

**FATORES DETERMINANTES DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM DOIS  
PERÍODOS DISTINTOS SEPARADOS POR DEZ ANOS SEM  
MONITORAMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**FACTORS OF WATER QUALITY IN TWO DIFFERENT PERIODS FOR TEN  
YEARS WITHOUT SEPARATE MONITORING IN THE BRAZILIAN  
SEMIARID**

Eldir Bandeira da Silva<sup>1</sup>

José Ribeiro de Araújo Neto<sup>2</sup>

Helba Queiroz de Araújo Palácio<sup>3</sup>

Eunice Maia de Andrade<sup>4</sup>

**RESUMO:** A pressão crescente das práticas agropecuárias e da urbanização sobre o recurso água vem reduzindo a sua disponibilidade sobre o aspecto qualitativo. Com o objetivo de identificar os fatores determinantes da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no vale perenizado do rio Trussu, Ceará, Brasil, investigou-se dados em dois períodos distintos separados por 10 anos sem monitoramento, 2002-2004 e 2013-2014, aplicando a técnica de estatística multivariada Análises de Componentes Principais-ACP. Foram realizadas 22 coletas em 9 estações (5 superficiais e 4 subterrâneas), nos diferentes períodos, monitorando 12 parâmetros de qualidade de água totalizando 2376 análises. Foi identificado um modelo de melhor ajuste composto por 3 componentes, explicando 76,93% da variância total no primeiro período e por 2 componentes explicando 69,40% da variância no segundo período de monitoramento. As principais mudanças verificadas foram os íons  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , que no primeiro período apresentaram maior significância no segundo e terceiro componente, respectivamente, enquanto que no segundo período de monitoramento apresentaram maior significância no primeiro componente.

**PALAVRAS-CHAVE:** uso da terra, análise multivariada, contaminação da água.

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Ceará, *campus* Iguatu – IFCE. E-mail: eldir\_2005@hotmail.com;

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC E-mail: juniorifcelabas@gmail.com;

<sup>3</sup> Licenciada em Ciências Agrícolas, Doutora em Enga. Agrícola, Professora do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Ceará, *campus* Iguatu – IFCE. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br;

<sup>4</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia Agrícola, DENA/UFC, Fortaleza - CE. E-mail: eandrade.ufc@gmail.com

**ABSTRACT:** The growing pressure from agricultural practices and urbanization on water resources has reduced its availability on the qualitative aspect. In order to identify the determinants of quality of surface and groundwater in perennial river valley Trussu, Ceará, Brazil, investigated data in two distinct periods separated by 10 years without monitoring, 2002-2004 and 2013-2014, applying multivariate statistical technique Analysis Main ACP-components. 22 collections were carried out in 9 stations (4 underground and 5 surface), in different periods, monitoring 12 water quality parameters total of 2376 tests. Identified a best fit model consists of three components, explaining 76.93% of the total variance in the first period and by 2 components explaining 69.40% of the variance in the second monitoring period. The major changes observed were as  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{NO}_3^-$  ions in the first period showed greater significance the second and third component, respectively, while the second monitoring period showed greater significance in the first component.

**KEYWORDS:** land use, multivariate analysis, water contamination.

## **INTRODUÇÃO**

A crescente poluição dos recursos hídricos causada por diversas fontes, dentre as quais se destacam os efluentes domésticos, industriais e a carga difusa urbana e agrícola, vem comprometendo o uso desses recursos para os seus diversos fins. Cada uma dessas fontes possui características próprias quanto aos poluentes. Dessa forma, a avaliação e o monitoramento qualitativo e quantitativo da água são fundamentais para acompanhar o comportamento dos parâmetros físico-químicos, além de fornecer subsídios para avaliar as condições do corpo hídrico e contribuir com informações para tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos (PALÁCIO et al., 2011; GUEDES et al., 2012; LOPES et al., 2014).

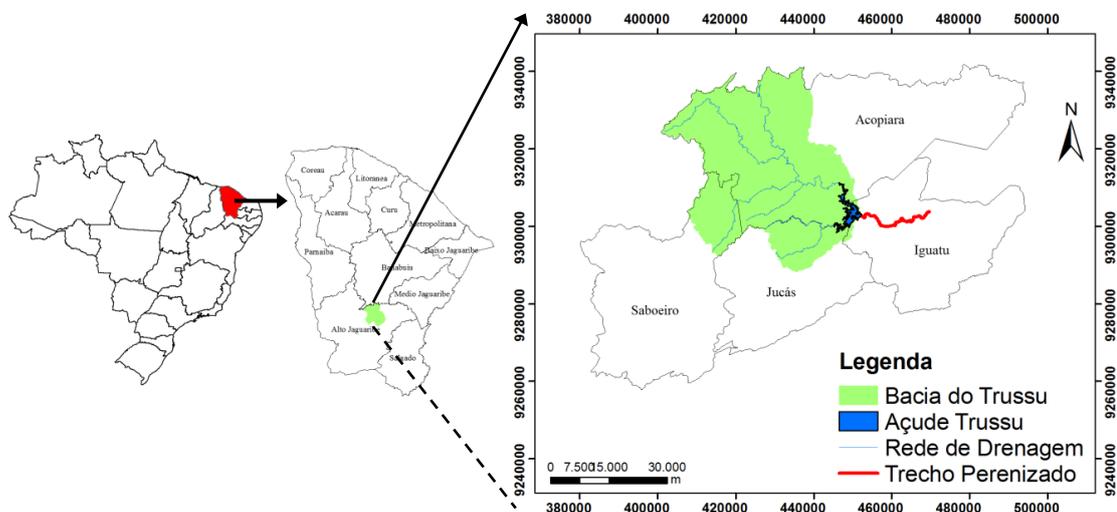
Os parâmetros físico-químicos que caracterizam a qualidade das águas sofrem grandes variações no tempo e no espaço, havendo a necessidade de um programa de monitoramento sistemático para obter a real estimativa da variação da qualidade das águas. Em geral, um programa de monitoramento inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análise em laboratório de grande número de parâmetros, resultando em matriz de grandes dimensões e complexa interpretação (ANDRADE et al., 2007; PALÁCIO et al., 2011). Muitas vezes, pequeno número desses parâmetros contém as informações químicas mais relevantes, enquanto a maioria das variáveis

adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados em termos de qualidade (WANG et al., 2012; WANG et al., 2013; LOPES et al., 2014).

Nesse contexto, objetivou-se com este estudo identificar os fatores determinantes da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do vale perenizado do rio Trussu, Ceará, Brasil, investigando dados em dois períodos distintos, separados por 10 anos sem monitoramento, utilizando a técnica de estatística multivariada Análises de Componentes Principais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no vale do rio Trussu (24 km), o qual é perenizado artificialmente pelo açude de mesmo nome. As águas são empregadas para o consumo humano, irrigação e pecuária (Figura 1). A área em estudo encontra-se localizada na Bacia do Alto Jaguaribe, na região Centro-Sul do Ceará. A vazão regularizada para a perenização da parte baixa do vale é de  $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sendo liberada pelo açude Trussu o qual possui uma capacidade de armazenar  $301.000.000 \text{ m}^3$ . O referido rio drena uma bacia hidrográfica de  $1.590 \text{ km}^2$ .

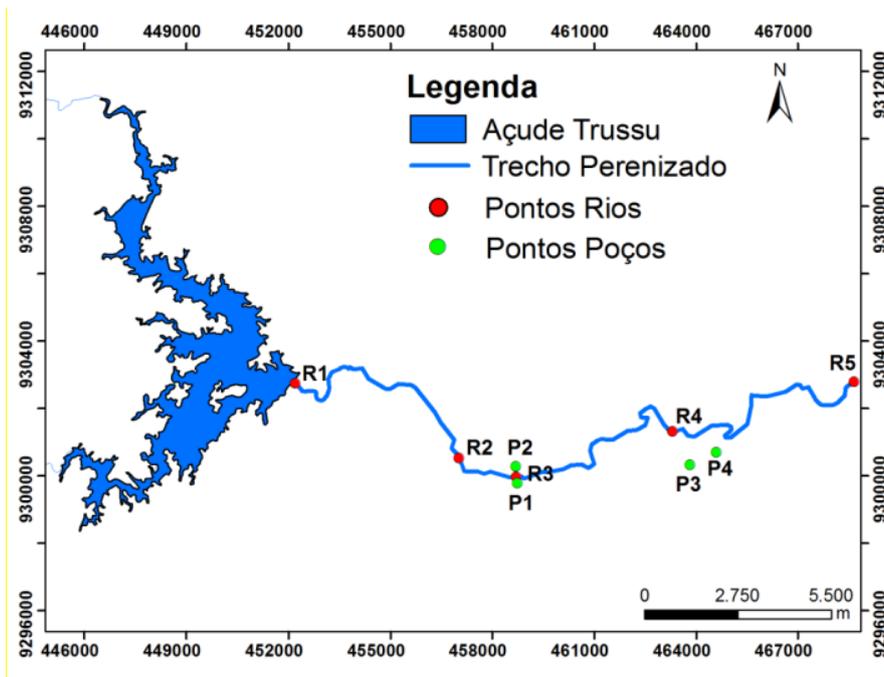


**Figura 1** – Localização da bacia hidrográfica do açude Trussu e do trecho perenizado do rio Trussu na bacia do Alto Jaguaribe, Ceará.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  no mês mais frio. O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite é de 0,44 classificando-

se como semiárido. A evapotranspiração potencial média é de 2.059 mm.ano<sup>-1</sup>, a precipitação média histórica na região é de 994 mm (FUNCEME), com 88% da precipitação anual que registrada no período de verão-outono (janeiro a abril), e 65% nos meses de março a abril, mostrando uma alta pluviosidade concentrada em um curto período. Em adição a esta concentração, a região é caracterizada por muitas horas de insolação (2945 h ano<sup>-1</sup>) e altas taxas de evaporação.

Foram realizadas coletas em dois períodos: set/2002 a fev/2004 e abr/2013 a abr/2014 em 9 estações distribuídas ao longo do trecho perenizado do vale rio Trussu (Figura 2). As estações amostrais R1, R2, R3, R4 e R5 foram situadas no segmento do trecho perenizado do rio Trussu para coletar amostras de águas superficiais. Todas as estações amostrais são localizadas em áreas rurais de constante expansão. A estação amostral R1 situa-se no ponto inicial da perenização do rio, local onde é lançada a água pela galeria do açude Trussu. A estação R2 localiza-se no sítio Pedreiras, a R3 próximo à Vila de Santa Clara, a R4 após a Vila Varjota e a R5 na Vila Barra, local onde o rio Trussu deságua à margem esquerda do rio Jaguaribe. Para monitorar as águas subterrâneas foram estabelecidas estações em poços rasos (cacimbões) sendo: P1 e P2 na Vila de Santa Clara, a primeira à margem direita e a segunda à esquerda do rio Trussu; a estação P3 fica na Vila de Barreiras dos Pinheiros e a P4 está localizada na Vila de Varjota.



**Figura 2** – Localização das estações amostrais de águas superficiais e subterrâneas no trecho perenizado do rio Trussu, Ceará

Cinco estações são representativas das águas superficiais e quatro das águas subterrâneas em poços alocados no aluvião do trecho perenizado. Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica da água (CE), razão de adsorção de sódio (RAS), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ortofosfato solúvel ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Foram, portando, monitorados em 22 campanhas 12 parâmetros de qualidade de água em 9 estações amostrais o que totaliza 2376 análises.

A associação entre as variáveis que influenciam a qualidade das águas superficiais e subterrâneas foi identificada mediante as técnicas de estatística multivariada Análise da Componente Principal (ACP) com auxílio do software SPSS 20.0 for Windows. A consistência geral dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO), (ANDRADE et al., 2007; PALÁCIO et al., 2011). O número de componentes extraídos foi definido pelo critério da raiz latente, sendo considerados somente componentes com autovalor superior a um (NORUSIS, 1990). A matriz dos componentes foi obtida na fase de extração, em seguida feita a transformação ortogonal (rotação da matriz dos pesos fatoriais), gerando uma nova matriz pelo modelo de rotação ortogonal Varimax, adotado frequente em estudos de qualidade de água e processos hidrológicos (ANDRADE et al., 2007; PALÁCIO et al., 2011; GUEDES et al., 2012; LOPES et al., 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a identificação dos parâmetros mais significativos na variabilidade da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do vale perenizado do rio Trussu foi aplicada a técnica de estatística multivariada Análise de Componentes Principais (ACP) nos dois períodos de monitoramentos. Na primeira etapa foram selecionadas as variáveis atingindo no teste de adequacidade Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) um índice igual a 0,814 (ótimo) para o primeiro período de monitoramento e 0,748 (muito bom) para o segundo período de monitoramento, demonstrando que os modelos promoverão

significante redução na dimensão dos dados originais conforme orientam Palácio et al. (2011); Guedes et al. (2012) e Lopes et al. (2014).

Na etapa seguinte, quando da extração dos fatores, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi aquele composto por três fatores no primeiro período de monitoramento e por dois no segundo período de monitoramento com as raízes características superiores à unidade. Estes fatores comuns e independentes (componente principal) reduzem a dimensão de variáveis interrelacionadas em dimensões menores para explicar a variabilidade dos dados originais. Para suplantar as dificuldades na identificação das variáveis mais significativas na matriz de pesos fatoriais, em decorrência de valores muito próximos entre si, aplicou-se a transformação ortogonal pelo emprego do algoritmo varimax, para a maximização e minimização dos maiores e menores autovalores, respectivamente (ANDRADE et al., 2007; WANG et al., 2012; WANG et al., 2013; GUEDES et al., 2012; LOPES et al., 2014). Os pesos fatoriais atribuídos a cada componente, as comunalidades de cada variável e a variância explicada após a aplicação do algoritmo podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores das comunalidades e fatores das componentes das matrizes na extração após a rotação pelo varimax para os períodos estudados (2002 – 2004) e (2013 – 2014).

Variáveis	Sigla	Comunalidade	Primeiro período			Comunalidade	Segundo período	
			(2002 – 2004)				(2013 – 2014)	
			CP1*	CP2*	CP3*		CP1*	CP2*
Condutividade Elétrica	CE	0,961	<b>,979</b>	,032	-,045	0,851	<b>,863</b>	,327
RAS	RAS	0,905	<b>,945</b>	,112	,015	0,935	<b>,965</b>	,055
Sódio	Na <sup>+</sup>	0,953	<b>,971</b>	,099	-,032	0,912	<b>,947</b>	,123
Potássio	K <sup>+</sup>	0,408	<b>-,628</b>	,113	,022	0,736	-,293	<b>-,806</b>
Cálcio	Ca <sup>+2</sup>	0,746	<b>,701</b>	,032	-,504	0,876	,139	<b>,926</b>
Magnésio	Mg <sup>+2</sup>	0,747	<b>,855</b>	-,002	-,123	0,851	,245	<b>,889</b>
Cloreto	Cl <sup>-</sup>	0,920	<b>,956</b>	,073	-,026	0,620	<b>,786</b>	,043
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,639	<b>,796</b>	-,058	-,047	0,676	,525	<b>,633</b>
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,784	<b>,875</b>	,073	,110	0,430	<b>,656</b>	-,010
Potencial de hidrogênio	pH	0,633	,023	<b>,759</b>	,238	0,314	,244	<b>-,504</b>
Ortofosfato solúvel	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,669	,020	<b>,811</b>	-,102	0,485	<b>,615</b>	,327
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,868	,027	,106	<b>,925</b>	0,642	<b>,670</b>	,440
	Autovalor		6,72	1,30	1,21		4,95	3,38
	Variância Explicada		56,04	10,80	10,09		41,23	28,17

Variância Acumulada	56,04	66,84	76,93	41,23	69,40
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------

\* Componentes principais

Para o primeiro período de monitoramento (2002-2004) verifica-se que o primeiro componente (CP1), o segundo componente (CP2) e terceiro componente (CP3) explicaram, respectivamente, 56,04; 10,80% e 10,09% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões 76,93% das informações antes observadas em 12 dimensões. Assim como Guedes et al. (2012) no Rio Pomba, Minas Gerais, que observou modelo composto por três componentes explicando 74,30% da variância total, antes diluída em 15 dimensões. No primeiro componente (CP1), apenas as variáveis pH,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$  apresentaram um peso menor que 0,030 sugerindo que as demais variáveis são significativas na definição da qualidade da água estudada. Esse componente está relacionado com os sais totais dissolvidos nas águas superficiais. Esses elementos podem ser oriundos tanto de fontes naturais (mineralização), como de fontes não naturais (esgotos domésticos). Para o período de estiagem, pode-se atribuir a influência do processo de evaporação das águas, com altas intensidades em regiões semiáridas, provocando uma maior concentração dos sais (MEIRELES et al., 2007; PALÁCIO et al. 2011). No entanto, outra influência para essas águas apresentarem altas concentrações dos íons na estação chuvosa pode estar relacionada aos resíduos de fertilizantes e cargas de esgotos domésticos provenientes da contribuição do escoamento neste período (FROTA JUNIOR et al., 2007; BARROSO et al., 2011). No segundo componente, os elementos relacionados com a poluição orgânica apresentaram maior significância, neste componente, as variáveis pH e  $\text{PO}_4^{3-}$  apresentaram peso maior que 0,750. Já para o terceiro componente (CP3), está associado a poluição por  $\text{NO}_3^-$  apresentando peso maior que 0,910 sugerindo ser esta a única variável significativa neste componente.

No segundo período de monitoramento (2013-2014) os dois componentes explicaram, respectivamente, 41,23% e 28,17% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões 69,40% das informações. Para o segundo período de monitoramento, os íons  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$  passaram a apresentar peso fatorial maior no primeiro componente (CP1), juntamente com as variáveis CE, RAS,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Para o segundo componente (CP2) no segundo período de monitoramento as variáveis: pH,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{HCO}_3^-$  passaram a apresentar segunda importância na qualidade das águas do vale perenizado do Trussu. Verifica-se, portanto, que o modelo aplicado

no segundo período de monitoramento, mostrou que para o primeiro componente as variáveis relacionadas com a poluição orgânica e por nitrato passaram a ser mais significativas na qualidade das águas junto com os sais dissolvidos, enquanto o segundo componente, a diluição dos sais no segundo período de monitoramento fez com que sais como de cálcio, magnésio e potássio apresentassem significância secundária. Resultados semelhantes foram encontrados por Wang et al. (2012) que verificou a partir de ACP que os parâmetros responsáveis pela variação da qualidade da água da bacia do rio Xiangxi, China, foram principalmente relacionados com sais solúveis (natural), fontes de poluição de fósforo e de nitrogênio.

## CONCLUSÕES

Pelo emprego da análise de componentes principais foi identificado um modelo de melhor ajuste composto por 3 componentes, explicando 76,93% da variância total no primeiro período de monitoramento e por 2 componentes explicando 69,40% da variância no segundo período de monitoramento. Verificou pelo emprego da ACP que para o segundo período que os íons  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$ , que no primeiro período de monitoramento apresentaram maior significância no segundo e terceiro componente respectivamente, passaram no segundo período de monitoramento a apresentar peso fatorial maior no primeiro componente.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq e ao IFCE pelo apoio financeiro, pela infraestrutura oferecida e pelas bolsas de produtividade em pesquisa aos pesquisadores envolvidos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1791-1797, 2007a.

BARROSO, A. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O. PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do

Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 588-593, 2011.

FROTA JÚNIOR, J. I.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BEZERRA, A. M.; SOUZA, B. F. S. Influência antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 142-148, 2007.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437–445, 2014.

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**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.395-402, 2011.

WANG, Y.; WANG, P.; BAI, Y.; TIAN, Z.; LI, J.; SHAO, X.; MUSTAVICH, L. F.; LI, B. L. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 7, p. 30-40, 2013.

WANG, X.; CAI, Q.; YE, L.; QU, X. Evaluation of spatial and temporal variation in stream water quality by multivariate statistical techniques: A case study of the Xiangxi River basin, China. **Quaternary International**, v. 282, p. 137-144, 2012.