (2012).

Foi gerada uma matriz de comparação expressa por meio da relação de importância de uma determinada variável (linha) frente à outra variável (coluna). Caso a variável linha fosse mais importante que a variável coluna na matriz, atribuiu-se um peso com valores acima de 1 até 9 (Tabela 2). Caso contrário, atribui-se um peso com valores abaixo de 1 até 1/9. Após os julgamentos, as variáveis do IIS foram expressas numa matriz quadrada 5 x 5 denominada de matriz de comparação.

Para obter o peso normalizado (p) de cada variável foi necessário calcular antes, a matriz ponderada, que consiste na divisão de cada elemento da coluna pela soma dos valores da própria coluna da matriz de comparação. Os valores obtidos a partir deste procedimento fazem com que a soma de cada coluna da matriz ponderada seja igual a um (1).

Após a elaboração da matriz ponderada obteve-se os pesos normalizados para cada variável do IIS através do cálculo da média dos valores de cada linha da matriz ponderada. Esses pesos normalizados indicam quais variáveis do IIS devem ter maior importância.

Em seguida foi calculado o índice de consistência (IC), a partir do autovalor máximo (λ_{max}) e do número de variáveis analisadas, que neste caso foi $n = 5$.

De acordo com Saaty (1991), o autovalor máximo (λ_{max}) é calculado pela multiplicação da matriz de comparação (A) pela matriz de pesos normalizados (p), dividindo-se o resultado obtido (Ap), pelo vetor de pesos normalizados (p).

Se o índice de consistência for menor do que 0,1; então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP, caso contrário, recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos até que haja consistência. Saaty (1991) ainda sugere o uso da Razão de Consistência (RC), que é calculada dividindo-se o IC pelo Índice Randômico (IR), o qual varia de acordo com o tamanho n da amostra. Segundo o autor, são considerados consistentes os julgamentos que apresentarem uma RC menor que 10%. Portanto, foram avaliados o IC e o RC dos pesos calculados para avaliar a consistência dos cálculos realizados.

Após os cálculos dos pesos pelo método AHP e dos valores das variáveis integrantes do IIS, foi calculado o valor final do IIS para cada setor censitário através da Equação (4):

$$IIS = \sum_{i=1}^4 Var(i) \times p(i) \quad (4)$$

Onde:

Var(i) são variáveis do IIS para um determinado setor censitário;

p(i) são valores dos pesos normalizados das variáveis do IIS.

Os valores finais do IIS para cada setor censitário foram geocodificados no ArcGIS 10.1 para alimentar o banco de dados dos setores censitários presentes na área de estudo.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra os mapas das variáveis utilizadas na construção do IIS com seus valores finais por setor censitário divididos em quatro partes iguais (0 a 0,25; 0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1) para todas as variáveis componentes deste índice. Enquanto que, a Tabela 3 apresenta a distribuição em porcentagem das variáveis componentes do IIS pelos intervalos de valores apresentados na Figura 1.

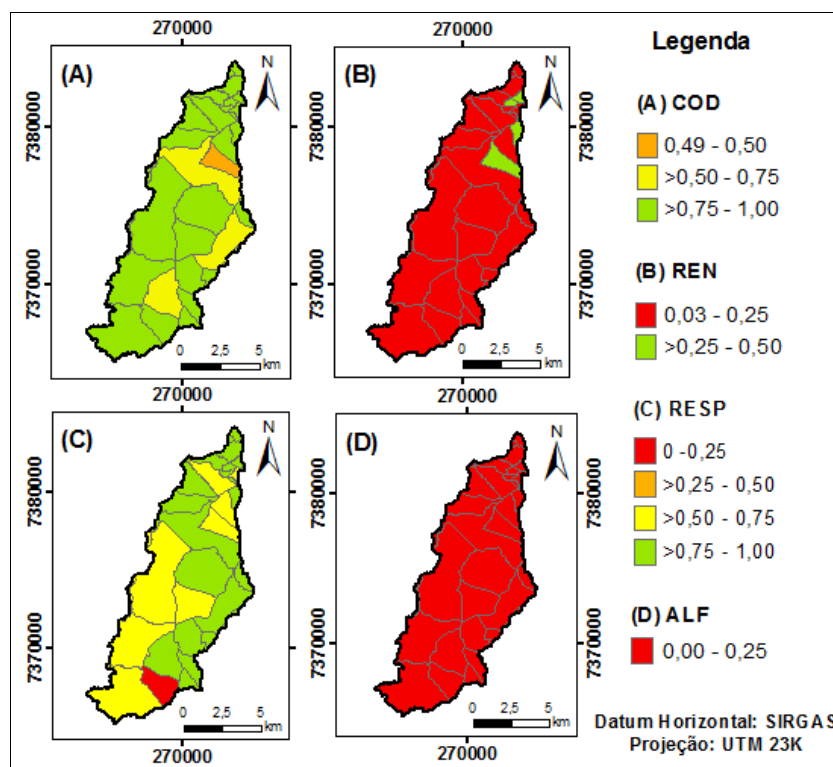


Figura 1. Mapas das variáveis utilizadas na construção do IIS.

Tabela 3. Distribuição das variáveis do IIS por intervalos de valores.

Intervalo	REN	RESP	ALF	COD
0 a 0,25	87,5%	3,1%	100,0%	0,0%
0,25 a 0,5	12,5%	0,0%	0,0%	3,1%
0,5 a 0,75	0,0%	25,0%	0,0%	9,4%
0,75 a 1	0,0%	71,9%	0,0%	87,5%

Para a variável COD, somente um setor censitário apresentou valor inferior a 0,5, e aproximadamente 88% dos domicílios apresentam valores superiores a 0,75, isto é, quase todos os domicílios presentes na área de estudo estão quitados ou em processo de aquisição. Isto é importante, uma vez que, as pessoas com domicílios quitados possuem, em sua maioria, uma oportunidade maior de investir seus recursos financeiros no crescimento pessoal e profissional da família do que àqueles que não se encontram nessa situação.

Em relação a variável REN, verifica-se que quase 88% da população residente nesta área de estudo, sobrevivem com menos de um salário mínimo per capita, indicando a

vulnerabilidade social dos residentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ainda, corroborando com esta afirmação, é possível verificar no mapa da Figura 1 que não há nenhum setor censitário que apresente uma condição classificada como ótima.

A variável RESP, correspondente a taxa de pessoas responsáveis pelo domicílio com 18 anos ou mais, está bem distribuída ao longo da Bacia Hidrográfica, com valores superiores a 0,75; o que indica que todos os responsáveis pelo domicílio apresentam idade superior a 18 anos. A taxa com valores iguais a 100% dos responsáveis com mais de 18 anos corresponde a aproximadamente 72% dos setores censitários. Esse valor é o ideal, pois se espera que todos os responsáveis pelo domicílio tenham obtido uma oportunidade de concluir o ensino médio antes de se tornar o responsável pelo sustento de sua família, diminuindo assim a desigualdade social e possibilitando que este possa ter um emprego melhor remunerado.

ALF é a única variável que apresentou 100% dos seus dados em uma única classe de valores e, também, é a única que tem todos os valores presentes na pior classe de valores. Ou seja, o nível de analfabetismo presente nos setores censitários apresenta uma taxa de pessoas alfabetizadas com 15 anos ou mais, menor que 70%, bem inferior à média brasileira que é de 90,4% (PNUD, 2014). Portanto, é a variável mais preocupante da Bacia Hidrográfica e que necessita de atenção especial por parte dos gestores públicos.

Para quantificar o peso de cada variável do IIS foi aplicado o método proposto por Saaty (1991) de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Para tanto, foi estabelecida uma matriz de comparação pareada entre as cinco variáveis componentes do IIS por comparações par a par, a partir do julgamento da intensidade de importância de cada variável (Tabela 2), conforme é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Matriz de comparações pareadas das variáveis componentes do IIS.

Variáveis do IIS	REN	ALF	RESP	COD
REN	1	1	3	5
ALF	1	1	3	5
RESP	1/3	1/3	1	3
COD	1/5	1/5	1/3	1

A Tabela 5 apresenta os pesos normalizados para cada uma das variáveis componentes do IIS, bem como o valor calculado do autovalor máximo (λ_{max}) utilizado na obtenção do índice de consistência (IC).

Tabela 5. Pesos normalizados das variáveis componentes do IIS.

Variáveis do IIS	Pesos normalizados(p)	Ap	Ap/p
REN	0,39	1,58	4,07
ALF	0,39	1,58	4,07
RESP	0,15	0,62	4,03
COD	0,07	0,28	4,01
Média (λ Max)			4,04

O valor do IC calculado para avaliar a consistência dos pesos atribuídos às variáveis componentes do IIS pelo método da AHP foi de 0,015; isto é, abaixo de 0,1 e, portanto, há consistência nos valores obtidos.

Para reforçar ainda mais a avaliação da consistência dos dados, foi calculado a razão de consistência (RC) e o valor obtido foi de 0,016; ou seja, abaixo de 0,1; indicando que os pesos normalizados calculados apresentam consistência.

As variáveis que apresentaram os maiores pesos foram REN e a ALF com pesos iguais a 0,39; enquanto que, a variável COD apresentou o menor peso e igual a 0,07 como pode ser visto na Tabela 5.

A partir disso, foi calculado o valor do IIS para cada setor censitário e geoespacializado esses valores no *software* ArcGIS 10.1 como mostrado no mapa da Figura 2.

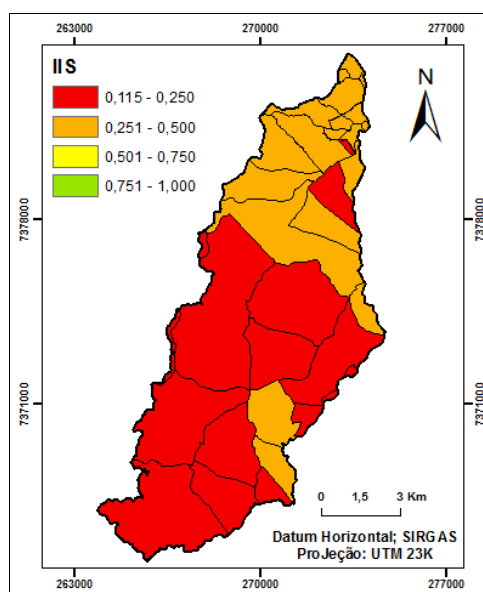


Figura 2. Distribuição dos valores do IIS por setores censitários.

Os piores valores para o IIS encontram-se na região central e sul da Bacia Hidrográfica, onde há a maior concentração de atividades agrícolas. Não houve bons resultados para os valores calculados do IIS, possivelmente, devido aos péssimos valores encontrados para a taxa de alfabetização e renda, variáveis importantes e de maior peso no cálculo do IIS, ou seja, a população residente nessa área carece de maior acesso a educação e fonte de renda. Para a maior parte dos setores censitários estudados, a principal fonte de renda da população provém da agricultura de subsistência, isto é, de pequenas propriedades agrícolas.

Mesmo ao norte da Bacia Hidrográfica, onde reside maior parte da população e está localizada a área urbana do município, os valores de IIS foram baixos e ruins como podem ser vistos na Figura 2. Este fato pode estar associado à vocação do município na produção agrícola e na ausência de serviços mais especializados que oferecem uma possibilidade de renda maior, porém exigem um grau de estudo mais elevado, podendo ser uma explicação para os baixos valores encontrados para as variáveis ALF e REN na área de estudo.

As áreas urbanas em comparação as áreas rurais apresentaram os melhores valores socioambientais, em parte, justificável pelo acesso da população dessas áreas à educação e melhores oportunidades de emprego.

4. Conclusão

O estudo demonstra que as técnicas de geoprocessamento em conjunto com os dados do censo demográfico são importantes ferramentas para avaliar as condições sociais dos residentes em uma determinada área de interesse, que neste caso foi a Bacia Hidrográfica do Rio Una que é um importante afluente da maior represa de abastecimento de água da RMS.

A partir dos resultados foi possível concluir que as desigualdades sociais estão mais presentes na área rural da área de estudo, entretanto, a vocação agrícola do município reflete nos dados coletados também na área urbana, que apresentou valores de IIS baixos, devido principalmente à baixa renda da população e à alta taxa de analfabetismo presente na área de estudo. Conclui-se que o IIS é sensível o suficiente para apontar as variáveis que mais influenciam no seu valor e aquelas que necessitam de uma gestão prioritária.

Através das informações levantadas neste estudo, pode-se concluir que IIS é uma importante ferramenta que permite interpretar numericamente a realidade social da Bacia Hidrográfica do Rio Una, enfocando os domicílios e residentes da área e, deve servir como um instrumento de tomada de decisão para gestores públicos e interessados na questão.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação do Instituto de Pesquisa Tecnológica (FIPT) pelo financiamento do projeto, indispensável para o desenvolvimento do estudo.

Referências

Diamantopoulos, A.; Winklhofer, H. M. Index construction with formative indicators: An alternative to scale development. **Journal of marketing research**, v. 38, n. 2, p. 269-277, 2001.

Grandzol, J. R. Improving the faculty selection process in higher education: a case for the analytic hierarchy process. **IR applications**, v. 6, n. 24, p. 1-13, 2005.

Guimarães, L. T.; Magrini, A. A proposal of indicators for sustainable development in the management of river basins. **Water resources management**, v. 22, n. 9, p. 1191-1202, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Estatcart de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário**. Rio de Janeiro, IBGE, 2012. CD-ROM.

Khanna, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, v. 35, n. 2, p. 191-202, 2000.

Moretti, G. N.; Sautter, K. D.; Azevedo, J. A. ISO 14001: implementar ou não? Uma proposta para a tomada de decisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 416-425, 2008.

Oliveira, P. T. S. D.; Rodrigues, D. B. B.; Alves Sobrinho, T.; Panachuki, E. Processo analítico hierárquico aplicado à vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências (São Paulo)**, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

Paula, B. L. D.; Cerri, L. E. D. S. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeverica da Serra e Suzano (SP). **Geociências (São Paulo)**, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2014**. Sustentar o Progresso Humano: Reduzir as Vulnerabilidades e Reforçar a Resiliência. Nova Iorque: PNUD, 2014.

Saaty, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 1991. 367 p.

Shields, D.; Solar, S.; Martin, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, 2002.

Siche, R.; Agostinho, F.; Ortega, E.; Romeiro, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007.

Silva, D. C. C.; Albuquerque Filho, J. L.; Sales, J. C. A.; Lourenço, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 221-217, 2016.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série histórica**. 2013. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em 26.set. 2015.

Van Bellen, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: Uma análise comparativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 253 p.