

## **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Rio Teles Pires - MT**

Gizelle Prado da Silva Fonseca<sup>1</sup>  
Peter Zeilhofer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/ICHS  
Rua Antonio Batista Belém, 171. Bairro: Lixeira – Cuiabá – MT, Brasil  
gizelleprado@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/ICHS  
Av. Fernando Corrêa da Costa – 78000-000 – Cuiabá – MT, Brasil  
pitalike@terra.com.br

### **Abstract**

This paper presents an analysis of relations between the diffuse pollution and the natural characteristics and land cover of the Teles Pires watershed, applying GIS and a multivariate ordination technique (Redundancy Analysis). The basin includes two of the main Brazilian biomes, the Cerrado savannah and the Amazon rain forest and hosts some of the most productive municipalities of soybean and cattle farming in Mato Grosso. Applied GIS techniques, such as digital elevation model analysis, map overlay and attribute and spatial querying were found suitable for the socio-environmental parameterization of the contribution areas of water quality monitoring stations. The main streams of the watershed are presenting alterations of the natural levels (background) of the evaluated water quality parameters. Redundancy Analysis identified the factors “Soils”, “Vegetation”, “Declivity”, “Sub-basin area”, “Precipitation” and “Index of deforestation” as the most significant explanatory variables for alterations in water quality.

Key-words: Teles Pires watershed, non-point pollution, land use, GIS.

Palavras-chaves: Bacia do rio Teles Pires, poluição difusa, uso do solo, geoprocessamento.

## 1 . Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento constituem ferramentas importantes para os estudos sobre impactos e origens de problemas de qualidade de água, principalmente por facilitar o mapeamento do uso e ocupação do solo e a parametrização das bacias de contribuição, além da possibilidade de processamento de grande quantidade de informações.

De acordo com Dixon & Chiswell (1996) os monitoramentos especializados da qualidade de água podem gerar grandes conjuntos de dados cuja interpretação pode se tornar complexa. Os métodos da estatística multivariada como a análise de componentes principais (ACP) permite uma redução de dados multidimensionais e subsidia a interpretação de medições químicas, físicas e biológicas. Os trabalhos de Vega *et al.* (1998) e Bengraïne & Marhaba (2003) apontam a ACP como um método indicado para a análise de variações espaciais e temporais da qualidade de água como também para o estudo das supostas relações entre uso e ocupação de solo e qualidade de água.

Na técnica de ordenação direta uma matriz Y de valores dependentes é ordenada sob confinamento de uma segunda matriz X, que contém variáveis preditoras Ter Braak (1986); Palmer (1993). Como consequência as relações entre variáveis explanatórias e dependentes podem ser quantificadas e sua significância testada; os coeficientes da ordenação podem ser utilizados para a concepção de modelos preditivos, como é feito, neste caso, com a análise de Redundância (RDA) Rao (1973).

No Brasil, conta-se com uma bibliografia ampla dos efeitos da poluição pontual na qualidade das águas superficiais Azevedo *et al.* (1998), com ênfase nas regiões sudeste e sul com maior concentração industrial. São escassas, entretanto, avaliações sistemáticas dos impactos da recente ocupação agrícola intensiva nas regiões do Cerrado e das Florestas de Transição no centro-oeste. Os primeiros estudos foram apresentados por Libos *et al.* (2003) e Zeilhofer & Lima (*em prelo*).

A bacia do rio Teles Pires onde estão situadas as dezessete sub-bacias analisadas assume particular importância para a finalidade deste estudo, pois contém em sua grande extensão os importantes ecossistemas: cerrado, transição e floresta, além de intensa atividade agropecuária distribuída em praticamente toda a sua abrangência. O uso intensivo do solo e de insumos agrícolas, notadamente na exploração da cultura de soja, e o desenvolvimento da pecuária em diversas áreas da bacia, sugerem impactos negativos, os quais podem refletir no ambiente aquático.

Os objetivos deste estudo definiram-se a partir do estabelecimento de algumas hipóteses referentes ao estado da qualidade da água e à combinação de metodologias para aplicação na base de dados disponíveis sobre a bacia. Devido a hipótese de alteração da qualidade da água de tributários do rio Teles Pires, decorrentes das descargas difusas provenientes da atividade agropecuária, um dos objetivos específicos foi identificar os valores dos parâmetros físico-químicos dos cursos d'água de dezessete sub-bacias distribuídas na bacia do rio Teles Pires.

A segunda hipótese refere-se à eficácia da utilização de ferramentas analíticas, como: análise estatística multivariada e geoprocessamento para lidar com as complexas interações inerentes a esses instrumentos e uma base múltipla de dados de: qualidade da água, chuva e características físicas e de uso e ocupação do solo na bacia. Definindo-se assim outros dois objetivos específicos: avaliar a aplicabilidade de técnicas de geoprocessamento em estudos de poluição difusa; Identificar e delimitar as características físicas e de uso e ocupação do solo das sub-bacias analisadas.

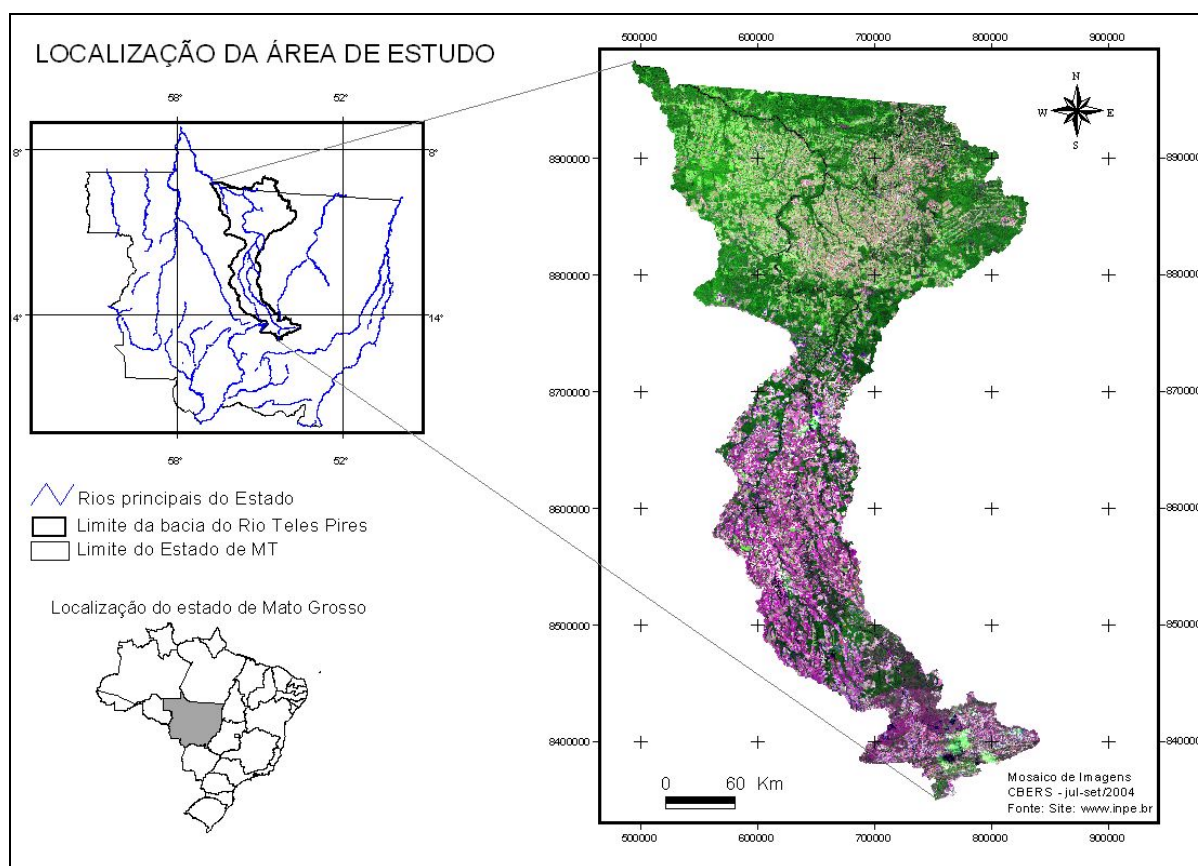
Conhecer e analisar a correlação existente entre a poluição difusa, as características naturais e de uso e ocupação do solo da bacia do rio Teles Pires, com o auxílio de

técnicas de geoprocessamento e de uma técnica de análise estatística multivariada (Análise de Redundância – RDA) constituiu o objetivo principal deste trabalho.

## 2 . Área De Estudo

No presente estudo foram consideradas as partes altas e médias do rio Teles Pires até a sua fronteira estadual ao norte. A bacia está localizada entre os paralelos 8° 57' e 14° 54' S e meridianos 53° 58' e 57° 02' W e ocupa uma área de cerca de 91.000 km<sup>2</sup>. A **figura 1** mostra a localização da bacia no território nacional em sua extensão, sobreposta com um mosaico de imagens reamostradas, provenientes do satélite CBERS 2, sensor CCD, bandas 2, 3 e 4 do ano de 2004.

As áreas de intenso cultivo de grãos são representadas por colorações violetas e rosas que predominam no sul e na parte média da bacia. As manchas de violeta escura, nesta região, mostram áreas com formações remanescentes de Cerrado. As florestas de Galeria e as Florestas de Transição mais ao norte da Bacia são representadas por verdes mais escuros; pastos aparecem na composição colorida em tom verde-claro.



**Figura 1. Bacia do Alto e Médio Rio Teles Pires.**

A bacia do rio Teles Peres faz parte de uma das regiões do Estado com maior desenvolvimento econômico, com diversificada e intensa ocupação e exploração dos recursos naturais.

## 3 . Procedimento Teórico – Metodológico

A análise de qualidade da água em função das características físicas e de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Teles Pires foi realizada à luz dos princípios da análise geossistêmica, à medida que busca a explicação das alterações que estão ocorrendo em

um dos fatores, neste caso, os recursos hídricos, em função da influência exercida por variáveis diversas, que mantêm relações entre si e entre o meio ambiente.

Foram amostrados 17 pontos de monitoramento dos principais afluentes do rio Teles Pires e do leito principal, localizados ao longo das rodovias BR-163 e MT – 320 no setor centro-norte do Estado de Mato Grosso.

As análises foram realizadas em cinco campanhas de campo no período de novembro de 2005 a março de 2006, utilizando uma Sonda Multiparamétrica – MP TROLL 9000. As variáveis de qualidade de água determinadas englobaram Turbidez (NTU); Oxigênio Dissolvido (OD); Nitrato (NO<sub>3</sub>); Amônio (NH<sub>4</sub>); Cloreto (Cl) e condutividade.

Todos os trabalhos de Geoprocessamento para parametrização das bacias contribuintes foram efetuados a partir dos softwares *ArcView*, versão 3.2, incluída a sua extensão *Spatial Analyst* (ESRI) e *SPRING*, versão 4.2 (INPE). Para extração de informações temáticas (relevo, unidades geológicas, uso e ocupação de solo etc.) todos os conjuntos de dados espaciais foram projetados para o sistema UTM, fuso 21, Datum SAD 69.

Foi obtido junto a JPL/NASA o Modelo Numérico de Terreno (MNT) da bacia proveniente da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com resolução espacial de 90 m. Para cálculo de camadas derivadas como “Direção de escoamento”, “Fluxo acumulado” e a delimitação automatizada das áreas de contribuição dos respectivos pontos de monitoramento. Foi efetuado o preenchimento das depressões fechadas a partir do pré-processador do modelo de vazão *NGFLOW*, implementado em ambiente SIG de *ArcView 3.x* (ESRI) por Santos e Zeilhofer (2005).

Foram obtidos junto a Secretaria de Planejamento do Estado (SEPLAN-MT) em formato digital, os mapeamentos temáticos do Zoneamento agro-econômico-ecológico do estado, em escala 1:250.000, com os planos das unidades geológicas, pedológicas, geomorfológicas e de uso e ocupação de solo.

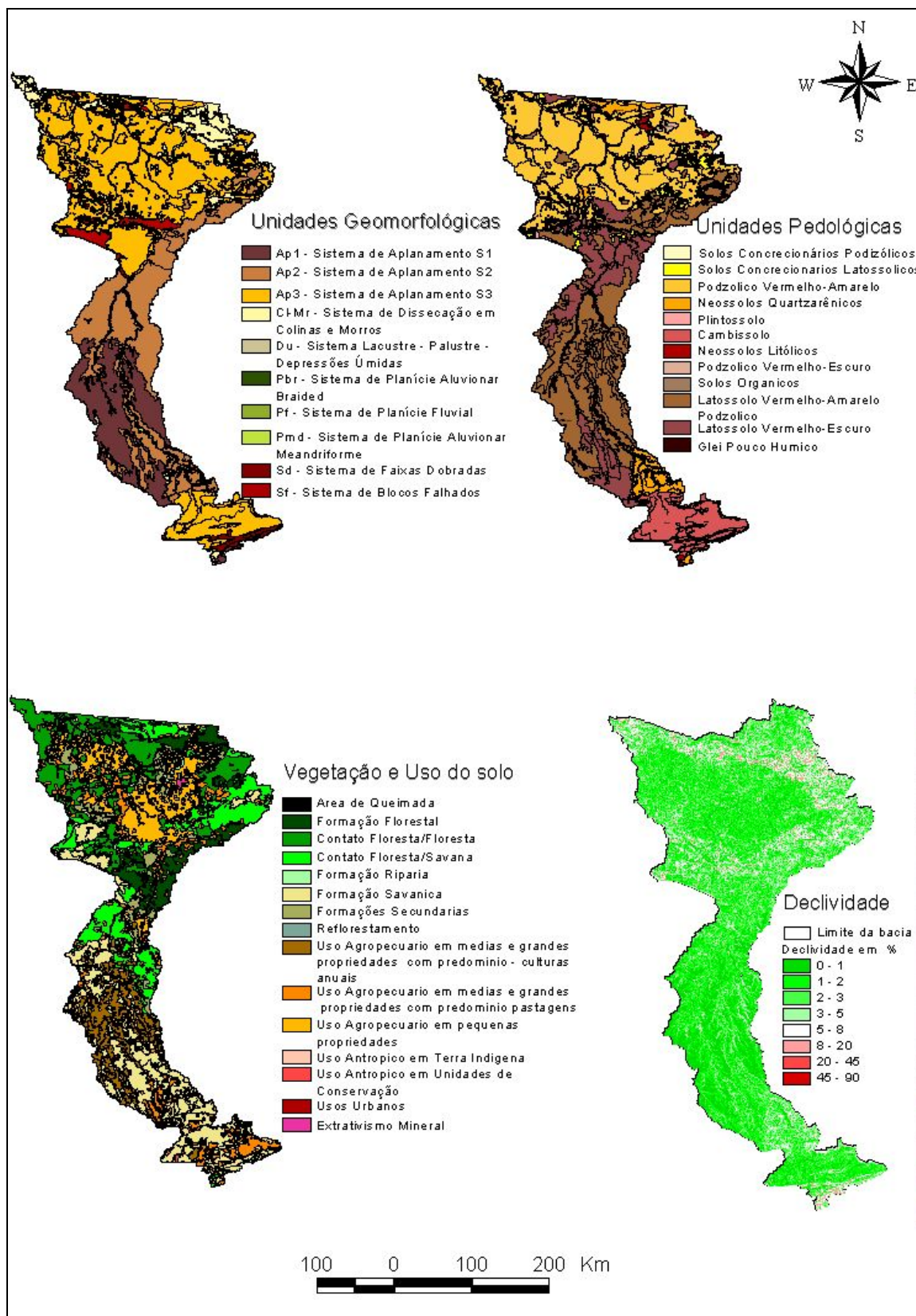
Os *Layers* das áreas desmatadas referentes aos anos de 1992, 1995, 1997, 2002 e 2005 em escala 1:250.000 foram obtidos, em formato digital, junto a Secretaria de Meio Ambiente do Estado (SEMA-MT).

Para estudar as supostas relações entre as variáveis de qualidade de água e fatores sócio-ambientais foi aplicado o método da ordenação direta chamada Análise de Redundância – RDA Rao (1973).

A visualização dos autovalores (escores de ordenação das variáveis dependentes da ordenação), dos escores das variáveis explanatórias (independentes) e dos pontos de coleta foi efetuada em *bi-plots*, o qual constitui a projeção gráfica dos pontos variáveis.

#### **4 . Resultados e Discussões**

Os dados de entrada da análise de redundância são compostos pelo conjunto de características físicas e dos parâmetros de qualidade de água das dezessete sub-bacias analisadas. As variáveis: geomorfologia, pedologia, vegetação e uso e ocupação do solo e a declividade do terreno derivada do MNT serviram de base para a criação dos principais fatores analisados na ordenação (**Figura 2**).



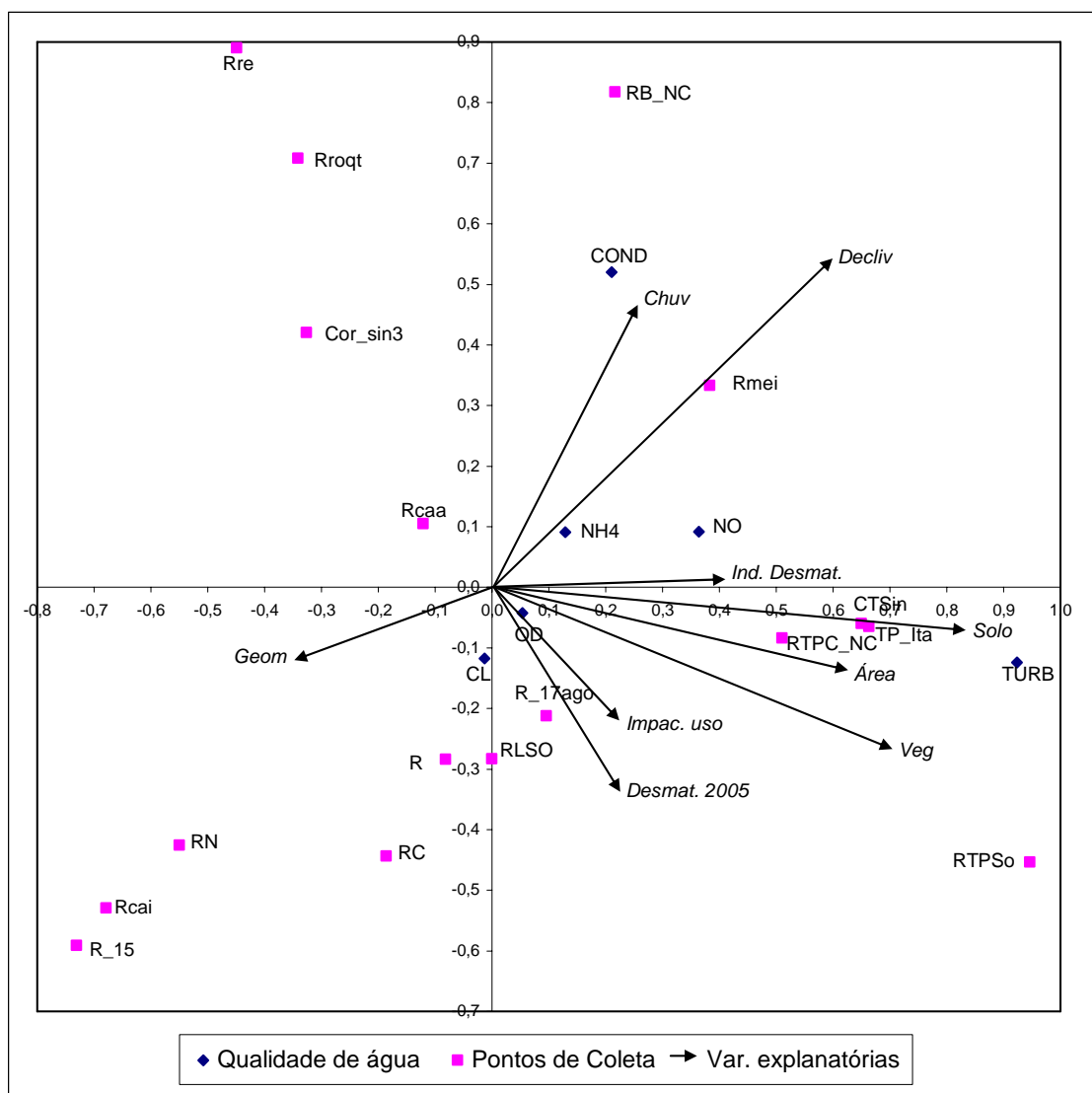
**Figura 2: Principais características físicas e de uso e ocupação do solo da bacia do rio Teles Pires.**  
 Fonte: SEPLAN, 2000; MNT extraído do site: <http://srtm.usgs.gov>.  
 Elaboração: Gizelle P. S. Fonseca (2006).

O resultado da análise estatística (RDA) é emitido em formato de texto apresentando os valores que definem a correlação existente entre os diferentes fatores e os gradientes

ambientais que apresentam maior ou menor interferência na qualidade da água das sub-bacias analisadas.

Cada variável tem definida as suas coordenadas, ou seja, valores do eixo X e do eixo Y, para representação na projeção gráfica da ordenação. Sendo que, a localização das variáveis já foi calculada levando-se em conta, as distancias entre elas, o que irá determinar a influencia de uma sobre a outra.

A **figura 3** expõe os primeiros dois eixos da Análise de Redundância Linear, obtidos para a ordenação de seis variáveis dependentes (qualidade de água) e nove fatores explanatórios. O modelo explica aproximadamente 79% da variância na matriz dependente e possui nível de significância P(Lin) de 0,017, com 2000 permutações.



**Figura 3: Diagrama de ordenação dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água, das sub-bacias hidrográficas e suas respectivas características físicas e de uso e ocupação do solo. Elaboração: Gizelle P. S. Fonseca (2006).**

O comprimento das setas é proporcional à sua importância e o ângulo entre uma determinada seta e cada eixo de ordenação representa o seu grau de correlação com o eixo. A menor distância entre as setas, que representam as características ambientais, e os pontos azuis, que representam os parâmetros de qualidade de água, indica a influência do primeiro sobre o segundo fator.

Valores positivos do primeiro eixo da ordenação são relacionados, predominantemente, com os fatores “Solos”, “Vegetação” e “Declividade”, valores negativos relacionam-se com o fator “Geomorfologia”. Na codificação destes quatro fatores, ordens mais altas foram atribuídas a características ambientais que proporcionam, supostamente, maiores impactos negativos sobre a qualidade da água.

A variável “Geomorfologia” aponta em direção oposta dos demais fatores citados, o que se explica pelo seguinte: unidades com maior energia de relevo são mais susceptíveis a processos erosivos e transporte de nutrientes/poluentes e são por isso menos utilizadas para o cultivo intensivo.

O vetor “Índice de desmatamento” embora menos importante para a ordenação, é também correlacionado positivamente com o primeiro eixo da ordenação, apontando que as áreas agrícolas consolidadas, de tempo de uso superior à uma década, possuem tendência de contribuir mais para a introdução de componentes químicos nos mananciais do que as áreas recentemente desmatadas.

A característica composta, chamada “Impacto do uso” é representada pelo menor vetor, indicando a complexidade das interações entre o conjunto de fatores sócio-ambientais (usos predominantes nos municípios etc.) e ambientais (taxas de desmatamento, uso de solo) e a qualidade de água.

De acordo com as contribuições dos fatores independentes na ordenação, solos descobertos em relevo mais acentuado estão relacionados com maiores valores de Turbidez (lado direito do *bi-plot*). Da mesma forma, as duas frações do nitrogênio (NH<sub>4</sub>, NO), principais indicadores para aplicação de adubos minerais em áreas agrícolas, estão localizadas no lado direito da ordenação.

As sub-bacias CTSin, TP\_Itau, RTPC\_NC e RTPSO agrupadas no primeiro eixo da ordenação, além de constituírem as maiores áreas de contribuição possuem como características ambientais: solos que requerem correção de acidez e fertilização, como o Latossolo vermelho amarelo podzólico e solos menos estáveis; grau de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais classificado de médio a fraco, principalmente por ser compostas predominantemente por vegetação de cerrado e de transição, amplamente substituídos com formações cultivadas de gramíneas (pastos) e agricultura de ciclo curto (soja, arroz, milho), o que pode contribuir para o aumento da turbidez e de outros parâmetros como amônio (NH<sub>4</sub>) e nitrato (NO) nas águas dos rios analisados.

## 5 . Conclusão

Com a identificação dos valores dos parâmetros físico-químicos dos dezessete pontos dos cursos d’água distribuídos na bacia do rio Teles Pires, pôde-se descobrir que os principais mananciais apresentam alterações dos níveis naturais (*background*) das variáveis de qualidade de água analisadas. No entanto, os resultados mostraram que a maioria dos parâmetros está enquadrada dentro dos limites preconizados para os rios de classe II, conforme os limites estabelecidos pela legislação vigente no Brasil, Resolução CONAMA 357/2005.

Considerando o uso intensivo e as altas taxas de desmatamento em diversas sub-bacias estudadas a elevação das cargas de nutrientes (NO, NH<sub>4</sub>) e sedimentos (Turbidez) é (ainda) moderada.

A utilização de técnicas de geoprocessamento permitiu a realização de análises complexas, integrando dados de diversas fontes em um banco de dados georreferenciados. Onde os planos de informações puderam ser sobrepostos, facilitando a delimitação, cálculos e a definição das características físicas e ambientais das áreas de interesse, no caso a bacia do rio Teles Pires e as sub-bacias analisadas. A utilidade das

técnicas de geoprocessamento, neste caso, foi ainda mais evidente por se tratar de uma área de estudo de grande extensão, com características diversas a serem consideradas.

De acordo com análise estatística realizada, considerando-se características específicas de cada sub-bacia estudada, pode-se inferir que as variáveis explanatórias, ou seja, as características físicas e de uso e ocupação do solo que mais influenciaram na qualidade da água foram: pedologia, vegetação e uso do solo, declividade, área da sub-bacia (com relação a sua extensão) e chuva.

## 6 . Referências Bibliográficas

Azevedo, L. G. T.; Porto, R. L. L.; Porto, M. Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso. In: **Revista brasileira de recursos hídricos**, 1998. 3(1), p. 21-51.

Begraine, K.; Marhaba, T. F. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. **Journal of hazardous materials** . 2003. 100, p. 179-195.

Dixon, W.; Chiswell, B. Review of aquatic monitoring program design. **Water Research**, 1996. 30(9), p. 1935-1948.

Libos, M. I. P. C.; Rotunno, O. F.; Zeilhofer, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista brasileira de recursos hídricos**, 2003. 8(4), p. 113-135.

Palmer, M. W. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. **Ecology**, 1993. 74(8), p. 2215-30.

Santos, I. M.; Zeilhofer, P. Modelagem Hidrológica Integrada em Sistemas de Informação Geográfica. **Geodesia online**, v. 4, p. 1-16, 2005.

Ter Braak, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 1986. 67(5), p. 1167-1179.

Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. and Debán, L. Assessment of Seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, 1998. 32(12), p. 3581-3592.

Zeilhofer, P.; Lima, E. R. (*em prelo*). **Spatial patterns of water quality in the Cuiabá river basin, Central Brasil**. Environmental Monitoring and Assessment.

Moreno, G. Agricultura: transformações e tendências. In: Moreno, G.; Higa, T. C. C. de S. (Organizadora). Maitelli, G. T. (Colaboradora). **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente**. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. p. 140-171.

Rao, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. Second edition. Wiley, New York, USA, 1973.

Brasil. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

Seplan - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá/MT: SEPLAN, 2000. 10CD-ROM

Modelo Numérico de Terreno. Disponível em: <http://srtm.usgs.gov>. Acessado em: outubro de 2004.