
Auxílio ao estabelecimento de parâmetros de referência para o monitoramento da qualidade de sistemas aquáticos contribuintes da bacia Tocantins-Araguaia

Aid in establishing reference parameters to monitor the quality of aquatic systems contributing to the Araguaia-Tocantins basin

Jobson Santana de Sousa e Liliana Pena Naval

Universidade Federal do Tocantins, Engenharia Ambiental – Laboratório de Saneamento Ambiental

Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte- Bloco 2 sala 9, Palmas - TO, 77001-090 Brasil

E.mail: jobson.pa@hotmail.com, liliana@uft.edu.br

Recebido: 31/01/14 - Revisado: 14/06/14 - Aceito: 13/08/14

RESUMO

A carência de dados de qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, decorrente das poucas estações fluviométricas e escasso monitoramento dificultam a gestão dos corpos hídricos pertencentes a essa bacia. Nesse sentido, objetivou-se aqui, analisar as águas dos diferentes sistemas aquáticos desse ambiente, visando identificar os fatores que influenciam a qualidade das águas, para auxiliar no estabelecimento de parâmetros de referência para o monitoramento das águas da bacia Tocantins-Araguaia. Para o desenvolvimento do estudo foram coletadas amostras bimestrais em seis (6) pontos de águas superficiais e 12 pontos de águas subterrâneas. Foram analisados parâmetros físicos, químicos e biológicos. Para o tratamento dos dados adotou-se a análise estatística multivariada, com análise de componente principal (ACP) e análise de cluster (AC). Como resultado identificou-se dois grupos: Grupo A (águas superficiais), e Grupo B (águas subterrâneas). No Grupo A, os três primeiros componentes principais explicaram mais de 80% da variabilidade dos dados, cujos fatores que influenciaram a qualidade dessas águas foram iônico, orgânico, fecal e os relacionados à presença do nitrato. No Grupo B, os cinco primeiros componentes principais explicaram 85,6% dos dados, e representam a influência mineral, geológica, metálica, orgânica e fecal. A análise estatística empregada sugere que o número de parâmetros adotados para o monitoramento da qualidade pode ser reduzido, já que alguns desses não apresentaram correlação com os componentes principais extraídos na ACP, desta forma seria otimizado tempo e recursos.

Palavras Chave: Bacia Tocantins-Araguaia. Componente principal. Análise cluster. Água superficial. Água subterrânea.

ABSTRACT

The lack of data on water quality in the basin of the Tocantins-Araguaia, resulting from the scarcity of river gauging and monitoring stations complicates the management of water bodies belonging to this basin. In this sense, the objective here was to evaluate the waters of different water systems in this environment, to identify the factors that influence water quality, to assist in establishing benchmarks for monitoring the waters of the Tocantins-Araguaia. In order to develop the study bimonthly samples were collected at six (6) surface water and 12 groundwater points. Physical, chemical and biological parameters were analyzed. Multivariate statistical analysis with principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) were adopted for data treatment. As a result we identified two groups: Group A (surface water), and Group B (groundwater). In Group A, three principal components accounted for 80% of data variability, and the factors that influenced the quality of these waters were ionic, organic, fecal and related to the presence of nitrate. In Group B, the first five principal components accounted for 85.6% of the data, and represent mineral, geological, metallic, organic and fecal influence. The statistical analysis suggests that the number of parameters adopted for monitoring the quality can be reduced, since some of them were not correlated to the principal components extracted in ACP and this would optimize time and resources.

Keywords: Tocantins-Araguaia basin. Principal component analysis. Surface water quality. Groundwater.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das atividades em uma bacia hidrográfica e a avaliação de parâmetros limnológicos permite a definição de um conjunto de variáveis de qualidade da água, que representam uma região monitorada.

Segundo Khalil et al. (2011), programas de monitoramento ajudam a compreender vários processos de qualidade da água, evolução de usos e ocupação do solo, bem como fornecem informações necessárias para a gestão dos recursos hídricos, pois explicitam os possíveis usos. Podendo-se ainda observar possíveis alterações, tais como: diferentes padrões, variabilidade de *habitats* e processos desenvolvidos nesse meio.

Nesses ambientes, tanto as atividades antropogênicas (agricultura, urbanização e indústrias), quanto agentes naturais (mata ciliar, precipitação, geologia, intemperismo e erosão) alteram a quantidade e qualidade das águas de forma a torná-las inadequadas para usos mais exigentes, (VANZELA et al., 2010).

Estudos realizados por Magyar et al. (2013) comprovaram a influência de atividades antropogênicas no entorno da área de estudo, a partir da análise de íons mais representativos na alteração da qualidade da água. Wang et al. (2013) interpretou as variações temporais e espaciais na qualidade da água, também a partir de dados de monitoramento, apoiando gestores a tomar decisões racionais, quanto às ações para melhorar a qualidade da água.

Porém é necessário que o monitoramento se de em diferentes estações, empregando-se vários parâmetros limnológicos, para que avaliações espaciais na hidroquímica e mudanças de *status* e espaço-temporal da qualidade da água possam ser avaliadas. (RAZMKHAH et al., 2010; FAN et al., 2010; CHEN et al., 2012).

A partir de então, esses dados poderão subsidiar o estabelecimento de valores de referência de qualidade, como descreve Vieira et al. (2012), e ainda estabelecer padrões de qualidade da água, podendo auxiliar em sua classificação, (SANTOS, 2008).

Embora seja importante a obtenção de informações para a gestão do recurso hídrico, a Bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, local de desenvolvimento deste estudo, carece de dados de qualidade das águas, por apresentar poucas estações fluviométricas e escasso monitoramento.

Considerando o exposto, este estudo objetivou avaliar águas de diferentes sistemas aquáticos (superficiais e subterrâneos) visando identificar os fatores que influenciam sua qualidade, auxiliando no estabelecimento dos parâmetros de referência, para o monitoramento das águas da bacia Tocantins-Araguaia.

MATERIAL E METODOS

O estudo foi desenvolvido em tributários contribuintes da bacia Tocantins-Araguaia. Estes estão localizados nas cidades de Porto Nacional, Paraíso do Tocantins e Palmas, no Estado do Tocantins, cuja descrição e coordenadas geográficas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição e coordenadas geográficas dos pontos de coleta águas superficiais e subterrâneas da bacia Tocantins-Araguaia

	Ponto	Captação	Descrição	Coordenadas
Água Superficial	P1	ETA 001	Córrego Côco	S 10 ° 06' 19,2" e W 48 ° 55' 59,2"
	P2	ETA 002	Córrego São João	S 10 ° 42' 56,3" e W 48 ° 22' 17,7"
	P3	ETA 003	Córrego Água Fria	S 10 ° 08' 34,5" e W 48 ° 17' 36,5"
	P4	ETA 005	Córrego Brejo Comprido	S 10 ° 12' 51,4" e W 48 ° 18' 36,0"
	P5	ETA 006	Rio Taquaruçu Grande	S 10 ° 17' 20,9" e W 48 ° 17' 45,9"
	P6	ETA 007	Córrego Roncador	S 10 ° 18' 13" e W 48 ° 08' 12"
	Água Subterrânea	P7	ETA 008	PTP 001
P8		ETA 008	PTP 002	S 10 ° 10' 07,5" e W 48 ° 21' 15,3"
P9		ETA 008	PTP 003	S 10 ° 10' 15,0" e W 48 ° 21' 07,1"
P10		ETA 008	PTP 005	S 10 ° 10' 10,2" e W 48 ° 21' 13,6"
P11		ETA 008	PTP 006	S 10 ° 10' 12" e W 48 ° 21' 13,2"
P12		ETA 008	PTP 010	S 10 ° 10' 06,1" e W 48 ° 21' 26,3"
P13		ETA 008	PTP 011	S 10 ° 10' 13,3" e W 48 ° 21' 11,3"
P14		ETA 008	PTP 014	S 10 ° 10' 05,3" e W 48 ° 21' 22,3"
P15		ETA 009	PTP 007	S 10 ° 21' 05,9" e W 48 ° 19' 59,4"
P16		ETA 009	PTP 008	S 10 ° 21' 14,3" e W 48 ° 20' 08,2"
P17		ETA 009	PTP 012	S 10 ° 21' 0,6" e W 48 ° 19' 51,7"
P18	ETA 009	PTP 013	S 10 ° 21' 06,1" e W 48 ° 20' 04,6"	

Na Figura 1 apresenta-se a localização geográfica dos pontos amostrados, que abrange as cidades de Porto Nacional, Paraíso do Tocantins e Palmas, (TO).

A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA), de acordo com Brasil (2009), localiza-se entre os paralelos sul 0°30' e 18°05' e os meridianos de longitude oeste 45°45' e 56°20', possui área total de drenagem de 918.822 km², (BRASIL, 2009).

O Estado do Tocantins abrange cerca de dois terços da área da bacia hidrográfica do rio Tocantins, um terço da bacia do rio Araguaia, e está integralmente localizado na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia (TOCANTINS, 2004; BRASIL, 2006; BRASIL, 2009).

Quanto aos solos presentes na área de estudo, predominam os solos tipo: plintossolos pétricos (córregos Côco (P1) e Roncador (P6)), e latossolo vermelho-amarelo (córregos São João, Água Fria (P3), Brejo Comprido (P4) e Taquarussu Grande (P5), e poços tubulares profundos (P7 a P18).

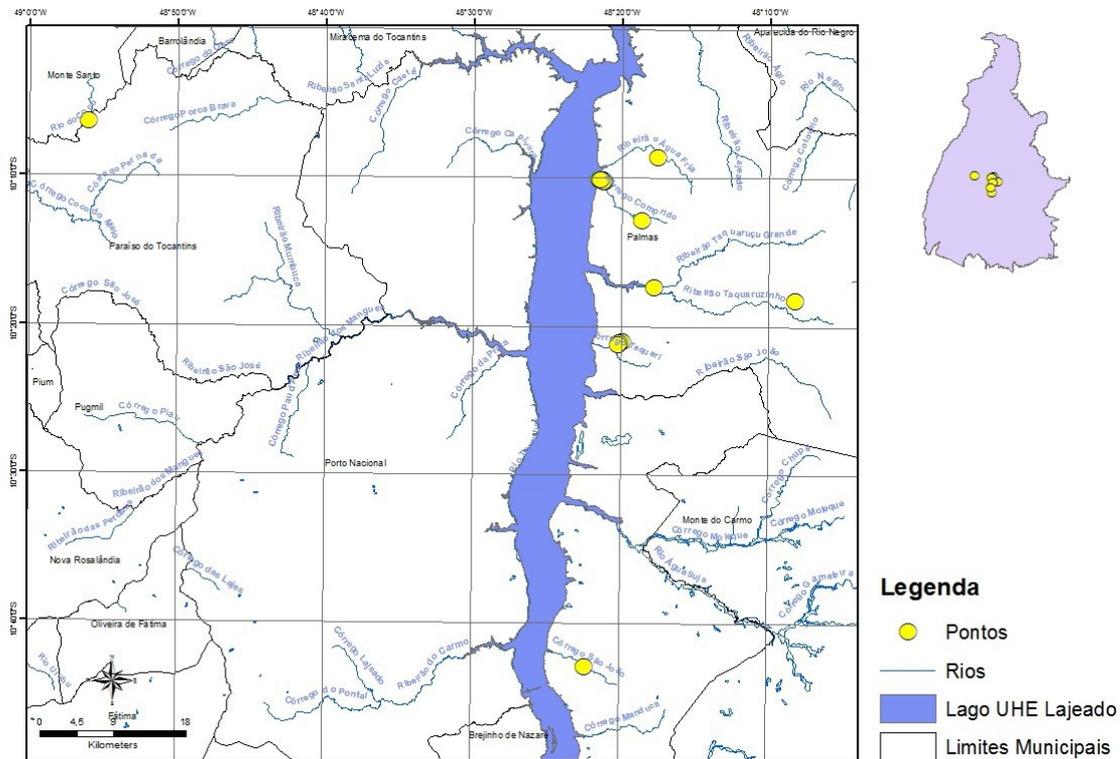


Figura 1 - Localização dos pontos de coleta de águas superficiais e subterrâneas (PTP), da Bacia Tocantins-Araguaia

Os tipos climáticos na área de estudo, segundo a metodologia de Köppen, são: Af (úmido megatérmico); Am (tropical úmido megatérmico); Aw (quente e úmido megatérmico); e Cwa (tropical de altitude) (BRASIL, 2009).

Determinação das variáveis limnológicas, metais e elementos-traço

Para a determinação das variáveis limnológicas, metais e elementos traço foram realizadas coletas bimestrais, no período de novembro de 2010 a dezembro de 2012, nos pontos de captação de água bruta para abastecimento humano (superficial - tributários contribuintes da bacia Tocantins-Araguaia-, e subterrâneo - poços tubulares profundos).

Em campo foram medidos os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e pH, e turbidez (Turb).

Os dados provenientes dessas medidas foram realizados por meio da técnica de leitura direta com equipamentos eletrônicos, sendo: medidor de oxigênio marca Orion, modelo 810, termômetro digital acoplado ao medidor de oxigênio, condutivímetro HACH modelo CO150, medidor de multifuncional (pH e STD) portátil Policontrol modelo Tracer pH/com-D, e turbidímetro HACH modelo 2100P, respectivamente. O método empregado foi o descrito em APHA, (2005).

Para as análises realizadas em laboratório adotou-se a amostragem de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno com volume

aproximado de 1000 mL, os quais foram previamente lavados com água destilada e secados. Antes da coleta fez-se a tríplice lavagem dos recipientes com a água do ponto de coleta. Seguiu-se com a identificação das mesmas e, posteriormente, foram armazenadas a uma temperatura média de 4 °C, até serem conduzidas ao laboratório.

Os procedimentos analíticos, a técnica e método aplicados aos parâmetros analisados em laboratório estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Procedimentos analíticos para determinação dos parâmetros analisados

Parâmetros	Técnica	Método
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Incubação	APHA (2005)
Frações de sólidos (Sólidos Totais e Suspensos, e seus Fixos e Voláteis)	Gravimétrico	APHA (2005)
Coliformes (Totais e Termotolerantes)	Colilert	APHA (2005)
Nutrientes (Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻³ , Li ⁺)	Cromatografia iônica	APHA (2005)
Metais (Ag ⁺ , Al ³⁺ , Ba ²⁺ , Ca ²⁺ , Cd ²⁺ , Co ²⁺ , Cr ³⁺ , Cu ²⁺ , Fe ³⁺ , Mg ²⁺ , Mn ²⁺ , Ni ²⁺ , P ³⁻ , Pb ²⁺ e Zn ²⁺ , Mo ⁺ , V ³⁺ , Be ²⁺ , Sn ²⁺ , Sr ²⁺ , Ti ³⁺) B ³⁺ , Si ⁴⁺	Espectrometria de Emissão Atômica	APHA (2005)
Metais (Hg ²⁺ , As ³⁺ , Se ²⁻ , e Sb ³⁺)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (2005)

As análises de metais foram realizadas no Laboratório de Análise Química e Ambiental do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) - SP.

Avaliação dos dados: Análise estatística

Todos os cálculos matemáticos e estatísticos, para análise dos dados, foram feitos usando o Excel 2007 (Microsoft Office[®]) e Statistica 8.0 (StatSoft, Inc.[®]). A análise multivariada do conjunto de dados de qualidade da água foi realizada por meio de Análise de Componente Principal e Análise de Clusters.

A relação linear entre as concentrações dos parâmetros estudados foi avaliada empregando-se matrizes de correlação entre os valores medidos nas diferentes campanhas, sendo: 49 parâmetros determinados; 18 pontos de amostragem, e 12 coletas.

Para avaliar a significância estatística das correlações, estes valores foram comparados com um coeficiente crítico calculado com um nível de significância de 0,05. A metodologia estatística aplicada foi a Análise de Componente Principal (ACP) e a Análise de Cluster (AC).

A Análise de Componente Principal foi aplicada aos dados log-transformados com a finalidade de remover a colinearidade entre as variáveis observadas em cada ponto de monitoramento, criando novas variáveis não correlacionadas. Os componentes principais (CP), obtidos pela combinação linear das originais (VIEIRA et al., 2012).

Neste estudo foram considerados apenas os componentes principais com autovalor maior que 1. A Análise de Cluster foi utilizada para complementar a ACP, de modo a encontrar e separar os objetos em grupos (*clusters*) similares.

A partir dos dados obtidos pelo monitoramento, realizou-se uma análise multivariada, com a intenção de agrupar as águas com características semelhantes, principalmente quanto à disposição destas às influências antrópicas e naturais.

RESULTADOS E DISCUSSOES

Os dados obtidos a partir do monitoramento estão apresentados na Tabela 3, para as águas superficiais e na Tabela 4, para as águas subterrâneas.

A partir da análise dos dados pode-se verificar que o parâmetro coliformes totais (CTot), nos pontos P2 (águas superficiais) e P17 (águas subterrâneas) apresentou a maior variabilidade dos dados, com desvio padrão (DP) de 1156 (Tabela 3) e 1093 (Tabela 4), respectivamente. De acordo com Toledo e Nicolella, (2002), esta dispersão nos valores analisados são evidências de influências antropogênicas nos pontos de coleta.

Os parâmetros: antimônio (Sb^{3+}) (0,001mg/L), boro (B^{3+}) (0,2mg/L), cádmio (Cd^{2+}) (0,0001mg/L), cobre (Cu^{2+}) (0,02mg/L), tálio (Ti^{3+}) (0,1mg/L), estanho (Sn^{2+}) (0,1mg/L), fósforo (P^{3+}) (0,02mg/L), selênio (Se^{2-}) (0,001mg/L), níquel (Ni^{2+}) (0,01mg/L), cromo (Cr^{3+}) (0,04mg/L), berílio (Be^{2+}) (0,02mg/L), molibdênio (Mo^{+}) (0,02mg/L), prata (Ag^{+}) (0,02mg/L), vanádio (V^{3+}) (0,02mg/L), e mercúrio (Hg^{2+}) (0,001mg/L), não apresentaram variação nos valores quantificados, em todos os

pontos analisados, e portanto, não estão expressos nas Tabelas 3 e 4. Igualmente o alumínio (Al^{3+}) (0,01mg/L), o bário (Ba^{2+}) (0,01mg/L), o arsênio (As^{3+}) (0,001mg/L), e o manganês (Mn^{2+}) (0,02mg/L), nos pontos do Grupo A (Tabela 3), e o chumbo (Pb^{2+}) (0,001mg/L) e o ferro (Fe^{3+}) (0,05mg/L), para os pontos do Grupo B (Tabela 4).

A discrepância quanto aos valores encontrados para os microrganismos (coliformes totais e termotolerantes) e turbidez nas águas superficiais (P1, P2, P3, P4 e P5) descritos na Tabela 3, podem ser resultado da ocorrência de escoamento superficial decorrentes da precipitação anual de 1500 a 1800 mm nos pontos de estudo, detritos orgânicos e/ou presença de algas. De acordo com Hong et al. (2010), esses parâmetros estão correlacionados, uma vez que os sólidos em suspensão facilitam a sobrevivência e/ou o crescimento de coliformes por meio da adsorção, protegendo-os de fatores adversos, como a radiação ultravioleta, a toxicidade dos metais, e ataque de bacteriófagos, podendo ainda oferecer nutrientes em partículas.

Nas águas subterrâneas (P10) (Tabela 4), o valor encontrado para turbidez se apresenta acima do estabelecido pela Portaria 2.914/2011, do Ministério da Saúde, com origem associada à dissolução das rochas. Enquanto que a presença de coliformes termotolerantes nas águas dos poços tubulares profundos pode estar vinculada à falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço, e ainda, à disposição inadequada de resíduos, (COLVARA et al., 2009).

Os valores das variáveis analisadas apresentados nas Tabelas 3 e 4 podem ser utilizados para gestão e verificar o estado do sistema da bacia hidrográfica em tempos futuros (PORTO; PORTO, 2008). Os valores encontrados para os parâmetros estudados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde 2.914, de 12 de dezembro de 2011, com exceção dos parâmetros: turbidez (nos pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P10) e coliformes totais e termotolerantes (em todos os pontos analisados).

Desta forma, segundo Brasil (2011), estes parâmetros requerem tratamento específico quando estas águas forem empregadas para o abastecimento humano, tendo especial atenção aos focos de contaminação.

Os dados apresentados nas Tabelas 3 e 4 foram submetidos à análise de *cluster*, para determinar comportamentos similares entre eles, a partir da análise do dendograma formado. O resultado dessa análise gerou a formação de grupos homogêneos (Figura 2), como também descrito por Vieira et al. (2012) e Wang et al. (2013).

Na interpretação do dendograma, que considerou o valor 800 para o coeficiente de distância, identificou-se a formação de dois grupos, denominados Grupo A e Grupo B, sendo o Grupo A, composto pelos pontos vinculados às águas superficiais, e o Grupo B, pelas águas subterrâneas, provenientes dos poços tubulares profundos (PTP), utilizados como pontos de captação para abastecimento humano.

Tabela 3 – Características físicas, químicas e microbiológicas das águas superficiais contribuintes Bacia Tocantins-Araguaia

		n	Grupo A – Águas superficiais											
			P1		P2		P3		P4		P5		P6	
			Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP
	Temp	12	28,08	0,87	29,71	3,00	26,86	2,22	26,89	1,76	27,61	2,46	24,89	2,56
	CE	12	53,68	19,08	20,98	18,30	19,65	5,18	12,68	5,31	18,59	3,49	4,27	0,87
	pH	12	6,26	1,03	6,56	0,88	5,85	1,04	6,03	1,64	6,04	0,83	6,33	0,52
	OD	12	5,14	0,78	5,14	0,65	5,41	0,98	5,20	0,89	5,44	0,78	5,82	0,94
Nutrientes	NO₂⁻	12	0,02	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
	NO₃⁻	12	0,79	1,08	0,57	0,82	0,28	0,19	0,53	0,70	0,90	1,07	0,78	1,20
	PO₄⁻³	12	0,22	0,31	0,34	0,70	0,16	0,15	0,24	0,40	0,25	0,50	0,32	0,85
	NH₃⁻	12	0,22	0,10	18,63	63,73	0,37	0,20	0,46	0,57	0,34	0,37	0,16	0,09
Sólidos	Turb.	12	6,02	3,32	6,16	4,39	16,13	19,71	11,09	11,59	20,82	19,35	4,52	7,48
	STD	12	27,33	5,33	7,33	1,30	9,00	2,17	5,75	2,26	9,08	3,32	1,92	0,29
	DBO	12	1,12	0,43	0,71	0,50	1,23	0,44	0,99	0,67	1,39	0,90	1,10	0,65
	ST	12	78,3	18,5	44,0	20,7	68,6	31,8	75,7	63,5	44,7	37,7	39,3	21,2
	STF	12	43,44	16,71	25,54	16,56	44,19	34,37	53,61	62,18	30,41	31,69	22,61	21,37
	STV	12	34,87	11,22	18,46	11,26	24,40	19,34	22,10	12,00	14,26	9,05	16,63	14,18
	SST	12	3,81	1,86	3,74	2,05	12,14	7,58	14,75	24,99	18,16	20,63	1,92	0,79
	SSF	12	1,84	1,11	2,45	1,88	9,26	6,21	11,25	21,07	13,29	16,44	1,27	0,81
	SSV	12	1,96	1,13	1,25	0,85	2,87	1,95	3,50	21,07	4,88	4,91	0,63	0,50
Microbiológ.	CTot	12	2326	225	1485	1156	2275	282	2264	4	2362	198	1566	1063
	Cterm	12	427,3	782,6	305,7	699,6	966,8	960,1	900,7	365,7	1227,0	926,6	790,6	899,9
Metais	Co²⁺	12	0,013	0,003	0,010	0,003	0,020	0,004	0,010	0,003	0,010	0,018	0,020	0,015
	Fe³⁺	12	0,050	0,085	0,050	0,053	0,077	0,017	0,050	0,020	0,220	0,065	0,050	0,019
	Zn²⁺	12	0,017	0,006	0,010	0,009	0,010	0,003	0,010	0,004	0,010	0,004	0,010	0,004
	Ca²⁺	12	6,350	1,015	0,490	0,222	1,070	0,463	0,500	0,216	1,670	0,313	0,200	0,045
	K⁺	12	1,620	0,633	0,354	0,527	0,477	0,539	0,212	0,554	0,451	0,587	0,162	0,434
	Li⁺	12	0,010	0,009	0,010	0,006	0,011	0,076	0,010	0,007	0,010	0,084	0,010	0,003
	Mg²⁺	12	2,040	0,264	0,500	0,135	0,500	0,164	0,500	0,171	0,500	0,122	0,500	0,188
	Na⁺	12	2,950	0,715	1,377	0,189	1,060	0,494	0,662	0,315	0,904	0,328	0,722	0,260
	Si⁴⁺	12	6,200	0,120	4,850	0,156	5,290	0,139	3,700	0,397	4,520	0,271	3,420	0,516
	Sr²⁺	12	0,010	0,009	0,010	0,007	0,010	0,010	0,010	0,005	0,012	0,004	0,010	0,004

Micro.: microrganismos; n: número de amostras analisadas; Med: Média; DP: Desvio padrão; Temp (°C), Turb. (UT), CE (µS/cm), STD (mg/L), pH, OD (mg/L), NO₂ (mg/L), NO₃ (mg/L), PO₄⁻³ (mg/L), NH₃⁻ (mg/L), DBO (mg/L), ST (mg/L), STF (mg/L), STV (mg/L), SST (mg/L), SSF (mg/L), SSV (mg/L), CTot (NMP/100mL), Cterm (NMP/100mL), Al³⁺ (mg/L), As³⁺ (mg/L), Ba²⁺ (mg/L), Pb²⁺ (mg/L), Co²⁺ (mg/L), Fe³⁺ (mg/L), Mn²⁺ (mg/L), Zn²⁺ (mg/L), Ca²⁺ (mg/L), K⁺ (mg/L), Li⁺ (mg/L), Mg²⁺ (mg/L), Na⁺ (mg/L), Si⁴⁺ (mg/L), Sr²⁺ (mg/L).

Tabela 4 - Valores médios e desvio padrão de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas contribuintes Bacia Tocantins-Araguaia.

	n	Grupo B – Águas subterrâneas																							
		P7		P8		P9		P10		P11		P12		P13		P14		P15		P16		P17		P18	
		Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP
Temp	12	29,80	1,67	30,00	1,44	29,90	2,64	33,80	2,68	29,60	1,99	31,90	2,17	29,90	1,60	30,30	2,07	29,90	1,95	29,50	2,30	29,70	1,64	29,90	2,42
CE	12	50,50	6,09	85,50	3,58	80,70	8,98	113,00	7,47	77,90	5,01	91,90	6,45	50,20	26,50	30,30	26,50	7,62	1,73	8,62	2,43	8,96	2,43	7,44	1,66
pH	12	4,50	0,76	4,28	0,81	4,77	0,94	6,28	0,71	4,98	0,72	6,25	0,62	5,43	0,77	4,96	0,87	4,98	0,60	5,00	0,41	5,02	0,42	5,18	0,60
OD	12	3,97	0,81	4,50	0,77	4,28	0,76	3,05	1,01	4,44	0,52	3,96	0,71	4,45	0,89	3,89	1,32	5,17	0,99	4,59	0,45	4,83	0,68	4,97	0,95
NO ₂ ⁻	12	0,01	0,01	0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01
NO ₃ ⁻	12	1,01	0,86	2,17	1,61	1,00	0,83	0,72	0,95	1,84	1,42	0,78	0,81	0,91	0,74	0,94	1,15	0,58	0,65	0,83	0,67	0,74	1,01	0,76	0,73
PO ₄ ⁻³	12	0,49	0,96	0,11	0,12	0,47	0,96	0,34	0,63	0,23	0,39	0,34	0,61	0,08	0,07	0,28	0,49	0,11	0,11	0,15	0,22	0,23	0,37	0,17	0,25
NH ₃	12	0,14	0,09	0,10	0,06	0,16	0,11	0,30	0,15	0,12	0,06	0,18	0,10	0,15	0,09	0,16	0,19	0,11	0,06	0,10	0,11	0,12	0,08	0,10	0,07
Turb.	12	0,73	1,70	0,21	0,10	0,34	0,17	5,32	6,22	0,24	0,08	3,14	0,90	0,71	0,53	3,68	6,28	0,65	1,09	0,58	0,97	0,58	1,12	0,40	0,16
STD	12	25,00	3,93	39,60	3,55	36,50	6,59	53,90	2,31	36,60	3,06	43,40	3,15	24,40	12,60	14,00	12,90	3,42	0,90	3,92	1,08	4,42	1,00	3,50	1,00
DBO	12	0,60	0,50	0,91	0,83	0,88	0,99	0,89	1,08	0,59	0,59	0,97	0,89	1,14	0,71	0,69	0,66	0,84	0,67	0,56	0,38	0,70	0,46	0,63	0,86
ST	12	57,0	23,3	77,3	24,2	76,7	32,7	103,0	45,7	62,2	32,4	90,2	31,4	66,7	40,6	38,4	24,1	50,6	47,8	46,0	31,0	58,0	38,7	45,5	37,8
STF	12	27,6	16,2	38,3	17,9	39,3	24,6	76,8	44,3	31,5	29,0	56,1	38,8	37,0	38,6	16,9	14,9	32,6	42,0	24,7	22,2	31,3	40,3	27,2	37,9
STV	12	29,4	17,0	39,0	20,7	47,3	34,2	30,0	18,6	36,5	21,9	39,7	22,0	40,5	41,0	32,6	41,2	24,9	27,6	23,1	15,4	32,5	27,3	18,3	11,6
SST	12	0,44	0,62	0,30	0,21	0,28	0,18	3,63	2,83	0,27	0,23	1,01	0,57	0,38	0,25	0,38	0,28	0,41	0,31	0,33	0,29	0,60	1,17	0,55	0,48
SSF	12	0,12	0,09	0,11	0,12	0,14	0,14	3,2	2,86	0,19	0,21	0,58	0,37	0,18	0,17	0,18	0,18	0,24	0,32	0,15	0,17	0,43	1,15	0,37	0,45
SSV	12	0,32	0,60	0,14	0,14	0,15	0,10	2,11	2,97	0,08	0,07	0,42	0,33	0,20	0,11	0,19	0,17	0,17	0,11	0,19	0,19	0,13	0,13	0,21	0,22
CTot	12	240	692	60	197	483	942	233	694	135	341	12	29	45	119	218	695	420	935	423	935	606	1093	218	695
Cterm	12	4,88	14,40	0,84	0,86	146,00	500,00	4,00	8,29	2,54	6,62	0,75	0,62	1,19	1,53	2,59	6,79	13,70	37,60	0,67	0,49	0,67	0,49	1,30	2,35
Al ³⁺	12	0,010	0,001	0,010	0,002	0,010	0,004	0,010	0,004	0,010	0,004	0,013	0,005	0,010	0,003	0,010	0,003	0,010	0,004	0,010	0,014	0,010	0,003	0,010	0,004
As ³⁺	12	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Ba ²⁺	12	0,010	0,006	0,010	0,015	0,010	0,005	0,173	0,094	0,010	0,006	0,119	0,036	0,010	0,016	0,010	0,016	0,010	0,003	0,010	0,004	0,010	0,004	0,010	0,004
Co ²⁺	12	0,010	0,003	0,010	0,003	0,010	0,005	0,010	0,021	0,010	0,003	0,010	0,004	0,010	0,003	0,010	0,066	0,010	0,003	0,010	0,012	0,026	0,016	0,026	0,015
Mn ²⁺	12	0,020	0,010	0,020	0,008	0,020	0,008	0,020	0,026	0,020	0,008	0,050	0,016	0,020	0,007	0,020	0,007	0,020	0,008	0,020	0,010	0,020	0,009	0,020	0,008
Zn ²⁺	12	0,015	0,004	0,010	0,009	0,010	0,002	0,010	0,004	0,010	0,004	0,010	0,007	0,010	0,005	0,010	0,028	0,010	0,003	0,010	0,022	0,010	0,003	0,010	0,003
Ca ²⁺	12	2,200	0,067	0,218	0,065	2,200	0,086	9,710	4,502	2,200	0,073	6,080	0,940	1,000	0,349	2,200	2,221	2,200	0,070	0,280	0,060	0,200	0,072	0,300	0,109
K ⁺	12	0,323	1,968	0,808	3,443	0,370	0,469	7,750	3,678	0,250	4,089	4,650	1,890	0,820	2,136	0,150	0,493	0,120	0,397	0,210	0,031	0,180	0,444	0,280	0,448
Li ⁺	12	0,010	0,004	0,013	0,004	0,010	0,009	0,024	0,006	0,010	0,001	0,020	0,005	0,010	0,009	0,010	0,005	0,010	0,009	0,010	0,005	0,010	0,001	0,010	0,005
Mg ²⁺	12	0,500	0,204	0,500	0,190	0,500	0,200	2,900	1,332	0,500	0,203	1,870	0,256	0,500	0,075	0,500	0,117	0,500	0,206	0,500	0,115	0,500	0,199	0,500	0,194
Na ⁺	12	6,810	2,920	10,600	4,643	10,230	1,159	2,046	0,815	10,500	4,720	2,440	1,186	6,490	3,354	1,630	0,650	0,760	0,262	0,590	0,180	0,580	0,199	0,790	0,272
Si ⁴⁺	12	3,150	0,254	3,400	0,326	2,640	0,426	6,200	0,762	3,220	0,363	6,200	0,425	3,500	0,335	3,140	0,521	3,290	0,570	3,970	0,854	3,660	0,455	3,760	0,362
Sr ²⁺	12	0,010	0,001	0,010	0,009	0,010	0,004	0,218	0,803	0,010	0,008	0,170	0,050	0,030	0,009	0,010	0,005	0,010	0,004	0,010	0,005	0,010	0,004	0,010	0,442

Micro.: microrganismos; n: número de amostras analisadas; Med: Média; DP: Desvio padrão; Temp (°C), Turb. (UT), CE (µS/cm), STD (mg/L), pH, OD (mg/L), NO₂ (mg/L), NO₃ (mg/L), PO₄⁻³ (mg/L), NH₄⁺ (mg/L), DBO (mg/L), ST (mg/L), STF (mg/L), STV (mg/L), SSF (mg/L), SSV (mg/L), C.Tot (NMP/100mL), C.term (NMP/100mL), Al³⁺ (mg/L), As³⁺ (mg/L), Ba²⁺ (mg/L), Br⁻ (mg/L), Co²⁺ (mg/L), Fe³⁺ (mg/L), Mn²⁺ (mg/L), Zn²⁺ (mg/L), Ca²⁺ (mg/L), K⁺ (mg/L), Li⁺ (mg/L), Mg²⁺ (mg/L), Na⁺ (mg/L), Si⁴⁺ (mg/L), Sr²⁺ (mg/L).

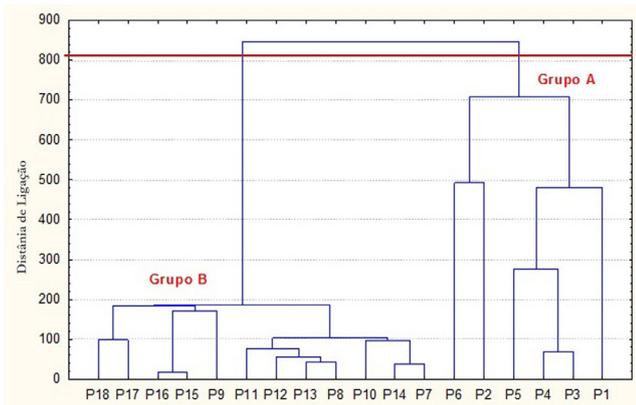


Figura 2 - Dendrograma de agrupamento dos pontos analisados

Este agrupamento já era esperado, visto que o Grupo A é composto por pontos de coleta de águas superficiais, que apresentam exposição direta aos fatores adversos naturais (precipitação, intemperismo, tipo do solo e vegetação, entre outras) e aos decorrentes de atividades humanas (lançamentos de esgoto, atividades agrícolas, urbanização e industrialização). O Grupo B, águas subterrâneas, já menos susceptível à influências antropogênicas e/ou naturais, e mais influenciada pelo tipo de rocha a que estão confinadas (MENDONÇA; SOUZA, 2011).

Submetendo esses grupamentos à análise de componente principal (ACP), foi observado que o Grupo A (águas superficiais), apresentou cinco componentes principais que explicaram 100% da variabilidade dos dados. Já o Grupo B (águas subterrâneas) extraiu sete componentes principais, que explicaram 95,5% dos dados (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de componentes principais das variáveis estudadas nas águas superficiais (Grupo A) e subterrâneas (Grupo B)

	Componente Principal	Autovalores	% Total Variância	% cumulativa
Grupo A	CP1	10,911	36,371	36,371
	CP2	8,943	29,811	66,183
	CP3	4,606	15,354	81,536
	CP4	3,900	13,001	94,537
	CP5	1,639	5,463	100
Grupo B	CP1	14,660	45,813	45,813
	CP2	5,708	17,838	63,652
	CP3	2,776	8,676	72,328
	CP4	2,324	7,263	79,590
	CP5	1,929	6,028	85,618
	CP6	1,783	5,573	91,191
	CP7	1,384	4,324	95,515

Para os Grupos A, os três primeiros componentes principais explicaram mais de 80% da variabilidade dos dados analisados. Destaca-se aqui, que quando os componentes explicam mais de 80% da variação dos dados, pode-se dispensar o monitoramento das variáveis que não estiveram correlacionados

aos componentes principais extraídos, (RUGGIERI et al., 2011; GUEDES et al., 2012; BRAHMAN et al., 2013).

No Grupo B, para a análise dos fatores que influenciam a qualidade dessas águas, foram considerados os cinco primeiros componentes principais, por explicarem 85,6% da variância dos dados.

Os parâmetros que se correlacionaram com os componentes principais do Grupo A estão apresentados na Tabela 6, e destaca-se que os valores em itálico nessa Tabela, correspondem aos parâmetros que mais influenciaram o componente principal correspondente.

Tabela 6 – Correlação entre os componentes para as águas superficiais (Grupo A)

	Grupo A				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Temp	-0,3647	-0,0635	0,4984	0,7430	0,2502
Turb	0,6346	-0,7164	0,1179	0,1130	0,2396
CE	-0,8525	-0,4566	0,2198	0,0452	0,1199
STD	-0,8285	-0,5171	0,1936	-0,0617	0,0699
pH	-0,4111	0,7801	0,4660	0,0718	-0,0041
OD	0,5024	0,3042	-0,1761	-0,7787	0,1331
NO ₂ ⁻	-0,5826	0,2291	-0,0190	-0,7675	-0,1365
NO ₃ ⁻	-0,0719	0,0095	0,7879	-0,5556	-0,2554
PO ₄ ⁻³	0,0602	0,8549	0,4918	-0,0038	-0,1538
NH ₃	-0,1383	0,6036	-0,3274	0,6546	0,2845
DBO	0,3374	-0,7164	0,0247	-0,5875	0,1645
ST	-0,4909	-0,6149	-0,4708	0,2372	-0,3210
STF	-0,1861	-0,6514	-0,4967	0,3326	-0,4285
STV	-0,8662	-0,3926	-0,3032	0,0162	-0,0578
SST	0,6454	-0,7077	0,0652	0,2434	-0,1381
SSF	0,6823	-0,6703	0,0155	0,2553	-0,1405
SSV	0,4932	-0,8056	0,2355	0,1914	-0,1254
CTot	-0,0027	-0,9865	-0,0741	-0,0154	-0,1451
Cterm	0,7992	-0,5220	-0,0802	-0,2820	-0,0534
Co ²⁺	0,0281	0,1677	-0,6819	-0,5819	0,4094
Zn ²⁺	-0,8988	-0,3355	0,1409	-0,2316	-0,0779
Ca ²⁺	-0,8051	-0,5026	0,2230	-0,2223	0,0099
K ⁺	-0,8506	-0,4606	0,1751	-0,1568	0,0952
Li ⁺	0,1506	-0,3195	-0,6992	0,1109	0,6115
Mg ²⁺	-0,8988	-0,3355	0,1409	-0,2316	-0,0779
Na ⁺	-0,9332	-0,2527	0,2075	-0,0521	0,1399
Si ⁴⁺	-0,7080	-0,4738	0,0907	0,1627	0,4894
Sr ²⁺	0,5319	-0,4543	0,6852	-0,1653	0,1180
Fe ³⁺	0,5667	-0,5150	0,5854	-0,1506	0,2194
Pb ²⁺	0,5319	-0,4543	0,6852	-0,1653	0,1180

Legenda: Temp: Temperatura; Turb: Turbidez; CE: Condutividade elétrica; STD: Sólidos totais dissolvidos; pH: potencial hidrogeniônico; OD: Oxigênio dissolvido, NO₂⁻: Nitrito; NO₃⁻: Nitrato; PO₄⁻³: Fosfato; NH₃: Nitrogênio Amônia; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; ST: Sólidos totais; STF: Sólidos totais fixos; STV: Sólidos totais voláteis; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; CTot: Coliformes totais; Cterm: Coliformes termotolerantes; Co²⁺: Cobalto; Zn²⁺: Zinco; Ca²⁺: Cálcio; K⁺: Potássio; Li⁺: Lítio; Mg²⁺: Magnésio; Na⁺: Sódio; Si⁴⁺: Silício; Sr²⁺: Estrôncio; Fe³⁺: Ferro; Pb²⁺: Chumbo.

Os parâmetros que estiveram relacionados ao componente principal CP1 foram: condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais voláteis, coliformes termotolerantes, zinco (Zn^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e silício (Si^{4+}).

O segundo componente principal (CP2) se correlacionou principalmente com a turbidez, pH, PO_4^{-3} (fosfato), demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais fixos, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e coliformes totais.

No CP3 se correlacionaram: o nitrato (NO_3^-), o chumbo (Pb^{2+}), o lítio (Li^+) e o estrôncio (Sr^{2+}). Os parâmetros corre-

Tabela 7 – Correlação entre os componentes para as águas subterrâneas (Grupo B)

	Grupo B				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Temp	-0,3985	-0,6786	0,2459	-0,5374	-0,1305
Turb	-0,8236	0,1900	0,0735	-0,2188	-0,0595
CE	-0,7487	-0,5391	-0,3016	0,1638	0,0672
STD	-0,7611	-0,5269	-0,2926	0,1567	0,0760
pH	-0,5723	-0,5401	0,3640	-0,4447	-0,1683
OD	0,1479	-0,6983	0,4087	-0,4679	-0,1171
NO_2^-	0,2375	-0,5365	0,5196	-0,0059	0,2680
NO_3^-	0,1603	-0,6539	-0,1994	0,2112	0,5070
PO_4^{-3}	-0,2860	0,0027	-0,5234	-0,0528	-0,6515
NH_3^-	-0,9072	-0,0322	-0,1704	-0,3075	-0,0952
DBO	-0,3834	-0,0578	-0,0265	0,5033	0,0513
ST	-0,8564	-0,3500	-0,1157	0,0969	-0,0198
STF	-0,9064	0,1384	-0,1278	0,1822	0,0826
STV	-0,2503	-0,8354	-0,0979	0,0222	-0,2731
SST	-0,8882	0,3140	-0,1298	-0,2486	0,1633
SSF	-0,8487	0,3585	-0,1720	-0,2511	0,2088
SSV	-0,8691	0,2893	-0,2094	-0,2721	0,1935
CTot	0,4363	0,7076	-0,2329	-0,1582	-0,2625
Cterm	0,0575	-0,2530	-0,6316	0,0245	-0,5532
Co^{2+}	0,3254	0,7085	0,0284	0,1632	-0,0706
Zn^{2+}	0,1176	-0,1104	-0,2229	-0,2045	-0,2071
Ca^{2+}	-0,9821	0,1693	0,0568	0,0098	0,0206
K^+	-0,9870	0,1383	0,0161	0,0177	0,0549
Li^+	-0,9811	0,0737	0,0526	0,0692	0,1215
Mg^{2+}	-0,9778	0,1852	0,0276	-0,0251	0,0206
Na^+	0,0878	-0,7942	-0,5011	0,2052	0,1558
Si^{4+}	-0,8701	0,2648	0,3373	0,1631	0,0064
Sr^{2+}	-0,9795	0,1405	0,1093	0,0656	-0,0322
Ba^{2+}	-0,9784	0,1671	0,0700	0,0230	-0,0178
Mn^{2+}	-0,4653	-0,1224	0,5029	0,5440	-0,4341
Al^+	-0,4653	-0,1224	0,5029	0,5440	-0,4341
As^{3+}	0,1819	0,2211	0,3051	-0,3418	-0,2397

Legenda: Temp: Temperatura; Turb: Turbidez; CE: Condutividade elétrica; STD: Sólidos totais dissolvidos; pH: potencial hidrogeniônico; OD: Oxigênio dissolvido, NO_2^- : Nitrito; NO_3^- : Nitrato; PO_4^{-3} : Fosfato; NH_3^- : Nitrogênio Amônia; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; ST: Sólidos totais; STF: Sólidos totais fixos; STV: Sólidos totais voláteis; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; CTot: Coliformes totais; Cterm: Coliformes termotolerantes; Co^{2+} : Cobalto; Zn^{2+} : Zinco; Ca^{2+} : Cálcio; K^+ : Potássio; Li^+ : Lítio; Mg^{2+} : Magnésio; Na^+ : Sódio; Si^{4+} : Silício; Sr^{2+} : Estrôncio; Ba^{2+} : Bário; Mn^{2+} : Manganês; Al^+ : Alumínio; As^{3+} : Arsênio.

lacionados no componente principal CP4 foram: temperatura, oxigênio dissolvido e nitrito (NO_2^-), e o CP5 relacionou-se apenas com o lítio (Li^+).

Para o Grupo B, a correlação entre os componentes apresenta-se na Tabela 7, cujos valores em itálico correspondem aos parâmetros que mais influenciaram o componente principal correspondente.

A partir da análise realizada se verificou que os parâmetros que se correlacionaram com o componente principal CP1 foram: turbidez, amônia (NH_3^-), sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos fixos, bário (Ba^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), lítio (Li^+), magnésio (Mg^{2+}), silício (Si^{4+}), estrôncio (Sr^{2+}).

O CP2 correlacionou à temperatura, o oxigênio dissolvido, os sólidos totais voláteis, os coliformes totais, o cobalto (Co^{2+}), e o sódio (Na^+).

Com o componente principal CP3 correlacionaram-se: o nitrito (NO_2^-), o fosfato (PO_4^{-3}), e os coliformes termotolerantes. O CP4 correlacionou o alumínio (Al^{3+}) e o manganês (Mn^{2+}), e o CP5 se correlacionou com o nitrato (NO_3^-) e com os coliformes termotolerantes.

A análise do componente principal foi aplicada com o objetivo de levar as variáveis analisadas a um conjunto reduzido, que segundo Olsen et al., 2012, ajuda na identificação e descrição de padrões espaciais da qualidade da água, resultante de processos hidrológicos, geoquímicos e/ou de fontes de contaminação.

Na Figura 3 é apresentada a projeção das variáveis associadas aos dois primeiros componentes principais, extraídos na ACP, para águas do Grupo A e Grupo B, com destaque para agrupamentos formados entre as variáveis associadas aos respectivos componentes principais.

Os parâmetros destacados no círculo correspondem a aqueles que se correlacionaram com o CP1 (Grupo A) e com CP2 (Grupo B), evidenciando-se uma forte correlação.

Para confirmar as associações entre as variáveis apresentadas na ACP e dar maior importância aos dados que efetivamente causam variação na qualidade de água, dos pontos agrupados no Grupo A e Grupo B, a análise de *cluster* (AC) foi aplicada.

A AC reuniu os parâmetros semelhantes em grupos, sendo que no Grupo A reuniram-se os parâmetros coliformes totais e coliformes termotolerantes. E no Grupo B, os coliformes totais, foram excluídos por apresentarem-se distantes dos demais parâmetros analisados. Já que quanto menor a distância entre as variáveis na AC, maior é a similaridade entre elas (VIEIRA et al. 2012).

Em decorrência do ocorrido realizou-se uma nova análise de *cluster* com os parâmetros remanescentes (Figura 4), cuja significância de cada agrupamento foi determinada por meio do critério ($Dlink/Dmax$) $\times 100 < 30$ para o Grupo A, e ($Dlink/Dmax$) $\times 100 < 90$, para o Grupo B.

O agrupamento (Figura 4 a e b) mostra a proximidade dos parâmetros indicadores da qualidade físico-química da água.

De acordo com a análise de componente principal, a associação entre os parâmetros Ca^{2+} , Zn^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Si^{4+} , CE, STD, STV, CTerm, retidos no CP1, foi responsável pela maior variação na composição da água superficial em estudo. Segundo Esteves (1998), íons como o cálcio, magnésio,

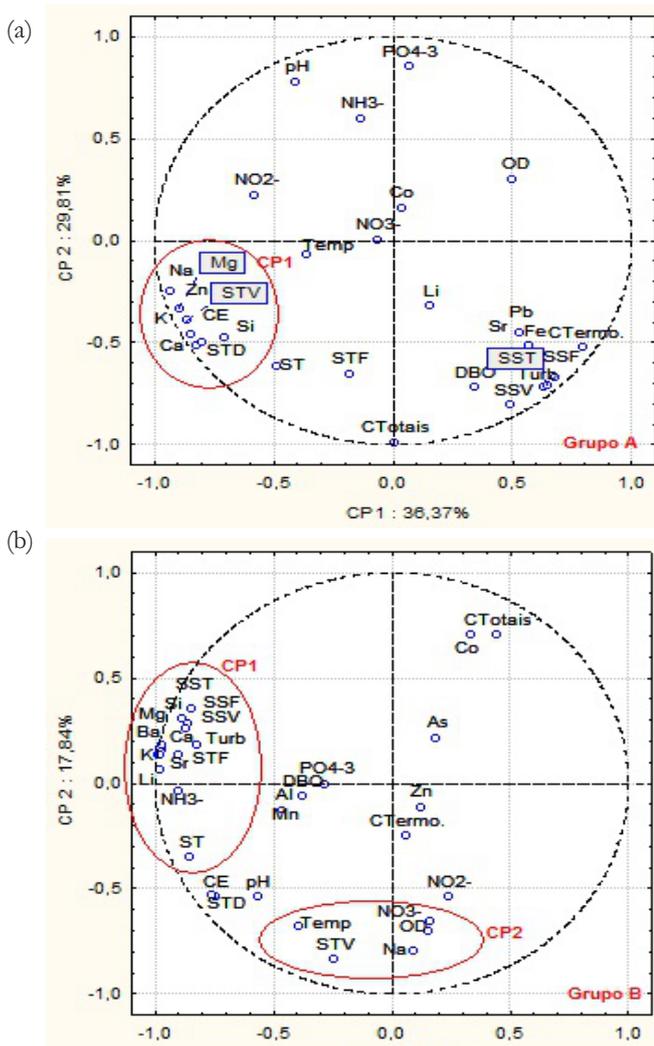


Figura 3 - Distribuição da nuvem de variáveis (CP1 x CP2) para as águas superficiais (a) e para as águas subterrâneas (b), na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia

potássio e sódio são diretamente responsáveis pelos valores de condutividade, o que explica essa associação.

Destaca-se ainda, que a notada presença do sódio, neste caso, na água subterrânea, tenha como fonte à dissolução de sais de rochas e intemperismo, como descrito por KUMAR et al. (2009).

Já o potássio apresenta-se devido à intensa participação em processos de troca iônica, da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem utilizados pelos vegetais. Porém, possui normalmente concentrações mais baixas nas águas quando comparadas com as de cálcio e de magnésio (MAGALHÃES, 2006).

De acordo com Barros et al. (2009), a presença de K^+ , Mg^{2+} e Zn^{2+} , é proveniente de solos enriquecidos com elementos essenciais para agricultura (fertilizantes e praguicidas). Neste caso, provenientes de plantios no entorno da área de estudo. O zinco, dentre os metais pesados é o mais solúvel e os sais são altamente persistentes na água (SANTOS, 2008).

Quanto aos parâmetros orgânicos (CTerm, STD, STV), estes refletem o escoamento superficial oriundo da mata ciliar,

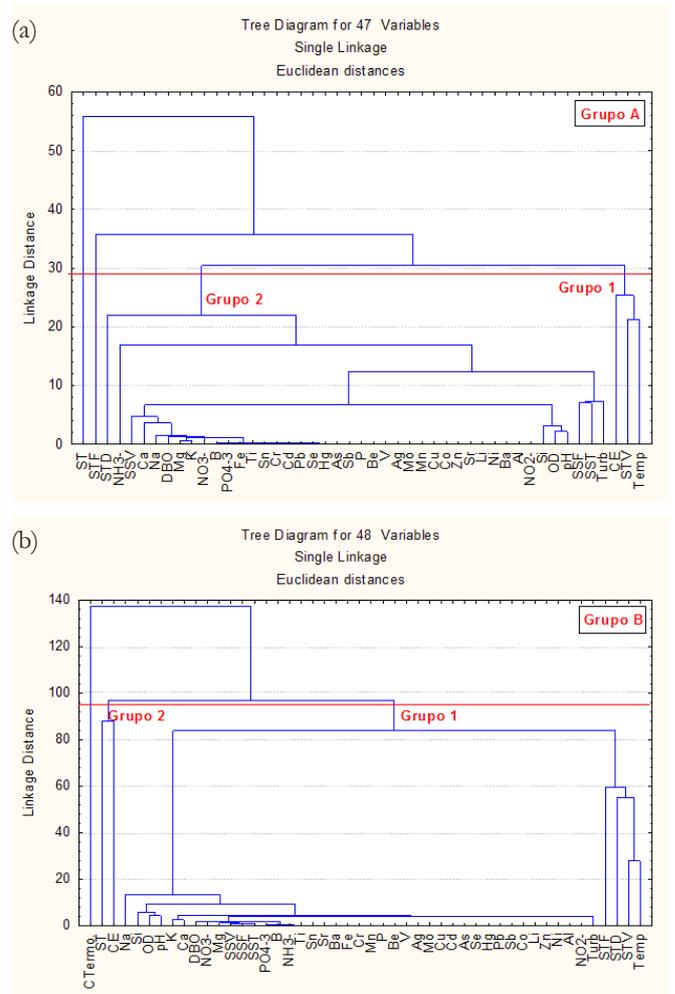


Figura 4 - Dendrograma de agrupamento das variáveis analisadas para as águas superficiais (a) e subterrâneas (b)

onde há contribuição de dejetos de animais e serrapilheira, exercendo influência sobre a qualidade da água, (VANZELA et al., 2010).

Os Sólidos Totais Dissolvidos são constituídos significativamente por íons principais, quando presentes na água subterrânea, Lakshmanan et al., 2003, o que explica a associação.

Os parâmetros relacionados aos demais componentes principais (CP2, CP3, CP4 e CP5) refletem o aporte de materiais em suspensão, iônicos e orgânicos nas águas superficiais da bacia.

A associação entre os parâmetros: turbidez, pH, fosfato, DBO, STF, SST, SSV e coliformes termotolerantes (CP2), e que de acordo com a análise de componente principal, impacta mais a composição das águas superficiais do que os parâmetros nitrato, chumbo, lítio e estrôncio, que são os elementos retidos no CP3 e representam 15,4% da variabilidade dos dados, e que os do CP4, que associou oxigênio dissolvido e nitrato e do CP5 que relacionou apenas o lítio.

Neste estudo também se relacionam os componentes principais, CP1, CP3 e CP5 à influência predominante de ge-química de rochas e solos, na composição das águas superficiais, pela observação de diferentes interações (MOURA et al., 2010).

Este aspecto mostra uma característica local, e demonstra que em algumas situações, os parâmetros relacionados aos componentes principais podem se associar a origens distintas da antropogênica.

Os demais elementos associados aos componentes CP2 e CP4 caracterizam aporte de carga orgânica de origem fecal e agrícola. No entanto, a avaliação isolada dos parâmetros: turbidez e coliformes demonstraram que as concentrações desses encontram-se acima dos limites preconizados pela Portaria do Ministério da Saúde 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre padrão de potabilidade. Estes parâmetros apresentam correlação, segundo Maciel et al. (2014), pelo fato de a turbidez estar relacionada a presença de sólidos em suspensão de origem orgânica (algas, bactérias, e outras), e ainda por facilitar a sobrevivência e crescimento dos microrganismos presentes na água.

Verificou-se também que o aumento do aporte de materiais sólidos a bacia, apresenta origem, sobretudo, inorgânica, demonstrado pela presença de Si^{4+} e K^+ , que denuncia a erosão dos solos na área estudada, por apresentarem constituintes argilominerais (TOCANTINS, 2004).

A associação entre os metais em um mesmo grupo, na análise de *cluster*, tais como chumbo (Pb^{2+}), zinco (Zn^{2+}), prata (Ag^+), estabelece um reflexo da composição mineralógica e fontes destes metais (MELO et al., 2012).

Na AC das águas superficiais da bacia Tocantins-Araguaia, as variáveis relacionadas à matéria orgânica (DBO e SSV) estiveram agrupadas muito próximas aos metais, de forma a estarem em um mesmo subgrupo, quando considerada distância euclidiana igual a 10.

Essa interação, também observada por Santos et al. (2008), ocorre pela formação de complexos estáveis, que são adsorvidos sobre a matéria orgânica sólida.

Para as águas subterrâneas, a turbidez, as frações de sólidos (ST, STF, SST, SSV, SSF), a NH_3^- , o Ba^{2+} , o Ca^{2+} , o K^+ , o Li^+ , o Mg^{2+} , o Si^{4+} , e o Sr^{2+} , demonstraram que a correlação entre esses parâmetros, resulta em um componente cujo fator de influência é mineral, decorrentes da dissolução das rochas, que ocorrem na área de estudo, tais como o granito-gnáissico-migmatítico e intrusões ígneas, que, de acordo com Tocantins (2004), possuem composição química-mineralógica variada, como indicam os elementos agrupados no componente principal CP1.

Dassi (2011) corrobora a afirmação anterior, demonstrando que as associações entre o K^+ ; o Mg^{2+} ; o Ca^{2+} ; o Sr^{2+} , indicam importante contribuição desses íons na mineralização da água subterrânea por meio da interação água-rocha.

Os componentes principais da CP2 foram: Temp, OD, STV, CTot., Co^{2+} , Na^+ . Da CP3, foram: NO_2^- , PO_4^{3-} , e CTerm e para o CP5 encontrou-se: NO_3^- e CTerm, que representam influência iônico-orgânica à qualidade das águas subterrâneas, responsáveis por 17,8%, 8,7% e 6% da variabilidade dos dados, respectivamente.

A associação entre tais variáveis reflete influências de fontes agrícolas, ainda que de forma indireta, decorrentes da adubação do solo, depósitos geológicos (WANG et al., 2013) e origem fecal.

A qualidade da água subterrânea também se vê correlacionada à interação com a rocha que constitui o aquífero. No entanto, destaca-se novamente a ocorrência de nitrato (NO_3^-)

e de fosfato (PO_4^{3-}) na formação dos componentes principais, demonstrando a influência do uso excessivo de fertilizantes na atividade agrícola na região, (PRADO, 2013).

Os íons responsáveis pela mineralização das águas subterrâneas apresentam característica que são influenciadas pelo tipo do solo da área de estudo (Latossolo Vermelho-Amarelo), considerando-se que quanto maior o tempo de contato da água com solo/rocha a qual está confinada, maior será o grau de mineralização, e adsorção dos sais presentes no solo (SEZINANDO, 2013).

O agrupamento observado entre os sólidos (SST, STV, STF), a DBO, os íons, e os metais analisados nas águas subterrâneas (Figura 4), mostra a interação da matéria orgânica (sólidos suspensos voláteis e DBO) com os elementos traço e entre os metais, que serão adsorvidos sobre a matéria sólida e sedimentados, também verificado por SANTOS et al. (2008).

Na análise da associação entre as variáveis do Grupo B observou-se também a presença dos sólidos, afetando diretamente a condutividade e a temperatura da água, como já identificado por VANLANDEGHEM et al. (2012).

Foi observado ainda, que as águas subterrâneas em estudo sofrem contribuição de íons (CP1 e CP4) e compostos originários de contaminação orgânica, agrícola e fecal (CP2, CP3 e CP5).

Sob tais influências, apenas as concentrações para coliformes totais estiveram acima do limite estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde 2.914 de 12/12/2011. Sendo necessário o tratamento para remoção destes organismos pato-

Tabela 8 - Parâmetros significativos para monitoramento da qualidade das águas superficiais (Grupo A) e subterrâneas (Grupo B), contribuintes bacia Tocantins-Araguaia, retidos nos componentes principais

Águas superficiais (Grupo A)		
Componente Principal (CP)	Elementos retidos	Variabilidade Explicada (%)
CP1	CE, STD, STV, CTerm., Zn^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ e Si^{4+} ;	36,37
CP2	Turb., pH, PO_4^{3-} , DBO, STF, SST, SSV e CTot;	29,81
CP3	NO_3^- , Pb^{2+} , Li^+ e Sr^{2+} ;	15,35
CP4	Temp., OD e NO_2^- ;	13,00
CP5	Li^+ .	5,46
Águas subterrâneas (Grupo B)		
Componente Principal (CP)	Elementos retidos	Variabilidade Explicada (%)
CP1	Turb, NH_3^- , ST, STF, SST, SSV, SSF, Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Si^{4+} , e Sr^{2+} ;	45,81
CP2	Temp., OD, STV, CTot., Co^{2+} , e Na^+ ;	17,84
CP3	NO_2^- , PO_4^{3-} , e CTerm.;	8,68
CP4	Al^{3+} e Mn^{2+} ;	7,26
CP5	NO_3^- e CTerm.	6,03

gênicos, quando utilizada para abastecimento humano.

A análise de componente principal permitiu a redução dos 49 parâmetros monitorados. Possibilitando a extração de informações relacionadas aos fatores de influência de qualidade das águas a partir daqueles associados a cada componente principal, (GUEDES et al., 2012), conforme visualizado na Tabela 8.

Observando-se que para o Grupo A, parâmetros tais como: SSF, Ag^+ , Al^{3+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ca^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , P^{3-} , Mo^+ , V^{3+} , Be^{2+} , Sn^{2+} , Ti^{3+} , B^{3+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Se^{2-} e Sb^{3+} , e no Grupo B, CE, STD, Ag^+ , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , P^{3-} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Mo^+ , V^{3+} , Be^{2+} , Sn^{2+} , Ti^{3+} , B^{3+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Se^{2-} e Sb^{3+} poderão ser desconsiderados no monitoramento destas águas, já que os mesmo não forneceram informações relevantes quanto a identificação de fatores de influência da qualidade das águas, (BRAHMAN et al., 2013), de contribuintes da bacia Tocantins-Araguaia.

No entanto, é preciso cautela quanto à exclusão de parâmetros de monitoramento. Visto que pode ser necessária a realização de análises eventuais desses parâmetros, quando da ocorrência de acidentes ambientais ou indícios de agravos à saúde associados à presença de uma determinada substância na água, a fim de obter melhor resposta quanto à origem de possíveis contaminações.

CONCLUSÕES

Os parâmetros analisados, exceto turbidez e coliformes termotolerantes, em todos os pontos de estudo, apresentaram concentrações abaixo dos padrões de potabilidade, estabelecido pela Portaria Ministério Saúde 2914/11. Os pontos da ETA 008, P8 (PTP 002), P9 (PTP 003) e P10 (PTP 005), foram os que apresentaram as maiores discrepâncias quanto ao estabelecido pela Portaria, e devem ser monitorados quando destinados ao consumo humano.

O resultado da ACP/AC para águas do Grupo A (águas superficiais) indicaram que os fatores que influenciaram a variação na qualidade da água foram: iônico, orgânico, fecal e relacionado à presença do nitrato.

Os fatores que influenciaram a qualidade das águas subterrâneas (Grupo B) foram identificados, sendo os mais significativos o mineral/geológico, metálico, orgânico e fecal.

A partir da análise estatística multivariada os parâmetros de monitoramento poderão ser reduzidos, excluindo-se aqueles que não estiveram correlacionados aos componentes principais formados na ACP, tanto para o Grupo A como para o Grupo B, otimizando o monitoramento da qualidade da água para a área de estudo.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo financiamento para execução desta pesquisa (2308.043085/2008-54), ao CNPq pela bolsa de Mestrado concedida. Ao IPEN/USP (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), a FOZ SANEATINS (Companhia de Saneamento do Tocantins), e a Universidade Federal do Tocantins pelo apoio

e pela bolsa de Produtividade.

REFERÊNCIAS

APHA, American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st. Centennial Edition, Washington, 2005.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; MOREIRA, D. A.; ROSA, D. R. Q. Elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes níveis de vazão do rio Turvo Sujo, MG, Brasil. *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Taubaté, v.4, n.2, 2009.

BRAHMAN, K.D.; KAZI, T.G.; AFRIDI, H.I.; NASSEM, S.; ARAIN, S.S.; WADHWA, S.K.; SHAH, F. (2013). Simultaneously evaluate the toxic levels of fluoride and arsenic species in underground water of Tharparkar and possible contaminant sources: A multivariate study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 89, p.95-107, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. *Caderno Regional da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia*. Brasília-DF, 2006. 50 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia*: relatório síntese. Brasília: ANA; SPR, 2009. 256 p.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, 14 de dezembro de 2011, Seção 1, 2011. p.266-270.

CETESB. *Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo*. BRANDÃO, C. J. et al. (Orgs.). São Paulo: CETESB; Brasília; ANA, 2011. 326 p.

CHEN, Q.; WU, W.; BLANCKAERT, K.; MA, J.; HUANG, G. Optimization of water quality monitoring network in a large river by combining measurements, a numerical model and matter-element analyses. *Journal of Environmental Management*, v. 110, p. 116-124, 2012.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. *Brazilian Journal of Food Technology*. II SSA, p. 11-14, 2009.

DASSI, L. Investigation by multivariate analysis of groundwater composition in a multilayer aquifer system from North Africa: A multi-tracer approach. *Applied Geochemistry*, v. 26, 1386-1398, 2011.

ESTEVEZ, F. A. Fundamentos da limnologia. 2. ed. Rio de

Janeiro: Interciência, FINEP, 1998.

FAN, X.; CUI, B.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. Assessment of river water in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, v. 2, p. 1220-1234, 2010.

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 do estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.558-563, 2012.

HONG, H.; QIU, J.; LIANG, Y. Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 5, p. 663-668, 2010.

KHALIL, B.; OUARDA, T. B. M. J.; ST-HILAIRE, A. Estimation of water quality characteristics at ungauged sites using artificial neural networks and canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology*, v. 405, p. 277-287, 2011.

KUMAR, S. K.; RAMMOHAN, V.; SAHAYAM, J. DAJKUMAR; JEEVANANDAM, M. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. v. 159, n. 1, p. 341 – 351, 2009.

MACIEL, A. C.; YONEKUBO, F.; FILHO, P. C. O.; RIOS, E. M. Gerenciamento espacial do monitoramento da qualidade da água para abastecimento público da cidade de Irati/PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 6, n. 1, p. 92 – 101, 2014.

MAGALHÃES, V. S. *Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas bacias dos córregos Água Santa e Palmeiras, município de Coronel Murta (MG)*. 2006. 109f. Dissertação (Mestrado) – IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MAGYAR, N.; HATVANI, I.G.; SZÉKELY, I.K.; HERZIG, A.; DINKA, M.; KOVÁCS, J. Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. *Ecological Engineering*, v.55, p. 82-92, 2013.

MELO, V. F.; ANDRADE, M.; BATISTA, A. H.; FAVARETTO, N. GRASSI, M. T.; CAMPOS, M. S. Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. *Química Nova*. v. 35, n. 1, p. 22-29, 2012.

MENDONÇA, E. C. C. N.; SOUZA, P. S. Aplicação da técnica de análise de componentes principais para caracterização de águas de poços artesianos de áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia. *Revista Plurais - Virtual*, v. 1, n. 1, p. 19-36, 2011.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A

qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal. *Química Nova*, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.

OLSEN, R.L.; CHAPPELL, R.W.; LOFTIS, J.C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis – literature review and Illinois River watershed case study. *Water Research*, v. 46, p. 3110-3122, 2012.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos avançados*. v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRADO, G. L. *Avaliação da susceptibilidade à contaminação de corpos hídricos, em áreas de cultivo e do entorno (reservas indígenas), pelo uso de agrotóxicos*. 2013. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2013.

RAZMKHAH, H.; ABRISHAMCHI, A.; TORKIAN, A. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran), *Journal of Environmental Management*, v. 91, p. 852-860, 2010.

RUGGIERI, N.; CASTELLANO, M., CAPELLO, M.; MAGGI, S.; POVERO, P. Seasonal and spatial variability of water quality parameters in the Porto f Genoa, Italy, from 2000 to 2007. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, p. 340-349, 2011.

SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P.; OLIVEIRA, E. Estudo da mobilização de metais e elementos traços em ambientes aquáticos do semi-árido brasileiro aplicado análises de componentes principais. *Química Nova*. v. 31, n. 5, p. 1107-1111, 2008.

SEZINANDO, S. C. F. G. *Águas minerais naturais e águas de nascente de Portugal Continental*. 2013. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal, 2013.

TOCANTINS. Secretaria do Meio Ambiente e Planejamento do Tocantins. *Plano das bacias hidrográficas do Entorno de Palmas-TO*. Palmas: SEPLAN-DMA, 2004. 95 p.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, v. 59, n.1, p. 181 – 186, 2002.

VANLANDEGHEM, M.M.; MEYER, M.D.; COX, S.B.; SHARMA, B.; PATIÑO, R. Spatial and temporal patterns of surface water quality and ichthyotoxicity in urban and rural river basins in Texas. *Water Research*, v. 46, p. 6638-6651, 2012.

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

VIEIRA, J. S.; PIRES, J. C. M.; MARTINS, F. G.; VILAR, V.

J. P.; BOAVENTURA, R. A. R.; BOTELHO, C. M. S. Surface water quality assessment of Lis River using multivariate statistical methods. *Water Air Soil Pollutant*, v. 223, p. 5549-5561, 2012.

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.