

Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água

Ana Paula Freire*, Edwards Cerqueira de Castro*

freireap@gmail.com; edwards_castro@yahoo.com.br

Recebido -30/04/12 - revisado: 25/10/12 – aceito: 16/09/13

RESUMO

Esse trabalho investiga a correlação entre o uso e a ocupação do solo e a qualidade da água empregando geotecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas via modelo estatístico de correlações canônicas. Para aplicação do método considerou treze sub-bacias tributárias da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim no Estado do Espírito Santo durante o período de seca. Os resultados indicam que as sub-bacias com um índice mais elevado de atividade humana sobre o solo estão associadas com um índice mais elevado de degradação da qualidade da água. Além disso, as atividades humanas nessas sub-bacias estão relacionadas com atividade de pastagem e solo exposto enquanto que a degradação da qualidade da água está associada com a alta concentração de Nitratos e baixa concentração do Oxigênio Dissolvido provavelmente associada ao material orgânico lançado difusamente devido à pecuária bovina sem um manejo adequado.

Palavras chave: Geotecnologias, Qualidade da água, Estatística Multivariada, Análise de Correlações Canônicas.

INTRODUÇÃO

Temas ligados ao meio ambiente e recursos naturais, sobretudo a respeito de possíveis mudanças climáticas, têm sido debatidos em todo o mundo, relatório do World Resources Institute (1996). Um tema em particular de grande importância e objeto de intensa investigação científica é a “água e os recursos hídricos”. Isso porque a água é um recurso natural necessário em vários processos de produção e recebe a descarga de efluentes domésticos e industriais e descargas difusas associadas à atividade agropecuária, além de ser um recurso essencial a todas as formas de vida na Terra.

No Brasil, a Lei Federal nº 9.433 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, estabelece dispositivos legais sobre a gestão dos recursos hídricos, institui a bacia hidrográfica como unidade de gestão em todo o território nacional. Já a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água em classes de 1 a 4 de acordo com os seus usos preponderantes, as diretrizes ambientais para o seu enquadramento de acordo com parâmetros de qualidade da água definidos e seus limites máximos toleráveis para cada classe. Estabelece,

ainda, condições e padrões de lançamento de efluentes de acordo com a resolução CONAMA 430, 13 de maio de 2011. Uma bacia não classificada é considerada de classe 2 para água doce e deve ser apropriada para o consumo humano após tratamento convencional, a prática de esportes aquáticos, pesca dentre outros usos previstos. No Estado do Espírito Santo, a Lei Estadual nº 5.818 de 29 de dezembro de 1998, dispõe sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos e segue os moldes da Lei Federal.

Sabe-se também que a ocorrência de um fenômeno natural ou qualquer atividade humana nos limites de uma bacia hidrográfica pode afetar tanto a quantidade quanto a qualidade das águas dessa bacia.

Alguns trabalhos recentemente publicados tratam da relação entre o uso e a ocupação dos solos e a qualidade da água. Fonseca (2006) estudou fatores que mais afetam a qualidade da água do rio Teles Pires/MT. Usou um modelo de Regressão Múltipla com as variáveis: pedologia, vegetação, área da sub-bacia, índice de desmatamento e concluiu que a pedologia e a vegetação são as principais variáveis. Zeilhofer et al (2006) usaram a Análise de Correspondência para estudar a poluição difusa em dez estações de monitoramento ao longo do rio Cuibá/MT. Foi identificado um aumento na concentração de coliformes fecais próximo às áreas urbanizadas e um aumento na concentração de Nitrogênio próximo às áreas de intensa atividade de pesca.

*Universidade Federal do Espírito Santo UFES

Com o objetivo de identificar as principais fontes de poluição e entender a variação espacial e temporal da qualidade das águas do rio Fuji/Japão, Shrestha e Kazama (2007) exploraram uma significativa base de dados utilizando várias ferramentas de análise estatísticas tais como: Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial, Análise de Discriminantes e Clusters Analysis e Análise de Séries Temporais. Maillard e Santos (2008) usaram ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto para estabelecer o percentual de cada classe de uso e ocupação do solo em dezesseis sub-bacias do rio das Velhas/MG. Estas informações foram relacionadas por meio de Análise de Regressão com dados do Índice de Qualidade da Água (IQA) resultando na identificação das principais fontes de alteração da qualidade da água. Coskun e Alparslan (2008) investigaram como o avanço da urbanização afeta a qualidade da água da bacia do rio Ormuli/Stambul/Turquia utilizando mapas de ocupação via Sensoriamento Remoto e SIG.

Os trabalhos mencionados nos parágrafos anteriores, em geral, buscam identificar fontes de poluição da água e pontos da bacia investigada em que há alteração da qualidade das águas, muitas vezes de forma qualitativa. A contribuição desse trabalho está em investigar a principal influência do uso e ocupação do solo (empregando geotecnologias) na alteração de alguns parâmetros de qualidade da água. O estudo realizado utilizou dados referentes a amostras aleatórias de água de treze (13) sub-bacias contribuintes da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim no Estado do Espírito Santo coletadas no período de seca. Para descrever a correlação entre os dois grupos de variáveis, foi empregada a técnica de Correlações Canônicas uma vez que os dados amostrais são realizações casuais independentes, em escala contínua, de vetores cujas componentes são variáveis aleatórias correlacionadas. Essa técnica permite identificar de forma sistemática e quantitativamente qual a combinação de atividades e ocupação da bacia que mais afeta a qualidade das águas e de que modo a qualidade das águas é afetada.

ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES CANÔNICAS TEÓRICAS

A análise das correlações canônicas foi proposta por Hotelling (1936), e o objetivo central é descrever as relações lineares existentes entre dois conjuntos de variáveis aleatórias.

Sejam \mathbf{X} e \mathbf{Y} dois vetores aleatórios definidos no mesmo espaço de probabilidade com dimensões $p \times 1$ e $q \times 1$, respectivamente, com $0 < p \leq q$. Considere ainda os respectivos vetores de Médias e matrizes de Variâncias-Covariâncias: $\boldsymbol{\mu}_X = E(\mathbf{X})$ e $\boldsymbol{\mu}_Y = E(\mathbf{Y})$; $\boldsymbol{\Sigma}_X = V(\mathbf{X})$ e $\boldsymbol{\Sigma}_Y = V(\mathbf{Y})$; e, $\boldsymbol{\Sigma}_{XY} = \text{Cov}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ com $\boldsymbol{\Sigma}_{XY} = \boldsymbol{\Sigma}_{YX}^T$, onde $E(.)$ é o operador estatístico de Valor Esperado, $V(.)$ é o operador estatístico de Variância e $\text{Cov}(.)$ é o operador estatístico de Covariâncias no contexto matricial.

O par de variáveis canônicas de ordem k , (U_k, V_k) , é dado por: $U_k = \mathbf{a}_k^T \mathbf{X}$ e $V_k = \mathbf{b}_k^T \mathbf{Y}$, onde \mathbf{a}_k e \mathbf{b}_k são vetores de constantes, chamados de vetores de coeficientes canônicos, de dimensão $p \times 1$ e $q \times 1$, respectivamente. O par (U_k, V_k) de variáveis canônicas é definido de tal forma que $V(U_k) = V(V_k) = 1$ para uma definição única dos vetores e $\text{Corr}(U_k, V_k) = \rho_k$ onde $\text{Corr}(.)$ é o operador estatístico de Correlação. A correlação ρ_k é chamada de correlação canônica do par (U_k, V_k) e é tal que ρ_k é máximo dentre todas as possíveis combinações lineares $\mathbf{a}_k^T \mathbf{X}$ e $\mathbf{b}_k^T \mathbf{Y}$, $k = 1, 2, \dots, \min(p, q)$. Além disso, o par (U_k, V_k) é não correlacionado com todos os pares (U_j, V_j) , $j = 1, 2, \dots, k - 1$.

Os vetores de coeficientes canônicos, conforme Jonhson e Wichern (2002), são as soluções do sistema de equações lineares:

$$(\boldsymbol{\Sigma}_{XY} \boldsymbol{\Sigma}_Y^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{YX} - \lambda_k \boldsymbol{\Sigma}_X) \mathbf{a}_k = 0$$

$$(\boldsymbol{\Sigma}_{YX} \boldsymbol{\Sigma}_X^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{XY} - \lambda_k \boldsymbol{\Sigma}_Y) \mathbf{b}_k = 0.$$

Nesse caso, λ_k é o auto-valor k da matriz

$$\boldsymbol{\Sigma}_X^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{XY} \boldsymbol{\Sigma}_Y^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{YX}$$

ou, equivalentemente, λ_k é o auto-valor k da matriz

$$\boldsymbol{\Sigma}_Y^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{YX} \boldsymbol{\Sigma}_X^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{XY}.$$

Os vetores de coeficientes canônicos \mathbf{a}_k e \mathbf{b}_k são os auto-vetores associados ao auto-valor λ_k .

A correlação canônica do par (U_k, V_k) é dada pela raiz quadrada de λ_k .

Cabe observar que, caso os vetores \mathbf{X} e \mathbf{Y} apresentarem escalas discrepantes para algumas variáveis aleatórias componentes, \mathbf{a}_k e \mathbf{b}_k e λ_k podem ser obtidos das equações anteriores substituindo as matrizes de Variâncias-Covariâncias de \mathbf{X} e \mathbf{Y} pelas suas respectivas matrizes de Correlação, isso é equivalente a obter os auto-valores e auto-vetores dos vetores aleatórios \mathbf{X} e \mathbf{Y} padronizados, Mingote (2005).

As correlações entre as variáveis canônicas e os vetores aleatórios, chamadas de “Canonical Loadings”, são calculadas por:

$$\rho(U_k, \mathbf{X}) = \rho_X \mathbf{a}_k \text{ e } \rho(V_k, \mathbf{Y}) = \rho_Y \mathbf{b}_k$$

onde $\rho_X = \text{Corr}(\mathbf{X})$ e $\rho_Y = \text{Corr}(\mathbf{Y})$.

A importância das “Canonical loadings” está no fato delas auxiliarem na tarefa de interpretação do significado prático das variáveis canônicas.

Após a observação e exploração dos dados, os auto-valores e auto-vetores calculados formam os pares de variáveis canônicas e a correlação canônica amostrais, além disso, os cálculos utilizam as equações apresentadas anteriormente substituindo as matrizes teóricas Σ_X , Σ_Y , Σ_{XY} (ou ρ_X , ρ_Y e ρ_{XY}) pelas respectivas matrizes amostrais S_{XY} , S_Y e S_{XY} (ou R_X , R_Y e R_{XY}), pois, elas são estimadores não viciados e consistentes de suas matrizes teóricas, segundo Anderson (2003).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A bacia do rio Itapemirim (Figura 01) está localizada ao Sul do Estado do Espírito Santo entre as latitudes 20° 10' e 21° 15' Sul e as longitudes 40° 48' e 41° 52' Oeste, com área de, aproximadamente, 6870 km². Ela abrange os municípios de Alegre, Atílio Vivácqua, Castelo, Conceição de Castelo, Cachoeiro do Itapemirim, Itapemirim, Iúna, Irupí, Ibatiba, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante no Estado do Espírito Santo, e o município de Lajinha no Estado de Minas Gerais.

Apresenta clima temperado e úmido com temperatura média anual de 24°C na foz e 17°C na serra e regime de chuvas de 900 a 1600 mm anuais com estação chuvosa entre os meses de setembro e abril com pico em dezembro. O regime fluvial coincide com o regime pluvial. Esta área conta com uma rede hidrométrica relativamente densa.

A escolha dessa bacia é devido à grande quantidade de informações pré-existentes e pela sua importância econômica no cenário estadual. A maioria dos municípios cultiva café e há atividades industriais no setor de mármore e granitos em alguns deles. Entretanto, a principal atividade é a bovinocultura de corte e leite que é praticada em quase todos os municípios das sub-bacias estudadas. Mais informações podem ser obtidas no Diagnóstico e

Caracterização Ambiental da Bacia do Rio Itapemirim, GEADES (2004).



Figura 01 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, Espírito Santo.

AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS E LEVANTAMENTO DOS DADOS

Foram cedidas pelo Comitê de bacia do Itapemirim informações sobre a caracterização ambiental e usos e ocupação das sub-bacias, GEADES (2004). As informações georreferenciadas sobre municípios, localidades, hidrografia, curvas de nível e bacias hidrográficas foram obtidas no Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo - GEOBASES e as aerofotos fornecidas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA.

Os ortofotomosaicos cedidos pelo IEMA na escala de 1:15.000 originadas de vôos aerofotogramétricos na escala 1:35.000 de junho de 2007 serviram de base de apoio ao planejamento amostral, para a localização dos pontos de coleta de água, para definição das sub-bacias de contribuição e, sobretudo, para geração dos mapas de uso e ocupação do solo.

As coordenadas dos pontos de coleta de água foram obtidas utilizando GPS Garmin 12XL configurado pelo Sistema Geodésico de Referência SAD69 (South American Datum 1969) e o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercador – UTM.

As amostras de água foram coletadas nos pontos pré-selecionados entre os dias 01 e 03 de julho de 2008 e analisadas pelo laboratório LAFAR-SOL - Laboratório de Análises de Fertilizantes ,

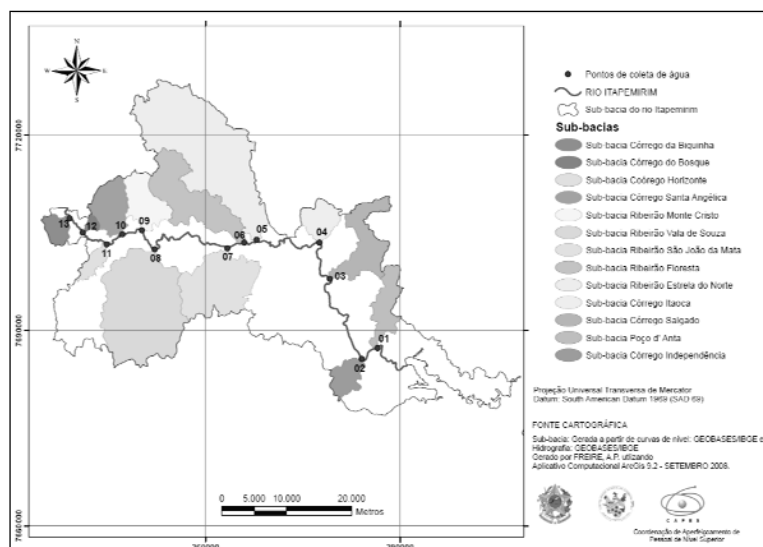


Figura 02 - Mapa de localização das 13 (treze) sub-bacias hidrográficas, Espíto Santo.

Tabela 01 – Percentual de área ocupada das classes para cada sub-bacia.

Sub-bacia	Classe 1 (Área edificada)	Classe 2 (Área agrícola)	Classe 3 (Pastagem)	Classe 4 (Vegetação intermediária)	Classe 5 (Fragmento florestal)	Classe 6 (solo exposto)	Classe 7 (Fragmento rochoso)
1-Córrego Independência	2,2	1,7	47,2	23,9	13,6	11,0	0,4
2-Córrego Poço D'Anta	2,2	8,3	36,6	14,9	23,5	8,4	6,1
3-Córrego Salgado	5,1	2,7	46,5	20,4	18,5	3,6	3,2
4-Córrego Itioca	4,0	1,5	52,5	18,6	7,8	12,7	2,9
5-Ribeirão Estrela do Norte	0,8	12,4	33,1	12,9	28,2	1,9	10,7
6-Ribeirão Floresta	1,1	16,1	29,5	11,2	32,2	2,6	7,3
7-Ribeirão São João da Mata	0,6	9,4	60,9	12,7	10,7	3,8	1,9
8-Ribeirão Valsa de Souza	2,2	11,4	50,0	13,8	15,7	4,8	2,1
9-Ribeirão Monte Cristo	0,9	14,1	29,1	11,4	29,9	3,7	10,9
10-Córrego Santa Angélica	0,8	4,7	48,6	16,0	18,5	4,6	6,8
11-Córrego Horizonte	4,0	1,6	47,3	17,1	26,3	3,7	0,0
12-Córrego Bosque	0,5	3,1	54,7	11,0	20,0	1,7	9,0
13-Córrego Biquinha	1,1	5,6	66,0	6,9	15,4	3,6	1,3
Média	2,0	7,1	46,4	14,7	20,0	5,1	4,8
Mediana	1,1	5,6	47,3	13,8	18,5	3,7	3,2

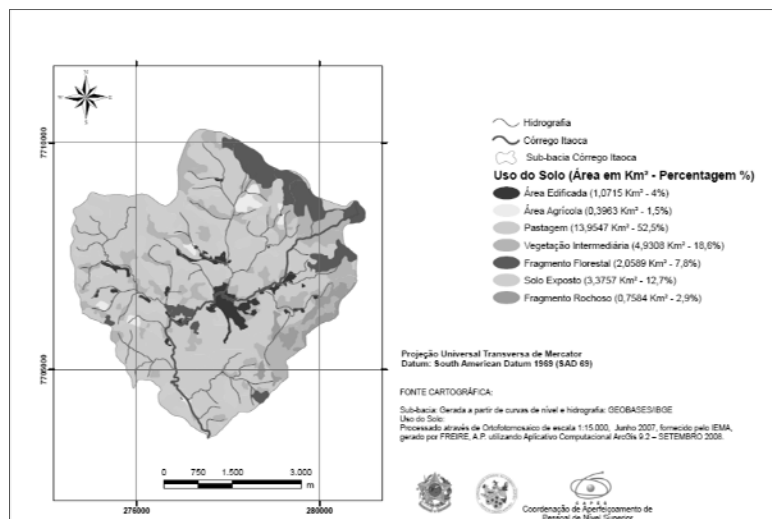


Figura 03 - Mapa de uso do solo da sub-bacia do Córrego Itaoca, Espírito Santo.

Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas pertencente ao NEDTEC - Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável, campus da Universidade Federal do Espírito Santo, seguindo o padrão estabelecido pela AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA - Standard methods for the examination of water and wastewater, 1995.

GERAÇÃO DAS SUB-BACIAS E DOS MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

As sub-bacias foram delimitadas a partir de seus divisores topográficos, considerando os pontos de coleta de análise de água pré-estabelecidos. A Figura 02 em anexo apresenta a localização e o ponto de coleta de água das 13 sub-bacias hidrográficas amostradas.

As classes de uso e ocupação do solo para a composição dos mapas foram definidas por fotointerpretação das ortofotos cedidas pelo IEMA e por inspeção de campo seguindo os fatores de fotointerpretação sugeridos por Loch (1993) e Temba (2000). As classes são: área edificada, área agrícola, pastagem, vegetação intermediária, fragmento florestal, solo exposto e fragmento rochoso.

A Tabela 01 em anexo apresenta o percentual de área ocupada de cada classe para as 13 sub-bacias. Pode-se observar que a pastagem apresenta o maior percentual em todas as sub-bacias, exceto a

sub-bacia 06 – Ribeirão Floresta cuja maior área ocupada é de fragmentos florestais (ela é a sub-bacia de maior área relativa de fragmentos florestais e a maior área relativa de agricultura dentre todas as sub-bacias investigadas). Já a sub-bacia 04 – Córrego Itaoca, ao contrário do Ribeirão Floresta, possui a menor área ocupada de agricultura e a maior área ocupada de pastagem dentre todas as sub-bacias.

Como exemplo, a Figura 03 em anexo apresenta o mapa de uso e ocupação da sub-bacia Córrego Itaoca.

ANÁLISE DOS DADOS E DAS CORRELAÇÕES CANÔNICAS AMOSTRAIS

Todas as análises dos dados e das correlações canônicas amostrais foram realizadas utilizando o pacote padrão do aplicativo computacional estatístico de livre distribuição R 2.7.1. Para mais detalhes sobre o aplicativo e suas funções e pacotes, consultar Dalgaard (2002).

Os parâmetros de qualidade da água utilizados foram organizados em um vetor aleatório 5×1 $\mathbf{X} = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ X_4 \ X_5]^T$ e os parâmetros de uso e ocupação do solo foram organizados em um vetor 4×1 $\mathbf{Y} = [Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4]^T$, onde:

- X_1 : Coliformes Termotolerantes (unidades/100ml);
- X_2 : Oxigênio Dissolvido (mg/l);
- X_3 : Fósforo (mg/l);
- X_4 : Nitratos (mg/l);

- X_5 : Amônia (mg/l);
- Y_1 : Percentual de áreas edificadas;
- Y_2 : Percentual de áreas agrícolas;
- Y_3 : Percentual de áreas de pastagem; e,
- Y_4 : Percentual de áreas de solo exposto.

O que justifica a escolha das variáveis relacionadas à qualidade das águas é a relação dos parâmetros de qualidade da água com as principais atividades praticadas na região. Já a escolha de 4 das 7 classes de ocupações é justificada pela presença de multicolinearidade na matriz de correlações “completa” (7x7), isto é, alguns pares de classes eram variáveis com correlação, em módulo, próxima de 1 (neste caso, uma variável do par pode ser escrita como combinação linear da outra variável do mesmo par), portanto, a matriz 7x7 de correlações é singular e não possui inversa impossibilitando o cálculo das variáveis e correlações canônicas. A solução adotada foi retirar uma das variáveis de cada par (essa escolha foi orientada pelo menor percentual de ocupação da classe nas sub-bacias).

Após uma análise exploratória dos dados optou-se por trabalhar com as matrizes de Correlações R_X , R_Y e R_{XY} devido às grandes diferenças de escala dos vetores observados.

As Tabelas 02, 03 e 04 mostram, respectivamente, as matrizes de auto-vetores normalizados de $R_X^{-1}R_{XY}R_Y^{-1}R_{YX}$ e $R_Y^{-1}R_{YX}R_X^{-1}R_{XY}$ e o vetor dos auto-valores correspondentes.

Tabela 02 - Resultado da matriz de auto-vetores de $R_X^{-1}R_{XY}R_Y^{-1}R_{YX}$

Matriz de auto-vetores de $R_X^{-1}R_{XY}R_Y^{-1}R_{YX}$				
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
-0.081	-0.793	-0.685	-0.035	0.227
-0.851	-0.194	0.232	0.109	0.128
-0.351	-0.518	0.606	-0.726	0.502
0.346	-0.247	0.175	0.469	0.278
-0.163	0.059	0.279	0.489	-0.775

Tabela 03 - Resultado da matriz de auto-vetores de $R_Y^{-1}R_{YX}R_X^{-1}R_{XY}$

Matriz de auto-vetores de $R_Y^{-1}R_{YX}R_X^{-1}R_{XY}$			
b_1	b_2	b_3	b_4
-0.008	0.656	-0.663	0.296
0.340	0.383	-0.165	-0.906
0.408	0.593	0.727	0.265
0.847	-0.267	-0.061	0.141

Tabela 04 - Resultado do vetor de auto-valores.

Vetor de auto-valores	
λ_1	0.756
λ_2	0.407
λ_3	0.280
λ_4	0.158

O primeiro par de variáveis canônicas é:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \mathbf{a}_1^T \mathbf{X}^* = \\
 &= -0,081 X_1^* - 0,851 X_2^* - 0,351 X_3^* + 0,346 X_4^* - 0,163 X_5^*; \text{ e,} \\
 V_1 &= \mathbf{b}_1^T \mathbf{Y}^* = \\
 &= -0,008 Y_1^* + 0,340 Y_2^* + 0,408 Y_3^* + 0,847 Y_4^*,
 \end{aligned}$$

onde \mathbf{X}^* e \mathbf{Y}^* são os respectivos vetores \mathbf{X} e \mathbf{Y} padronizados.

A correlação canônica amostral do par (U_1, V_1) é, em módulo, igual a 0,87 uma vez que $\lambda_1 = 0,756$.

As “Canonical Loadings” amostrais são apresentadas na Tabela 05 e, de acordo com ela, U_1 pode ser interpretada como um contraste entre os níveis de Nitrato e Oxigênio Dissolvido (um valor alto de U_1 indica, basicamente, uma alta concentração de Nitratos e baixa de Oxigênio Dissolvido na sub-bacia analisada); Já V_1 pode ser interpretada como um índice que agrega as atividades de pastagem e à exposição do solo (valores altos de V_1 representam, basicamente, uma grande área ocupada por pastagem e/ou de solo exposto). Portanto, as variáveis canônicas amostrais serão denominadas de “Índice de Degradação da Água” (IDA) para U_1 e de “Índice de Atividade Humana do Solo” (IAHS) para V_1 .

Tabela 05 - Resultado das correlações entre as variáveis canônicas e os vetores \mathbf{X} e \mathbf{Y} .

Canonical loadings	
$R(U_1, \mathbf{X})$	$R(V_1, \mathbf{Y})$
-0.005	0.188
-0.567	-0.263
0.113	0.294
0.240	0.739
0.063	-

A Tabela 06 lista os valores dos índices (U_1 , V_1) de cada sub-bacia e o Gráfico 01 mostra a dispersão dos dados.

Tabela 06 – Valores dos pares de variáveis canônicas (scores) para cada sub-bacia

Sub-bacias	(U ₁ , V ₁)
Córrego da Biquinha (Pto 13)	(0.39, 0.25)
Córrego do Bosque (Pto 12)	(- 0.49, 0.80)
Córrego Horizonte (Pto 11)	(- 0.35, - 0.68)
Córrego Santa Angélica (Pto 10)	(-1.00, - 0.20)
Ribeirão Monte Cristo (Pto 9)	(- 0.17, - 0.49)
Ribeirão Vala de Souza (Pto 8)	(- 0.03, 0.33)
Ribeirão São João da Mata (Pto 7)	(0.36, 0.35)
Ribeirão Floresta (Pto 6)	(- 0.57, - 0.62)
Ribeirão Estrela do Norte (Pto 5)	(- 0.19, - 0.91)
Córrego Itaoca (Pto 4)	(1.54, 1.70)
Ribeirão Salgado (Pto 3)	(- 0.69, - 0.67)
Ribeirão Poço do Anta (Pto 2)	(0.10, 0.62)
Córrego Independência (Pto 1)	(1.11, 1.10)

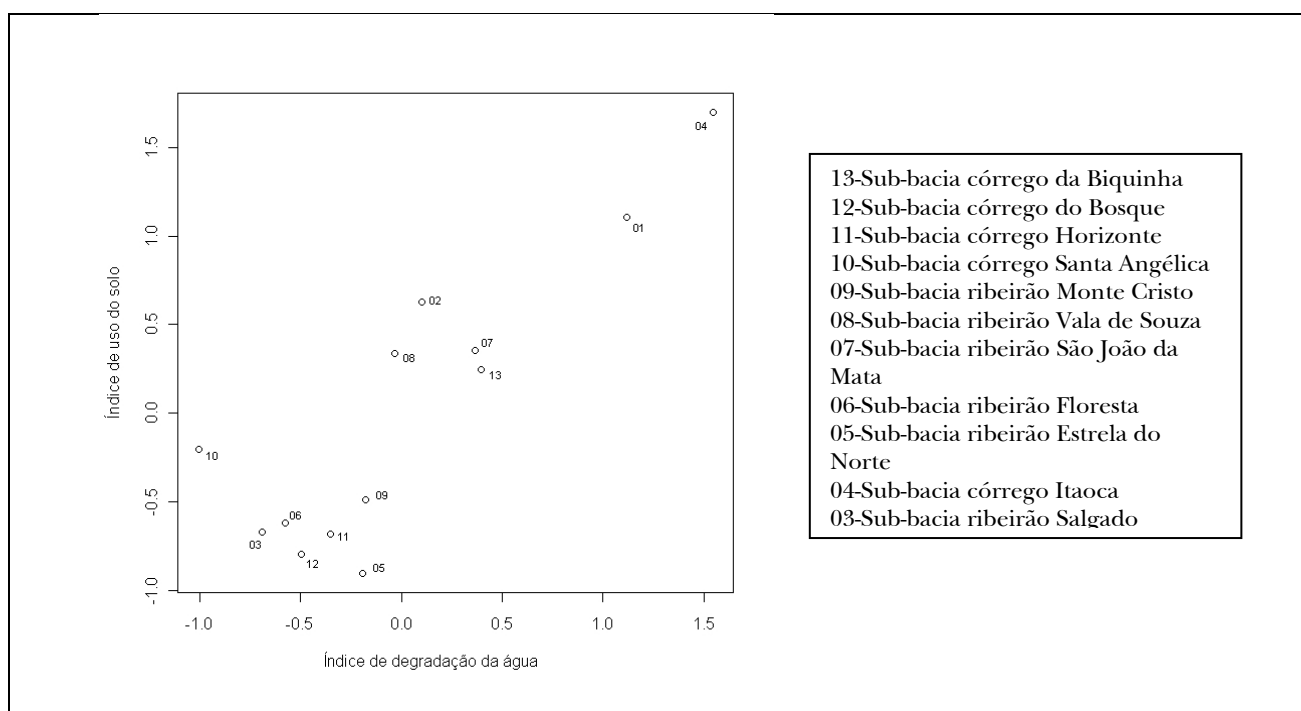


Gráfico 01 – Dispersão das variáveis canônicas: índice de degradação da água versus índice de uso do solo.

Após uma exploração dos dados da Tabela 06 e uma análise do Gráfico 01 pode-se concluir:

- A correlação entre as variáveis canônicas é positiva, isto é, um valor alto de um dos índices, em média, é acompanhado de um valor alto do outro índice (um valor alto de

IAHS, em média, implica em um valor alto de IDA);

- As sub-bacias mais degradadas, de acordo com IDA, são: córrego Itaoca (sub-bacia número 04) e córrego Independência (sub-bacia número 01). São essas sub-bacias que, também, apresentam um alto IAHS;

- As sub-bacias com menor IDA são: córrego Santa Angélica (sub-bacia número 10), ribeirão Salgado (sub-bacia número 03) e ribeirão Floresta (sub-bacia número 06). São essas sub-bacias que, também, apresentam os menores IAHS.

Os resultados apontam que quanto maior é a atividade humana na sub-bacia maior é a degradação da qualidade da água. Em particular, dentre as sub-bacias investigadas (no período de seca), a ocupação com pastagem e solo exposto são as que mais impactam a qualidade das águas das sub-bacias mais degradadas. Além disso, o impacto dessas atividades afeta a qualidade da água diminuindo a concentração de Oxigênio Dissolvido e aumentando a concentração de Nitratos. Isso está de acordo com as informações pré-existentes uma vez que a sub-bacia mais degradada, a sub-bacia 04-Córrego Itaoca, é aquela com maior atividade de bovinocultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma correlação positiva de 0,87 entre o Índice de Degradação da Água (associada a pouco oxigênio dissolvido e alta concentração de nitratos) e o Índice de Atividade Humana do Solo (associado à exposição do solo e à pastagem).

Pode-se concluir que a principal relação sobre a atividade humana do solo nas sub-bacias investigadas da bacia do rio Itapemirim no período de seca está associada com a o solo exposto e com a atividade de pastagem que, juntas, correspondem, em média, mais de 50% das áreas ocupadas. Isso está de acordo com as informações pré-existentes, pois, a pecuária bovina está entre as principais atividades nessas localidades.

A qualidade das águas nas sub-bacias com maiores Índices de Atividade Humana do Solo, em média, apresenta pouco oxigênio dissolvido e alta concentração de nitratos, provavelmente associada ao material orgânico lançado difusamente devido à pecuária bovina sem um manejo adequado.

As sub-bacias em piores condições de qualidade da água são: córrego Itaoca e córrego Independência. São essas sub-bacias que possuem o maior percentual de área ocupada com pastagem grande percentual de áreas com solo exposto conforme a Tabela 01 em anexo.

Pesquisas futuras poderão ser feitas com o objetivo de estabelecer os limites desses índices para

melhorar a classificação das atividades humanas e do grau de degradação da qualidade da água. Um número maior de sub-bacias tanto no período de seca quanto no período de chuvas devem ser investigadas aumentando a abrangência espacial e temporal dos resultados. É desejável aumentar o número de parâmetros de qualidade de água para refinar os resultados. Além disso, com um número maior de sub-bacias investigadas, pode-se ajustar um modelo de regressão com objetivo de prever a qualidade da água monitorando as atividades humanas do solo via geotecnologias.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é a síntese de uma dissertação de mestrado desenvolvida no Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, e na oportunidade os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa, ao LAFARSOL pela ajuda nas campanhas de campo e pelo desenvolvimento das análises laboratoriais e aos professores do PP-GEA/UFES.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T.W. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, 3rd ed. New York. John Wiley, 2003.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_drb/_arquivos/152_03122008033158.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2008.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 20 de setembro de 2008.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 16 maio de 2011. Disponível <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 18 de junho de 2013.

COSKUN, G. H.; ALPARSLAN, E. Environmental modelling of Omerli catchment area in Istanbul, Turkey using remote sensing and GIS techniques. *Journal Environmental Monitoring and Assessment*, ISSN 0167-6369, 2008, pp 1573-2959 (Online).

DALGAARD, P. *Introductory Statistics with R*. Springer-Verlag, 2002.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Política Estadual de Recursos Hídricos, LEI N° 5.818, de 29 de dezembro de 1998. Diário Oficial do Espírito Santo. Vitória, ES. Disponível em: <<http://www.iema.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 20 de setembro de 2008.

GEADES - ESPÍRITO SANTO. Diagnóstico e Caracterização Ambiental da Bacia do Rio Itapemirim.

Grupo de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Itapemirim (GEADES), atualizado pela Equipe Técnica da Expedição Científica do Rio Itapemirim, Alegre, ES, 2004. 110p.

FONSECA, G. P. S. Análise da poluição difusa na bacia do rio Teles Pires com técnicas de Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado em Geografia. Mato Grosso, UFMT, 2006. 174p.

HOTELLING, H. Relations between two sets of variables. *Biometrika*. 28: 321-377, 1936.

JOHNSON, R. A. e WICHERN, D. W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6th edition. Prentice Hall, 2007.

LOCH, C. Noções básicas para interpretação de imagens aéreas, bem como algumas de suas aplicações nos campos profissionais. Florianópolis, UFSC 3ª ed rev. e. ampl., 1993. 120p.

MAILLARD, P.; SANTOS, N. A. P. A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed – Brazil. *Journal of Environmental Management* Vol.86, 2008, pp. 158–170

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada – Uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005, 297p.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical tech-

niques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*. Special section: Environmental Risk and Emergency Management. Volume 22, Issue 4 2007, pp 464-475.

TEMBA, P. Fundamentos de Fotogrametria. Departamento de Cartografia. Curso de Pós Graduação em Geoprocessamento, UFMG, 2000 <<http://www.cgp.igc.ufmg.br/centrorecursos/apostilas/fotogrametria.pdf>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2008.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. *World Resources 1990-1996: Special Focus on Climate Change, Latin America Plus* Essential Data on 146 Countries – Guide to Global Environment. New York: Oxford Press, 1996.

ZEILHOFER, P.; LIMA, E.B.N.R.; LIMA, G.A.R. Spatial Patterns of Water Quality in the Cuiabá River Basin, Central Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 123, N° 1-3, 2006, pp 41-62.

Analysis Of The Correlation Between Land Use And Occupancy And Water Quality

ABSTRACT

This paper studies the correlation between land use and occupancy and water quality, using Remote Sensing and Geographic Information System geotechnologies via a statistical model of canonical correlations. In order to apply the method, it looked at thirteen tributary sub-basins of the Itapemirim River Basin in the State of Espírito Santo during the drought period. The results indicate that the sub-basins with the highest index of human activity on the soil are associated with a higher index of water quality degradation. Besides, human activities in these sub-basins are related to grazing activities and exposed soil, while the degradation of water quality is associated with the high concentration of Nitrates and low concentration of Dissolved Oxygen, probably associated with the organic material that is diffusely released due to beef cattle raised without appropriate management.

Key-words: Geotechnologies, Water quality, Multivariate Statistics, Canonical Correlation analysis