

## **CAPÍTULO 15**

### ***METODOLOGIA PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS PARA CORRELACIONAR VARIÁVEIS AMBIENTAIS***

**Alexandre Rosa dos Santos  
Ana Paula Freire  
Edwards Cerqueira de Castro  
Julio Tomás Aquije Chacaltana  
Vicente Paulo Soares  
Gleissy Mary Amaral D. A. dos Santos**

#### **1 Introdução**

Neto (2008) afirma que: “estabelecer relações, encontrar ou propor leis explicativas é o papel próprio da ciência. Para isso é necessário controlar, manipular e medir as variáveis que são consideradas relevantes ao entendimento dos fenômenos analisados. Muitas são as dificuldades em traduzir as informações obtidas em conhecimento. A maneira própria de fazer ciência, procurando reduzir a poucas variáveis, desenvolveu muito um ramo da estatística que olha as variáveis de maneira isolada - a estatística univariada”.

De acordo com Ladim (2008), a análise estatística univariada pode resolver problemas que se relacionam com uma única variável medida para uma amostra, já para valores de diversas variáveis é necessário usar aplicações de técnicas de estatística multivariadas. Tal análise estatística de mensurações múltiplas efetuadas sobre uma amostra permite considerar simultaneamente a variabilidade existente nas diversas propriedades envolvidas.

Ainda por Ladim (2008), pode-se afirmar que a análise multivariada é a área da análise estatística que preocupa-se com as relações entre as variáveis e como tal apresenta duas características principais: os valores das diferentes variáveis devem ser obtidos sobre os mesmos indivíduos, além disso, devem ser interdependentes e consideradas simultaneamente.

Segundo Ferreira (2008), dentre as áreas da estatística, a multivariada é certamente a que possui a maior importância na solução de investigações científicas de vários fenômenos, em diversas áreas de conhecimento. As respostas para esses fenômenos são mensuradas em mais de uma variável e, em geral, as análises são realizadas separadamente para cada uma delas. As técnicas e métodos estatísticos multivariados procuram contemplar todas as variáveis de uma forma integrada, onde as

inter-relações são estudadas com um maior grau de profundidade, obtendo-se assim soluções mais consistentes e úteis para as avaliações nas quais são necessárias estes tipos de técnicas.

Segundo Mingoti (2005), a estatística multivariada é dividida basicamente em dois grupos: a) análises de técnicas exploratórias de sintetização, ou simplificação da estrutura de variabilidade dos dados e; b) estudo de inferências estatísticas.

Fazem parte do primeiro grupo: análise de componentes principais (ACP); análise fatorial (AF); análises de agrupamentos (AA); análise discriminante (AD); análise de correspondência (AC) e; análises de correlações canônicas (ACC).

No segundo grupo, encontram-se os métodos de estimação de parâmetros, testes de hipótese, análise de variância, covariâncias e de regressão multivariadas.

Dentre as técnicas de análise estatística multivariada, a que será aplicada no presente estudo, consiste na análise de correlações canônicas, assim sendo, será apresentada uma descrição dos procedimentos metodológicos de forma simplificada dessa técnica estatística.

Mingoti (2005) descreve que as Análises de Correlações Canônicas tem como objetivo principal o estudo das relações lineares existentes entre dois conjuntos de variáveis. O conceito básico é resumir a informação de cada conjunto de variáveis em combinações lineares, sendo que a seleção dos coeficientes dessas combinações é feita tendo como critério à maximização da correlação entre as combinações lineares de cada conjunto de variáveis. As combinações lineares que podem ser estabelecidas são denominadas de variáveis canônicas, enquanto que a correlação entre elas é chamada de correlação canônica. Esse tipo de correlação mede basicamente o grau de associação existente entre as variáveis dos dois grupos.

O objetivo deste estudo foi descrever uma metodologia para análise estatística multivariada utilizando geotecnologias para correlacionar variáveis ambientais. Como exemplo metodológico, foi verificada a relação entre os parâmetros físico-químicos (temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrato e amônia), biológicos (coliformes termotolerantes) e de uso da terra por meio da utilização de técnica de análise estatística multivariada, mais especificamente, a correlação canônica em 13 (treze) sub-bacias de tributários do rio Itapemirim, ES.

## **2 Metodologia**

Os procedimentos adotados para implementação da metodologia para análise estatística multivariada utilizando geotecnologias para correlacionar variáveis ambientais basicamente devem ser divididos em quatro etapas, sendo:

- a) Aquisição dos materiais e informações;
- b) levantamentos dos dados de campo;
- c) preparação e geração da base de dados e;
- d) modelagem estatística multivariada - Análise de Correlação Canônica.

**a) Aquisição dos materiais e informações**

Para análise da situação ambiental e informações gerais da área de estudo, devem ser realizados levantamentos bibliográficos acerca do tema que envolve a pesquisa, além da aquisição de materiais existentes sobre a região de abrangência da área de estudo, obtidas em algumas instituições e órgãos.

As informações cartográficas necessárias para realização do estudo devem ser representadas pelos seguintes planos de informações vetoriais:

- Municípios;
- localidades;
- hidrografia;
- curvas de nível;
- bacia hidrográfica e;
- entre outras.

Além dos planos de informações vetoriais, será necessária a obtenção de planos de informações matriciais de alta resolução espacial que podem ser representadas por aerofotos digitais e imagens de satélite.

**b) Levantamentos dos dados de campo**

Nesta etapa, devem-se definir os pontos para coletas de amostras tendo como exemplo os parâmetros físico-químicos (temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrato e amônia), biológicos (coliformes termotolerantes) da água. Neste caso, com intuito de otimizar os trabalhos de campo, primeiramente deve ser feito um planejamento, conforme os seguintes critérios: preferência por rios perenes; facilidade de acesso aos pontos, áreas com diferentes tipos de uso da terra e um conjunto de pontos mais espalhado possível ao longo da sub-bacia representativa da área de estudo.

É fundamental realizar visita de campo, a fim de verificar “*in situ*” a área de estudo e também identificar e mapear os corpos hídricos, por meio de pontos coletados com aparelho *GPS*, além de realizar registro de fotos para reconhecimento dos diferentes usos da terra, considerando posterior composição dos mapas.

Como exemplo de aplicação da metodologia proposta para esta etapa, na Tabela 1 e Figura 1 são apresentados os pontos de amostragem para coleta de água na área de estudo representada pela bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.

### c) **Preparação e geração da base de dados**

Considerando como exemplo os parâmetros físico-químicos e biológicos da água e de uso da terra, a preparação da base de dados deve ser dividida em duas etapas:

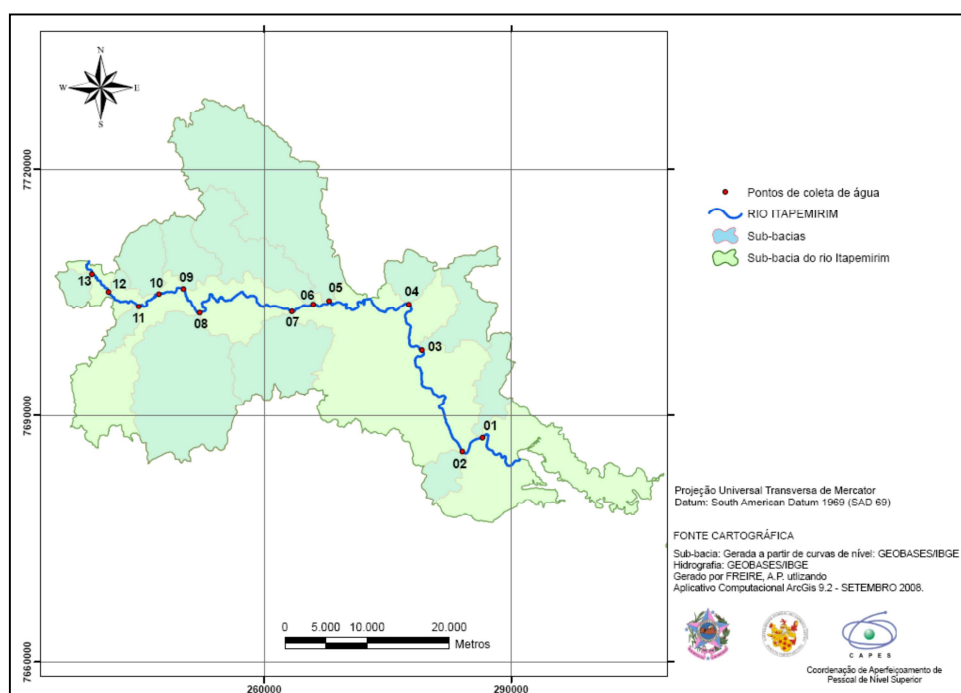
**Primeira etapa:** escolha e tratamento dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: Como exemplo, dado que a área de estudo possui uso predominantemente agrícola e com criação de pecuária de forma extensiva, deve-se optar pelo emprego de 5 (cinco) parâmetros considerados relevantes para um direcionamento da questão da qualidade da água, sendo eles: coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido (OD), fósforo (P), nitrato e amônia. Para cada ponto, deve-se realizar 3 (três) replicações das medidas a fim de conduzir uma maior confiabilidade aos parâmetros coletados.

**Segunda etapa:** delimitação das sub-bacias e geração dos mapas de uso da terra por intermédio da utilização de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). A metodologia desta etapa deve ser composta de dois procedimentos básicos:

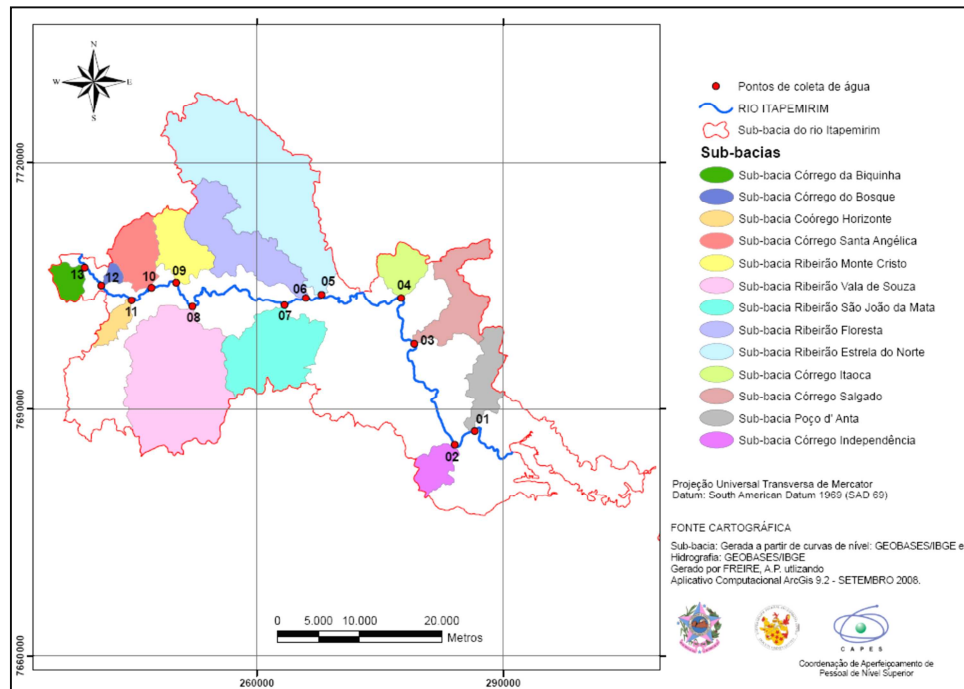
**Procedimento 1:** delimitação das áreas das sub-bacias hidrográficas a partir dos pontos pré-definidos para coleta de água: para a delimitação das sub-bacias devem ser utilizados planos vetoriais representados por curvas de nível e hidrografia, e ainda as ortofotos digitais como “*background*” para auxiliar o processo. As sub-bacias devem ser delimitadas a partir de seus divisores topográficos, considerando os pontos de coleta de análise de água pré-estabelecidos. A delimitação deve atender apenas a fatores de ordem topográfica, ou seja, “define uma linha de cumeada que pode-se chamar de linha de divisor das águas”, pois é ela que divide as precipitações e, que por escoamento superficial, seguem as linhas de maior declive, contribuindo para a vazão que passa na seção em estudo (MAGALHÃES, 1989). Como exemplo, a Figura 2 apresenta o mapa de localização das 13 (treze) sub-bacias hidrográficas delimitadas, Espírito Santo.

**Tabela 1. Coordenadas dos pontos definidos para as coletas de água na área de estudo representada pela bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**

Pontos de análise	Corpos hídricos	Coordenadas	
		E	N
1	córrego Independência	284084	7685640
2	ribeirão Poço do Anta	286525	7687305
3	ribeirão Salgado	279163	7697945
4	córrego Itaoca	277567	7703488
5	ribeirão Estrela do Norte	267883	7703919
6	ribeirão Floresta	265962	7703499
7	ribeirão São João da Mata	263367	7702626
8	ribeirão Vala de Souza	252161	7702468
9	ribeirão Monte Cristo	250188	7705390
10	córrego Santa Angélica	247193	7704758
11	córrego Horizonte	244763	7703230
12	córrego do Bosque	241072	7705042
13	córrego da Biquinha	239057	7707193



**Figura 1. Localização dos pontos de amostragem para coleta de água na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.**



**Figura 2. Localização das 13 (treze) sub-bacias hidrográficas, ES.**

Procedimento 2: geração dos mapas de uso da terra, utilizando aerofotos digitais ou imagens de satélite de alta resolução espacial: primeiramente, devem ser levantadas as informações temáticas, ou seja, as classes de uso da terra para composição dos mapas, sendo obtidas a partir da interpretação visual por meio de técnicas de foto-interpretação das aerofotos digitais ou imagens de satélite. Como exemplo, as classes definidas e fotointerpretadas para a área de estudo foram: área edificada; área agrícola; pastagem; vegetação intermediária; fragmento florestal; solo exposto e fragmento rochoso.

**d) Modelagem estatística multivariada - Análise de Correlação Canônica.**

Nesta etapa, deve-se definir uma amostra de pares de vetores aleatórios  $\tilde{X}$  e  $\tilde{Y}$ . Como exemplo, o vetor  $\tilde{X}$  é um vetor aleatório no qual os componentes correspondem aos parâmetros de qualidade de água:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix}$$

Em que,

- $X_1$  : coliformes termotolerantes;
- $X_2$  : oxigênio dissolvido;
- $X_3$  : fósforo;
- $X_4$  : nitrato e;
- $X_5$  : amônia.

Por conseguinte, a definição dos componentes do vetor aleatório  $\tilde{Y}$  está associada à percentagem de classes de uso da terra que possuem as maiores interferências antrópicas, tendo em vista o mapeamento realizado. São eles:

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{bmatrix}$$

Em que,

- $Y_1$  : percentagem de área edificada;
- $Y_2$  : percentagem de área agrícola;
- $Y_3$  : percentagem de pastagem;
- $Y_4$  : percentagem de solo exposto.

As componentes do vetor  $\tilde{Y}$  devem ser obtidas da seguinte maneira: [(Área de cada tipo de uso da terra da sub-bacia) / (Área total da sub-bacia)] gerando valores adimensionais.

Após definidos os vetores aleatórios  $\tilde{X}$  e  $\tilde{Y}$ , uma análise exploratória dos dados deve ser realizada. A média e a mediana de cada uma das variáveis componentes devem ser comparadas com o objetivo de identificar variáveis assimétricas ou valores discrepantes. Também, ao comparar as médias (ou as medianas) das variáveis componentes entre si, é possível verificar discrepâncias entre as escalas.

Em seguida devem ser obtidos os auto-valores e auto-vetores normalizados

associados das matrizes  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$  e  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$ .

Os auto-valores de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$  são os mesmos de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix}$   $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$ , e

correspondem aos quadrados da correlação entre os pares de variáveis canônicas. E os

auto-vetores de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$  e de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$  correspondem aos coeficientes

das combinações lineares que constituem as variáveis canônicas.

Os pares das variáveis canônicas são representados da seguinte forma:

$$U_I = a'_{\sim I} X^*$$

$$V_I = b'_{\sim I} Y^*$$

Onde os vetores dos coeficientes são expressos por:

$$a_{\sim I} = [a_{I1} a_{I2} \dots a_{Ip}]$$

$$b_{\sim I} = [b_{I1} b_{I2} \dots b_{Iq}]$$

Em que,

$a_{\sim I}$  . primeiro auto-vetor normalizado de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix}$  e;

$b_{\sim I}$  . primeiro auto-vetor normalizado de  $\begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim Y \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim YX \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim X \end{matrix} \begin{matrix} R^{-1}R \\ \sim XY \end{matrix}$ .

Portanto, o primeiro par de variáveis canônicas pode ser escrito, com  $p = 5$  e  $q = 4$ , da seguinte maneira:

$$\begin{cases} U_I = a_{\sim I} X^* = a_{I1}X_1^* + a_{I2}X_2^* + \dots + a_{I5}X_5^* \\ V_I = b_{\sim I} Y^* = b_{I1}Y_1^* + b_{I2}Y_2^* + \dots + b_{I4}Y_4^* \end{cases}$$

Onde os vetores  $X^*$  e  $Y^*$  são, respectivamente, os vetores  $\underline{X}$  e  $\underline{Y}$  padronizados, isto, é:

$$\underline{X^*} = \begin{bmatrix} X_1^* \\ X_2^* \\ \vdots \\ X_5^* \end{bmatrix} = D_{\sim X} \left( \underline{X} - \bar{X} \right) \text{ com } D_{\sim X} = \text{diag} \left( S_{ii}^{(X)^{-1/2}} \right), \quad i = 1, 2, \dots, 5.$$



$$\tilde{Y}^* = \begin{bmatrix} Y_1^* \\ Y_2^* \\ \vdots \\ Y_4^* \end{bmatrix} = D_{\tilde{Y}} \left( \tilde{Y} - \bar{Y} \right) \quad \text{com} \quad D_{\tilde{Y}} = \text{diag} \left( S_{jj}^{(Y)^{-1/2}} \right), \quad j=1,2,\dots,4.$$

Vale ressaltar que os pares de variáveis canônicas apresentam variância igual a 1 (um) e que a correlação entre as variáveis  $U_1$  e  $V_1$  é máxima dentre todas as possíveis combinações lineares de  $\tilde{X}^*$  com as combinações lineares de  $\tilde{Y}^*$ .

O fluxograma metodológico de todas as etapas exemplificadas desenvolvidas no estudo é mostrado na Figura 3.

### 3 Resultados e discussão

Abaixo segue os resultados da relação entre os parâmetros físico-químicos (temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrato e amônia), biológicos (coliformes termotolerantes) e de uso da terra por meio da utilização de técnica de análise estatística multivariada, especificamente, correlação canônica, tendo como exemplo 13 (treze) sub-bacias de tributários do rio Itapemirim, ES.

A Tabela 2 apresenta o resultado das correlações entre a variável canônica  $U_1$  com as componentes padronizadas do vetor  $\tilde{X}$ , ou seja, o vetor  $R_{\tilde{U}_1 \tilde{X}}$ .

**Tabela 2. Resultado do vetor de correlação entre a variável canônica  $U_1$  e as componentes padronizadas do vetor  $\tilde{X}$**

<b>Componentes do vetor</b> $R_{\tilde{U}_1 \tilde{X}}$ (canonical loadings)
-0.005 (colif. term. - muita fraca)
-0.567 (oxig. diss. - moderada)
0.113 (fosf. - fraca)
0.240 (nitr. - fraca a moderada)
0.063 (amon. - fraca)

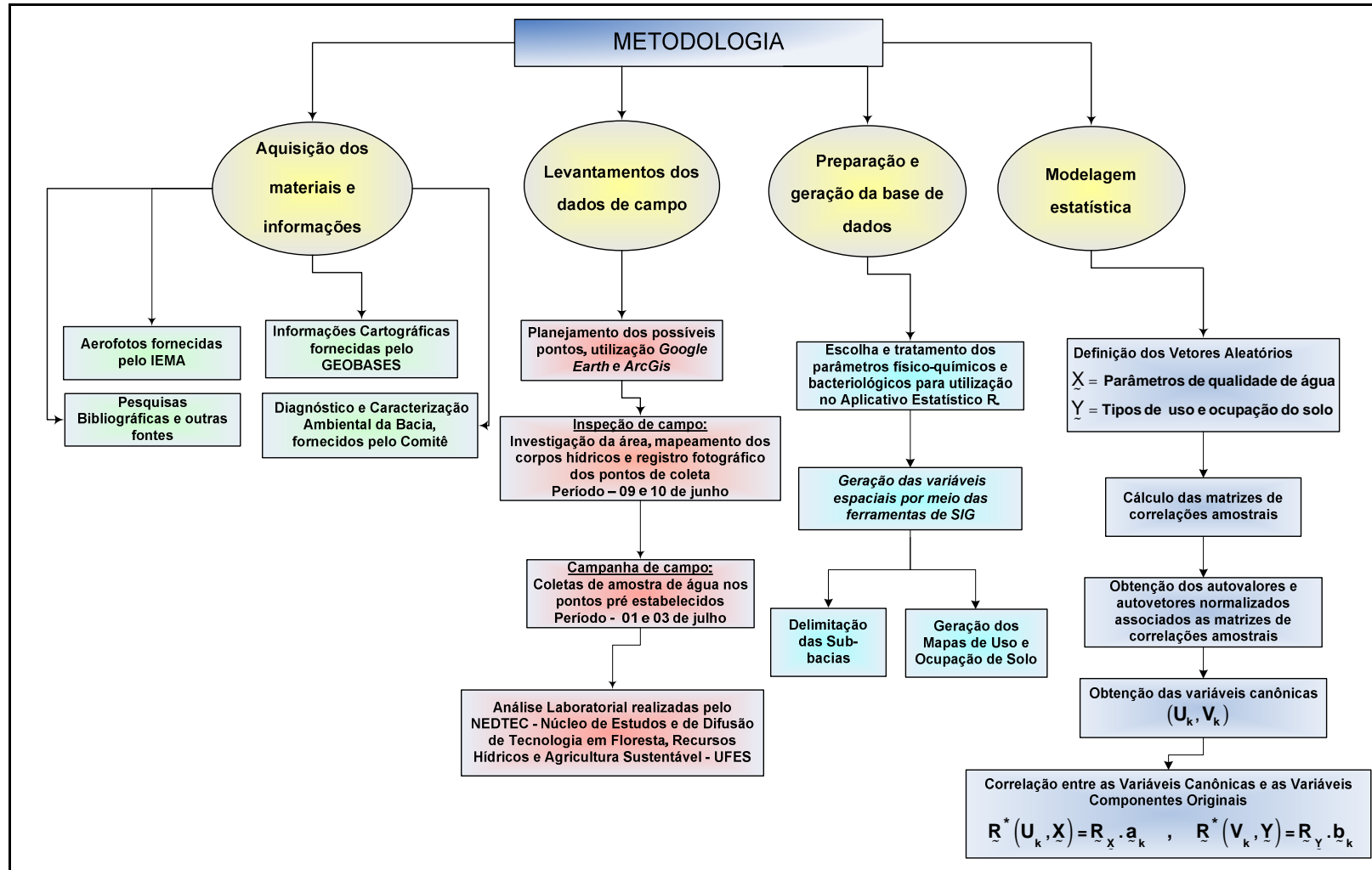


Figura 3. Fluxograma metodológico de todas as etapas exemplificadas desenvolvidas no estudo.

De acordo com o resultado da Tabela 2, observa-se que a variável coliformes termotolerantes padronizada possui correlação com  $U_1$  igual a -0.005 indicando uma contribuição muito fraca na constituição de  $U_1$ ; a variável oxigênio dissolvido padronizado possui correlação com  $U_1$  igual a -0.567 indicando uma contribuição moderada na constituição de  $U_1$ ; a variável fósforo padronizado possui correlação com  $U_1$  igual a 0.113 indicando uma contribuição fraca na constituição de  $U_1$ ; a variável nitrato padronizada possui correlação com  $U_1$  igual a 0.240 indicando uma contribuição de fraca a moderada na constituição de  $U_1$ ; e a variável amônia padronizada possui correlação com  $U_1$  igual a 0.063 indicando uma contribuição fraca para constituição de  $U_1$ .

A Tabela 3 apresenta o resultado do vetor correlação da variável canônica  $V_1$  com as componentes padronizadas do vetor  $\tilde{Y}$ .

**Tabela 3. Resultado do vetor de correlação da variável canônica  $V_1$  com as componentes as padronizadas do vetor  $\tilde{Y}$**

<b>Componentes do vetor</b> $R_{\tilde{v}_1 \tilde{Y}}$ (canonical loadings)
0.188 (área edificada – fraca)
-0.263 (área agrícola – fraca a moderada)
0.294 (pastagem – fraca a moderada)
0.739 (solo exposto – moderada a forte)

A variável área edificada padronizada possui correlação com  $V_1$  igual a 0.188 indicando uma contribuição fraca na constituição de  $V_1$ ; a variável área agrícola padronizada possui correlação com  $V_1$  igual a -0.263 indicando uma contribuição fraca a moderada na constituição de  $V_1$ ; a variável pastagem padronizada possui correlação com  $V_1$  igual a 0.294 indicando também uma contribuição fraca a moderada na constituição de  $V_1$ ; Já a variável solo exposto padronizada possui correlação com  $V_1$  igual a 0,739, indicando uma contribuição moderada a forte na constituição de  $V_1$ .

De acordo com as correlações  $R_{\tilde{U}_1 \tilde{X}}$  e  $R_{\tilde{v}_1 \tilde{Y}}$ ,  $U_1$  pode, basicamente, ser entendida como um contraste entre nitrato e oxigênio dissolvido, ou seja, valores grandes observados para a variável  $U_1$  indicam, de modo geral, uma concentração alta de nitrato

e baixa de oxigênio dissolvido na amostra de água, enquanto  $V_I$  pode, basicamente, ser entendida como um índice agregativo de atividades antrópicas associada com agropecuária e exposição do solo, isto é, valores altos da variável  $V_I$  indicam, de modo geral, uma grande atividade agropecuária e exposição do solo nas sub-bacias investigadas.

Assim sendo, as variáveis canônicas  $U_I$  e  $V_I$  serão chamadas daqui por diante de “*índice de degradação da água*” e “*índice de uso do solo*”, respectivamente.

A correlação canônica entre  $U_I$  e  $V_I$  é, em módulo, igual a 0,87, portanto, há uma considerável relação (linear) entre o *índice de degradação da água* e o *índice de uso do solo* (para as sub-bacias investigadas durante o período de seca – Inverno).

Em síntese, de modo geral, para as sub-bacias investigadas durante o período de seca na região delimitada, as atividades antrópicas associadas a solo exposto, agricultura e pastagem geram impactos na qualidade de água, sobretudo na diminuição do oxigênio dissolvido e no aumento das concentrações de nitrato.

Os valores das variáveis canônicas, chamadas de scores, para cada uma das 13 (treze) sub-bacias são apresentados na Tabela 4. Já a Tabela 5 apresenta uma síntese dos dados amostrais para as variáveis canônicas (scores).

**Tabela 4. Valores dos pares de variáveis canônicas (scores) para cada sub-bacia**

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

**Tabela 5. Síntese dos dados amostrais para as variáveis canônicas (scores)**

	Índice de degradação da água ( $U_I$ )	Índice de uso do solo ( $V_I$ )
<b>Mínimo</b>	- 1.007	- 0.907
<b>1º Quartil</b>	- 0.453	- 0.671
<b>Mediana</b>	- 0.176	-0.205
<b>Média</b>	3.169e-18	1.601e-16
<b>Var.</b>	0.516	0.654
<b>Std. Dev.</b>	0.718	0.809
<b>3º Quartil</b>	0.366	0.353
<b>Máximo</b>	1.546	1.702

Com base nos resultados dispostas nas Tabelas 4 e 5 pode-se destacar algumas informações importantes acerca dos scores:

- As distribuições das variáveis canônicas ( $U_I$ ) e ( $V_I$ ) são levemente assimétricas, dado que há diferenças acentuadas entre as médias e medianas;
- As sub-bacias mais favoráveis em termos do índice de degradação da água ( $U_I$ ) são as sub-bacias Ribeirão da Floresta e Ribeirão Salgado, conseqüentemente são as que apresentam os menores índices de uso da terra ( $V_I$ );
- As sub-bacias mais críticas em termos do índice de degradação da água ( $U_I$ ) são as sub-bacias Córrego de Itaoca e Córrego Independência, logo são as que apresentam os maiores índices de uso da terra ( $V_I$ ).

De acordo com os resultados da dispersão das variáveis canônicas ( $U_I$ ) e ( $V_I$ ), mostrados na Figura 4, observa-se uma correlação positiva entre elas  $Corr(U_I, V_I) = 0,87$ , pois para valores baixos do índice de degradação da água segue, em média, valores baixos do índice de uso da terra.

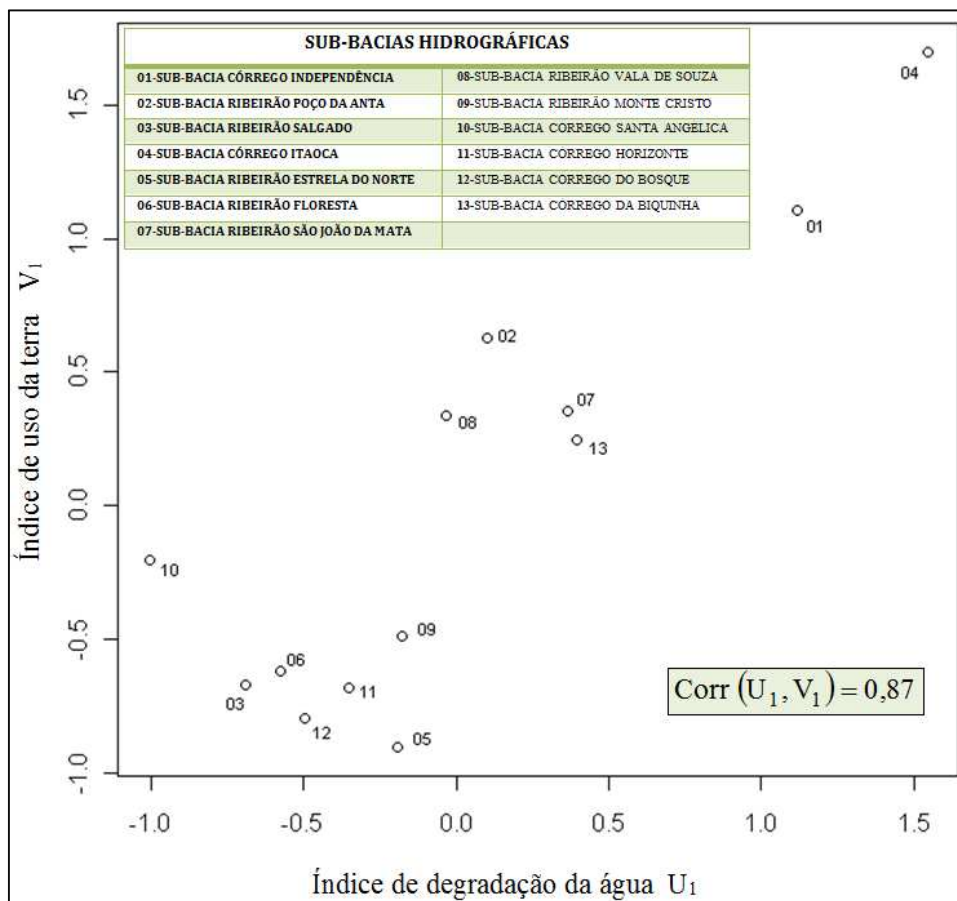
#### **4 Conclusões**

Nas condições em que os estudos foram conduzidos na área de estudo exemplificada, a análise dos resultados permitiu-se apresentar as seguintes conclusões:

- A correlação canônica do primeiro par de variáveis canônicas é de 0,87, portanto, é uma relação linear considerável;
- a atividade agropecuária (agricultura e pecuária de forma extensiva), pastagem e também a classe solo exposto causam impactos consideráveis na qualidade de água, sobretudo na diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido e no aumento de

nitrato nas amostras de água. Essa afirmação é limitada as sub-bacias investigadas para o período de seca (Inverno);

- em alguns pontos de análise de água, ocorreram alterações em alguns parâmetros: coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido e em quase todos os pontos de análises para o parâmetro fósforo, ultrapassando os valores preconizados para Classe II, conforme os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005;
- a área de estudo, apesar de rural, com atividades agropecuárias e com baixa concentração urbana, ainda assim, sofre um desequilíbrio em relação à qualidade de seus corpos hídricos, fato este associado à falta de conservação e controle de uma fiscalização mais efetiva por parte dos órgãos competentes e;
- a metodologia para análise estatística multivariada utilizando geotecnologias para correlacionar variáveis ambientais mostrou-se eficaz e aplicável podendo ser implementada em outra área de estudo e para diferentes variáveis ambientais a serem definidas.



**Figura 4. Dispersão das variáveis canônicas: índice de degradação da água versus índice de uso do solo.**

## 5 Referências bibliográficas

FERREIRA, D. F.. **Estatística multivariada**. 1ª. ed. – Lavras :Ed. UFLA, 2008. 662p

LANDIM, P. M.B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp, 200. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> acesso em: 19 de março de 2008.

MAGALHAES, P. C. **Hidrologia Superficial: Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, Vol.1 1989, pp. 197-289.

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

NETO, J.M. Moita. **Estatística multivariada uma visão didática-metodológica**. Filosofia da Ciência. Criticanarede.com · ISSN 1749-8457, 9 de mai, 2004. Disponível em <[http://criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://criticanarede.com/cien_estatistica.html)> Acesso em: 25 de março de 2008.