

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS DE POÇOS ARTESIANOS DE ÁREAS URBANAS DE GOIÂNIA E APARECIDA DE GOIÂNIA

MENDONÇA, Ellen Cristina de Castro Nogueira¹

SOUZA, Paulo Sérgio de²

Resumo

Uma matriz contendo 53 amostras de águas de poços artesianos coletadas em áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia, em diferentes épocas do ano de 2003, das quais foram considerados 15 parâmetros físico-químicos, foi analisada através do método PCA - Análise de Componentes Principais, objetivando a classificação da qualidade da água nessas regiões. A primeira análise da matriz classificou as amostras em três categorias com uma porcentagem de 70,35% para as três primeiras componentes principais. Ao analisar o gráfico dos “loadings”, que expressa a importância e a correlação entre as variáveis, notou-se que as variáveis de menor peso para a classificação das amostras foram temperatura ambiente e O₂ Consumido. Procedeu-se, então, a retirada dessas duas variáveis e uma nova rodagem da matriz, que dividiu as amostras em três categorias, com uma porcentagem de 79,7% para as três primeiras componentes principais. A classe 1, conteve todas as amostras de Jardim Goiás/ Goiânia e de Aparecida de Goiânia, representou as águas de maior qualidade por terem pH neutro e demais variáveis com valores dentro dos parâmetros legais. A classe 2 foi considerada de baixa qualidade devido principalmente aos altos valores de contagem de bactérias e a classe 3 também foi considerada de baixa qualidade devido ao seu aspecto “sujo”, ou seja, altos valores de cor aparente, turbidez e ferro total. A essas duas classes pertenceram a maioria das amostras do Centro e Setor Oeste de Goiânia sendo, portanto, os dois setores que apresentam maior susceptibilidade de contaminação antrópica de seus aquíferos.

Palavras-chave: Análise de Componentes Principais. Poços Artesianos. Aquífero Subterrâneo.

Abstract

In this experiment a matrix containing 53 samples of water from artesian wells collected in different periods along the year 2003, in urban areas of Goiânia and Aparecida de Goiânia was analyzed. 15 chemical and physical parameters of such samples was considered and the analysis was conducted through the method called Main Component Analysis, aiming at the classification of water quality in these regions. The first running of the matrix classified the samples in three categories with an percentage of 70,35% for the three first main components. By analyzing the graphic of loadings which expresses the importance and co-relation among the variables, it was noticed that the least important variables for the classification of the samples were room temperature and consumed O₂. Then, these two variables were excluded and a new running of the matrix was done. This running divided the samples in three categories, with an percentage of 79,7% for the first three main components. Class 1 wich all

¹ Mestre em Química, área de concentração em Química do Cerrado, pela Universidade Federal de Goiás. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Goiás. Coordenadora pedagógica de cursos de educação profissional no CEPA – Centro de Educação Profissional de Anápolis. E-mail: ellendecastro@hotmail.com

² Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Graduado em Química Industrial pela Universidade de Ribeirão Preto. Docente em Cursos de Graduação e Pós-graduação na Universidade Federal de Goiás. E-mail: paulo@quimica.ufg.br

the samples from Jardim Goiás/Goiânia and Aparecida de Goiânia represented waters of higher quality since it presented neutral pH and other variables within the legal parameters. Class 2 was considered of low quality due mainly to the high quantity of bacteria and class 3 was also considered of low quality mainly because of its “dirty” aspect, that is, high values of apparent color, opacity and total iron. Most samples from Centro and Setor Oeste of Goiânia belonged to these two classes, therefore, these were the two areas which presented greater susceptibility of antropoc contamination of their aquifers.

Key-words: Principal Component Analysis, artesian wells, water-bearing underground.

Introdução

A utilização de água subterrânea por civilizações antigas remonta há mais de 4000 a.C., sendo que os chineses deram início à perfuração de poços com centenas de metros de profundidade. Em 2100 a.C., os egípcios e os persas, para se abastecerem, também já utilizavam poços. Há relatos bíblicos sobre escavadores de poços, como por exemplo, Isaac e Abraão.

O uso extensivo de água subterrânea ocorreu de fato a partir da década de 50, com o desenvolvimento nos estudos de hidrogeologia, geologia, hidrodinâmica, das técnicas de perfuração de poços e das bombas submersas.

Desde então, o uso de poços artesianos em países industrializados tem aumentado, sendo que, nos últimos 25 anos foram perfurados por volta de 12 milhões de poços no mundo.

No Brasil, as capitais Campo Grande - MT, Maceó - AL, Recife - PE, Natal - RN, João Pessoa - PB, Fortaleza - CE, Belém - PA e Manaus - AM já utilizam de mananciais subterrâneos para abastecimento populacional em larga escala.

Os estados de Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Goiás possuem extensas coberturas sedimentares, tendo, portanto, nos mananciais subterrâneos, alternativas de grande viabilidade para abastecimento de suas populações.

Em apenas um reservatório situado no nordeste brasileiro, há um volume de 18 trilhões de metros cúbicos, o que seria suficiente para abastecer a população brasileira por 60 anos.

Dados da Embrapa relatam que o maior aquífero do planeta está localizado sob oito estados brasileiros, estendendo por Uruguai, Paraguai e Argentina. Esse aquífero, denominado Guarani, está a 200 m da superfície das cidades de Araraquara e Ribeirão Preto (SP).

Segundo Zimbres (2004), é denominado aquífero toda formação geológica em que a água pode ser armazenada e que possua permeabilidade suficiente para permitir que esta se movimente. Vê-se, portanto, que para ser um aquífero, uma rocha ou sedimento tem que ter

porosidade suficiente para armazenar água, e que estes poros ou espaços vazios tenham dimensões suficientes para permitir que a água possa passar de um lado a outro sob a ação de um diferencial de pressão hidrostática.

A quantidade e a qualidade dos sais dissolvidos nas águas subterrâneas dependem de fatores, tais como: o tipo de rocha que a água percorre; a velocidade do fluxo; clima da região; temperatura da água no local, que é tão maior quanto a profundidade, devido ao grau geotérmico local; presença de ácido carbônico proveniente do dióxido de carbono dissolvido; presença de ácidos orgânicos oriundos de atividades humanas na superfície; épocas de chuvas mais intensas, nas quais os sais mais solúveis são levados para os aquíferos; resquícios das atividades humanas nas proximidades.

Normalmente as águas subterrâneas são mais ricas em sais que as superficiais devido, principalmente, ao comportamento geoquímico dos compostos e elementos e ao contato das águas com as rochas que, conforme sua composição, poderá dispensar diferentes tipos de sais ao serem banhadas pelo fluxo.

Com o aumento crescente da utilização de poços artesianos como sistemas de abastecimento tem sido dada importância a estudos ambientais sobre contaminações dos aquíferos, além dos estudos gerais de qualidade e quantidade de fluxos hidrodinâmicos de águas subterrâneas.

Como exemplo, tem-se o trabalho de Freitas (2004), que avaliou a qualidade de água subterrânea consumida por moradores de uma micro região de Duque de Caxias (RJ), no qual constatou contaminações por coliformes totais, coliformes fecais e nitrato superiores aos valores máximos permitidos pela portaria 36/90 do Ministério da Saúde, que aprova normas e padrões de potabilidade de água destinada ao consumo humano.

O Ministério da Saúde, em 25 de março de 2004, publicou a Portaria nº 518/04, que revoga a Portaria nº 1.469/00 e que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos não ofereçam risco à saúde. O padrão de potabilidade, por sua vez, está relacionado com a natureza e os teores das impurezas presentes (CRQ IV, 2005).

Em pesquisas nas quais o número de amostras e de determinações numéricas são grandes tem sido empregados recursos estatísticos de análise exploratória de dados, cuja finalidade consiste em classificar amostras em categorias e avaliar as variáveis responsáveis pela discriminação das amostras, bem como o grau de correlação entre as variáveis.

Silva et al. (2002) procurou correlacionar e agrupar amostras de água mineral provenientes de diferentes regiões do Estado de São Paulo a partir da análise exploratória dos valores de pH e teores de Ba, Ca, K, Mg, Na e V. Utilizando a Análise de Componentes Principais e a análise hierárquica de agrupamentos foi possível avaliar a similaridade de amostras analisadas com a formação de grupos que estavam diretamente correlacionados com a procedência ou a propriedade da água mineral.

O presente trabalho relacionou os valores máximos permitidos pela portaria nº 518 com parâmetros físico-químico e bacteriológico para analisar a qualidade de águas de poços artesianos de áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia. Foram utilizados softwares estatísticos que realizam a análise exploratória dos dados para se fazer uma classificação das amostras.

Metodologia da pesquisa

Os dados estudados no presente trabalho foram cedidos pelos proprietários do Laboratório Aqualit, Goiânia / GO. As técnicas utilizadas na coleta das amostras e nos exames bacteriológicos e físico-químicos são descritas em seguida.

Coleta das amostras

As amostras foram coletadas por técnicos do laboratório Aqualit e por proprietários dos poços, tendo os seguintes cuidados:

Exame bacteriológico

Material: frasco de polietileno com tampa roscável e protegida com papel alumínio.

Procedimento de Coleta:

- a) Abrir completamente a torneira que recebe água diretamente do poço e acionar a bomba por um período de 5 minutos para escoar.
- b) Abrir rapidamente o frasco e enche-lo com amostra até 4/5 do seu volume, sem lavá-lo com a própria amostra, tendo o cuidado de remover a tampa e a cobertura conjuntamente não deixando que a tampa toque em qualquer superfície, e de não tocar no bocal do frasco.
- c) Fechar o frasco imediatamente após a coleta, fixando bem o material protetor ao redor do gargalo do frasco.

d) Identificar adequadamente a amostra no frasco e na ficha de coleta.

Análise físico-química

Material: frasco de polietileno com capacidade de 1000 mL.

Procedimento de Coleta:

- a) Abrir completamente a torneira que recebe água diretamente do poço e acionar a bomba por um período de 5 minutos para escoar.
- b) Enxaguar o frasco com a própria amostra.
- c) Encher totalmente o frasco sem deixar espaço vazio.
- d) Identificar adequadamente a amostra no frasco e na ficha de coleta.

As amostras foram levadas ao laboratório num prazo entre oito e doze horas, protegidas com um saco plástico, refrigeradas a temperatura inferior a 10 °C e nunca congeladas.

Análises bacteriológicas e físico-químicas

As metodologias utilizadas na realização dos exames bacteriológico e físico-químicos estão representadas na tabela 1.

Tabela 1: Metodologias das análises físico-químicas e microbiológicas

PARÂMETRO	METODOLOGIA	INSTRUMENTO	REAGENTE/SOLUÇÃO	UNIDADE	VMP 518*
Turbidez		Turbidímetro	Solução padrão	uT	5,0
pH	potenciométrico	pHmetro	Solução padrão 4,86 e 7,0	-	6,0 a 9,5
Ferro total	fenantrolina	DR-2010 e DR-890	Buffer, fenantrolina, ácido clorídrico conc. e hidroxilamina	Mg/L Fe	0,3
Dureza total	Titulometria com EDTA	Bureta	Amortiguadora, Negro de eriocromo e EDTA	Mg/L CaCO ₃	500,0
Cloretos	Método de	Bureta	Cromato de potássio e Nitrato de prata 0,0141	Mg/L	250,0

	Mohr		N	CL ⁻	
Série de alcalinidade	Titulométrico por indicadores	Bureta	Verde de bromocresol, Fenolftaleína e ácido sulfúrico 0,02 N	Mg/L CaCO ₃	-
Oxigênio consumido		Banho-maria e bureta	Ácido sulfúrico, permanganato de potássio e oxalato de amônia	Mg/L O ₂	-
CO ₂ livre	Método normográfico	gráfico	-	Mg/L CO ₂	-
Condutividade		Condutímetro	Sol padrão 1,412µS/ cm	MS/cm	-
Sólidos totais dissolvidos		Condutímetro	-	Mg/L	1000,0
Cor aparente		DR-2010 e DR-890	Solução padrão	Mg/L de Pt	15,0
Contagem de bactérias heterotróficas		Placas de Petri	Agar nutriente	Colônias /mL	500,0

* Valor máximo permitido pela Portaria n° 518 de 25 de março de 2004 - Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Matriz de dados

A partir dos laudos analíticos, foi construída uma matriz de dados contendo 53 amostras de águas de poços artesianos coletadas em algumas regiões urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia, durante o ano de 2003. Para essas 53 amostras foram considerados inicialmente 15 parâmetros físico-químicos e bacteriológico, como mostra a tabela 2.

A matriz de dados 53x15 foi inserida no software estatístico Matlab 6.5, que contém programas que realizam o pré-processamento e a análise exploratória dos dados. Procedeu-se, então, a análise do gráfico de loadings, ou seja, gráfico de pesos para determinar as variáveis de menor contribuição na discriminação das amostras. As variáveis de menor peso foram excluídas com o objetivo de aumentar o percentual de variância das amostras nas três primeiras componentes principais.

A nova matriz de dados 53x13 foi analisada utilizando o software estatístico SPAD N que contém programas que realizam o pré-processamento e a análise exploratória das amostras.

Os resultados obtidos foram comparados com a portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tabela 2: Relação dos locais de coleta das 53 amostras e dos 15 parâmetros físico-químico e bacteriológico analisados.

L oc .	Dat a (Mê s/an o)	Temp .ambi ente	Tem p. da águ a	Tur bide z	pH	Fe total	Dur .total	Cl ⁻	Alc. total	Alc. HC O ₃	O ₂ con s.	CO ₂ livr e	Con d. elétr ica	Sólid os totais dis.	Contag em de bactéri as em placa	Cor apare nte
J G	01/0 3	28	26,7	0,43	6,21	0,05	20,0	5, 0	29,0	29,0	0,2	36,2 9	83,3	37,0	0,0	0,0
J G	02/0 3	27,8	26,2	0,46	6,32	0,02	20,0	3, 0	17,0	17,0	0,2	16,5 1	59,1	26,0	0,0	0,0
J G	03/0 3	27	28	0,24	7,06	0,01	44,0	2, 5	37,0	37,0	0,3	6,54	103, 7	49,0	0,0	0,0
J G	04/0 3	28,9	23,3	0,63	6,52	0,06	30,0	6, 0	26,0	26,0	0,2	15,9 3	94,1	43,0	78,0	0,0
J G	05/0 3	24,3	24	0,54	6,65	0,05	28,0	4, 0	27,0	27,0	0,2	12,2 7	77,0	35,0	0,0	0,0
J G	06/0 3	25,7	23,8	0,50	6,85	0,04	46,0	7, 5	48,0	48,0	0,3	13,7 6	118, 6	53,0	0,0	0,0
J G	07/0 3	23,1	23,8	0,23	6,86	0,01	30,0	6, 5	44,0	44,0	0,1	12,3 3	73,1	33,0	0,0	0,0
J G	08/0 3	26,0	24,0	0,41	6,92	0,02	30,0	7, 0	29,0	29,0	0,3	7,08	78,6	37,0	0,0	1,0
J G	09/0 3	24,5	27,3	3,44	7,31	0,23	46,0	6, 0	40,0	40,0	0,8	3,98	111, 2	52,0	64,0	18,0
J	10/0	29,5	26,4	0,54	6,85	0,01	28,0	7,	31,0	31,0	0,2	8,88	90,0	41,0	2,0	0,0

G	3							5								
J G	11/0 3	30,4	26,5	0,34	6,55	0,01	32,0	5, 0	33,0	33,0	0,2	18,8 8	103, 6	46,0	0,0	0,0
J G	12/0 3	27,4	27,8	0,54	7,31	0,04	50,0	7, 5	46,0	46,0	1,0	4,57	122, 1	58,0	5,0	2,0
A G	01/0 3	22,4	26,1	0,21	7,81	0,0	26,0	0, 5	40,0	40,0	0,3	1,26	73,3	34,0	460,0	0,0
A G	02/0 3	26	25,5	0,26	7,43	0,03	20,0	2, 5	40,0	40,0	0,1	3,02	67,6	32,0	0,0	0,0
A G	03/0 3	28,4	26,3	0,14	7,48	0,0	24,0	2, 5	45,0	45,0	0,4	3,02	67,1	32,0	1,0	0,0
A G	04/0 3	25,3	26,0	0,14	7,32	0,0	22,0	0, 5	41,0	41,0	0,2	3,98	85,1	40,0	3,0	0,0
A G	05/0 3	30,5	27,1	0,31	7,49	0,0	26,0	0, 5	42,0	42,0	0,2	2,76	76,3	36,0	0,0	1,0
A G	07/0 3	22,0	24,4	0,23	7,22	0,06	26,0	2, 5	47,0	47,0	0,1	5,75	70,7	33,0	0,0	0,0
A G	08/0 3	24,8	25,9	0,14	7,60	0,0	22,0	0, 5	46,0	46,0	0,2	2,34	72,5	34,0	0,0	0,0
A G	09/0 3	28,2	26,0	0,28	7,6	0,0	26,0	0, 5	45,0	45,0	0,2	2,29	75,0	35,0	0,0	0,0
A G	10/0 3	27,1	26,2	0,21	7,76	0,0	24,0	5, 0	44,0	44,0	0,2	1,55	76,4	36,0	7,0	0,0
A G	12/0 3	27,1	26,2	0,4	6,71	0,07	22,0	3, 0	37,0	37,0	0,2	14,6 4	63,5	30,0	2,0	0,0
S B	01/0 3	26,0	25,0	0,27	7,15	0,0	50,0	0, 5	60,0	60,0	0,3	8,62	105, 2	50,0	1,0	0,0
S B	02/0 3	26,5	26,0	0,51	5,63	0,0	20,0	2, 5	15,0	15,0	0,4	71,3 8	45,8	22,0	512,0	1,0
S B	03/0 3	32	28,0	0,58	5,6	0,03	6,0	0, 5	8,0	8,0	0,2	40,7 9	12,6	5,0	128,0	0,0
S	04/0	29,9	25,8	0,9	6,7	0,0	32,0	0,	46,0	46,0	0,2	18,6	99,3	45,0	872,0	0,0

B	4							5				3				
S B	05/0 3	28,0	27,8	0,32	7,5	0,01	40,0	4, 0	48,0	48,0	0,1	3,08	93,5	43,0	0,0	0,0
S B	06/0 3	30,0	29,1	0,32	4,75	0,03	2,0	0, 5	3,0	3,0	0,2	128, 30	6,6	3,0	16,0	0,0
S B	09/0 3	29,9	25,9	15,5	6,55	0,90	70,0	6, 5	79,0	79,0	0,2	45,1 9	240, 0	108,0	486,0	85,0
S B	10/0 3	27,1	25,6	0,37	4,85	0,01	8,0	5, 0	6,0	6,0	0,2	172, 04	60,6	27,0	305,0	0,0
S B	12/0 3	28,9	26,4	1,15	7,25	0,05	30,0	6, 0	59,0	59,0	0,5	6,73	130, 0	58,0	28,0	3,0
C T	02/0 3	29,1	27,3	2,42	5,13	0,29	40	0, 0	0,0	0,0	0,0	250, 0	0,0	112,0	248,0	6,0
C T	03/0 3	24,3	25,3	1,98	7,0	0,65	82,0	0, 5	104, 0	104, 0	0,2	21,1 1	205, 0	93,0	36,0	19,0
C T	04/0 3	24,2	26,5	4,67	6,46	0,64	40,0	5, 0	33,0	33,0	0,2	23,2 3	116, 5	52,0	57,0	12,0
C T	05/0 3	28,0	29,8	0,20	7,67	0,01	36,0	0, 5	40,0	40,0	0,2	1,73	78,8	36,0	0,0	0,0
C T	06/0 3	26,4	26,1	1,40	5,20	0,20	16,0	0, 5	9,0	9,0	0,3	115, 27	29,0	13,0	2100,0	5,0
C T	10/0 3	23,8	26,2	10,5	4,67	0,65	12,0	15 ,0	5,0	5,0	0,3	217, 0	176, 0	79,0	1100,0	63,0
C T	11/0 3	26,0	26,2	0,82	6,53	0,03	90,0	21 ,0	80,0	80,0	0,2	47,9 2	348, 0	156,0	2700,0	2,0
C T	12/0 3	25,6	25,1	23,5	6,55	1,82	102	24 ,0	80,0	80,0	0,2	45,7 7	397, 0	178,0	798,0	125,0
S S	03/0 3	25,0	24,7	4,85	6,0	0,32	20,0	0, 5	29,0	29,0	0,1	58,8 7	59,5	27,0	0,0	19,0
S S	04/0 3	28,1	25,0	31,0	5,15	1,35	60,0	22 ,5	23,0	23,0	0,3	330, 54	292, 0	131,0	0,0	115,0

S S	05/0 3	27,0	26,8	0,70	6,71	0,14	12,0	0, 5	17,0	17,0	0,5	6,72	27,6	12,0	0,0	5,0
S S	06/0 3	29,0	28,3	0,84	5,80	0,06	14,0	7, 0	15,0	15,0	0,2	48,2 5	94,0	43,0	27,0	0,0
S S	08/0 3	23,5	26,8	1,38	4,85	0,15	5,0	0, 5	7,0	7,0	0,2	200, 72	31,3	14,0	676,0	5,0
S S	12/0 3	28,9	26,4	1,15	7,25	0,05	30,0	6, 0	59,0	59,0	0,5	6,73 0	130, 0	58,0	28,0	3,0
S O	01/0 3	25,0	25,8	0,32	6,97	0,08	24,0	0, 5	35,0	35,0	0,6	7,61	59,6	28,0	292,0	0,0
S O	03/0 3	28,9	25,5	0,43	6,0	0,0	14,0	0, 5	24,0	24,0	0,2	48,7 2	59,0	26,0	3,0	0,0
S O	04/0 3	24,2	26,5	43,7	5,25	3,45	2,0	2, 5	11,0	11,0	0,2	125 57	296	13,0	520,0	160,0
S O	06/0 3	27,8	24,9	0,25	5,56	0,0	6,0	0, 5	6,0	6,0	0,2	33,5 4	10,8	5,0	163,0	0,0
S O	08/0 3	30,2	29,2	0,60	5,67	0,02	26,0	11 ,0	20,0	20,0	0,1	86,8 0	139, 5	63,0	126,0	1,0
S O	10/0 3	28,0	28,5	12,2	6,05	1,21	14,0	0, 5	30,0	30,0	0,3	143, 71	18,5	8,3	962,0	64,0
S O	11/0 3	23,8	26,4	0,54	6,57	0,03	32,0	6, 0	28,0	28,0	0,2	15,2 9	125, 0	56,0	46,0	0,0
S O	12/0 3	27,0	26,0	24,0	5,45	0,98	3,0	4, 0	6,0	6,0	0,5	43,2 1	48,7	22,0	2100,0	143,0

Abreviaturas:

Loc. - local

JG – Jardim Goiás

AG – Aparecida de Goiânia

SB – Setor Bueno

CT – Centro

SS – Setor Sul

SO – Setor Oeste

Temp. da água – temperatura da água

Temp. ambiente – temperatura ambiente

Dur. Total – dureza total

Alc. Total – alcalinidade total

Alc. HCO₃ – alcalinidade bicarbonato

O₂ cons. – oxigênio consumido

Cond. Elétrica – condutividade elétrica

Sólidos totais dis. – sólidos totais dissolvidos

Discussão e análise dos dados

Matriz de dados original

Inicialmente, foi construída uma matriz de dados 53x15, ou seja, 53 amostras de águas de poços artesianos coletadas em diferentes localidades urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia, em diferentes épocas do ano de 2003 das quais foram analisados 15 parâmetros físico-químicos e bacteriológico. Essa matriz foi inserida e trabalhada no software estatístico MATLAB V.6.5, que contém programas que realizam o pré-processamento e a análise exploratória dos dados.

O primeiro passo foi o autoescalamento, que faz com que as variáveis passem a ser expressas em unidades de desvio padrão, sem perder sua informação de discriminação.

Análise de componentes principais (PCA)

Após o pré-processamento, a matriz de dados autoescalados foi submetida a Análise de componentes principais, através da qual observou-se que 70,35 % da variância dos dados foram explicados nas três primeiras componentes principais, como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Porcentagem de variância explicada pelas CP1, CP2 e CP3.

Componente Principal	% de variância	% de variância acumulada
CP 1	33,05	33,05
CP 2	26,93	59,98
CP 3	10,37	70,35

Nota-se, portanto, que é possível explicar aproximadamente 60 % das amostras no espaço bidimensional, como mostra o gráfico dos escores ilustrado na figura 1.

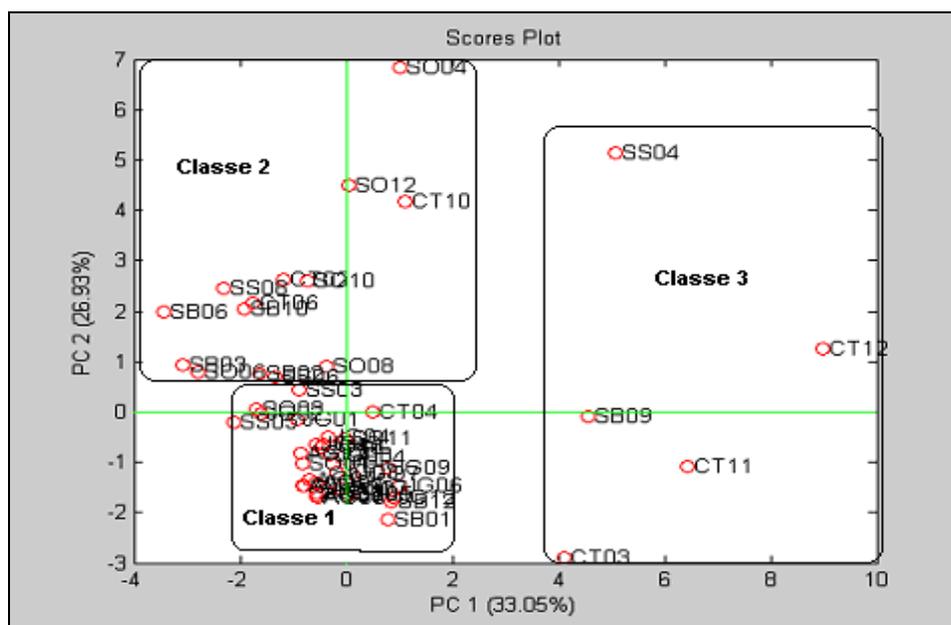


Figura 1: Gráfico dos escores da matriz 53x15, nas CP1 e CP2.

Através do gráfico dos *loadings* (pesos) é possível conhecer a relação entre as amostras e as variáveis, bem como conhecer as variáveis de maior peso estatístico para cada componente principal. Outra utilidade da análise desse gráfico é de identificar as variáveis de baixa contribuição para as primeiras componentes principais e, através da exclusão das mesmas, aumentar o percentual de variância para as amostras.

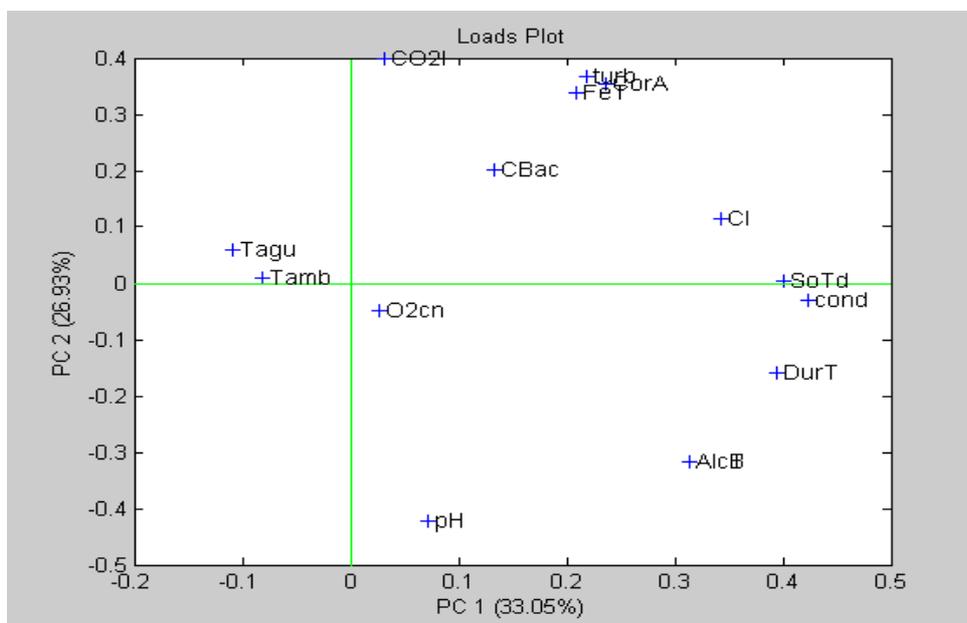


Figura 2: Gráfico dos *loadings* da matriz 53x15, nas CP1 e CP2.

As variáveis de menor peso são aquelas que apresentam valores próximo a zero, tanto para PC1 quanto para PC2, estando, portanto, localizadas na região central do gráfico de *loadings*.

Observando a figura 2 pode-se notar que as variáveis mais próximas do centro são temperatura ambiente (Tamb) e oxigênio consumido (O₂cn). Logo, são essas as que menos contribuíram para a classificação das amostras.

Essas duas variáveis de baixo poder de discriminação foram eliminadas da matriz original, dando origem a uma nova matriz de dimensão 53x13. Essa nova matriz foi autoescalada, e os dados autoescalados foram explorados pelo método PCA, utilizando o software estatístico SPAD N.

Matriz de dados 53 x 13

Após o pré-processamento, a matriz de dados autoescalados 53x13, representando 53 amostras de águas de poços artesianos coletadas em diferentes localidades urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia, em diferentes épocas do ano de 2003, das quais foram analisados 13 parâmetros físico-químicos e bacteriológico, foi submetida a Análise de Componentes Principais, através da qual observou-se que 79,7 % da variância dos dados foram explicados nas três primeiras componentes principais, como mostra a tabela 4.

Tabela 4: Porcentagem de variância dos dados explicada nas três primeiras CPs, para a matriz de dados 53x13.

Componente Principal	% de variância	% de variância acumulada
CP 1	38	38
CP 2	31	69
CP 3	10,7	79,7

Comparando as tabelas 3 e 4 é possível notar que a exclusão das variáveis oxigênio consumido e temperatura ambiente ocasionou um aumento de 10 % de informação nas CP2 e CP3.

A distribuição das 53 amostras pode ser observada no gráfico de escores na figura 3. A correlação entre as 13 variáveis e a contribuição de cada uma para as duas primeiras componentes principais estão representadas no gráfico dos *loadings*, na figura 11.

A separação entre classe 1 e classe 2 foi descrita na segunda componente principal (figura 10, CP1 *versus* CP2), a qual descreveu cerca de 31 % da variância dos dados. Analisando os valores dos *scores* e dos *loadings* para CP2, notou-se que as amostras da classe

2 tiveram *scores* positivos por apresentarem altos valores de CO₂ livre, turbidez, ferro total e contagem de bactérias em placa e baixos valores de pH e alcalinidade, enquanto que a maioria das amostras da classe 1 tiveram *scores* ligeiramente negativos principalmente por apresentarem valores médios de pH e alcalinidade .

A primeira componente principal descreveu 38 % da variância dos dados e foi responsável pela discriminação das amostras da classe 3 (figura 10, CP1 *versus* CP2), as quais tiveram *scores* negativos devido a seus altos valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza total e cloretos.

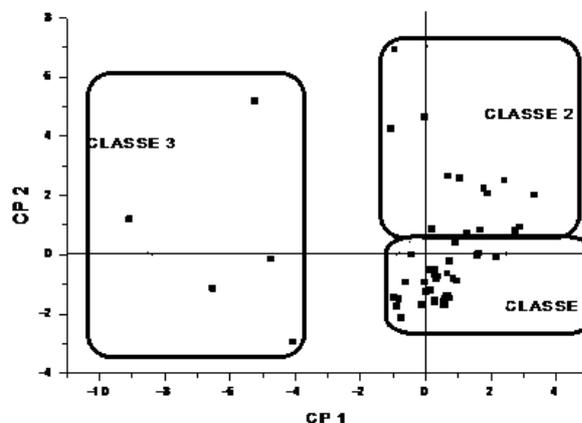


Figura 3: Gráfico dos *scores* da matriz de dados (53x13), utilizando CP1 x CP 2.

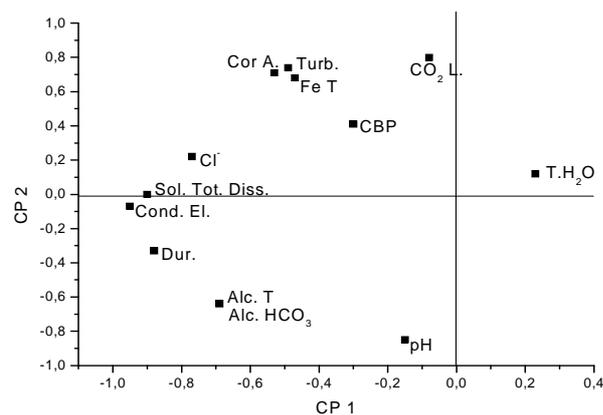


Figura 4: Gráfico dos *loadings* da matriz de dados (53x13), utilizando CP1 x CP 2.

A classificação das 53 amostras de acordo com o método PCA está relacionada na tabela 5.

Tabela 5: Classificação das amostras da matriz 53x13, local x mês de 2003.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aparecida de Goiânia	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1
Jardim Goiás	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Centro	-	2	3	1	1	2	-	-	-	2	3	3
Setor Sul	-	-	1	3	1	2	-	2	-	-	-	1
Setor Bueno	1	2	2	1	1	2	-	-	3	2	-	1
Setor Oeste	1	-	1	2	-	2	-	2	-	2	1	2

1: classe 1; 2: classe 2; 3: classe 3; -: análise não efetuada.

Analisando a questão sazonal, através da classificação das amostras nos meses de 2003, notou-se que a mesma não exerceu uma influência direta na discriminação das amostras, uma vez que para a maioria dos meses não houve uma classificação uniforme.

Quanto ao fator geográfico, Aparecida de Goiânia e Jardim Goiás – Goiânia, foram as únicas regiões em que todas as suas amostras foram classificadas em apenas uma classe. As amostras dos setores Oeste, Sul, Bueno e Centro de Goiânia foram discriminadas em três classes.

Pode-se concluir, portanto, que o fator sazonal não seria suficiente para determinar a variabilidade dos parâmetros físico-químico e bacteriológico das amostras estudadas. O fator geográfico, por sua vez, pode estar parcialmente relacionado com a variabilidade dos parâmetros estudados.

Um outro fator que tem grande influência, especialmente em regiões urbanas, é o antropogênico, ou seja, resultado dos impactos da atividade humana na qualidade ambiental.

Sendo assim, para se fazer uma relação dos resultados obtidos com a qualidade das águas analisadas, foi feita uma comparação dos valores médios das variáveis significativas para cada classe com os valores máximos permitidos pela resolução nº 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

As médias dos parâmetros físico-químico e bacteriológico de peso para as classes 1, 2 e 3 estão relacionadas nas tabelas 6, 7 e 8, respectivamente.

Tabela 6: Médias geral e da classe 1 .

Variável	Média geral	Média da classe 1	V.M.P. 518
pH	6.5	7.0	6.0 - 9.5
Alcalinidade total	34.32	38.59	-

Tabela 7: Médias geral e da classe 2 .

Variável	Média geral	Média classe 2	V.M.P. 518
CO ₂ livre	48.5	119.76	-
Contagem de bactérias em placa	282.11	641.64	500 colônias /mL
Temperatura da água	26.23	27.04	-
Ferro total	0.26	0.51	0.3 mL /L Fe
Cor aparente	16.19	32	15 uH
Turbidez	3.74	7.08	5.0 uT

Tabela 8: Médias geral e da classe 3.

Variável	Média geral	Média classe 3	V.M.P. 518
Condutividade elétrica	96.43	296.4	-
Sólidos totais dissolvidos	46.01	133.2	1000 mg/L
Dureza total	29.96	80.80	500 mg/L CaCO ₃
Cloretos	4.54	14.90	250 mg/L Cl
Alcalinidade total	34.32	73.2	-
Cor aparente	16.19	69.2	15 uH
Turbidez	3.74	14.56	5.0 uT
Ferro total	0.26	0.95	0.3 ml/ L Fe
Contagem de bactérias em placa	282.11	804.00	500 colônias/ mL

Como pode ser observado na tabela 6, as amostras da classe 1 foram caracterizadas por seus valores de pH quase neutros e por apresentarem valores médios abaixo da média geral, bem como do máximo permitido por legislação, para as demais variáveis. A essa classe, pertencem todas as amostras coletadas em Aparecida de Goiânia e Jardim Goiás/ Goiânia, 4 amostras do Setor Bueno, 3 do Setor Sul, 3 do Setor Oeste e 2 do Centro.

Observando o gráfico dos *loadings*, na figura 4, e a tabela 7, notou-se que as amostras da classe 2 tem os valores mais baixos de pH (lado negativo de CP2), provavelmente devido às altas concentrações de CO₂ livre (lado positivo de CP2), que é a variável de maior peso na discriminação dessa classe. Em seguida, vem como variável de peso, a contagem de bactérias em placa, cujos valores estão acima do máximo permitido para a maioria das amostras. Outras três variáveis também tiveram valores médios acima do máximo permitido: ferro total, cor aparente e turbidez. As amostras responsáveis por esses altos valores médios foram Centro (out) e Setor Oeste (abr., out. e dez.). Ou seja, não seriam variáveis suficientemente fortes para discriminar as 14 amostras da classe 2.

As amostras da classe 3 foram caracterizadas por alta condutividade elétrica (lado negativo em CP3), como pode ser observado na tabela 8, provavelmente devido aos altos valores de sólidos totais dissolvidos (lado negativo em CP3), segunda variável de peso.

Os valores de cor aparente, turbidez e ferro total estavam acima do máximo permitido para a maioria das amostras dessa classe, o que torna essas variáveis importantes na classificação dessas amostras. Contagem de bactérias em placa também teve uma média alta, devido a duas amostras do Centro (nov. e dez.).

Diante do resultado exposto, convém afirmar que a classificação das águas dos poços analisados esteve mais relacionada à qualidade e, parcialmente, relacionada à localidade dos poços.

Nesse sentido, a classe 1, que conteve todas as amostras de Jardim Goiás/ Goiânia e de Aparecida de Goiânia, representou as águas de maior qualidade por terem pH neutro e demais variáveis com valores dentro dos parâmetros legais.

A classe 2 foi considerada de baixa qualidade devido principalmente aos altos valores de contagem de bactérias em placa e a classe 3 também foi considerada de baixa qualidade devido principalmente ao seu aspecto “sujo”, ou seja, altos valores de cor aparente, turbidez e ferro total. A essas duas classes pertenceram a maioria das amostras do Centro e Setor Oeste de Goiânia sendo, portanto, os dois setores que apresentam maior susceptibilidade ou maior número de fontes de contaminação antrópica de seus aquíferos.

Considerações finais

Sabe-se que a água é um recurso natural indispensável à sobrevivência humana e que sua utilização vem exigindo cada vez mais cuidados e planejamentos especiais. Sendo assim, pesquisas sobre mananciais subterrâneos têm recebido ênfase nos últimos anos no Brasil, devido à sua grande viabilidade técnica e econômica. Em Goiás, especificamente, a água subterrânea ainda é pouco utilizada em relação aos mananciais de superfície.

Apesar de a água subterrânea apresentar uma qualidade superior a de superfície, não está isenta da necessidade de um controle periódico de qualidade. Devido ao grande número de variáveis analisadas para cada amostra, em cada ponto de coleta, o método de análise exploratória de dados, PCA, utilizado nesse trabalho, apresentou-se como um instrumento de grande importância no estudo da variabilidade físico-química e bacteriológica das águas de poço artesiano utilizadas em áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia.

Através da Análise de componentes principais foi possível conhecer as variáveis de menor contribuição para a discriminação das três categorias entre as amostras, que foram a

temperatura ambiente e o oxigênio consumido. Ao eliminar as variáveis de peso desprezível, as amostras são classificadas com um maior percentual de confiança.

Os únicos locais em que todas as suas amostras apresentaram valores dentro dos parâmetros legais para todas as variáveis consideradas foram Jardim Goiás - Goiânia e Aparecida de Goiânia.

Através desse trabalho foi possível perceber que a classificação de águas subterrâneas não está relacionada com a época do ano. A região do ponto de coleta pareceu parcialmente relacionada com a qualidade da água subterrânea consumida apenas em Aparecida de Goiânia e Jardim Goiás- Goiânia.

Os setores Centro, Oeste, Sul e Bueno tiveram suas amostras divididas em três categorias. Esse fato pode estar relacionado com as atividades humanas desenvolvidas nessas regiões.

Enfim, o método de análise exploratória PCA mostrou ser útil no estudo das questões que influenciam a qualidade das águas subterrâneas, bem como no estudo dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água de determinadas regiões.

Referências

BRASIL, 2004. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Ministério da Saúde.

Conselho Regional de Química IV Região. **Parecer técnico sobre os efeitos da Portaria nº 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde.** Disponível em <www.crq4.org.br/downloads/parecer_portaria_518_ms.pdf>. Acesso em 04 mar. 2005.

FREITAS, M.B.,ALMEIDA, L.M.: **Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário.** Disponível em: <www.perfuradores.com.br>. Acesso em 10 mai. 2004.

FUNASA: **Manual de projeto e construção de poços tubulares profundos.** Disponível em: <www.perfuradores.com.br>. Acesso em 10 mai. 2004.

SANTOS, A.C.: **Noções de hidroquímica.** In: FEITOSA,A.C., FILHO, J.M.:Hidrogeologia: conceito e aplicações. Fortaleza : CPRM, LABHID-UFPE. 1997, cap.5, p.81.

SILVA, F.V., KAMOGAWA,M.Y., FERREIRA, M.M.C., NÓBREGA, J.A.; NOGUEIRA, A.R.A.: **Discriminação geográfica de águas minerais do Estado de São Paulo através de análise exploratória.** Eclética Química, vol.27, 2002.

ZIMBRES, E. : **Ocorrência de água subterrânea.** Disponível em: <www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>. Acesso em 10 mai. 2004.