

## IV-228 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO PARACATU POR MEIO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS

**Thaís Baêta Costa Barbosa<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Especialista em Saneamento e Meio Ambiente com ênfase em Controle Ambiental na Indústria e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM). Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Fumec.

**Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira**

Professora Doutora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Maria Luiza Alves Geraldo**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Giovanna Moura Calazans**

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário de Sete Lagoas (UNIFEMM). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia-DESA - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil Tel: (31) 9322-4330 - E-mail: [thaisbcb@globob.com](mailto:thaisbcb@globob.com)

### RESUMO

A sub-bacia do rio Paracatu é uma importante bacia do estado de Minas Gerais por fazer parte da terceira maior bacia hidrográfica em extensão territorial do Brasil, a bacia do rio São Francisco. Desde 1997 essa bacia é monitorada pelo IGAM, gerando uma grande e complexa matriz de dados que contém diversos parâmetros físico-químicos de difícil interpretação. Além disso, essa mesma bacia é carente de estudos sobre a qualidade de suas águas superficiais. Sendo assim, esse estudo buscou avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paracatu utilizando técnicas de estatística multivariada como Análise de Cluster (AC) e Análise de Componentes Principais (ACP), a fim de agrupar as estações de monitoramento com características similares entre si, justificadas pelo uso e ocupação do solo local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade das Águas, Bacia do rio Paracatu, Técnicas Multivariadas, Uso e Ocupação do Solo.

### INTRODUÇÃO

A qualidade da água de um rio pode variar de acordo com diversos fatores incluindo o clima da região, o relevo e as atividades antrópicas. A qualidade da água é um termo amplo que abrange todas as características físicas, químicas e biológicas de um corpo d'água. Sendo assim, a qualidade da água de uma região pode ser influenciada tanto por processos naturais (erosão, precipitação) como por processos antrópicos (lançamento de esgotos, irrigação, indústrias, mineração). Dessa forma, pode-se inferir que o uso e ocupação dos solos afetam diretamente a qualidade das águas do local (BARBOSA, 2015).

A ação humana pode causar pequenas ou grandes alterações nos corpos d'água, dependendo da atividade. Em geral, a presença de industrialização acarreta as maiores cargas de poluentes para os ambientes aquáticos, mas a simples presença da urbanização e as atividades agrícolas são também importantes geradores de poluição (BECHINI & CASTOLDI, 2009; MADRID *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2006 *apud* SCHNEIDER *et al.*, 2011).

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos. Permitem a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para várias atividades, tais como planejamento, outorga, cobrança, enquadramento dos cursos de água (ANA, 2009) e estratégias importantes para o manejo sustentável do uso da água (BU *et al.*, 2010). A avaliação da qualidade da água inclui monitoramento, análise dos dados, elaboração

de relatórios e disseminação de informações sobre as condições do ambiente aquático (BOYACIOGLU & BOYACIOGLU, 2008).

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no estado de Minas Gerais através do Projeto Águas de Minas. O programa disponibiliza dados de uma série histórica dos parâmetros da qualidade das águas no Estado e gera informações indispensáveis ao gerenciamento correto dos recursos hídricos desde 1997 (IGAM, 2013).

Os programas de monitoramento geram bancos de dados extensos e complexos que permitem fazer uma avaliação temporal dos parâmetros de qualidade das águas, além de criar um banco de dados de séries históricas de diversos parâmetros. A existência dessas séries históricas de dados e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos ou econômicos, indicando prioridades para a elaboração de ações de controle, fiscalização, investimentos ou de legislações específicas que levem à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental (LAMPARELLI, 2004).

As técnicas de estatística multivariada têm sido muito utilizadas em estudos que buscam avaliar a qualidade das águas superficiais e explicar as variações temporais e espaciais de uma bacia hidrográfica. Segundo Nonato *et al.* (2007), essas técnicas, consideradas exploratórias, podem ajudar também na otimização da rede de amostragem proposta, bem como da frequência de amostragem e do número de parâmetros analisados, sem perda da informação, resultando em redução dos custos associados aos programas de monitoramento.

A Análise de Cluster (AC) ou Análise de Agrupamento tem como objetivo principal reunir os objetos (indivíduos, elementos) em grupos (ou *clusters*) em que exista alta homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos formados, objetivando propor classificações (VICINI, 2005). Em estudos de avaliação de qualidade de água, a AC é bastante utilizada a fim de agrupar estações de monitoramento semelhantes quando se quer compará-las em relação aos parâmetros de qualidade, como é o caso desse estudo. Já a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica matemática da análise multivariada que permite investigações em um grande número de dados disponíveis. A ACP transforma o banco de dados original em outro conjunto, o de Componentes Principais (CP) de dimensões equivalentes. Essa transformação ocorre com a menor perda de dados possíveis e também com a eliminação de algumas variáveis que não possuem muitas informações (VICINI, 2005). O objetivo da ACP é reduzir a complexidade dos dados multivariados e detectar a estrutura na relação entre os dados. Os CP são escritos como uma combinação linear das variáveis originais. As contribuições de cada variável nas CP correspondem às cargas.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Paracatu é uma importante sub-bacia da bacia do rio São Francisco, terceira maior do Brasil, em extensão. A bacia do rio São Francisco drena uma área de 639.219 km<sup>2</sup> e ocupa 7,5% do território nacional. Cerca de 37% da bacia encontra-se no estado de Minas Gerais (IGAM, 2013). A bacia hidrográfica do rio São Francisco é importante não só por sua extensão e volume de água transportado em uma região semi-árida, mas também pelo seu potencial hídrico passível de aproveitamento e por sua contribuição histórica e econômica com o desenvolvimento de importantes projetos de agricultura (ANA, 2005). Em Minas Gerais, a bacia do rio São Francisco engloba 10 sub-bacias, divididas em Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH): Alto rio São Francisco (SF1), rio Pará (SF2), rio Paraopeba (SF3), entorno da represa de Três Marias (SF4), rio das Velhas (SF5), rios Jequitaiá e Pacuí (SF6), rio Paracatu (SF7), rio Urucuia (SF8), rio Pandeiros (SF9) e rio Verde Grande (SF10).

O Rio Paracatu (UPGRH SF7), situado no Médio São Francisco, drena uma área de aproximadamente 45.600 km<sup>2</sup>, sendo o maior e mais caudaloso afluente do rio São Francisco, e contribuindo com 40% da vazão no ponto de interseção dos dois rios, além de representar 20,8% na formação da vazão total do rio São Francisco, caracterizando assim, a importância da bacia (MELO & ASSUNÇÃO, 2011).

O rio Paracatu tem uma extensão de aproximadamente 485 km. Ele tem a sua nascente no município de Lagamar, no povoado de Almas e desagua no rio São Francisco, na localidade de Cachoeira da Manteiga, no

município de São Romão, ao norte do município de Santa Fé de Minas (SANTOS, *et al.*, 2007). A bacia do rio Paracatu está localizada entre os paralelos 15°30' e 19°30' de latitude sul e os meridianos 45°10' e 47°30' de longitude oeste (VASCONCELOS, *et al.*, 2012). Encontra-se inserida quase totalmente no estado de Minas Gerais (região Noroeste do estado), tendo apenas 8% da sua área localizada no estado de Goiás (5%) e no Distrito Federal (3%). Para esse estudo foi considerada apenas a porção mineira da bacia do rio Paracatu, em função da dificuldade de obtenção de dados de outros estados e aos diferentes modelos de monitoramento adotados.

A bacia do rio Paracatu é monitorada pelo IGAM desde o ano de 1997, quando foram implantadas sete estações de monitoramento ao longo da bacia (estações com o prefixo PT e com o final ímpar - PT001, PT003, PT005, PT007, PT009, PT011, PT013). Em 2005, a bacia ganhou mais uma estação de monitoramento (PT010) e, em 2006, outras 19 estações foram implantadas (as de prefixo PTE - PTE001, PTE003, PTE005, PTE007, PTE009, PTE011, PTE013, PTE015, PTE017, PTE019, PTE021, PTE023, PTE025, PTE027, PTE029, PTE031, PTE033, PTE035 e PTE037). Esse artigo contempla os dados de monitoramento gerados a partir das 27 estações de monitoramento do IGAM na bacia do rio Paracatu. A localização dessas estações é apresentada no mapa a seguir juntamente com os 16 municípios mineiros que fazem parte dessa bacia.



Figura 1: Estações de Monitoramento ao longo da bacia do rio Paracatu.

### Análise estatística dos dados

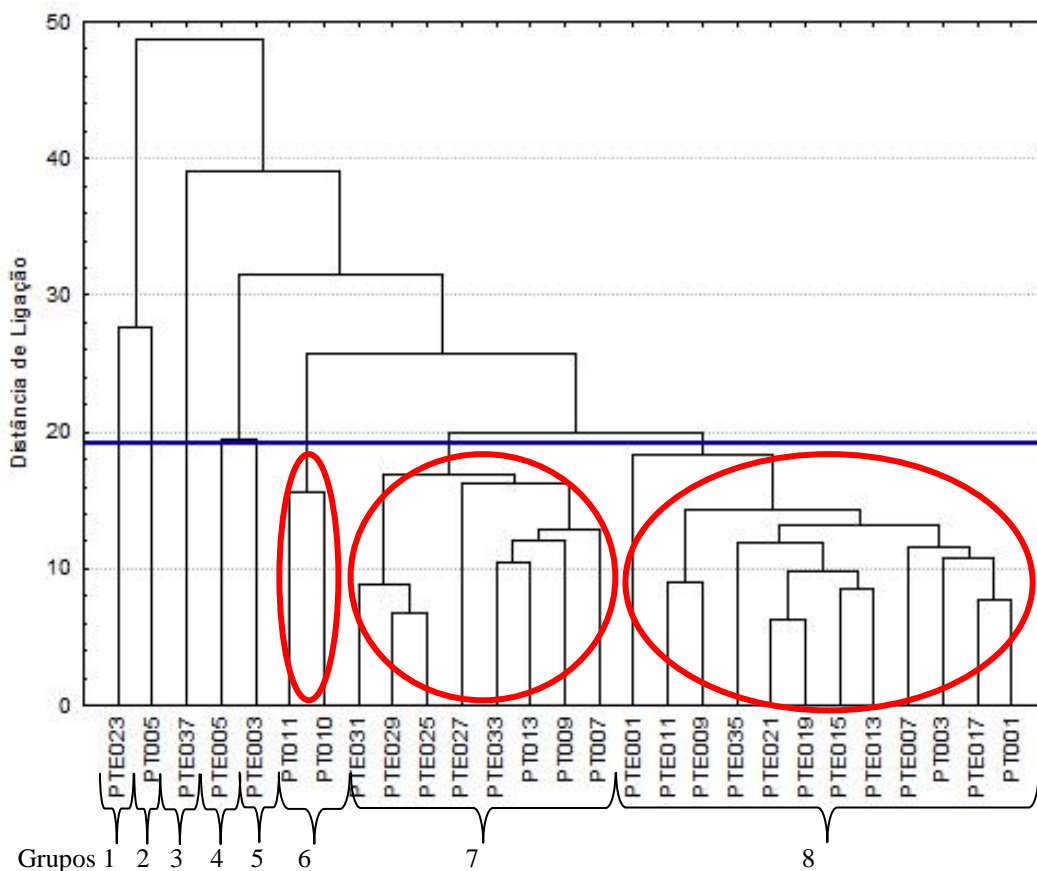
Os dados analisados nesse estudo são dados secundários que foram gerados pelo IGAM através do Projeto Águas de Minas. Sendo assim, foram utilizados dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paracatu, amostrados em 27 estações de monitoramento entre os anos de 2006 a 2013. Este período foi adotado em função da maior regularidade dos dados mensurados e menor porcentagem de dados faltantes. Foram analisados 13 parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água, a saber: Cloreto total ( $Cl_T$ ), Coliformes termotolerantes (Coli. term.), Condutividade elétrica *in loco* (CE), Fenóis totais

(Fen<sub>T</sub>), Ferro dissolvido (Fe<sub>diss</sub>), Fósforo total (P<sub>T</sub>), Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Oxigênio dissolvido (OD), pH *in loco* (pH), Sólidos em suspensão (SST), Sólidos totais (ST), Temperatura da água (T<sub>H2O</sub>) e Turbidez (Turb.).

Para aplicação das técnicas estatísticas multivariadas (Análise de Cluster e Análise de Componentes Principais) os dados foram padronizados, isto é, as variáveis foram transformadas em escala Z (média 0 e desvio padrão 1:  $Z = (X - \mu)/\sigma$ ), a fim de se evitar interferências no resultado devido às diferentes unidades de medida dos parâmetros. A Análise de Cluster (AC) teve como objetivo agrupar as estações de monitoramento quanto à similaridade da qualidade das águas superficiais (em função dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos amostrados) de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo (*cluster*) apresentem alta homogeneidade entre si e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos (MINGOTI, 2005). O agrupamento das estações de monitoramento permitiu verificar a variabilidade espacial. Foi utilizado para agrupar as 27 estações de monitoramento o método hierárquico aglomerativo de ligação completa, utilizando a distância euclidiana como medida de similaridade. Em seguida foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) nos *clusters* gerados, visando identificar os parâmetros de qualidade da água mais significativos que descrevem o conjunto de dados dos grupos formados, proporcionando a redução do banco de dados com o mínimo de perda da informação original (VICINI, 2005). Cada componente principal pode receber uma identificação (rotulação) relacionada às diversas fontes de poluição que afetam a qualidade da água (ex: agricultura, esgoto, etc.), o que auxilia na identificação das principais fontes de poluição atuantes.

## RESULTADOS

A Análise de Cluster agrupou as 27 estações de monitoramento da bacia do rio Paracatu em oito grupos, como pode ser observado no dendograma representado na Figura 2. A linha Fenon (ou linha de corte), representada pela linha azul no dendograma representa a distância euclidiana adotada como medida de similaridade.



**Figura 2: Dendograma das estações de monitoramento da sub-bacia do rio Paracatu**

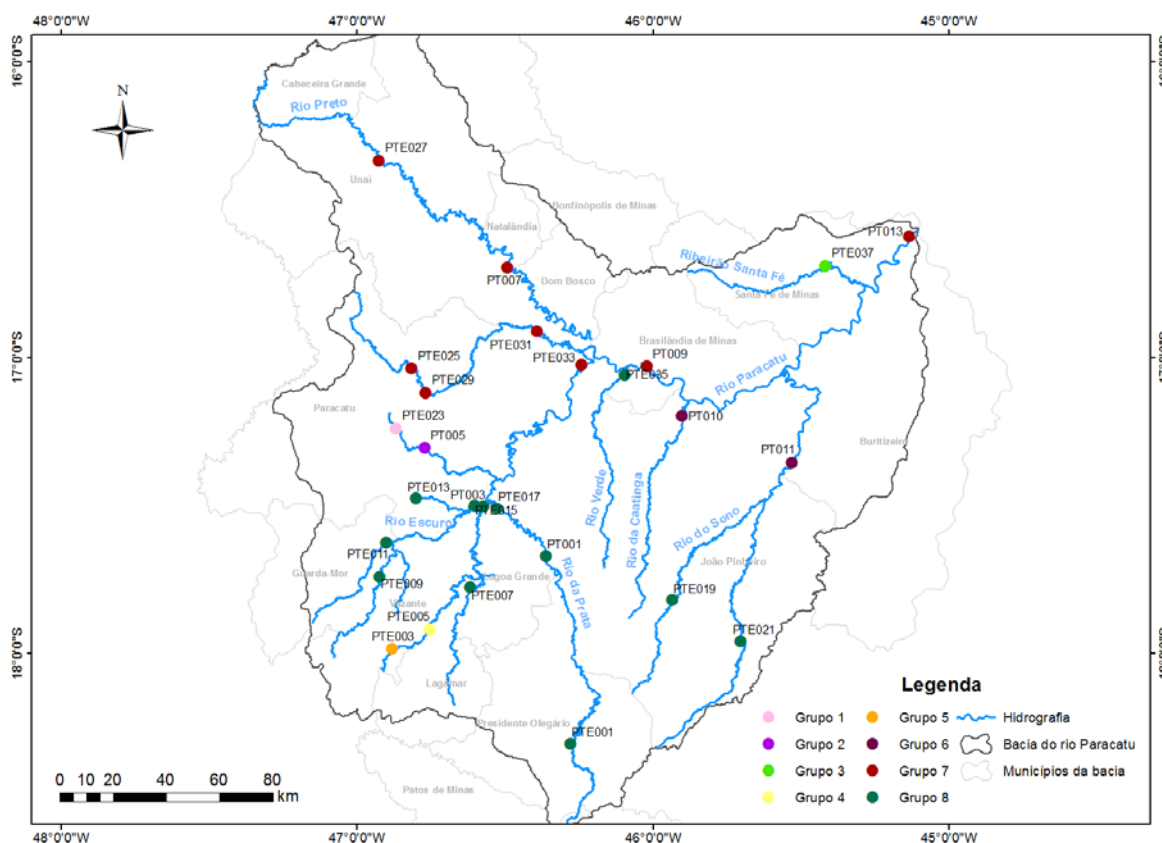
Analisando o dendograma da Figura 2, pode-se observar que cinco grupos foram compostos por apenas uma estação cada, ficando isolados no dendograma, o que indica grande diferença entre eles. Esses grupos (1 a 5)



são os das estações de monitoramento PT005, PTE023, PTE037, PTE003 e PTE005. Outros três agrupamentos maiores (grupos 6, 7 e 8), com mais de uma estação de monitoramento cada, foram circutados em vermelho, e a estes foram aplicadas a ACP.

Ainda pela análise do dendograma, pode-se observar que as estações PTE019 e PTE021 são as estações com maior similaridade entre todas as estações da bacia do rio Paracatu analisadas, por serem as que apresentam menor distância euclidiana entre si. Ambas as estações se encontram isoladas geograficamente das demais e localizadas na cidade de João Pinheiro (FIG. 3). As outras estações com maior similaridade, de acordo com a distância euclidiana apresentada no dendograma, são as estações PTE025 e PTE029. Essas estações, assim como as citadas anteriormente, também estão localizadas próximas uma da outra, porém, localizadas no município de Paracatu (FIG. 3).

A Figura 3 apresenta as estações de monitoramento da bacia do rio Paracatu representadas por cores diferentes de acordo com o agrupamento realizado pela AC. Pode-se observar uma tendência geográfica neste mapa, uma vez que as estações do grupo 8 (representadas pela cor verde escura no mapa) estão localizadas na porção sul da bacia, já as estações do grupo 7 (cor vinho) estão na porção norte da bacia, e no meio das duas porções, está localizado o grupo 6 (cor roxo escuro). As demais estações de monitoramento, que foram agrupadas isoladamente no dendograma, estão localizadas no extremo sul ou no extremo norte da bacia, ou ainda, na região limítrofe dos dois maiores agrupamentos (grupo 7 e 8). Pode-se observar ainda que dessas cinco estações, dois grupos de duas estações estão próximas uma da outra, tanto pela distância euclidiana no dendograma, quanto geograficamente dentro da bacia do rio Paracatu, PT005 e PTE023 (representadas pelas cores roxa e rosa, respectivamente, no mapa da Figura 3), na cidade de Paracatu, e PTE003 e PTE005 (representadas pelas cores laranja e amarela, respectivamente, no mapa da Figura 3) na cidade de Vazante.



**Figura 3: Mapa com a localização das estações de monitoramento representadas de acordo com o resultado da Análise de Cluster**

A ACP foi aplicada nos três clusters com mais de uma estação de monitoramento, individualmente, ou seja, nos grupos 6, 7 e 8 indicados no dendograma da Figura 2. Esses grupos e as estações de monitoramento pertencentes à cada um deles encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Estações de monitoramento dentro de cada agrupamento da AC

GRUPO 6	GRUPO 7		GRUPO 8		
PT011	PTE031	PTE033	PTE001	PTE021	PTE007
	PTE029	PT013	PTE011	PTE019	PT003
PT010	PTE025	PT009	PTE009	PTE015	PTE017
	PTE027	PT007	PTE035	PTE013	PT001

Ao extrair os Componentes Principais (CP) dos três agrupamentos maiores, foram encontrados 13 CPs (como esperado pelo fato de estarem sendo analisados 13 parâmetros), sendo que quatro a cinco CPs (dependendo do grupo) com autovalores maiores que um, explicam mais de 69% da variância encontrada nos dados do monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio Paracatu.

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação entre os CP e as variáveis originais (cargas dos Componentes Principais) para o grupo 6. Em negrito estão indicadas as maiores correlações entre a variável e o CP, ou seja, para qual CP o parâmetro mais contribui, e sublinhados estão os valores de carga maiores que 0,75, em módulo, que foram consideradas como “fortes” (LIU, *et al.*, 2003), sendo assim consideradas também como as mais importantes para a variância encontrada nos dados.

Tabela 2: Resultado da ACP com as cargas obtidas para cada Componente Principal no grupo 6

PARÂMETROS	CARGAS FATORIAIS - Grupo 6							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Cl <sub>T</sub>	<b>0,706</b>	0,378	0,004	0,218	0,172	-0,280	0,038	0,253
Col. term.	<b>0,805</b>	0,048	-0,140	-0,140	-0,088	0,090	-0,109	0,427
CE	0,056	-0,082	<b>0,827</b>	0,319	0,064	0,397	-0,175	0,071
Fen <sub>T</sub>	0,088	<b>0,820</b>	0,179	0,110	0,246	0,101	0,398	-0,040
Fe <sub>diss</sub>	0,523	-0,279	0,209	-0,024	<b>0,687</b>	-0,252	-0,134	-0,142
P <sub>T</sub>	<b>0,784</b>	0,050	-0,247	0,351	-0,101	-0,027	-0,262	-0,185
N <sup>-</sup> NO <sub>3</sub>	0,160	<b>0,843</b>	0,143	0,042	-0,248	-0,144	-0,314	-0,118
OD	<b>-0,674</b>	0,381	-0,285	-0,292	0,173	0,217	-0,146	-0,106
pH	-0,516	-0,171	-0,139	<b>0,758</b>	-0,162	-0,107	0,126	-0,023
SST	<b>0,934</b>	-0,005	-0,117	0,016	-0,051	0,163	0,135	-0,182
ST	<b>0,926</b>	-0,061	-0,166	0,009	-0,014	0,254	0,056	-0,109
T <sub>H2O</sub>	0,474	-0,123	<b>0,566</b>	-0,343	-0,406	-0,249	0,144	-0,126
Turb.	<b>0,945</b>	-0,121	-0,169	-0,006	-0,031	0,096	0,087	-0,039
Autovalores	5,640	1,823	1,352	1,085	0,870	0,560	0,474	0,395
% da variância explicada	43,39	14,03	10,40	8,34	6,70	4,31	3,65	3,04
% acumulada de variância	43,39	57,41	67,81	76,16	82,85	87,16	90,80	93,84

Para o grupo 6, quatro CP apresentaram autovalores maiores que um, sendo que esses CP explicam 76,16% da variância encontrada na qualidade das águas da bacia (TAB. 2). Observa-se ainda, que só existem cargas fortes (maiores que 0,75 – valores em negrito e sublinhados) nos quatro primeiros CP. As maiores correlações entre a variável e o CP (valores em negrito) ocorrem até o quinto CP.

Como pode ser observado na Tabela 2, o CP1 do grupo 6 explica 43,39% da variância e tem a contribuição positiva dos parâmetros cloreto total, coliformes termotolerantes, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais e turbidez, além da contribuição negativa do OD. O CP2 explica 14,03% da variância e tem a participação positiva dos parâmetros fenóis totais e nitrato. O CP3 (10,40% da variância) tem contribuição positiva dos parâmetros condutividade elétrica *in loco* e temperatura da água. Já o CP 4 (8,34% da variância) tem influência do pH e o CP 5 (6,70% da variância) está positivamente relacionado com o ferro dissolvido.

Analisando os parâmetros correlacionados com cada CP, pode-se interpretar que o CP1 diz respeito à poluição das águas devido ao esgoto doméstico, uma vez que estão muito altos os parâmetros a seguir: coliformes termotolerantes, fósforo total, sólidos suspensos, sólidos totais e turbidez da água. Ainda, para o CP1, pode-se observar que o oxigênio dissolvido foi o único parâmetro negativo, mas que também apresentou valor alto, em módulo, reiterando o fato do CP1 estar relacionado à poluição por esgotos. O CP2 pode representar a contaminação por efluentes industriais, uma vez que estão altos os valores dos fenóis e dos nitratos.

A Figura 4 mostra a projeção das variáveis em relação aos dois primeiros CP. Quanto menor é o ângulo entre o vetor de peso e o eixo do Componente Principal, maior é a importância do parâmetro correspondente (NONATO *et al.*, 2007). Pode-se concluir que a maioria dos parâmetros apresentados se relaciona positivamente com o CP1, exceto pelo OD e pH. Já com o CP2, os parâmetros ficaram divididos. O oxigênio dissolvido está em oposição à maioria dos parâmetros, já que sua concentração diminui em função do aumento de contaminantes na água, assim como o pH, que se relaciona negativamente com o CP1 e o CP2.

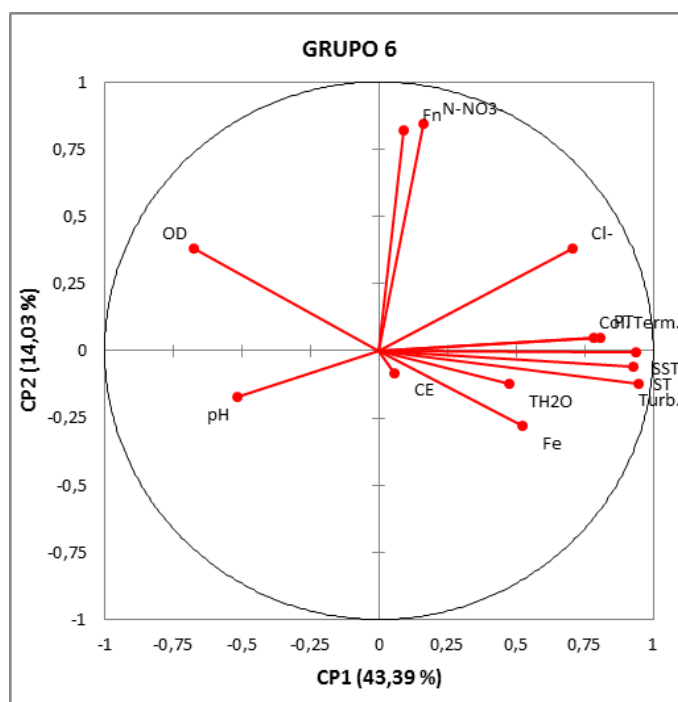


Figura 4: Gráfico das cargas dos dois primeiros Componentes Principais (CP1 x CP2) do Grupo 6

A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação entre os CP e as variáveis originais (cargas dos Componentes Principais) para o grupo 7. Em negrito, assim como foi feito para o grupo 6, estão indicadas as maiores correlações entre a variável e o CP, ou seja, para qual CP o parâmetro mais contribui, e sublinhados estão os valores de carga maiores que 0,75, em módulo, que foram consideradas como “fortes” (LIU, *et al.*, 2003), sendo assim consideradas também como as mais importantes para a variância encontrada nos dados. Observou-se que, para o grupo 7, cinco CP apresentaram autovalores maiores que um, sendo que esses CP explicam 73,23% da variância encontrada na qualidade das águas da bacia.

Observa-se ainda que só existem cargas fortes (maiores que 0,75 – valores em negrito e sublinhados) nos dois primeiros CP. As maiores correlações entre a variável e o CP (valores em negrito), assim como no grupo 6, ocorrem entre os cinco primeiros CP. Ainda analisando a Tabela 3, observa-se que o CP1 do grupo 7 explica 30,80% da variância e tem a contribuição positiva dos parâmetros cloreto total, fósforo total, Sólidos suspensos totais, sólidos totais, temperatura da água e turbidez. O CP2 explica 14,71% da variância e tem a participação positiva dos parâmetros fenóis totais, nitrato e OD. O CP3 (11,69% da variância) tem contribuição positiva dos parâmetros coliformes totais e condutividade elétrica *in loco*. Já o CP4 (8,06%), tem contribuição positiva do pH e o CP5 (7,98%), do ferro dissolvido. Esses dois últimos CP (CP4 e CP5) do grupo 7 estão relacionados da mesma forma no grupo 6, com o pH e o ferro dissolvido, respectivamente.

Tabela 3: Resultado da ACP com as cargas obtidas para cada Componente Principal no grupo 7

PARÂMETROS	CARGAS FATORIAIS - Grupo 7							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Cl <sup>-</sup> <sub>T</sub>	<b>0,520</b>	0,393	-0,082	0,383	0,352	0,131	0,403	-0,173
Col. term.	0,347	0,036	<b>0,575</b>	-0,314	-0,404	-0,022	0,454	0,241
CE	-0,577	-0,194	<b>0,606</b>	0,296	-0,069	0,114	0,000	-0,197
Fen <sub>T</sub>	-0,118	<b>0,803</b>	0,185	0,095	-0,113	0,022	-0,134	0,324
Fe <sub>diss</sub>	0,041	0,026	0,514	-0,260	<b>0,741</b>	0,202	0,003	0,022
P <sub>T</sub>	<b>0,653</b>	0,265	0,079	0,226	0,259	-0,303	-0,162	0,312
N <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,165	<b>0,732</b>	0,172	0,208	-0,295	0,257	-0,170	-0,264
OD	-0,472	<b>0,540</b>	-0,266	-0,247	0,062	-0,298	0,296	-0,220
pH	-0,471	-0,238	0,112	<b>0,635</b>	0,013	-0,395	0,170	0,100
SST	<b>0,887</b>	-0,058	-0,072	-0,040	-0,073	-0,257	-0,005	-0,137
ST	<b>0,697</b>	-0,198	0,530	0,064	-0,097	-0,141	-0,109	-0,229
T <sub>H2O</sub>	<b>0,528</b>	-0,268	-0,315	0,267	-0,099	0,537	0,162	0,171
Turb.	<b>0,903</b>	-0,061	-0,110	-0,053	-0,031	-0,143	-0,039	-0,107
Autovalores	4,004	1,912	1,520	1,048	1,037	0,868	0,598	0,569
% da variância explicada	30,80	14,71	11,69	8,06	7,98	6,68	4,60	4,38
% acumulada de variância	30,80	45,50	57,19	65,25	73,23	79,91	84,51	88,89

Assim como foi rotulado no CP1 do grupo 6, o CP1 do grupo 7 parece estar representando a contaminação por esgoto doméstico, uma vez que os parâmetros cloreto total, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais, temperatura da água e turbidez estão positivamente relacionados e o OD está negativamente relacionado. A diferença que ocorre no grupo 7 é o fato dos coliformes termotolerantes terem a sua maior carga no CP3, o que não impede o fato do CP1 estar relacionado com a contaminação devido ao esgoto doméstico.

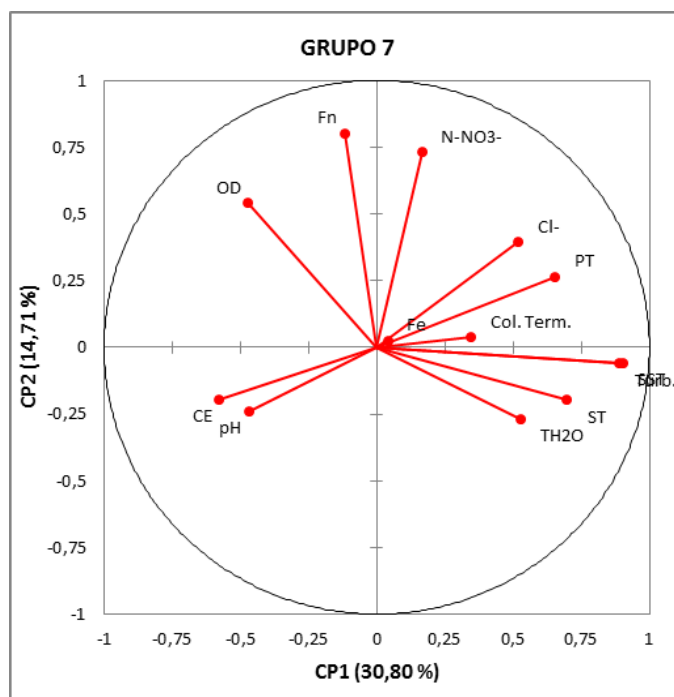


Figura 5: Gráficos das cargas dos dois primeiros Componentes Principais (CP1 x CP2) do grupo 7



A Figura 5 mostra a projeção das variáveis em relação aos dois primeiros CP. Assim como foi explicado para o grupo 6, quanto menor é o ângulo entre o vetor de peso e o eixo do Componente Principal, maior é a importância do parâmetro correspondente. Pode-se concluir que a maioria dos parâmetros apresentados se relaciona positivamente com o CP1, exceto pelo OD e fenóis totais que também se relacionam positivamente com o CP2 e a condutividade elétrica e o pH que também se relacionam negativamente com o CP2.

A Tabela 4 apresenta a matriz de correlação entre os CP e as variáveis originais (cargas dos Componentes Principais) para o grupo 8. Observou-se que, para o grupo 8, quatro CP apresentaram autovalores maiores que um, sendo que esses CP explicam 69,53% da variância encontrada na qualidade das águas da bacia, sendo essa, a menor porcentagem quando comparada aos outros dois grupos. O CP1 desse grupo explica 30,30% da variância e tem contribuição de quase os mesmos parâmetros citados no CP1 dos demais grupos (Col. term.,  $P_T$ , OD, SST, ST,  $T_{H_2O}$  e Turb.) Já o CP2 explica 16,60% da variância e tem contribuição do cloreto total, fenóis totais e nitrato. Para o CP3 (14,20% da variância) a contribuição é do CE e do pH. E para o CP4 (8,44%) a contribuição é do ferro dissolvido. Diferente dos demais grupos, o grupo 8 só apresentou as maiores correlações (valores em negrito) até o quarto CP. Já as cargas fortes (maiores que 0,75 – valores em negrito e sublinhados) só foram encontradas até o terceiro CP.

**Tabela 4: Resultado da ACP com as cargas obtidas para cada CP no grupo 8**

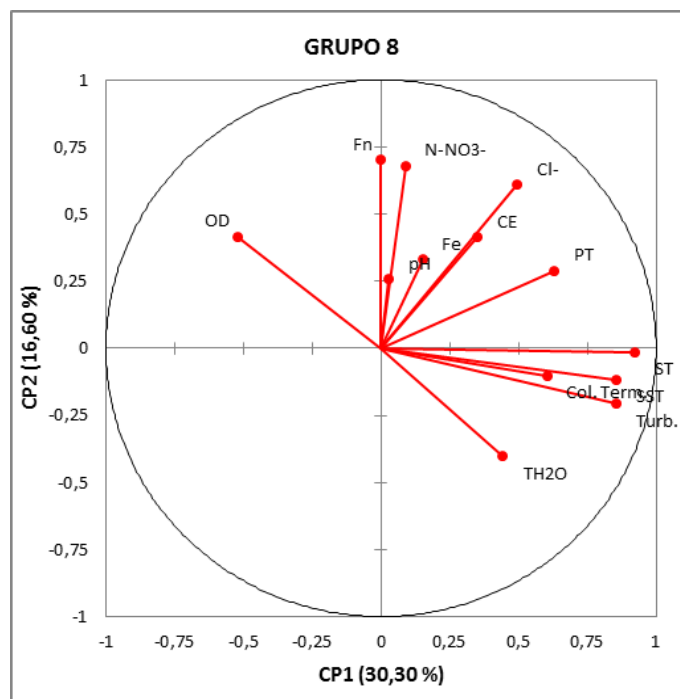
PARÂMETROS	CARGAS FATORIAIS - Grupo 8							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
$Cl_T$	0,495	<b>0,609</b>	0,027	-0,040	0,072	-0,394	-0,110	0,369
Col. term.	<b>0,602</b>	-0,102	-0,326	0,257	0,270	0,399	0,249	0,366
CE	0,351	0,415	<b>0,627</b>	0,104	-0,304	0,204	-0,256	-0,006
$Fen_T$	-0,002	<b>0,702</b>	-0,330	-0,268	0,296	0,186	0,187	-0,306
$Fe_{diss}$	0,151	0,332	0,177	<b>0,706</b>	0,488	-0,113	-0,132	-0,215
$P_T$	<b>0,627</b>	0,290	0,266	-0,053	-0,080	-0,296	0,507	-0,054
$N^+NO_3^-$	0,090	<b>0,679</b>	-0,420	-0,325	0,054	0,135	-0,286	0,072
OD	<b>-0,522</b>	0,416	-0,364	0,131	-0,419	-0,105	0,131	-0,022
pH	0,027	0,257	<b>0,803</b>	-0,227	0,008	0,289	0,164	0,019
SST	<b>0,857</b>	-0,116	-0,313	-0,032	-0,178	0,027	-0,021	-0,137
ST	<b>0,921</b>	-0,013	-0,015	0,092	-0,219	0,070	-0,126	-0,082
$T_{H_2O}$	<b>0,443</b>	-0,402	0,170	-0,511	0,409	-0,180	-0,133	-0,054
Turb.	<b>0,856</b>	-0,208	-0,232	0,032	-0,192	0,004	-0,024	-0,160
Autovalores	3,939	2,157	1,845	1,097	0,965	0,642	0,609	0,474
% da variância explicada	30,30	16,60	14,20	8,44	7,42	4,94	4,69	3,64
% acumulada de variância	30,30	46,90	61,09	69,53	76,95	81,89	86,58	90,22

Considerando os parâmetros correlacionados com cada CP, pode-se verificar uma semelhança entre os dois primeiros CP entre todos os grupos testados. Em ambos os grupos, o CP1 diz respeito à poluição das águas devido ao esgoto doméstico, conforme influência dos parâmetros já descritos anteriormente. Essa similaridade entre os CP formados indica que o lançamento de esgoto doméstico é a principal fonte de poluição em todas as estações de monitoramento na bacia utilizada como forma de agrupamento na AC. O CP2 de todos os grupos analisados pode representar a contaminação por efluente industrial, pelo fato de todos estarem relacionados com fenóis totais.

O CP5 dos grupos 6 e 7 e o CP4 do grupo 8 indicam que as estações de monitoramento também apresentam altos valores de ferro dissolvido na água, o que pode indicar impactos de atividades minerárias e/ou processos erosivos. Dessa forma, pode-se observar que a bacia do rio Paracatu é afetada por lançamento de esgoto doméstico, indústria, mineração e agricultura.

A Figura 6 apresenta a projeção das variáveis em relação aos dois primeiros CP. Como já foi explicado para os demais grupos, quanto menor é o ângulo entre o vetor de peso e o eixo do Componente Principal, maior é a

importância do parâmetro correspondente. Pode-se concluir que a maioria dos parâmetros apresentados se relaciona positivamente com o CP1 em relação ao grupo 8, exceto para o oxigênio dissolvido, que se relaciona negativamente com o CP1 e positivamente com o CP2.



**Figura 6:** Gráficos das cargas dos dois primeiros Componentes Principais (CP1 x CP2) do grupo 8

Um fato interessante que pôde ser observado nos gráficos de carga de todos os grupos analisados na ACP é a relação inversa do oxigênio dissolvido com a temperatura da água. Esse é um processo natural, que já era esperado, pelo fato de que águas quentes ficam saturadas mais facilmente com o oxigênio, e, dessa forma, elas possuem menor quantidade de oxigênio dissolvido.

## CONCLUSÕES

Nesse estudo foi possível observar e agrupar as estações de monitoramento por suas similaridades e dissimilaridades, observando uma maior similaridade entre as estações próximas geograficamente umas das outras. Os resultados demonstraram que a bacia do rio Paracatu é afetada principalmente por lançamento de esgoto doméstico, efluentes industriais, mineração e agricultura, não necessariamente nessa ordem. Esse resultado corrobora alguns estudos sobre a bacia do rio Paracatu, que indicam a agricultura como atividade econômica principal realizada na mesma, presença de grande atividade minerária próxima à região urbana da cidade de Paracatu e baixos índices de coleta e tratamentos adequados de esgoto na região.

Todavia, recomenda-se que mais estudos sobre qualidade das águas sejam realizados na bacia do rio Paracatu, uma vez que essa bacia hidrográfica é bastante carente de estudos desse tipo e o monitoramento da qualidade das águas necessita de estudos como esse para sua melhor adequação à região monitorada.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e, principalmente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo constante apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF. 2005.
2. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas. 2009. Disponível em <[http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede\\_avaliacao.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_avaliacao.aspx)>. Acesso em: 20 set. 2013.
3. BARBOSA, T. B. C. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais da sub-bacia do rio Paracatu em função do Uso e Ocupação do Solo. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
4. BECHINI, L.; CASTOLDI, N. On-farm monitoring of economic and environmental performances of cropping systems: Results of a 2-year study at the field scale in northern Italy. *Ecological Indicators*, v. 9, n. 6, p. 1096-1113, 2009 apud SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology. Maringá*, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.
5. BOYACIOGLU, H.; BOYACIOGLU, H. Investigation of Temporal Trends in Hydrochemical Quality of Surface Water in Western Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, v. 80, p. 469–474, 2008.
6. BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 73, p. 907-913, 2010.
7. IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais. Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico. Belo Horizonte. Relatório Trimestral, 3º trimestre de 2013.
8. LAMPARELLI, Marta Condé. Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
9. LIU, Cheng-Wuing; LIN, Kao-Hung; KUO, Yi-Ming. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of Total Environment*, n. 313, p. 77-89, 2003.
10. MADRID, F.; BIASIOLI, M.; AJMONE-MARSAN, F. Availability and Bioaccessibility of Metals in Fine Particles of Some Urban Soils. *Archives of Environmental Contaminant Toxicology*, v. 55, n. 1, p. 21-32, 2008 apud SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology. Maringá*, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.
11. MELO, M. C. A.; ASSUNÇÃO, W. L. Bacia do Rio Paracatu: Regime Pluviométrico X Consumo de Água por Pivô Central. 26 p. 2011.
12. MINGOTI, S. A. Análise de Dados através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
13. NONATO, E. A.; VIOLA, Z. G. G.; ALMEIDA, K. C. B.; SCHOR, H. H. R. Tratamento Estatístico dos Parâmetros da Qualidade das Águas da Bacia do Alto Curso do rio das Velhas. *Quim. Nova*. Vol. 30, Nº4, 797-804, 2007.
14. SANTOS, N. A. P.; CAMARGOS, L. de M. M.; SERPA, C. F. O uso de técnicas de geoprocessamento como subsídio para a elaboração de propostas de enquadramento dos corpos de água: o caso da bacia hidrográfica do rio Paracatu. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3533-3540.
15. SANTOS, I. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes -AM. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 2, p. 229-236, 2006 apud SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology. Maringá*, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.
16. SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum. Technology. Maringá*, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.
17. TRINDADE, A. L. C. Aplicação de Técnicas Estatísticas para Avaliação de Dados de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais da Porção Mineira da Bacia do Rio São Francisco. 2013. 165f.

- Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
18. VASCONCELOS, V. V.; JUNIOR, P. P. M.; HADAD, R. M. Caracterização Ambiental da Bacia do Rio Paracatu. Projeto Sistemas de Arquitetura de Conhecimentos e de Auxílio à Decisão na Gestão Geo-ambiental e Econômica da Bacias Hidrográficas e Propriedades Rurais. Universidade Federal de Ouro Preto e Fundação CETEC: Junho de 2012.
  19. VICINI, Lorena. Análise multivariada da teoria à prática. 2005. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.