

IX-082 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DOS POÇOS DO PARQUE ZOOBOTÂNICO DE BELÉM E CAMPUS DE PESQUISA DO MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI

Paula Danielly Belmont Coelho⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Neyson Martins Mendonça

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará e Pós-Doutorado em Tratamento Avançado de Esgotos Domésticos pela Universidade de Valladolid/Espanha.

Endereço⁽¹⁾: Passagem São Cristóvão, 44 - Montese - Belém - PA - CEP: 66077-640 - Brasil - Tel: (91) 98087-4601 - e-mail: paula.belmont@gmail.com

RESUMO

O Parque Zoobotânico de Belém (PZB) e o Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG) desenvolvem e tem distintas atividades relativas ao uso da água como por exemplo: 1) água para edificações administrativas; 2) água para consumo em viveiros, lagos, tanques, jaulas dos animais; 3) águas para irrigação dos canteiros; 4) água para laboratórios de pesquisa; 5) água para sistema de proteção e combate a incêndio; etc. Em 2015 o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) publicou a Portaria N° 8 de 17/04/2015 como normativo de boas práticas de gestão em relação ao uso de água e de energia elétrica, visando-se economizar energia e água nos órgãos públicos. E no ano de 2014, o Estado do Pará instituiu a Lei N° 8.091 que versa sobre as atividades de exploração e aproveitamento de recursos hídricos, a qual visa disciplinar a captação de água subterrânea em termos quantitativos, e em 2008, o CONAMA por meio da resolução N° 396 estabeleceu as diretrizes ambientais da qualidade da água subterrânea mediante os potenciais usos para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação. Diante da necessidade de instituir procedimento sistemático de controle em termos qualitativos sobre a água subterrânea para atender a legislação ambiental brasileira e o fato do MPEG não dispor de quadro técnico com a devida formação acadêmica e a comprovada competência técnica, o presente trabalho visa avaliar de maneira densa aspectos relativos à (I) coleta e amostragem da água subterrânea e (II) definição das variáveis físico-químicas para monitoramento da água subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da Água, Água Subterrânea, MPEG.

INTRODUÇÃO

Recentemente, as instituições públicas de “*know-how*” científico e ambiental como o Museu Paraense Emílio Goeldi, buscam instituir as boas práticas de gestão em relação ao uso de água e de energia elétrica, visando-se atender a Portaria N° 8 de 17/04/2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) quanto ao repasse das informações dos indicadores do consumo de energia elétrica e água nos órgãos da Administração Pública Federal, para que esses possam nortear os órgãos na redução de seus consumos.

A adoção de indicadores do consumo de água é vista como um instrumento de suma importância, pois irá permitir aos gestores do MPEG, ter conhecimento mais palpável e profundo de aspectos operacionais qualitativos (ex.: água mais propensa a irrigação do que ao consumo humano), que irão fundamentar planos de expansão e/ou reestruturação do sistema de abastecimento de água do Parque Zoobotânico de Belém (PZB) e do campus de Pesquisa, em termos de previsão de aumento de demanda e de manutenção preventiva das unidades de captação, estação de tratamento água (ETA), estação elevatória de água bruta ou tratada, adução, reservação, rede de distribuição e ligações domiciliares para as edificações administrativas, viveiros, lagos, tanques, jaulas dos animais, irrigação dos canteiros, água para laboratórios de pesquisa, etc.

Além da Portaria N° 8 de 17/04/2015 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), em 2014, o Estado do Pará instituí a Lei N° 8.091 que versa sobre as atividades de exploração e aproveitamento de recursos hídricos, a qual visa disciplinar a captação de água subterrânea em termos quantitativos, e em 2008, o CONAMA por meio da resolução N° 396 estabeleceu as diretrizes ambientais da qualidade da água subterrânea mediante os potenciais usos para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

Diante da necessidade de atender a legislação brasileira e também instituir um melhor procedimento sistemático de controle em termos qualitativos sobre a água subterrânea nas unidades do MPEG, a presente proposta pretende contribuir com a implantação ações relativas a (I) coleta e amostragem da água subterrânea e (II) definição das variáveis físico-químicas para monitoramento da água subterrânea.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo mencionada nesse documento é o Parque Zoobotânico de Belém (PZB), o qual é a mais antiga e conhecida base física do MPEG. O Parque Zoobotânico é uma área tombada como Patrimônio Histórico Nacional, o qual ocupa aproximadamente 5,4 hectares, e que se encontra localizado na Avenida Magalhães Barata, n° 376, bairro de São Braz, município de Belém, capital do estado do Pará.

Como área de estudo ainda se enquadra o Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG), que se encontra localizado na Avenida Perimetral, n° 1.901, bairro da Terra Firme, município de Belém/PA.

Na Figura 1 é ilustrada, em detalhes, a localização do Parque Zoobotânico ora mencionado nesse documento, assim como a Figura 2 ilustra o Campus de Pesquisa do MPEG, ambas as figuras apresentam a localização georreferenciada das estações de amostragens de onde foram realizadas investigações a respeito do aspecto qualitativo da água subterrânea.



Figura 1: Localização georreferenciada dos poços instalados no Parque Zoobotânico de Belém (PZB) do MPEG para captação de água subterrânea.
Fonte: Google Earth (2016).



Figura 2: Localização georreferenciada do poço instalado no Campus de Pesquisa do MPEG para captação de água subterrânea.
Fonte: Google Earth (2016).

A pesquisa no Parque Zoobotânico de Belém (PZB) abrangeu os quatro poços do campus, sendo eles: Diretoria, Aquário, Eduardo Galvão e SPZ.

Cada um dos poços tem sua água coletada destinada a um fim específico dentro do campus, dentre eles, toma-se como exemplos o abastecimento dos prédios, a dessedentação dos animais, além da irrigação da vegetação.

As seguintes etapas foram desenvolvidas para a realização da avaliação em termos qualitativos da água subterrânea dos poços do PZB e campus de pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi.

- a) Realização de campanha de amostragem de coleta de água subterrânea nos poços do PZB e no campus de pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, com emissão de boletim analítico físico-químico;
- b) Avaliação dos resultados das análises qualitativas utilizando técnicas de tratamento estatístico multivariado: PCA e HCA.

Para a etapa de qualificação das variáveis físico-químicas determinadas na água subterrânea bruta do Parque Zoobotânico de Belém (PZB) e no Campus de Pesquisa do MPEG, ambos no município de Belém (PA), as mesmas obedecem aos procedimentos e as recomendações descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA/ AWWA/WEF,1998), 20ª edição, cujos métodos são descritos a seguir:

- 1) pH: determinação utilizando a seção 4550-H+ B, método potenciométrico;
- 2) Alcalinidade Total: determinação utilizando a seção 2320 B, método titulométrico;
- 3) Sólidos Suspensos Totais: determinação utilizando a seção 2540-D, mediante a utilização do método gravimétrico a temperatura de 103-105 °C;
- 4) Sólidos Totais Dissolvidos: determinação utilizando a seção 2540-C, mediante a utilização do método gravimétrico a temperatura de 180 °C;
- 5) Turbidez: determinação utilizando a seção 2130-B, mediante a utilização do método Nephelométrico;
- 6) Cor Aparente: determinação utilizando a seção 2120-C, mediante a utilização do método espectrofotométrico;
- 7) Nítrito (NO₂-): determinação utilizando a seção 4500-NO₃- método colorimétrico com redução em coluna de cádmio;
- 8) Nitrato (NO₃-): determinação utilizando a seção 4500-NO₃- E método de redução em coluna de cádmio;
- 9) Cloreto (Cl⁻): determinação utilizando a seção 4500-Cl⁻ E, mediante a utilização do método colorimétrico,
- 10) Sulfato (SO₄-2): determinação utilizando a seção 4500- SO₄-2 E, mediante a utilização do método turbidimétrico;
- 11) Dureza Total: determinação utilizando a seção 2340 B método da obtenção da dureza por cálculo ou a seção 2340 C, método titulométrico EDTA;
- 12) Fósforo Total: determinação utilizando a seção 4500-P- A e 4500-P- E que correspondem, respectivamente, ao método de digestão de persulfato seguido pelo método colorimétrico do ácido ascórbico.

Os resultados das variáveis físico-químicas obtidos no presente trabalho foram tratados mediante tratamento estatístico (descritivo e multivariado), para serem apresentados sob forma de tabela e de gráficos, de modo a se organizar e diagnosticar as características qualitativas da água subterrânea no Parque Zoobotânico de Belém (PZB) e do Campus de Pesquisa do MPEG. O tratamento estatístico descritivo realizado no presente estudo prevê a determinação dos valores do número de determinações (n), máximo (máx), médio (\bar{x}), mínimo (mín), desvio padrão (DP) e mediana em tabela resumo estatística.

E com relação ao tratamento estatístico multivariado foram utilizadas as técnicas de PCA e HCA com os resultados dos poços do Parque Zoobotânico de Belém (PZB) com o objetivo de se visualizar a associação entre as variáveis que influenciam a qualidade da água subterrânea, bem como visualizar dentro de todo o conjunto de dados as similaridades ou diferenças entre amostras. Para a análise dos dados utilizou-se o software Minitab versão 17.0 e software Excel 2013 for Windows.

RESULTADOS

O resumo estatístico das principais variáveis físico-químicas determinadas nos poços em conjunto do Parque Zoobotânico de Belém (PZB) do MPEG, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis de qualidade da água subterrânea nos poços instalados no Parque Zoológico de Belém (SPZ, Ed. Galvão, Aquário e Diretoria) e no Campus de Pesquisa.

VARIÁVEL FÍSICO-QUÍMICA	SPZ	Ed. Galvão	Aquário	Diretoria	C. Pesquisa
	MÁX. - MÍN.				
pH	6,03 - 5,04	5,67 - 4,95	5,9 - 5,1	6,13 - 5,42	4,2 - 3,2
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ .L-1)	102 - 61	30 - 26	52 - 42	62,5 - 43	0 - 0
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	11,92 - 3,32	12,28 - 2,12	12,04 - 1,83	13,15 - 2,3	2,44 - 2,32
Cor aparente (uC)	366 - 18	19 - 5	17 - 2,12	23 - 11,8	41 - 12,7
Turbidez (uT)	141 - 6,58	1,48 - 1,14	1,140 - 0,99	1,14 - 0,71	2,37 - 1,43
ST (mg/L)	297 - 225	397 - 237	486 - 231	326 - 235	38 - 19
SST (mg/L)	235 - 178	4 - 1	47 - 1	18 - 1	4 - 1
STD (mg/L)	62 - 47	393 - 236	485 - 184	324 - 217	36 - 18
Cloreto (mgCl-/L)	16,8 - 13	28,8 - 23	23,4 - 15,6	23,3 - 20,4	3,5 - 3,3
Sulfato (mgSO ₄ -2/L)	13 - 10	31 - 17	38 - 32	30 - 26	0 - 0
Fósforo (mgP-PO ₄ -2/L)	0,52 - 0,1	0,32 - 0,06	0,84 - 0,14	0,35 - 0,06	0,24 - 0,12
N-amoniaco (mgN-NH ₃ /L)	1,34 - 0,25	0,07 - 0,05	0,05 - 0,05	0,59 - 0,02	0,09 - 0,02
N-nitrito (mgN-NO ₂ /L)	0,002 - 0,001	0,179 - 0,005	0,11 - 0,001	0,008 - 0,003	0,003 - 0,003
N-nitrato (mgN-NO ₃ /L)	2,7 - 2,7	23 - 18,9	32,6 - 9,1	17,4 - 12,9	5,3 - 4,3

Fonte: Autores (2016).

Vale observar que nos poços Eduardo Galvão, Aquário e Diretoria, além do localizado no Campus de Pesquisa foram feitas um total de três coletas de amostras em cada poço para verificação das variáveis qualitativas da água subterrânea, enquanto que no poço SPZ obteve-se apenas duas amostragens, isso motivou-se pelo poço citado ter sido desativado no intervalo entre as coletas por problemas relacionados à bomba instalada neste poço.

A PCA (Figura 3) indicou a formação de quatro PCs no que diz respeito a característica da qualidade da água dos poços do PZB do MPEG devido a associação entre variáveis pesquisadas. Porém, as duas (02) PCs juntas explicam 66% da variação dos dados, e como se pode observar na Figura 3a, a PC1 com 47,7% da variação devido a SST, N-amoniaco, Turbidez, Cor aparente e AT ($0,370 \leq \hat{\epsilon} \leq 0,336$) foram as variáveis que mais contribuíram com essa componente. E para a PC2 (18,2%) (Figura 3a) as principais variáveis foram P-PO₄- e SST ($0,498 \leq \hat{\epsilon} \leq 0,126$).

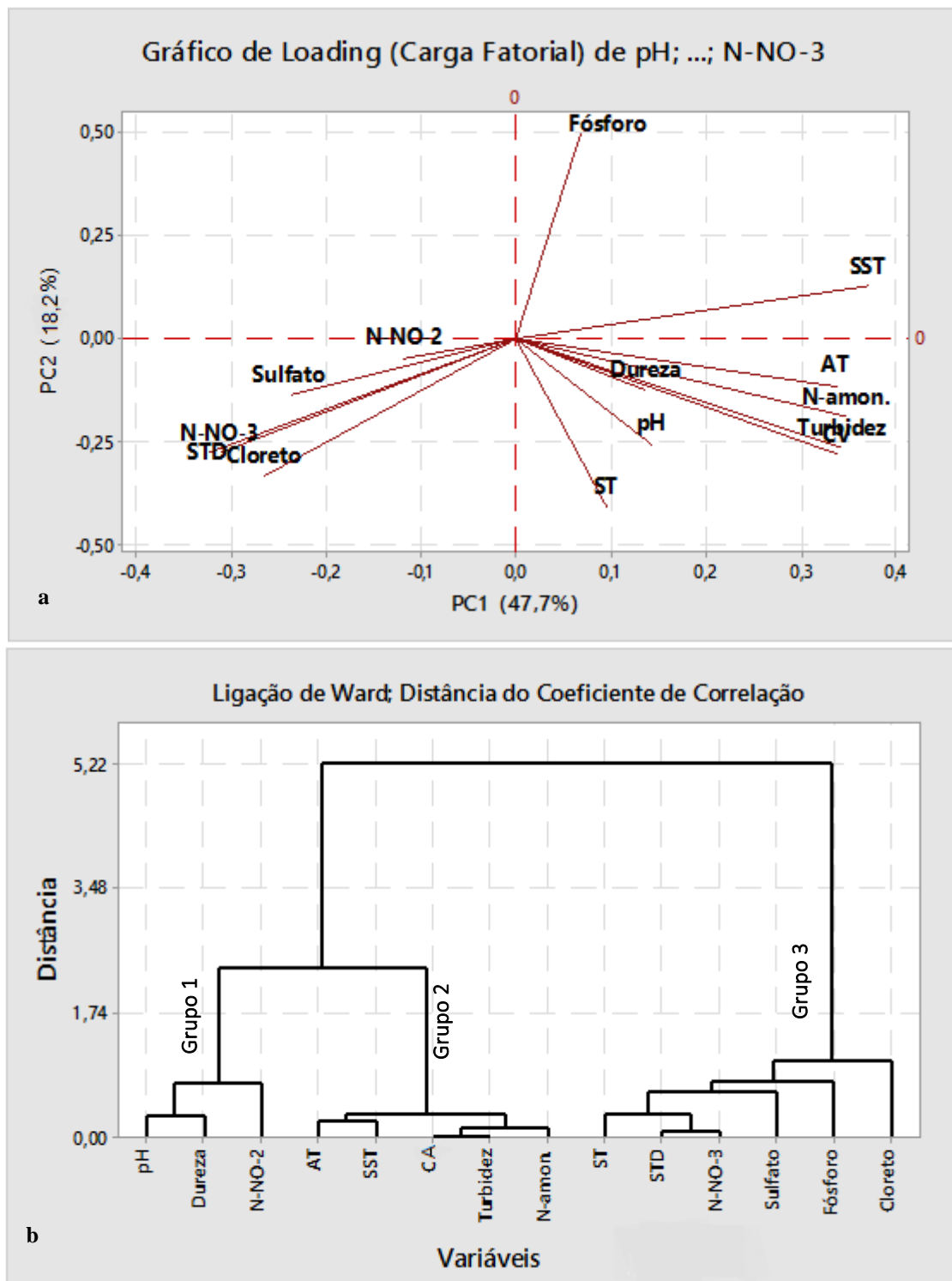


Figura 3: Gráficos de PCA (a) e HCA (b) da caracterização físico-química da qualidade da água subterrânea do Parque Zoológico de Belém (PZB) do MPEG.
Fonte: Autores (2016).

Na Figura 3b, observa-se o dendrograma das variáveis realizadas para caracterização físico-química da qualidade da água subterrânea. De acordo com essa figura pode-se observar (03) três agrupamentos distintos nas seguintes classes:

- ◆ pH, dureza total e N-NO₂- (Grupo 1) ⇒ a relação entre pH e Dureza total deve-se a passagem da água pelo solo o qual promove a dissolução de compostos como: $H_2CO_3 + CaCO_3 \Rightarrow Ca(HCO_3)_2$ OU $H_2CO_3 + MgCO_3 \Rightarrow Mg(HCO_3)_2$
- ◆ Alcalinidade total, SST, CV, Turbidez e N-amon. (Grupo 2) ⇒ entre essas variáveis possivelmente a afinidade deve-se ao teor de material particulado presente na água subterrânea em virtude da presença de óxidos de ferro (Hematita, Geotita, Lepidocrocita, Maghemita, Ferri-hidrita e Magnetita) comuns no solo da região Amazônica, enquanto a presença de N-amoniaco por decorrer de possíveis infiltrações das águas dos viveiros dos animais;
- ◆ ST, STD, N-NO₃-, sulfato, Fósforo e Cloreto (Grupo 3) ⇒ tal agrupamento decorre do fato que a variável condutividade tem seus valores medidos dependentes da concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas (ânions e cátions) os quais se encontram predominantemente dissolvidos e são responsáveis pela ocorrência da salinidade da água e estão bastante presentes nas águas subterrâneas.

A PCA do campus de pesquisa (Figura 4) indicou a formação de duas PCs no que diz respeito a característica da qualidade da água devido a associação entre variáveis pesquisadas. Os coeficientes listados em PC1: 0,353 N-amon. + 0,330 Turbidez + 0,327 ST + 0,320 N-nitrito + 0,304 STD + 0,288 SST + 0,288 Cloreto + 0,288 Fósforo + 0,271 CV + 0,230 Dureza - 0,169 N-NO₃- - 0,247 pH. A PC1 e a PC2 juntas explicam 100% da variação dos dados, e como se pode observar na Figura 4a, a PC1 com 67,0% da variação têm grandes cargas fatoriais positivas para N-amon., Turbidez, ST, N-Nitrito, STD, SST, Cloreto, Fósforo, Cor aparente e Dureza total. E para a PC2 (33,0%) (Figura 4a) as principais variáveis foram SST, e P-PO4³⁻ ($-0,441 \leq e \leq 0,322$).

Na Figura 4b, observa-se o dendrograma das variáveis realizadas para caracterização físico-química da qualidade da água subterrânea. De acordo com essa figura pode-se observar (03) três agrupamentos distintos nas seguintes classes:

- ◆ pH e N-NO₃- (Grupo 1) ⇒ entre essas variáveis possivelmente a afinidade deve-se ao fato da relação entre pH e a presença de nitrogênio na forma de nitrato.
- ◆ Dureza total, Turbidez, ST, N-NO₂-, STD e N-amon. (Grupo 2) ⇒ entre essas variáveis possivelmente a afinidade deve-se ao teor de material particulado presente na água subterrânea em virtude da presença de óxidos de cálcio e magnésio comuns no solo da região Amazônica, enquanto a presença de N-amoniaco por decorrer de possíveis infiltrações da água proveniente da decomposição dos vegetais (área de mata e alagada).
- ◆ Cor aparente, SST, Fósforo e Cloreto (Grupo 3) ⇒ entre essas variáveis possivelmente a afinidade deve-se ao teor de material particulado e dissolvido presente na água subterrânea em virtude da proximidade da área em relação a foz do rio, além da presença de água de infiltração proveniente da decomposição de vegetais.

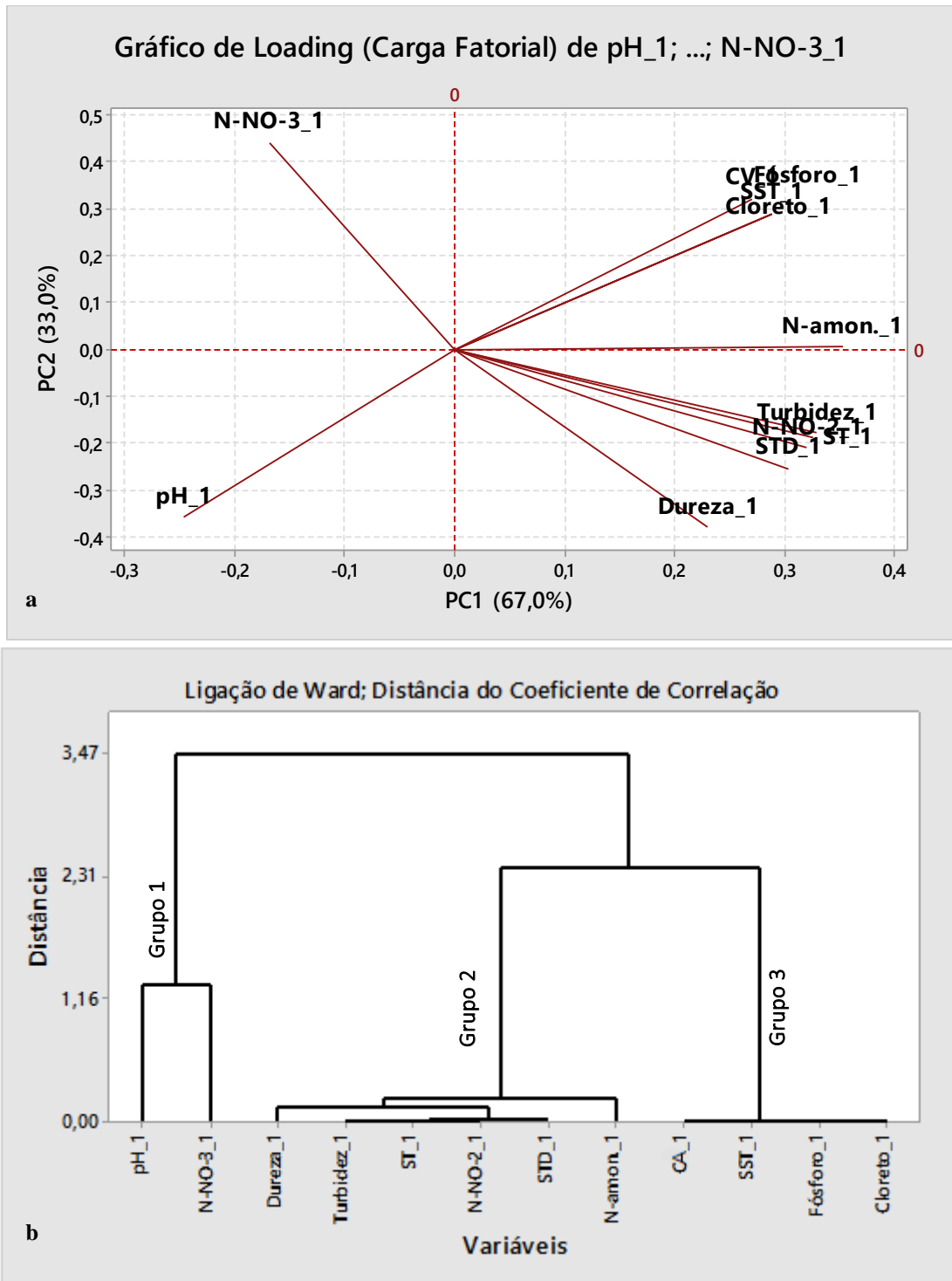


Figura 4: Gráficos de PCA (a) e HCA (b) da caracterização físico-química da qualidade da água subterrânea do Campus de Pesquisa (CP) do MPEG.
Fonte: Autores (2016).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados fornecidos por ensaios, análises e determinações realizadas ao longo do período experimental deste trabalho, pode-se inferir em relação a qualidade da água subterrânea para os poços localizados no PZB, que essa apresenta valores de $4,95 < \text{pH} < 6,13$ que caracterizam um ambiente ácido, a cor aparente e a turbidez apresentaram valores de 45,9 uC e 14,3 uT, respectivamente. Esses valores são considerados elevados, ao se ter como referência a Portaria MS 2.914.

Em relação aos sólidos, verifica que a relação entre STD/ST foi de 95%, indicando assim a predominância de substâncias dissolvidas. E, com relação ao nitrato, o valor médio obtido de 15,2 mgN-NO₃/L, considerado superior referência da Resolução CONAMA N 396/2008 para fins de consumo humano e dessedentação de animais; provavelmente esse valor deve-se a infiltração da água dos viveiros de animais.

Em relação à qualidade da água para os poços localizados no campus de pesquisa, pode-se concluir que essa apresenta valores de $3,20 < \text{pH} < 4,20$ que caracterizam um ambiente muito ácido, a cor aparente e a turbidez apresentaram valores de 23 uC e 2 uT, respectivamente. O valor de cor aparente é considerado elevado, ao se ter como referência a Portaria MS 2.914. Em relação aos sólidos, verifica que a relação entre STD/ST foi de 92%, indicando assim a predominância de substâncias dissolvidas. E com relação ao nitrato, o valor médio obtido de 4,83 mg N-NO₃/L, considerado inferior à referência da Resolução CONAMA N° 396/2008, podendo ser utilizado para fins de consumo humano, irrigação e dessedentação de animais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA and WPCF (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20a ed., Washington, D.C., Estados Unidos.
2. Azevedo Netto, J. M. e Miguel, Fernández y Fernández. (2015) Manual de hidráulica, 9a ed. Blucher, 632p.
3. Brasil (2004). Ministério da Saúde. Portaria MS N° 2.914, de 14 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF. 32 p.
4. CETESB (2011) Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB, Brasília (DF) ANA, 326 pg.;
5. Di Bernardo, L. e Angela Di Bernardo Dantas (2005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rio de Janeiro, Ed. Rima, Vol. 1e 2.1565pp.
6. Droste, R.L.(1997) Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. New York, John Wiley & Sons Inc., 798p.
7. Heller,L & Pádua, V.L. (2006). Abastecimento de água para consumo humano. Editora UFMG, Belo horizonte (BH), 859p.
8. Mingoti, S. A. (2013). Análise de dados através de métodos de estatística multivariada - Uma abordagem aplicada, UFMG, Belo Horizonte, 295p.
9. Porto, R.M., (1998). Hidráulica básica. EESC-USP, São Carlos (SP), 540p.
10. Richter, C.A. (2009). Métodos e tecnologia de tratamento de água. Edgard Blücher, São Paulo, 340p.
11. Thomaz, Plinio (1998) Conservação da Água. Editora Navegar, São Paulo, 294 p.
12. Thomaz, Plinio (2001) Economia de Água para empresas e residências. Editora Navegar, São Paulo, 112p.
13. Thomaz, Plinio (2000) Previsão de Consumo de Água. Editora Navegar, São Paulo, 250p.