ANÁLISE MULTIVARIADA DE VARIÁVEIS QUALITATIVAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Liane Yuri Kondo Nakada [1] *& Rodrigo Braga Moruzzi* [2]

Resumo – O presente estudo teve como objetivo realizar análise por componentes principais (ACP) de variáveis qualitativas de águas pluviais. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi composto por 5 fatores, sendo que os dois primeiros fatores explicam 58,89% da variabilidade dos dados. As coletas de águas pluviais foram realizadas nas dependências do Centro de Estudos Ambientais (CEA), unidade complementar da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situada no campus de Rio Claro. Para o estudo foram utilizadas amostras de 25 precipitações, coletadas entre março de 2010 e janeiro de 2011. Foi avaliada a existência de inter-relação entre cor aparente (uH); turbidez (UT); pH; coliformes totais e *E. Coli* (NMP/100mL); sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis (mg/L); períodos de estiagem; e volumes precipitados. De acordo com os resultados da ACP o primeiro fator explica 36,11% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis indicativas da deposição de sólidos durante o período de estiagem; o segundo fator explica 22,78% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis indicativas de decomposição de matéria orgânica de origem vegetal.

Abstract – The aim of the present study was to do a Principal Component Analysis (PCA) for quality variables of rainwater. The model which better fitted to the data was composed by 5 Principal Components, and the two first Principal Components explained 58,89% of the variance of the data. The rainwater samples were taken from the buildings of the Environmental Studies Centre, complementary unit of the São Paulo State University, located in Rio Claro. For the present study, there were taken samples of 25 rain events, harvested from March 2010 to January 2011. The study evaluated the existence of inter-relation among apparent color (uH); turbidity (UT); pH; Total Coliforms and *E.Coli* (MPN/100mL); Total Solids, Total Suspended Solids, Fixed Suspended Solids, Volatile Suspended Solids, Total Dissolved Solids, Fixed Dissolved Solids and Volatile Dissolved Solids (mg/L); Days without rain and Volume of rainfall. According to PCA results, the first Principal Component explains 36,11% of data variance and it is related to variables which indicates deposition of solids during the dry period; the second Principal Component explains 22,78% of data variance and it is related to variables which indicates the decomposition of organic matter from vegetal sources.

Palavras-Chave – Água de chuva, qualidade, análise de componentes principais.

[1] Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Avenida 24-A, 1515, CEP 13506-900 Bela Vista , Rio Claro – SP
e-mail: lianenakada@gmail.com (19) 9135-2094
[2] Professor Assistente Doutor em Regime de Dedicação Integral à Docência e à Pesquisa da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP campus Rio Claro, Avenida 24 A, 1515 CEP 13506-900 Bela Vista, Rio Claro/SP
e-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br (19) 3526-9339

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Historicamente, o crescimento populacional desordenado, a ampliação do setor industrial, a poluição, o desperdício, as perdas no sistema de abastecimento de água e a ausência de políticas públicas de incentivo ao uso racional, contribuíram para o aumento da demanda por água. Apenas recentemente, órgãos governamentais e agências não-governamentais de diversos países começaram a incentivar o uso racional da água.

Segundo Mancuso e Santos (2003), e ANA (2005), a "substituição de fontes de abastecimento" é uma boa alternativa para atender aos usos menos restritivos e à política de gestão proposta pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas de 1958, que defende o uso de águas de melhor qualidade para usos mais nobres.

De acordo com ANA (2005), a água pluvial pode ser aproveitada desde que haja controle de sua qualidade e verificação da necessidade de tratamento específico, de modo que não comprometa a saúde de seus usuários, nem a vida útil dos sistemas envolvidos, e salienta que o uso negligente de fontes alternativas de água ou a falta de gestão dos sistemas alternativos pode colocar em risco o consumidor e as atividades nas quais a água é utilizada, pelo uso inconsciente de água com padrões de qualidade inadequados.

Dada a especificidade qualitativa das precipitações, é reforçada a idéia da necessidade de estudo de cada precipitação coletada, com o intuito de verificar a adequação de sua qualidade aos usos desejados, e a necessidade de tratamento.

De um modo geral, análises multivariadas fazem referência a todos os métodos estatísticos que, simultaneamente, analisam múltiplas medidas sobre cada objeto sob investigação. Qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis, de certo modo, pode ser considerada análise multivariada (HAIR *et al*., 1998).

Dentre as técnicas multivariadas encontra-se a análise por componentes principais, a qual constitui uma análise fatorial, na qual os fatores são baseados na variância total, e é considerada uma abordagem estatística que pode ser usada para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns, os fatores (HAIR *et al.*, 1998).

Tendo em vista os potenciais benefícios do aproveitamento de águas pluviais a partir do controle da qualidade e da verificação da necessidade de tratamento das águas pluviais coletadas, é proposto o presente trabalho, com o intuito de identificar as variáveis físico-químicas e microbiológicas que mais influenciam a variabilidade da qualidade das águas pluviais coletadas, e estudar as inter-relações entre essas variáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado nas dependências do Centro de Estudos Ambientais (CEA), unidade complementar da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), situado no município de Rio Claro - SP.

O município de Rio Claro se localiza a 173 km a noroeste da capital do estado de São Paulo, estende-se por uma área de 498 km² e abriga os biomas de Cerrado e Mata Atlântica, e a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, a qual possui 2.230,53 hectares com a maior variedade de espécies de eucalipto do Brasil. Rio Claro pertence à bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, que se estende por aproximadamente 1710 km².

Para coletar águas pluviais com diferentes volumes (mm) e períodos de estiagem (dias), foi utilizado um telhado com telhas cerâmicas, com área projetada de aproximadamente 10m² e um reservatório com capacidade para 200L, disposto de modo a receber a água coletada pela calha após escoar sobre a superfície do telhado. A Figura 1 ilustra o reservatório utilizado para as coletas.

Figura 1: Reservatório utilizado para coletar águas pluviais escoadas por telhado cerâmico

Foram coletadas precipitações entre março de 2010 e janeiro de 2011, sendo utilizadas amostras de 25 precipitações, que foram submetidas às análises dos parâmetros recomendados pela ABNT - NBR 15527/2007, os quais são: cor aparente (uH), turbidez (UT), pH, coliformes totais e E.Coli (NMP/100mL). Para as 25 precipitações estudadas também foram realizadas as análises de sólidos totais (mg/L), sólidos suspensos totais (mg/L), sólidos suspensos fixos (mg/L), sólidos suspensos voláteis (mg/L), sólidos dissolvidos totais (mg/L), sólidos dissolvidos fixos (mg/L) e sólidos dissolvidos voláteis (mg/L). Todas as análises seguiram os procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water & Wastewater 21st.

A partir dos resultados das variáveis qualitativas das amostras de águas pluviais coletadas, dos diferentes volumes e períodos de estiagem precedente, foi realizada a Análise de Componentes

Principais com a utilização do suplemento XLStat (ADDINSOFT, 2004) para o software Microsoft Excel (MICROSOFT, 2006).

A Análise de Componentes Principais foi realizada a partir dos dados de uma matriz de 15 linhas/parâmetros por 25 colunas/observações, no tipo R. Foi aplicado o critério de Kaiser (1958), de modo a extrair apenas autovalores maiores que 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas mais relevantes para o modelo de análise de componentes principais.

Tabela 1: Matriz de correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas, com destaque das correlações mais significativas para o modelo de análise de componentes principais

	Vol	Dias	Cor	Turbidez	ST	SST	SDT	STF	SSF	SDF	STV	SSV	SDV	pH	ºC	Col. Totais	E. Coli
Vol	1																
Dias	-0,035	1															
Cor	-0,157	**0,594**	1														
Turbidez	-0,080	**0,832**	**0,889**	1													
ST	0,103	0,244	**0,590**	**0,463**	1												
SST	-0,164	**0,487**	**0,872**	**0,659**	**0,643**	1											
SDT	0,227	0,023	0,236	0,200	**0,892**	0,228	1										
STF	0,200	0,092	0,346	0,271	**0,884**	0,379	**0,900**	1									
SSF	-0,149	**0,489**	**0,866**	**0,655**	**0,616**	**0,994**	0,198	0,357	1								
SDF	0,270	-0,085	0,045	0,044	**0,715**	0,033	**0,889**	**0,936**	0,007	1							
STV	-0,208	0,317	**0,512**	**0,403**	0,295	**0,555**	0,047	-0,173	**0,548**	-0,391	1						
SSV	-0,193	**0,451**	**0,834**	**0,629**	**0,669**	**0,951**	0,290	**0,407**	**0,912**	0,093	**0,548**	1					
SDV	-0,179	0,226	0,334	0,271	0,137	0,349	-0,032	-0,315	0,351	**-0,469**	**0,969**	0,326	1				
pH	0,041	0,038	-0,085	-0,008	-0,047	0,017	-0,070	-0,084	0,033	-0,102	0,079	-0,026	0,097	1			
ºC	0,292	-0,319	-0,195	-0,307	0,233	-0,035	0,317	0,309	-0,035	0,344	-0,210	-0,038	-0,226	-0,290	1		
Col. Totais	-0,013	0,102	0,092	0,090	0,265	0,103	0,276	0,278	0,081	0,267	-0,022	0,155	-0,071	0,324	-0,062	1	
E. Coli	-0,305	-0,175	0,168	0,058	0,130	0,025	0,150	0,145	-0,021	0,163	0,003	0,162	-0,044	0,066	-0,268	0,249	1

Vol (mm) – volume; Dias – Período de estiagem precedente à coleta; Cor (uH) – Cor Aparente; Turbidez (UT); ST ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Totais; SST ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Suspensos Totais; SDT ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Dissolvidos Totais; STF ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Totais Fixos; SSF ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Suspensos Fixos; SDF ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Dissolvidos Fixos; STV ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Totais Voláteis; SSV ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Suspensos Voláteis; SDV ($mg.L^{-1}$) – Sólidos Dissolvidos Voláteis; pH; ºC (graus Celsius) – Temperatura da água; Col. Totais (NMP em 100mL) – Coliformes Totais; E. Coli (NMP em 100mL) – Coliformes Termotolerantes *E. Coli.*

A partir da observação da Tabela 1 é possível notar elevado coeficiente de correlação entre período de estiagem e turbidez, o que pode ser explicado por estudo realizado por Yaziz *et al.*(1989), no qual os autores concluíram que a deposição de poluentes provenientes da atmosfera nas superfícies dos telhados durante o período seco exerce grande influência sobre a qualidade das águas escoadas por essas superfícies, sendo que quanto maior o período de estiagem, maior a quantidade de poluentes depositados nas superfícies dos telhados. Também é possível observar elevados coeficientes de correlação entre cor aparente e turbidez; cor aparente e sólidos suspensos totais; cor aparente e sólidos suspensos fixos; cor aparente e sólidos suspensos voláteis. De acordo

com Von Sperling (2005), na análise de cor aparente pode estar incluída uma parcela devida à turbidez, a qual é constituída, principalmente, por sólidos em suspensão.

A Tabela 2 apresenta as medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores, aplicado o critério de Kaiser (1958).

Tabela 2: Medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores

	F1	F2	F3	F4	F5
Autovalores	6,139	3,873	1,676	1,373	1,261
% variância explicada	36,113	22,780	9,859	8,074	7,416
% acumulada da variância	36,113	58,893	68,752	76,826	84,242

Ao observar a Tabela 2 é possível notar que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi aquele composto por 5 fatores, com autovalores característicos superiores à 1, de modo a explicar 84,24% da variância total das variáveis originais. Também é possível verificar que os fatores 1 (F1), 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) e 5 (F5) explicaram, respectivamente, 36,11%; 22,78%; 9,85%; 8,07% e 7,41% da variância total, concentrando em 5 dimensões 84,24% das informações.

Na Tabela 3 são apresentados os pesos dos fatores das matrizes rotacionadas VARIMAX.

Tabela 3: Pesos dos fatores após rotação VARIMAX

	F1	F2	F3	F4	F5
Vol	-0,126	0,261	**-0,742**	0,131	0,114
Dias	**0,836**	-0,157	-0,218	0,069	0,191
Cor	**0,902**	0,178	0,178	-0,211	-0,046
Turbidez	**0,926**	0,040	0,001	-0,013	0,116
ST	0,447	**0,859**	0,019	-0,210	0,025
SST	**0,814**	0,258	0,102	-0,375	-0,085
SDT	0,088	**0,940**	-0,036	-0,045	0,082
STF	0,268	**0,926**	0,006	0,216	0,012
SSF	**0,813**	0,228	0,061	-0,373	-0,086
SDF	-0,018	**0,906**	-0,017	0,371	0,045
STV	0,370	-0,086	0,057	**-0,899**	0,055
SSV	**0,763**	0,317	0,215	-0,361	-0,074
SDV	0,195	-0,190	0,001	**-0,910**	0,084
pH	-0,051	-0,082	-0,076	-0,144	**0,818**
ºC	-0,293	0,494	-0,347	-0,043	-0,475
Col. Totais	0,049	0,326	0,165	0,049	**0,670**
E. Coli	-0,038	0,180	**0,828**	0,059	0,215

A partir da observação da Tabela 3 é possível considerar que o fator 1 (F1) é influenciado, principalmente, pelas variáveis qualitativas cor aparente (uH), turbidez (UT), sólidos suspensos – totais, fixos e voláteis ($mg.L^{-1}$) e pelo período de estiagem; o fator 2 (F2) é principalmente influenciado pelas variáveis sólidos totais ($mg.L^{-1}$), sólidos dissolvidos - totais e fixos ($mg.L^{-1}$); o fator 3 (F3) sofre influências significativas do volume precipitado (mm) e da variável qualitativa

E.Coli (NMP em 100mL); o fator 4 (F4) é fortemente influenciado pelas variáveis qualitativas sólidos voláteis – totais e dissolvidos ($mg.L^{-1}$); o fator 5 (F5) sofre maiores influências pelas variáveis qualitativas pH e coliformes totais (NMP em 100mL).

Ao observar as Tabelas 2 e 3 é possível verificar que o fator 1 (F1) explica 36,11% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis indicativas da deposição de sólidos durante o período de estiagem; o fator 2 (F2) explica 22,78% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis indicativas de decomposição de matéria orgânica de origem vegetal, no caso de águas pluviais, pode estar associado à presença de vegetação nos arredores do local de coleta; o fator 3 (F3) explica 9,85% da variabilidade dos dados e está associado com uma variável indicativa de contaminação fecal e com o volume precipitado, a contaminação pode estar relacionada à presença de aves nos arredores do local de coleta e o volume precipitado pode ocasionar o fenômeno da diluição; o fator 4 (F4) explica 8,07% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis indicativas de presença de matéria orgânica, a qual pode ser proveniente da vegetação dos arredores do local de coleta;o fator 5 (F5) explica 7,41% da variabilidade dos dados e está associado com pH e com coliformes totais, o que indica presença de organismos de vida livre que podem apresentar diferentes resistências às variações de pH das águas pluviais.

A Figura 2 apresenta um gráfico do primeiro fator *versus* segundo fator, para possibilitar uma visualização mais detalhada dos dados, considerando as indicações de Moita Neto e Moita (1998) de que um gráfico do primeiro fator *versus* o segundo fator oferece uma janela estatisticamente privilegiada para a observação dos dados.

A partir da observação da Figura 2 é possível visualizar 4 agrupamentos de variáveis, sendo que as variáveis foram agrupadas em função das correlações apresentadas entre si. A partir da observação da Figura 2 é possível verificar um agrupamento com variáveis que indicam deposição de sólidos durante período de estiagem; um agrupamento com variáveis que indicam decomposição de matéria orgânica de origem vegetal; um agrupamento que indica presença de matéria orgânica; um agrupamento que sugere que a presença de organismos de vida livre e a contaminação fecal são influenciados pelo pH, pela temperatura e pelo volume precipitado.

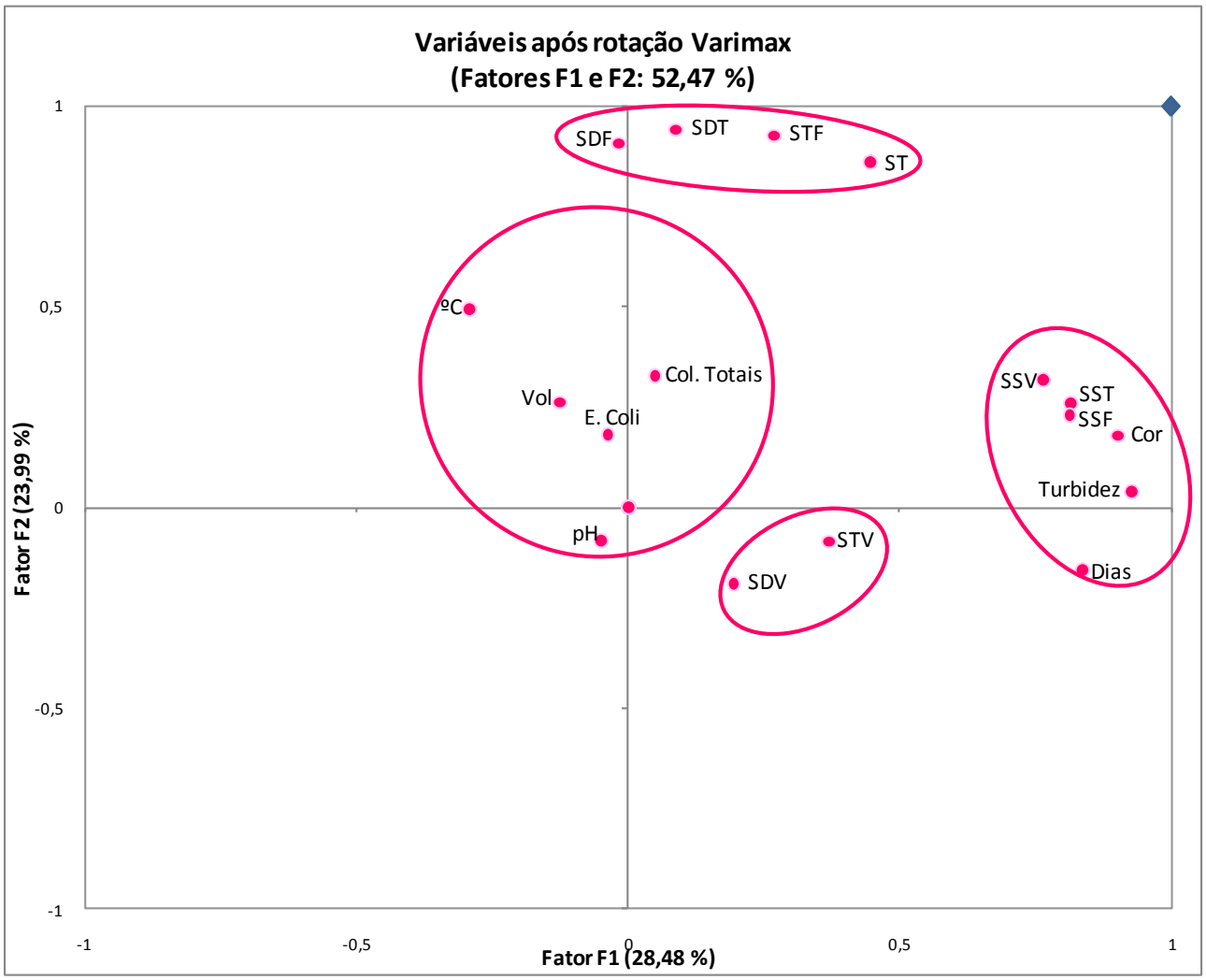

Figura 2: Gráfico de pesos após rotação VARIMAX para os dois primeiros fatores – F1 e F2

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram a facilidade com que o sistema multivariado (Análise de Componentes Principais) permite extrair informações relevantes, a partir de um conjunto de dados do qual previamente não era possível compreender as relações entre as variáveis. A análise de componentes principais possibilitou a identificação das variáveis físico-químicas e microbiológicas que mais influenciam a variabilidade da qualidade das águas pluviais coletadas, e o estudo das inter-relações entre essas variáveis. Com a geração de um gráfico com agrupamentos de variáveis que são fortemente inter-relacionadas, foram possibilitadas a visualização e a compreensão do comportamento das variáveis estudadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de mestrado.

BIBLIOGRAFIA

ADDINSOFT. XLStat 2010. Copyright © Addinsoft, 1995-2010

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2005). *Conservação e reuso da água em edificações.* MMA/ ANA/ SINDUSCON/ COMASP/ FIESP/ SESI/ SENAI/ IRS. 152 p.

AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION – AWWA (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st, Denver, CP: AWWA.

HAIR, J.F.; TATHAM, R.L.; ANDERSON, R.E.; BLACK, W. (1998). *Análise Multivariada de Dados.* Bookman Porto Alegre – RS, 688p.

KAISER, H.F. (1958). *"The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis"*. Psychometrika 23, pp.187–200.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (2003). *A escassez e o reuso de água em âmbito mundial*. Manole São Paulo – SP, 550p.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Office Excel 2007, 2006.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. (1998). **"***Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados".* Química Nova 21 (4), PP. 467 – 469.

VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. UFMG Belo Horizonte – MG, 452p.

YAZIZ, M.I.; GUNTING, H.; SAPARI, N.; GHAZALI, A. W. (1989). *"Variations in rainwater quality from roof catchments"*. Water Research 23 (6), pp. 761 – 765.