

Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Almeida Bertossi, Ana Paula; Avelino Cecílio, Roberto; Neves, Mirna Aparecida; de Oliveira Garcia, Giovanni

QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS  
DO SOLO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Revista Árvore, vol. 37, núm. 1, enero-febrero, 2013, pp. 107-117

Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48825658012>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

# QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO<sup>1</sup>

Ana Paula Almeida Bertossi<sup>2</sup>, Roberto Avelino Cecílio<sup>3</sup>, Mirna Aparecida Neves<sup>4</sup> e Giovanni de Oliveira Garcia<sup>5</sup>

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em microbacias hidrográficas caracterizadas por diferentes coberturas do solo: pastagem, floresta e cafeiro. Foi desenvolvido um índice de qualidade de água utilizando a análise de componentes principais, que proporcionou a redução das 13 características de qualidade em duas componentes, que explicaram 91,2% da variância total. As águas superficiais e subterrâneas das microbacias foram adequadas ao consumo humano, após tratamento convencional, ao longo de todo o período estudado, exceto a água subterrânea da microbacia coberta com pastagem no período de estiagem.

Palavras-chave: Análise de componentes principais, Qualidade da água, Cobertura vegetal.

## **WATER QUALITY IN WATERSHEDS WITH DIFERENT VEGETAL COVER IN SOUTHERN ESPIRITO SANTO STATE, BRAZIL**

**ABSTRACT** – *The objective of this work was to evaluate the quality of surface water and groundwater in watersheds characterized by different vegetal cover: pasture, forest and coffee crops. It was developed a water quality index by using the analysis of the main components, which provided the reduction of 13 quality features into two components that explained 91.2% of the total variance. Surface water and groundwater of the watersheds were suitable for human consumption after conventional treatment over the studied period, except the groundwater of watershed covered with pasture in the dry season.*

**Keywords:** Principal component analysis, Soil coverage, Water quality.

### **1. INTRODUÇÃO**

O monitoramento ambiental em bacias hidrográficas procura analisar aspectos relevantes que permitem caracterizar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas. A importância do monitoramento da qualidade dos recursos hídricos em uma bacia reside no fato de que, a partir das informações coletadas, se pode inferir sobre a condição

ambiental da bacia hidrográfica como um todo (QUEIROZ et al., 2010).

Com o intuito de caracterizar e monitorar a qualidade dos recursos hídricos na escala de bacias hidrográficas, têm sido amplamente utilizados os denominados “índices de qualidade da água” (ALMEIDA; SCHWARZBOLD, 2003; BOYACIOGLU, 2007; KULANDAIVEL et al., 2009), os quais refletem o nível de salubridade desse recurso natural.

<sup>1</sup> Recebido em 24.02.2012 aceito para publicação em 17.01.2013.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. E-mail: <anapaulabertossi@yahoo.com.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. E-mail: <racecilio@yahoo.com.br>.

<sup>4</sup> Departamento de Geologia no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. E-mail: <mirnaan@gmail.com>.

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Agrícola no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. E-mail: <giovanni.garcia@ufes.br>.

Tais índices atuam como integradores das características físico-químicas e biológicas da água, resumindo várias informações em um único resultado numérico (BOYACIOGLU, 2007), fornecendo indicativos das disfunções do ecossistema e contribuindo para tomadas de decisões mais eficazes no manejo de bacias (BASSO; CARVALHO, 2007).

Diversas técnicas para elaboração de um índice de qualidade de água (IQA) têm sido usadas, sendo várias delas baseadas no IQA desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (IQA<sub>NSF</sub>) dos Estados Unidos e usadas em outros países como o Brasil e a Inglaterra (FLORES, 2002). Todavia, a formulação do IQA<sub>NSF</sub> e sua adaptação feita pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo – CETESB (IQA<sub>CETESB</sub>) não são passíveis de alterações, aplicando pesos específicos a cada variável. Dessa forma, torna-se impossível calcular o índice quando não se mede uma das variáveis indicadas pelo IQA<sub>NSF</sub> e IQA<sub>CETESB</sub> (AGUILERA et al., 2001; TOLEDO; NICOLELLA, 2002; SAID et al., 2004; DEBELS et al., 2005; TSEGAYE et al., 2006). Muitas vezes, outras variáveis físico-químicas da água, que não aquelas utilizadas na formulação original do IQA<sub>NSF</sub> e IQA<sub>CETESB</sub>, podem ser importantes para a caracterização da qualidade da água, conforme evidenciado por Andrade et al. (2005) e Silva e Jardim (2006).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água em microbacias com diferentes coberturas do solo, no Sul do Espírito Santo, através da proposta de um índice de qualidade da água adaptado utilizando técnica da estatística multivariada, a análise de componentes principais.

## 2. MATERIALE MÉTODOS

A área estudada consistiu na bacia hidrográfica do córrego Horizonte, localizada sob as coordenadas geográficas 41°32' e 41°38' de longitude Oeste e 20°43' e 20°51' de latitude Sul, com área aproximada de 1.265,36 ha, situada no Município de Alegre, ES. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso.

Na bacia do córrego Horizonte foram selecionadas três microbacias de cabeceira para coleta de água superficial e subterrânea, cada uma ocupada por diferentes coberturas do solo: pastagem (microbacia P), floresta (microbacia F) e cafezal (microbacia C), como apresentado

na Figura 1. Dessa forma, considerou-se possível atribuir a variação na qualidade das águas unicamente à cobertura do solo, evitando-se a influência de outras coberturas, conforme realizado por Arcova e Cicco (1999), Santos et al. (2007) e Rodrigues (2011).

O relevo das microbacias C e F pode ser classificado em fortemente ondulado a montanhoso, o da microbacia P em ondulado a fortemente ondulado (EMBRAPA, 1979) e o das três microbacias classificado, de acordo com a Embrapa (2006), em Latossolo Vermelho-Amarelo.

A cafeicultura é praticada na microbacia C há 12 anos, sendo o uso anterior à pastagem. O cultivo do cafeiro nessa área foi feito em curvas de nível e com adubação duas vezes ao ano, sendo uma em novembro e outra em abril, com o formulado 25-5-20 (N-P-K). O único controle de pragas na área foi com herbicidas, uma vez ao ano, antes da colheita, em abril.

A floresta da microbacia F foi classificada como Estacional Semidecidual e constituía uma área de regeneração natural há 48 anos, onde antes, em parte, era cultivado cafeiro.

A pastagem da microbacia P era utilizada para pastejo contínuo misto de bovinos, ovinos e caprinos, desde muito tempo atrás, quando não se usava nenhum insumo agrícola e nenhuma forma de manejo era adotada, seguindo-se o modelo utilizado na maior parte das pastagens da região Sul do Espírito Santo.

Cabe ressaltar que a classificação das microbacias estudadas quanto ao ambiente aquático difere. O corpo hídrico da microbacia com pastagem é classificado como ambiente lótico, ou seja, de águas correntes, enquanto os corpos hídricos das microbacias com floresta e cafeiro constituem ambientes lênticos, ou seja, com águas de movimento reduzido.

Foram realizadas duas coletas de águas superficiais e subterrâneas, uma no período de estiagem (agosto/2010) e outra no período de chuva (março/2011), em cada bacia. As águas superficiais foram coletadas nos exutórios das três microbacias, e para a coleta de água subterrânea foram construídos poços de monitoramento próximos aos pontos de coleta de águas superficiais e utilizado um coletor, denominado bayler. Antes da coleta era efetuada a medição do nível estático de cada poço e feito o esgotamento da água parada. As características dos poços de coleta de água subterrânea estão apresentadas na Tabela 1.

A análise físico-química das águas foi feita por meio da determinação do pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (STD), sólidos suspensos (SS), turbidez (T), DBO, fósforo total (P total), nitrato, Ca, Mg, Na, K e coliforme total (Col. total), de acordo com as normas da ABNT.

Devido ao grande número de parâmetros de qualidade de água medidos, foi aplicada a estatística multivariada de análise de componentes principais (ACP), para avaliar a importância de cada parâmetro e promover a eliminação daqueles que contribuíram pouco, em termos de variação espacial e sazonal, para a qualidade das águas estudadas. Para eliminar o efeito de escala e unidades, a padronização dos dados processados foi

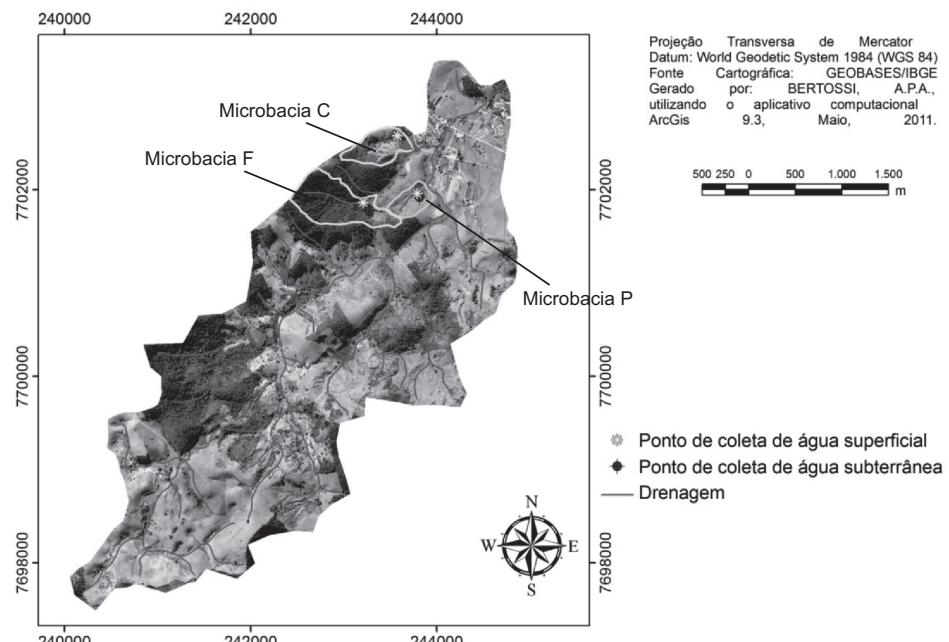
realizada com a conversão das variáveis de escores-padrão, em que os valores das variáveis são subtraídos de sua média e divididos pelo seu desvio-padrão.

A seleção do número de componentes extraídas neste trabalho seguiu os preceitos apresentados por Hair et al. (2005), em que se consideram somente componentes com autovalor superior a 1. Esse critério fundamenta-se no fato de que qualquer componente deve explicar variância superior àquela apresentada por uma simples variável padronizada, que é 1.

Após terem sido selecionadas as componentes principais, dentro destas foram escolhidas as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação superior

**Fonte:** Os autores.

**Source:** The authors.



**Figura 1** – Localização das microbacias estudadas e dos pontos de amostragem de águas superficiais e subterrâneas.  
**Figure 1** – Location of the studied watersheds and sampling points of surface and groundwater.

**Tabela 1** – Características dos poços de coleta de água subterrânea.  
**Table 1** – Characteristics of wells to collect groundwater.

	Microbacia P		Microbacia F		Microbacia C	
Profundidade do poço (m)		2,6		5,8		1,8
Profundidade do lençol freático (m)	Estiagem 0,7	Chuva 0,46	Estiagem 1,5	Chuva 0,92	Estiagem 1,2	Chuva 0,88

ou igual a 0,7, com as componentes selecionadas para comporem o índice de qualidade da água. Segundo Hair et al. (2005), ao utilizar esse critério, selecionam-se as variáveis que apresentam coeficiente de determinação superior ou igual a 0,5.

O IQA foi calculado por um valor numérico associado à qualidade individual de cada parâmetro ( $q_i$ ) elevada aos respectivos pesos desses parâmetros na avaliação da variabilidade total da qualidade da água ( $w_i$ ), como apresentado na equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

sendo IQA = Índice de Qualidade das Águas (número entre 0 e 100);  $q_i$  = valor numérico associado à qualidade da  $i$ -ésima variável (número entre 0 e 100); e  $w_i$  = peso correspondente à  $i$ -ésima variável (número entre 0 e 1).

Os valores de  $q_i$  foram obtidos em razão da concentração dos parâmetros medidos nas microbacias, na qual foram transformados em valores numéricos que representassem sua qualidade.

Os limites para o enquadramento dos valores de cada parâmetro no seu referido  $q_i$  foram realizados seguindo as recomendações de qualidade de água para o consumo humano, após o tratamento convencional, da Resolução CONAMA 357/05 (classe 2) para os parâmetros STD, Ptotal e DBO (BRASIL, 2005); conforme a Resolução CONAMA 396/08 para o parâmetro Na (BRASIL, 2009); e de acordo com os padrões de qualidade de água para irrigação proposto por Ayers e Westcot (1994), para os parâmetros CE, Ca e Mg (Tabela 2). Esses parâmetros foram selecionados na análise de componentes principais para comporem o IQA. Para obtenção do  $q_i$  correspondente às concentrações dos parâmetros de qualidade medidos nas microbacias, utilizou-se a equação 2, na qual se consideram o valor medido e os limites de  $q_i$  das variáveis expressos na Tabela 2.

$$q_i = q_{i\max} - \frac{(X_{ij} - X_{inf}) * q_{iamp}}{X_{amp}} \quad (2)$$

sendo  $q_{i\max}$  = valor máximo de  $q_i$  para a classe;  $X_{ij}$  = valor observado para a célula  $ij$ ;  $X_{inf}$  = limite inferior da classe a que pertence  $X_{ij}$ ;  $q_{iamp}$  = amplitude de classe;

e  $X_{amp}$  = amplitude da classe a que pertence  $X_{ij}$ .

Para o cálculo de  $X_{amp}$  da última classe de cada variável, foi considerado como limite superior o maior valor encontrado nas análises físico-químicas das amostras de água para cada variável, conforme realizado por Andrade et al. (2005). Para atribuir os pesos ( $w_i$ ) a cada parâmetro de qualidade de água utilizado no IQA, tomaram-se como base os resultados obtidos na análise das componentes principais. Nesse procedimento, foram utilizados os autovalores das componentes e a contribuição de cada variável pelas respectivas componentes, extraídas da ACP, como realizado pelos mesmos autores.

Inicialmente, calculou-se o somatório dos autovalores de todas as componentes multiplicadas pela contribuição de cada variável. Em seguida foram ponderados os valores de  $w_i$  para cada parâmetro em função de sua contribuição por componente, de forma que a soma de todos os  $w_i$  fosse igual a 1, conforme demonstrado na equação 3.

$$w_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{\left( \sum_{j=1}^n F_1 P_{1j} \right) + \left( \sum_{j=1}^n F_2 P_{2j} \right)} \quad (3)$$

sendo  $F_1$  e  $F_2$  = autovalores das componentes principais;  $P$  = contribuição das variáveis pela componente principal;  $i$  e  $j$  = índices para as variáveis; e  $n$  = número de variáveis envolvidas na ACP.

De posse dos valores de  $q_i$  e  $w_i$ , determinou-se a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, foi classificada, segundo os parâmetros avaliados, para abastecimento público, após o tratamento convencional (CETESB, 2011).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análise de Componentes Principais e Seleção das Variáveis

Pela análise estatística, verificou-se que a primeira e a segunda componente principal explicaram, respectivamente, 61,95% e 29,25% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões (91,2% das informações antes diluídas) em 13 dimensões (número de variáveis analisadas). Resultados semelhantes foram encontrados por Mendiguchia et al. (2004) e Toledo e Nicolella (2002), trabalhando com águas superficiais; e Andrade et al. (2005), trabalhando com ambos os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos. Já a

**Tabela 2 –** Limites dos parâmetros utilizados no IQA para cálculo do  $q_i$   
**Table 2 –** Limits of the parameters used in the Water Quality Index to calculate the  $q_i$ .

$q_i$	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	STD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Ptot ( $\text{mg L}^{-1}$ )	DBO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg L}^{-1}$ )
80-100	0-300	0-100	0-0,01	0-1	0-100	0-15	0-50
60-80	300-500	100-200	0,01-0,02	1-2	100-200	15-30	50-100
40-60	500-750	200-350	0,02-0,03	2-3	200-300	30-40	100-175
20-40	750-3000	350-500	0,03-0,05	3-5	300-400	40-60	175-200
0-20	>3000	>500	>0,05	>5	>400	>60	>200

Andrade et al. (2007), ao trabalharem com a técnica da Análise da Componente Principal, selecionaram quatro componentes indicadoras da qualidade das águas superficiais estudadas, que juntas explicaram 82,1% da variância total, valor inferior ao encontrado neste trabalho.

Na primeira componente foram selecionadas as seguintes variáveis: condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio e sódio. Na segunda componente, as variáveis foram fósforo total e DBO. Portanto, o modelo aplicado mostrou que para a primeira componente foram significativas as variáveis relacionadas com os sais dissolvidos na água, enquanto na segunda os elementos relacionados com a poluição orgânica apresentaram maior significância. Resultados demonstrando o mesmo comportamento do modelo citado anteriormente foram encontrados por Andrade et al. (2005), ao estudarem a qualidade das águas do rio Trussu, no Ceará.

Andrade et al. (2007) também atribuíram as variações na qualidade da água do rio Acaraú, no Ceará, aos materiais orgânicos e aos sais solúveis presentes nas águas. Da mesma forma, Girão et al. (2007) verificaram que as características químicas da área sedimentar da bacia e a poluição orgânica foram determinantes na qualidade das águas do rio Jaibaras, no Ceará, além da presença de detergentes e esgotos domésticos, que não foram encontrados neste estudo.

A análise de componentes principais promoveu boa redução no número de variáveis, na qual foram selecionadas sete das 13 variáveis analisadas nas águas, ou seja, foram selecionadas aproximadamente 50% das variáveis analisadas para comporem o IQA. De modo oposto, Andrade et al. (2007) não obtiveram bons resultados ao aplicar a análise de componentes principais para reduzir o número de variáveis, uma vez que o melhor

ajuste do modelo ocorreu com a inclusão de 18 das 25 variáveis analisadas.

Através da matriz de correlação composta pelas sete variáveis selecionadas na ACP, pôde-se também perceber a relação entre as variáveis selecionadas em cada componente. Na Tabela 3, observa-se que 50% dos coeficientes de correlação apresentaram valores significativos a 5% de probabilidade, pelo Teste t, demonstrando bom índice de correlação entre as variáveis de qualidade de água selecionadas na ACP. Tal fato demonstra que as variáveis estudadas compartilham fatores comuns (NORUSIS, 1990), ou seja, as variáveis selecionadas na componente 1 apresentam alta correlação entre si, assim como as selecionadas na componente 2.

### 3.2. Qualidade Individual das Variáveis ( $q_i$ )

Os valores de  $q_i$  de cada variável físico-química nas águas superficiais e subterrâneas, variando de 0 a 100, estão apresentados na Tabela 4.

Os valores de  $q_i$  de ambos os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, foram maiores para as características relacionadas com a salinidade da água e menores para aquelas representativas da contaminação orgânica, o que evidencia que essas são as características que mais diferenciam uma microbacia da outra, afetando, de forma significativa, sua qualidade.

### 3.3. Determinação dos Valores de Pesos ( $w_i$ )

O valor do peso ( $w_i$ ) de cada variável foi ponderado em razão do autovalor de cada componente, associado à contribuição de cada variável, em relação às componentes principais extraídas (Tabela 5), conforme a equação 3.

Os autovalores da primeira e segunda componentes foram 4,3 e 2, respectivamente. Os valores de  $w_i$

encontrados na ACP foram: CE = 0,155, STD = 0,150, Ptot = 0,145, DBO = 0,137, Ca = 0,144, Mg = 0,151 e Na = 0,118.

De acordo com os valores de  $w_i$ , pode-se perceber que os pesos da maioria das variáveis relacionadas à salinidade da água e ao material orgânico mantiveram-se no mesmo patamar, mostrando que esses parâmetros

influenciam de forma semelhante à qualidade das águas das microbacias estudadas. Andrade et al. (2005), ao atribuírem pesos para as variáveis mais importantes para composição do IQA das águas do rio Trussu, no Ceará, encontraram maiores pesos para as variáveis relacionadas à concentração salina da água do que para as variáveis relacionadas à presença de

**Tabela 3** – Matriz de correlação das variáveis selecionadas na ACP.

*Table 3 – Correlation matrix of selected variables in the PCA.*

	CE	STD	P total	DBO	Ca	Mg	Na
CE	1,000						
STD	0,828*	1,000					
P total	0,058	0,513	1,000				
DBO	0,095	0,546	0,823*	1,000			
Ca	0,934*	0,759*	-0,069	0,010	1,000		
Mg	0,957*	0,732*	-0,108	-0,043	0,953*	1,000	
Na	0,822*	0,792*	0,369	0,229	0,606*	0,688*	1,000

\* Valores significativos em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4** – Valores de  $q_i$  das águas superficiais e subterrâneas das microbacias estudadas.

*Table 4 –  $Q_i$  values for surface water and groundwater of the studied watersheds.*

	MICROBACIA P		MICROBACIA F		MICROBACIA C	
	Estiagem	Chuva	Estiagem	Chuva	Estiagem	Chuva
Águas Superficiais						
CE	93,19	89,63	92,95	94,65	89,33	91,8
STD	93,37	92,23	92,1	95,25	90,7	95,6
P total	13,48	89,05	8,35	15,05	10,77	37,14
DBO	67,63	83,82	28,35	75,72	29,54	67,63
Ca	99,0	98,36	99,2	99,23	98,28	98,82
Mg	97,38	94,02	97,48	98,11	95,66	96,84
Na	97,13	96,72	97,12	97,23	96,41	97,65
Águas Subterrâneas						
CE	85,93	74,05	86,8	88,03	86,47	89,2
STD	71,6	61,4	75,6	92,74	64,5	94,32
P total	0,3	17,58	4,32	37,14	2,71	31,67
DBO	21,45	67,63	21,45	100	20,0	75,72
Ca	98,66	94,66	98,12	98,47	97,57	98,49
Mg	94,93	88,36	94,75	95,49	94,97	96,24
Na	91,27	91,48	92,57	93,4	94,19	96,27

**Tabela 5** – Contribuição das variáveis nas componentes principais 1 e 2.

*Table 5 – Variables contribution in 1 and 2 main components.*

	CE	STD	Ptot	DBO	Ca	Mg	Na
CP 1	0,215	0,203	0,018	0,021	0,184	0,188	0,171
CP 2	0,025	0,04	0,414	0,383	0,058	0,074	0,005

componentes orgânicos. Com isso, o índice proposto pelos autores apresentou menor sensibilidade à composição orgânica que aos teores de sais das águas.

### 3.4. Determinação dos valores de IQA

De posse dos valores de  $w_i$  e  $q_i$ , foi possível calcular o IQA das águas estudadas e classificá-las segundo a CETESB (2011).

De acordo com a Tabela 6, pode-se constatar que os valores de IQA das águas superficiais das microbacias estudadas variaram entre 56 e 91 (classe de aceitável a ótima qualidade) e, conforme a Tabela 6, o IQA das águas subterrâneas variou entre 31 e 82 (classe de ruim a ótima qualidade).

Todas as microbacias apresentaram valores de IQA das águas subterrâneas inferiores aos das águas superficiais, exceto a microbacia com pastagem na época de chuva. Neste estudo, as águas superficiais foram classificadas como adequadas ao consumo humano após o tratamento convencional e à irrigação ao longo de todo o período de estudo, no que concerne às variáveis analisadas, assim como no caso das águas subterrâneas, exceto para a microbacia com pastagem na época de estiagem.

A análise puramente numérica dos valores de IQA permitiu a classificação escalonada da água, a partir das médias tanto espaciais quanto temporais (Tabela

6). Com base nessa avaliação, foi possível determinar as microbacias, bem como a época do ano, de pior e melhor qualidade de água. Quanto à classificação por ordenação de qualidade de água, o índice deixou evidente a tendência à degradação da qualidade da água no período de estiagem, tanto para água subterrânea quanto para água superficial.

Quanto à variação espacial da qualidade da água superficial, a microbacia com pastagem apresentou maiores valores de IQA, seguida pelas microbacias com cafeiro e com floresta. De acordo com a Tabela 4, essa variação pode ser reflexo dos valores de  $q_i$  dos parâmetros DBO e P total, que foram menores nas microbacias com floresta e com cafeiro e representam a contaminação orgânica dessas áreas. Além disso, as águas das microbacias com floresta e cafeiro foram caracterizadas como lênticas, ou seja, com movimento reduzido, o que, segundo Von Sperling (2005), faz que essas águas estejam mais propícias à contaminação orgânica.

Já quanto à água subterrânea a microbacia com floresta apresentou maiores valores de IQA, seguida pelas microbacias com cafeiro e com pastagem. De acordo com a Tabela 4, os valores de IQA desse recurso hídrico foram influenciados pelos valores de  $q_i$  do P total, que foram menores na microbacia com pastagem. Toledo e Nicolella (2002) também verificaram influência do fósforo na deterioração da qualidade da água de microbacias agrícolas e urbanas.

## 4. DISCUSSÕES

Os menores valores de IQA das águas subterrâneas podem estar relacionados aos teores de Ca, Mg, Na e, principalmente, de STD e CE, que se apresentaram maiores nessas águas que nas superficiais, o que é normal. Segundo Narciso e Gomes (2004), as águas subterrâneas apresentam alta concentração de sais, que varia conforme o material geológico onde a água drena. Essa diferença na concentração fez que as águas subterrâneas apresentassem menores valores de  $q_i$  e, consequentemente, menores valores de IQA, além dos valores de  $w_i$ , que foram maiores para os parâmetros que apresentaram maior diferença entre os dois recursos hídricos estudados (CE e STD).

Essa diferença entre a qualidade de água subterrânea e a superficial também foi constatada por Jonnalagadda e Mhere (2001) no desenvolvimento de

**Tabela 6** – Índice de qualidade das águas superficiais e subterrâneas das microbacias estudadas.

**Table 6** – Water quality index of surface water and groundwater of the studied watersheds.

Microbacias	Período	IQA	Classificação
Águas superficiais			
Pastagem	Estiagem	68,72	Bom
	Chuva	91,78	Ótimo
Floresta	Estiagem	56,78	Aceitável
	Chuva	71,42	Bom
Cafeiro	Estiagem	58,46	Aceitável
	Chuva	79,69	Ótimo
Águas subterrâneas			
Pastagem	Estiagem	31,6	Ruim
	Chuva	62,92	Bom
Floresta	Estiagem	47,15	Aceitável
	Chuva	82,51	Ótimo
Cafeiro	Estiagem	42,65	Aceitável
	Chuva	78,33	Bom

IQA para o rio Odzi, no Zimbabwe, empregando-se as seguintes variáveis: pH, DBO,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , temperatura, sólidos totais suspensos e condutividade elétrica, na qual as águas superficiais apresentaram melhor qualidade que as subterrâneas. Da mesma forma, Andrade et al. (2005), ao estudarem a qualidade das águas do vale do Trussu, observaram grande variabilidade espacial na qualidade das águas subterrâneas, sendo em alguns pontos classificada como inadequada ao consumo humano. Já as águas superficiais foram adequadas ao consumo humano ao longo de todo o período estudado. Além disso, observou-se tendência à variação sazonal da qualidade de água, o que também foi encontrado por Bardolo et al. (2001) ao estudarem a qualidade das águas do rio Bangpakong, no Leste da Tailândia. Esses autores justificaram como uma das causas dos menores valores de IQA na estação de estiagem a redução da diluição dos parâmetros envolvidos no cálculo do índice, em consequência das baixas taxas de vazão do rio. Resultados diferentes foram encontrados por Zonta et al. (2008) nas águas do rio Alegre, no Espírito Santo. Eles observaram pequena deterioração na qualidade das águas nos meses de chuva, devido ao aumento da turbidez e da DBO nas águas estudadas, na qual a qualidade variou de ruim a média.

Carvalho et al. (2000) também constataram variação sazonal na qualidade das águas do ribeirão do Feijão e do ribeirão da Onça em São Paulo, registrando melhoria no inverno. No ribeirão da Onça, a qualidade da água foi classificada como aceitável no inverno e imprópria para tratamentos convencionais no verão, enquanto no ribeirão do Feijão a água apresentou qualidade ótima no inverno e apenas boa no verão. Os referidos autores atribuíram essa variação sazonal à precipitação, que, ao contrário de diluir a concentração de resíduos, aumentou o escoamento superficial do solo, resultando em IQA menor e diminuindo a qualidade da água. Já Silva et al. (2009), ao avaliarem a qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, em Minas Gerais, concluíram que as variações de qualidade na água estudada não estavam relacionadas claramente a fenômenos sazonais de precipitação pluviométrica.

No geral, pode-se perceber que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas está sendo mais influenciada pelas variáveis orgânicas (P total e DBO) do que por aquelas relacionadas à salinidade da água (CE, STD, Ca, Mg e Na), o que também foi constatado por Bonnet et al. (2008).

De modo contrário, Andrade et al. (2005) verificaram que as variáveis relacionadas à salinidade da água eram as que mais influenciavam na qualidade das águas do rio Trussu, no Ceará, o que é coerente, já que as águas do Nordeste brasileiro estão sujeitas a elevadas taxas de evaporação, tornando-se salinas. Em alguns casos, as concentrações de sais chegam a impedir o uso da água para consumo humano e a agricultura, principalmente no período de estiagem, quando ocorre diminuição do escoamento e elevadas temperaturas na região (MEIRELES et al., 2007).

Pinto et al. (2009) verificaram diferença na qualidade da água do ribeirão Lavinha, MG, em áreas que apresentavam diferentes coberturas do solo, na qual o solo coberto com pastagem apresentou pior qualidade da água que a área coberta com floresta. Segundo os autores, a pecuária extensiva, juntamente com o baixo nível tecnológico empregado na área com pastagem, foram determinantes no nível da qualidade da água, concorrendo para a elevação dos valores de coliformes termotolerantes. A presença de mata nativa, de mata em processo de regeneração e áreas ciliares concorreu para o melhor nível da qualidade da água. Já Vanzela et al. (2010) observaram que microbacias ocupadas por matas e pastagens contribuem para a melhoria da qualidade da água, enquanto as áreas com agricultura, para a degradação.

Na bacia hidrográfica do córrego Horizonte, apesar de nenhum manejo ser adotado na área com pastagem, essa microbacia foi a que apresentou melhor qualidade da água superficial e a microbacia com floresta de qualidade inferior, resultados diferentes dos obtidos por Pinto et al. (2009). Segundo esses autores, a deterioração da qualidade na área com pastagem deveu-se à presença de coliformes termotolerantes, parâmetro que não fez parte do IQA das microbacias do córrego Horizonte. Além disso, a área com floresta possui mata ciliar em apenas uma de suas vertentes e águas com movimento reduzido, o que pode ter contribuído para a deterioração da qualidade da água dessa microbacia. Donadio et al. (2005) salientaram que microbacias com vegetação natural remanescente servem como referência para a comparação com outras microbacias impactadas, o que neste caso não se aplica devido às características do corpo hídrico onde as coletas foram realizadas.

Assim como neste estudo, Fernandes et al. (2011), ao estudarem a influência da cobertura do solo na qualidade da água da microbacia Glória, no Rio de Janeiro,

perceberam que áreas ocupadas por floresta e capoeira favoreceram a melhoria de alguns parâmetros de qualidade de água. As áreas com pastagem não influenciaram negativamente a qualidade da água da microbacia, já a agricultura, o uso urbano e o solo exposto tiveram influência negativa na turbidez e em sólidos totais na água.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho levam às seguintes conclusões:

1. Entre todas as variáveis analisadas, as mais representativas da variabilidade espacial e temporal da qualidade da água das microbacias foram: condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, fósforo total, DBO, Ca, Mg e Na.

2. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas foi mais influenciada pelas variáveis orgânicas do que por aquelas relacionadas à salinidade da água.

3. O índice de qualidade de água (IQA) apresentou-se eficiente para avaliar a qualidade das águas das microbacias, no lugar de se estudar isoladamente cada variável.

4. Ocorreu redução na qualidade das águas durante a estação de estiagem.

5. As águas superficiais das microbacias apresentaram qualidade adequada ao consumo humano após o tratamento convencional, ao longo de todo o período estudado.

6. As águas subterrâneas das microbacias foram adequadas ao consumo humano após o tratamento convencional, ao longo de todo o período estudado, exceto na microbacia coberta com pastagem no período de estiagem.

## 6. AGRADECIMENTOS

À empresa FIBRIA e ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUILERA, P. A. et al. Methodological development of an index of coastal water quality: application in a tourist area. **Environmental Management**, v.27, n.2, p.295-301, 2001.

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.81-97, 2003.

ANDRADE, E. M. et al. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p.135-142, 2005.

ANDRADE, E. M. et al. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p. 683-690, 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CICCO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, v.56, p.125-134, 1999.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994. (Serie: FAO Irrigation and Drainage Papers - 29) Disponível em <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm#TOC>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

BARDOLO, A. A.; NILSIMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. Water quality and uses of the Bangpakong river (eastern Thailand). **Water Research**, v.35, n.15, p.3635-3642, 2001.

BASSO, E. R.; CARVALHO, S. L. Avaliação da qualidade da água em duas represas e uma lagoa no município de Ilha Solteira – SP. **Holos Environment**, v.7, n.1, p.16-29, 2007.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.311-322, 2008.

BOYACIOGLU, H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water SA**, v.33, n.1, p.101-106, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 mar. 2005. **Diário Oficial da União** nº 053, seção 1. p. 58-63, 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 03 mar. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396 de 03 abr. 2008. **Diário Oficial da União** nº 066, seção 1, p.64-68, 2008. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>> Acesso em: 03 mar. 2010.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTNER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p.618-622, 2000.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **IQA – Índice de qualidade das águas.** Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das-%C3%81guas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das-%C3%81guas-(iqa))>. Acesso em: 20 abr. 2011.

DEBELS, P. et al. Evaluation of water quality in the chillán river (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.110, p.301-322, 2005.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.115-125, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10º Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro: 1979. 83p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: 2006. 316p.

FERNANDES, M. M. et al. Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Glória, Macaé – RJ. **Engenharia Ambiental**, v.8, n.2, p.105-116, 2011.

FLORES, J. C. Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquiá river. **Water Research**, v.36, p.4664-4666, 2002.

GIRÃO, E. G. et al. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.17-24, 2007.

HAIR, J. J. F. et al. **Análise multivariada de dados.** 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, v.35, n.10, p.2371-2376, 2001.

KULANDAIVEL, A. R. K. et al. Water quality index of river cauvery at erode region, Tamilnadu, India. **Nature, Environment and Pollution Technology**, v.8, n.2, p.343-346, 2009.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, Bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p. 25-31, 2007.

MENDIGUCHÍA, C. et al. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). **Analytica Chimica Acta**, v.515, p.143-9, 2004.

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia – GO. **Revista Técnica da Sanepar**, v.21, n.21, p. 4-18, 2004.

NORUSIS, M. J. **SPSS base system user's guide.** Chicago: SPSS, 1990. 520 p.

PINTO, D. B. F. et al. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande – MG, Brasil. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.4, p. 1145-1152, 2009.

QUEIROZ, M. M. F. et al. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.4, p. 200-210, 2010.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S. Análise de fósforo no recurso hídrico da microbacia hidrográfica da fazenda glória, Taquaritinga, SP. **Revista SODEBRAS**, v. 6, p. 2-8, 2011.

SAID, A.; SEHLKE, G.; STEVENS, D. K. An innovative index for evaluating water quality in streams. **Environmental Management**, v. 34, n. 5, p. 406-414, 2004.

SANTOS, G. V. et al. Análise hidrológica do Córrego Romão dos Reis, Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.931-940, 2007.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade de águas para proteção de vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínea – SP. **Química Nova**, v.29, n.4, p.689-694, 2006.

SILVA, A. P. S. et al. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1063-1069, 2009.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.181-6, 2002.

TSEGAYE, T. et al. Development of chemical index as a measure of in-stream water quality in response to land-use and land-cover changes. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.174, p.161-179, 2006.

VANZELA, L. S.; HEENANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55-64, 2010.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p.

ZONTA, J. H. et al. Qualidade das águas do rio Alegre, Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, n.1, p.155-161, 2008.

