

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ETES DA REGIÃO METROPOLITANA DO GRANDE RECIFE UTILIZANDO ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Luiz Carlos Zoby Júnior¹; Danielle Pires de Souza²; Tarsila Maira Nogueira de Paiva; Ana Maria Ribeiro Bastos da Silva³, Maria do Carmo Lourenço da Silva⁴ & Maurício Alves da Motta Sobrinho⁵

RESUMO – O tratamento de esgotos é importante a fim de que as águas recebam o seu devido tratamento para que retornem aos rios e fontes sem afetarem o meio ambiente. A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de análise multivariada baseada nas combinações lineares das variáveis originais. O novo conjunto de variáveis, denominadas componentes principais, são ortogonais entre si e, portanto, não correlacionadas. As primeiras componentes principais explicam a maior parte da variância total contida no conjunto de dados e podem ser usadas para representá-lo. Foram realizadas coletas nas entradas e saídas de duas ETE's do grande Recife e em seguida utilizou-se ACP para avaliar possíveis agrupamentos, dispersões e avaliação das variáveis escolhidas. Os parâmetros avaliados levam a crer que existe uma ineficácia no tratamento dos efluentes e pela ACP foi possível observar estatisticamente quais parâmetros estão influenciando na eficiência do tratamento.

ABSTRACT– The sewage treatment plant is important so that the waters receive their due to treatment that return to rivers and sources without impacting the environment. Principal components analysis (PCA) is a technique of multivariate analysis based on linear combinations of the original variables. The new set of variables, hereinafter referred to as the core components, these are orthogonal to each other and therefore not correlated. The first main components explain most of the total variance in the data set and can be used to represent it. Pick-ups were held at the entrances and exits of two great Recife ETE's and PCA has been used subsequently to assess possible groupings, dispersions and evaluation of selected variables. The parameters evaluated lead to believe that there is a lack of efficacy in the treatment of effluents and ACP was able to observe statistically by which parameters are influencing the efficiency of treatment.

Palavras-Chave – Tratamento de efluente, análise multivariada, Análise por Componentes Principais (ACP).

1. INTRODUÇÃO

1.1- Introdução ao Tratamento de Esgotos Domésticos

A água é um bem precioso no meio-ambiente e um aliado importante no cotidiano de cada cidadão. Toda água eliminada nas residências é chamada esgoto, e quando a mesma não recebe o

1) Doutorando da UFPE, DEQ, Av. Prof. Moraes Rego 1235, 50670-901Recife (81) 2126.8000 e-mail: lczoby@yahoo.com.br

2) Doutoranda da UFPE, DEQ, Av. Prof. Moraes Rego 1235, 50670-901Recife (81) 2126.8000 e-mail: daniellepiress@hotmail.com

3) Doutoranda da UFPE Av. Prof. Moraes Rego 1235, 50670-901Recife (81) 2126.8000 e-mail: amrbsilva@ig.com.br

4) Professora Temporária da UFPE, DEQ, Av. Prof. Moraes Rego 1235, 50670-901Recife (81) 2126.8000 e-mail: mccarmols@yahoo.com.br

5) Professor Adjunto da UFPE, DEQ, Av. Prof. Moraes Rego 1235, 50670-901Recife (81) 2126.8000 e-mail: mottas@ufpe.br

devido tratamento, ela pode poluir rios e fontes, afetando os recursos hídricos e a vida vegetal e animal, ou, causar grandes danos à saúde pública por meio de transmissão de doenças [(Zoby Jr., (2011)].

O uso intensivo da água e o aumento da concentração da poluição resultante ultrapassam a capacidade natural de autodepuração dos corpos hídricos. Quando estes despejos são descarregados nos corpos de água, eles servem de alimento a bactérias que decompõem as substâncias complexas do efluente em simples compostos químicos, consumindo para isto, o oxigênio dissolvido (OD) da água. Quanto mais despejo é agregado, mais as bactérias se reproduzem rapidamente e a população cresce, consumindo mais oxigênio. Se as descargas forem muito altas, o consumo do OD se esgota dentro dos corpos de água receptores. Outro fator a ser considerado é o aumento da concentração de compostos recalcitrantes nos efluentes, os quais são decorrentes da evolução industrial e o aumento da turbidez ocasionada pelos contaminantes, que reduzem a incidência de radiação solar e que proporciona a geração de oxigênio no interior do corpo hídrico, pelas algas. Um dos principais objetivos dos processos de tratamento de esgotos é manter este material consumidor de oxigênio dentro de níveis adequados para os corpos de água receptores, com mínimo risco para a saúde humana [(Zoby Jr., (2011)].

Todos os processos aplicados no tratamento do esgoto, desde quando a água sai das residências até o retorno aos rios, tem como objetivo dispor a mesma tratada ao meio-ambiente, permitindo sua preservação. Além disso, se está se promovendo um benefício à saúde pública [Macedo, (2007)].

Além da necessidade de economia, a reciclagem e a reutilização aparecem como alternativas para uso racional da água [Macedo, (2007)].

1.2- Análise multivariada

Os métodos estatísticos multivariados são ferramentas estatísticas que consideram a correlação de vários resultados analisados simultaneamente, permitindo a extração de uma quantidade maior de informações, muitas vezes impossível quando se analisa variável a variável, podendo utilizar diferentes estratégias para se obter a informação desejada, como a análise de componentes principais (ACP) e a análise por agrupamento hierárquico (HCA), sendo estas as duas técnicas multivariada mais conhecidas [Silva *et al.* (2002); Borges *et al.* (2007)].

A ACP é uma técnica de análise multivariada baseada nas combinações lineares das variáveis originais. O novo conjunto de variáveis, denominadas componentes principais, são ortogonais entre si e, portanto, não correlacionadas. Segundo Moura *et al.* (2006), as primeiras componentes

principais explicam a maior parte da variância total contida no conjunto de dados e podem ser usadas para representá-lo.

A ACP é um método utilizado para projetar dado n-dimensionais em um espaço de baixa dimensão com o mínimo de perda estatística, consistindo essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo. Esta análise separa a informação importante da redundante, reconhece padrões de comportamento, detecta amostras que não se encaixam no modelo, resumidamente, facilita a visualização e a interpretação dos resultados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informações estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante [da Silva *et al.*(2009); Faro Jr *et al.* (2010)].

Do ponto de vista matemático a ACP decompõe uma matriz de dados brutos representada por X, em duas matrizes, uma de escores (“scores”) T e a outra de pesos (“loadings”) LT, ou seja $X=T.LT$, onde os escores são as projeções das amostras na direção das componentes principais (CP), enquanto que os pesos são os cossenos dos ângulos formados entre a componente principal e cada variável original [Sena *et al.* (2000); Borges *et al.* (2007)].

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do tratamento de efluentes em duas ETE’s da região metropolitana do Recife, sendo uma de pequeno porte e a outra de grande porte, através das análises de parâmetros físicos e químicos e empregando como ferramenta estatística a (ACP).

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Foram coletadas amostras na entrada e saída nas estações de tratamento de duas ETE’s da região metropolitana do Grande Recife. As amostras foram acondicionadas sob refrigeração adequada. As análises dos parâmetros de qualidade foram realizadas de acordo com o **Standard Methods** for the Examination of Water and Wastewater (2005).

3.1- Sítios de Estudo, Coleta e Caracterização das Amostras

As amostras de efluente doméstico foram coletadas em duas estações de tratamento de lodos ativados, a ETE Caçote, localizada na zona sul do Recife (latitude: $-8^{\circ}5'56.72''$; longitude: $-34^{\circ}55'32.61''$), e a ETE-Janga, localizada no bairro de mesmo nome no município de Paulista (latitude: $-7^{\circ}92'76.97''$, longitude: $-34^{\circ}84'70.88''$). Na Tabela 1 encontram-se algumas características das estações estudadas. Essas duas estações utilizam o processo de biomassa suspensa do tipo lodo ativado para degradação da matéria orgânica em esgotos sanitários.

A amostra pontual de esgoto bruto foi coletada no tratamento primário (entrada da caixa de areia) para ser usada na caracterização da carga orgânica. Todas as amostras coletadas foram acondicionadas em recipientes limpos e adequados (frasco de polietileno). O transporte das amostras até o laboratório foi realizado em ambiente refrigerado (isopor com gelo) com a finalidade de retardar a decomposição do conteúdo orgânico pelos microrganismos.

Tabela 1 – Características gerais das estações de tratamento estudadas.

ETE	Processo	Carga orgânica (kg DBO/dia)	População (hab)	Vazão (m^3 /dia)
Caçote	Lodo ativado por aeração prolongada	666	12.340	2705
Janga	Lodo ativado por aeração prolongada (valo de oxidação tipo carrossel)	6750	451.900	27.000

Os parâmetros analisados nas amostras de esgoto coletadas na entrada do tratamento primário foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO) Total e Solúvel (filtradas em membranas de vidro e de acetato, com porosidades de 1,20 e $0,45\mu m$, respectivamente), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) esta realizada através do método manométrico, série de sólidos (totais, fixos e voláteis), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF), nitrogênio amoniacal ($N-NH_4$), nitrogênio Kjeldahl (NTK), condutividade, pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido (OD). Todas as análises de caracterização dos parâmetros globais foram executadas de acordo com os procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [(APHA, 1995)]. No Quadro 1 estão apresentados os métodos utilizados.

Quadro 1 - Métodos analíticos utilizados no trabalho, segundo APHA (1995).

Parâmetro	Técnica	Método
DBO	5210 Demanda Bioquímica de Oxigênio	5210B Teste DBO ₅ (método manométrico)
DQO	5220 Demanda Química de Oxigênio	5220C Método titulométrico – Refluxo fechado
Turbidez	2130 Turbidez	2130B Método nefelométrico
Alcalinidade	2320 Alcalinidade	2320B Método da titulação
Condutividade	2510 Condutividade	2510B Método laboratorial
SST	2540 Sólidos	2540B Sólido suspenso total seco a 103-105 °C
SSF e SSV		2540E Sólidos fixos e voláteis (queima a 550 °C)
pH	4500-H+ Valor de pH	4500-H+B Método potenciométrico
NTK	4500-Norg Nitrogênio	4500B Método Macro-Kjeldahl
N amoniacal	4500-NH ₃ Nitrogênio	4500-NH ₃ Método titulométrico
Oxigênio Dissolvido - OD		Método Eletrométrico

3.2- Análise de Dados

Na ACP, os dados devem ser autoescalonados (média zero e variância um) para assegurar que todas as variáveis contribuam igualmente para o modelo, independente da escala. Utiliza-se a técnica da validação cruzada para achar o melhor número de variáveis latentes calculando o número de componentes sem acrescentar ruído, na qual o erro mínimo de previsão é determinado (SENA et al., 2000).

As projeções bidimensionais dos dados nas Componentes Principais (CPs) podem ser examinadas em relações aos objetos através dos gráficos dos escores [(SENA et al., 2000)] e das variáveis através da combinação linear dos pesos [(EGREJA FILHO et al., 1999)].

Os resultados obtidos das análises de caracterização de amostras de efluente sanitário e de efluente tratado compõem um conjunto de dados de características multivariadas. Para facilitar a visualização e a interpretação dos resultados, devido à quantidade de informação, utilizou-se a técnica multivariada de análise de componentes principais (ACP), a partir do programa THE UNSCRAMBLER ® versão 5.0, CAMO ASA 1998. A matriz total dos dados representada no espaço tem, portanto, dimensões de 8 amostras por 16 parâmetros.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na tabela 1 encontram-se os resultados médios dos parâmetros de qualidade das ETE's estudadas.

Tabela 1. Resultados das análises realizadas nas amostras das entradas e saídas das ETE's

PARÂMETROS	CAÇOTE		JANGA	
	Média E	Média S	Média E	Média S
DQO Total (mg/L)	874,73	186,065	249	70,19
DQO Solúvel F1.2 micro (mg/L)	334,93	83,37	71,22	---
DQO Solúvel F0,45 micro (mg/L)	311,705	---	67,41	---
DBO (mg/L)	447,56	86,65	41,6	19,9
Sólidos totais (mg/L)	982,75	601,25	553,5	542,75
Sólidos fixos (mg/L)	510,5	415,5	356	347,5
Sólidos voláteis (mg/L)	472,25	185,75	197,5	195,25
SSV (mg/L)	281,44	105,625	63,75	10,75
SSF (mg/L)	28,435	30,625	28,5	13,5
SST (mg/L)	309,875	136,25	92,25	24,25
NTK (mg/L)	306,945	103,1	87,225	39,245
N-NH3 (mg/L)	126,065	66,885	47,225	19,095
Condutividade (µS/cm)	1086,5	864	573	560
pH	8,085	6,365	8,145	8,27
OD	8,15	8,05	4,05	5,3
Alcalinidade (mg Ca/L)	0,27426	0,1772	0,114795	0,093143

(F1,20 = filtrada em membrana de porosidade 1,20 µm; F0,45 = filtrada em membrana de porosidade 0,45 µm)

Os dados obtidos na análise de caracterização das amostras de esgoto sanitário da ETE Caçote e da ETE Janga foram utilizados para a ACP. A matriz total dos dados representada no espaço tem as seguintes dimensões: 8 amostras e 16 variáveis e foi obtido um modelo satisfatório com 2 componentes principais (CP), visto que sua variância total foi de 78 %, das variáveis originais, onde pela análise das CP, a CP1 e a CP2 explica respectivamente 64 % e 14% dessa variância. A Tabela 2 contém os valores dos pesos dos parâmetros nas respectivas CP's, onde em negrito encontram-se os maiores valores dos parâmetros e a CP que é mais influenciada por eles.

Tabela 2. ACP dos dados das ETE's

PARÂMETROS	CP1 (64%)	CP2 (14%)
DQO Total (mg/L)	0,312	0,12
DQO Solúvel F1,2 micro (mg/L)	0,25	-0,033
DQO Solúvel F0,45 micro (mg/L)	0,219	-0,125
DBO (mg/L)	0,272	0,235
Sólidos totais (mg/L)	0,307	-0,048
Sólidos fixos (mg/L)	0,217	-0,333
Sólidos voláteis (mg/L)	0,306	0,129
SSV (mg/L)	0,281	-0,185
SSF (mg/L)	0,104	-0,015
SST (mg/L)	0,278	-0,176
NTK (mg/L)	0,311	0,037
N-NH3 (mg/L)	0,271	0,152
Condutividade (µS/cm)	0,282	-0,012
pH	3,79E-02	0,546
OD	8,70E-02	-0,594
Alcalinidade (mg Ca/L)	0,24	0,207

- Análise da CP 1 e CP 2.

A Figura 1 apresenta os escores das amostras na CP1 x CP2 caracterizando 78% das amostras de acordo com os parâmetros físico-químicos.

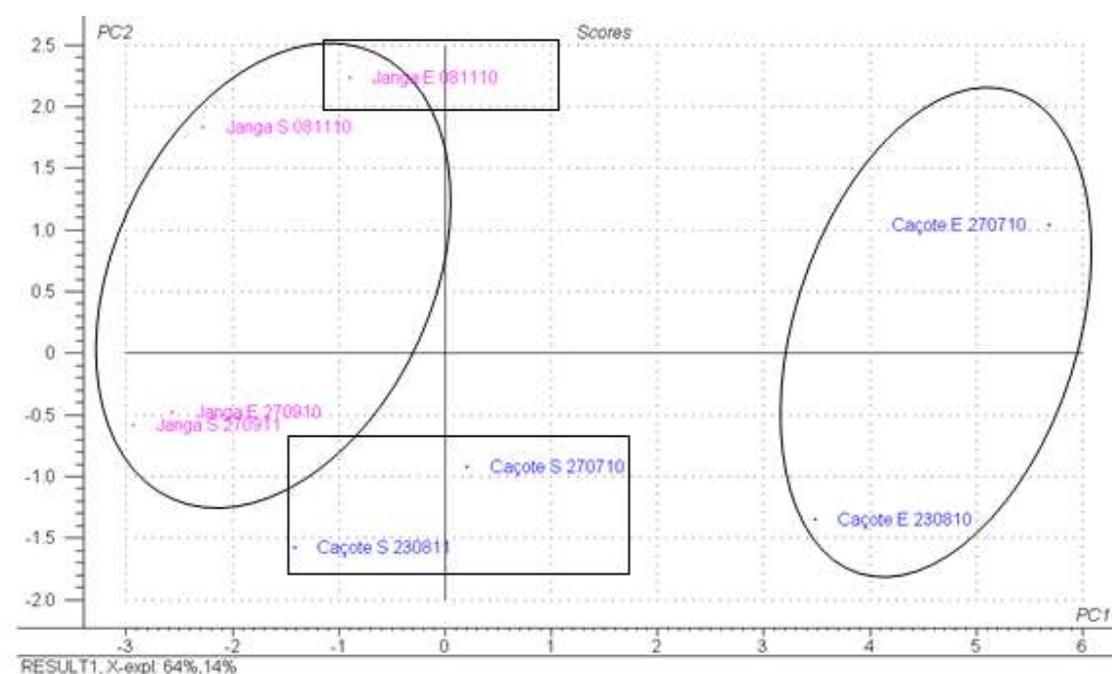


Figura 1: Escores das amostras das CP1 e CP2 com os valores da tabela 1

A variabilidade total é correspondida por 64% da CP1, visualizado pela figura 1. Os valores encontrados na tabela 2 apresentaram as correlações mais fortes que nesse caso é: DQOT (0,312),

NTK (0,311), Sólidos totais (0,307), Sólidos voláteis (0,306), alcalinidade (0,282), SSV (0,281), SST (0,278), DBO (0,272), DQOF1,20 (0,25), DQOF0,45 (0,219), Condutividade (0,208) e SSF (0,104). Foi possível observar pela figura 1 que os resultados da ACP apresentam-se coerente, visto que a amostra da entrada (à direita) possui maior valor dos seus parâmetros. Enquanto que a amostra da entrada da ETE Janga apresentou menores valores dos seus os parâmetros em comparação com a ETE Caçote.

A CP 2 é correspondida por 14% da variabilidade total, visualizado pela figura 1. Os valores encontrados na tabela 2 apresentaram as correlações mais fortes que nesse caso são: pH (0,546), Sólidos fixos (-0,333) e OD (-0,594). Mostrando que as amostras da ETE Caçote do mês de agosto possui os maiores valores de sólidos fixos, OD e pH menor. Enquanto que as amostras da ETE Janga do mês de novembro apresentou valores inversos em relação a ETE Caçote.

5. CONCLUSÕES

Os parâmetros avaliados mostraram que as ETE's da Região Metropolitana do Recife estão com alguns parâmetros fora de especificação, levando a crer que existe uma ineficácia no tratamento dos efluentes, mesmo sendo de pequeno porte a ETE Caçote recebe uma carga orgânica maior que a ETE Janga.

Para se avaliar melhor as ETE's será necessário mais coletas para que possamos ter um diagnóstico mais eficiente dos resultados.

Pela ACP foi possível observar estatisticamente quais parâmetros estão influenciando na eficiência do tratamento e sendo assim propor um reajuste de modo que os mesmos sejam tratados adequadamente.

6. REFERÊNCIAS

a) Livros

APHA: *American Public Health Association*. (2005), "*Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*", 21^a ed, New York

MACEDO, J. A. B. de, (2007), "*Águas & Águas*". 3^a ed. Belo Horizonte – MG.

b) Artigo em revista

BORGES, E. C. L.; MOZETO, A. A.; NEVES, E. F. A.; BORGES NETO, W.; BEZERRA, J. M.; (2007). “Estudo da capacidade de complexação e sua relação com algumas variáveis ambientais em cinco represas do Rio Tietê/Brasil”. *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 7, pp.1505-1511

DA SILVA, R. L. G. DO N. P.; SILVA, F. L. DO N.; DOS SANTOS JR., J. R.; MOITA NETO, J.; FLUMIGNAN, D. L.; DE OLIVEIRA, J. E.; (2009). “*Determinação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos em gasolina comercializada nos postos do estado do Piauí*”. *Química Nova* Vol. 32, No. 1, pp.56-60,

DE MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C. ; MOITA, G. C. ; MOITA NETO, J. M.; (2006). “*Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina*”. *Química Nova* Vol. 29, No. 3, pp.429-435.

EGREJA FILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P. & NETO, J.T.P. “*Avaliação quimiométrica da distribuição de metais em composto de lixo urbano domiciliar*”. *QUÍMICA NOVA, SBQ*, V. 22, N. 3, MAI-JUN. 1999.

FARO JR., A. DA C.; RODRIGUES, V. DE O.; EON, J.-G.; ROCHA, A. S.; (2010). “Análise por componentes principais de espectros nexafs na especiação do molibdênio em catalisadores de hidrotratamento”. *Química Nova*, Vol. 33, No. 6, pp.1342-1347.

SENA, M. M.; POPPI, R. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; (2000), *Química Nova*, 23, pp.547.

SILVA, F. V.; KAMOGAWA, M. Y.; FERREIRA, M. M. C.; NÓBREGA, J. A.; NOGUEIRA, A. R. A.; (2002). *Eclética Química*, 27, pp.91.

c) Dissertação

ZOBY JR., L. C. (2011). “*Aplicação do Modelo ASM1 na Simulação das Condições Operacionais de uma Estação de Tratamento de Efluentes por Lodo Ativado*”. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO UFPE.