

## GEOLOGIA, USO DA TERRA E QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO, MG

Lucilia Maria Parron<sup>1</sup>, Jorge Enoch Furquim Werneck Lima<sup>2</sup>, Carlos José Domingos da Cruz<sup>3</sup> e Luziane Franciscon<sup>4</sup>

**Resumo:** *Esse estudo examinou variações espaciais e temporais de 14 parâmetros físico-químicos nas amostras de água coletadas ao longo da seção dos córregos Caxingó e Areia da bacia do Rio Preto, MG, em áreas com rochas calcárias. O pH, a condutividade e a concentração de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  mostraram interação da água com as rochas carbonáticas associadas ao córrego Caxingó e à segunda metade do córrego de Areia. A aplicação da análise estatística multivariada discriminou grupos iônicos. As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  indicaram interação da água com o manejo do solo, embora não se caracterize uma situação de eutrofização de águas superficiais. A composição química da água desses mananciais reflete mais sua interação com a geologia do terreno do que com o uso da terra na bacia hidrográfica.*

**Palavras-chave:** Bioma Cerrado. Solos calcários. Hidroquímica. Qualidade da água.

### 1 Introdução

A qualidade dos recursos hídricos superficiais é influenciada por diversos fatores, tais como o clima, a cobertura vegetal da bacia hidrográfica, a topografia do terreno, a geologia, o tipo de solo (fatores geogênicos) e as atividades antropogênicas (uso e o manejo do solo) (PEREIRA, 1997; HOLLOWAY, 1998). As águas refletem os meios por onde atravessam, guardando estreita relação com os tipos de rochas drenadas e com os produtos das atividades humanas, adquiridos ao longo de seu trajeto. As zonas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, denominadas áreas ripárias, influenciam e controlam a química da água durante o fluxo de base (de água subterrânea) dos mananciais. Este fluxo, frequentemente domina a hidrografia e a concentração de elementos, e tem influência sobre os processos biológicos (HILL, 2000).

O intemperismo é a fonte predominante de constituintes químicos principais de águas naturais como  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ . A lixiviação desses constituintes químicos através do perfil do solo tem forte influência da geologia e do tipo de solo nas águas dos

mananciais a eles associados (CAMPOS et al., 2006). Geralmente,  $\text{SO}_4^-$  e  $\text{Cl}^-$  são resultantes da dissolução de minerais e rochas, mas  $\text{Cl}^-$  é também um ânion abundante em águas residuais (KEGLEY; ANDREWS, 1997), sendo, portanto, um indicador de fontes de poluição, assim como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  e  $\text{PO}_4^-$ . Insumos agrícolas nitrogenados adicionados ao solo podem ser perdidos por lixiviação e escoamento superficial (ROBERTSON, 1997). Resíduos animais também podem ser fontes de nitrogênio na água de escoamento superficial (UNIFA, 1997).

Em termos de geomorfologia, a Bacia do Rio Preto é dividida em seis compartimentos com caráter hidro-funcional, de chapada intermediária, de chapada rebaixada, de serras e cristas alinhadas, de dissecação, de borda de chapada dissecada, e de borda de chapada (CAMPOS et al. 2006). O córrego Caxingó ocorre no compartimento de serras e cristas alinhadas, e o seu leito corre em área de origem sedimentar calcária, em relevo ondulado, pertencente à unidade geológica cujo processo avançado de carbonatação concentrou carbonatos em fraturas de feldspatos (CAMPOS et al., 2006). A

<sup>1</sup>E-mail: lucilia@cpac.embrapa.br.  
Embrapa Cerrados, BR 020, km 18 Planaltina-DF CEP. 73310-970.

<sup>2</sup> E-mail: jorge@cpac.embrapa.br.

<sup>3</sup> E-mail: karl.edward@gmail.com.

<sup>4</sup> E-mail: luziane@cnpf.embrapa.br.

atividade econômica predominante nas propriedades rurais da sub-bacia do córrego Caxingó é a pecuária extensiva. O córrego Areia ocorre no compartimento de chapada intermediária e tem sua primeira metade localizada em áreas de origem sedimentar clástica de textura fina, com relevo plano. Por definição, as rochas sedimentares clásticas são aquelas formadas pela acumulação de fragmentos de minerais ou de rochas intemperizadas. Nos terrenos de relevo plano, a atividade econômica predominante nas propriedades rurais da sub-bacia é a agricultura. A segunda metade do córrego Areia é localizada em área de origem calcária e apresenta relevo suave-ondulado a ondulado, onde a atividade econômica predominante é a pecuária extensiva.

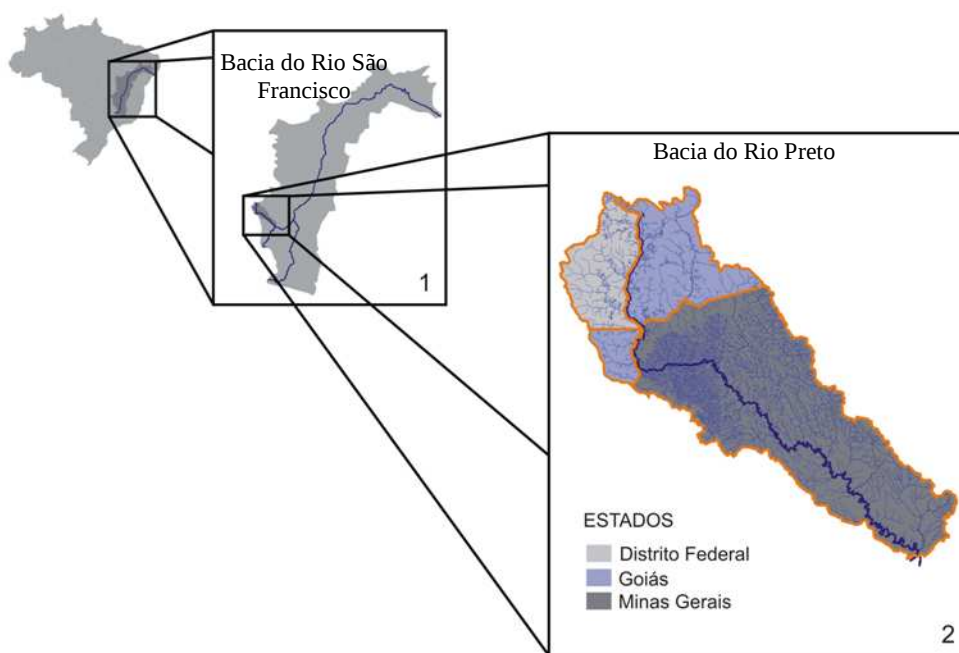
Vários projetos de pesquisa e extensão vêm sendo implantados na bacia do Rio Preto com a finalidade de gerir os

recursos hídricos e avaliar a ocupação do solo, culminando em planos que possam desenvolver a região de modo sustentável. Complementar aos demais estudos, o objetivo do presente trabalho foi apresentar uma avaliação da influência da geologia e do uso agrícola na qualidade da água de mananciais afluentes do Rio Preto, em áreas com rochas calcárias.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado nos córregos Caxingó e Areia, localizados em Unaí, MG. Ambos são mananciais de primeira ordem da bacia hidrográfica do Rio Preto (15°30' e 17°00' W e 46°00 e 47°35'S), um dos afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco (Figura 1).



**Figura 1 - Representação esquemática da localização da Bacia do Rio Preto na Bacia do Rio São Francisco (BSF) e dessa no território brasileiro .**

A área de estudo se localiza no bioma Cerrado, a precipitação anual média é de 1.470 mm, apresentando forte estacionalidade. De acordo com a Figura 2, houve muita chuva na região nos meses de janeiro e fevereiro de 2007, com totais acima de 300 mm/mês, voltando a chover

significativamente apenas em dezembro daquele ano. Em função disso, entre março e novembro, a influência do escoamento superficial na quantidade e na qualidade da água na região das bacias de estudo pode ter sido mínima.

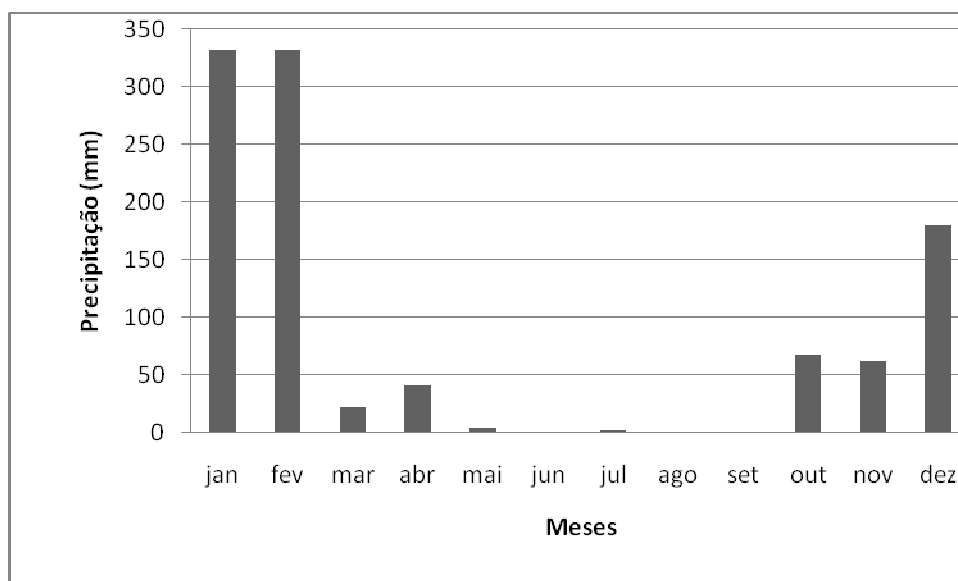


Figura 2 - Totais pluviométricos mensais da Estação Climatológica de Unaí (01646001, 46°53'24" O), janeiro a dezembro de 2007. (Fonte: Agência Nacional de Águas, 2009).

A água dos mananciais foi coletada nas nascentes e em pontos ao longo do percurso e na foz (Tabela 1). O acesso a eles era feito por estradas vicinais presentes nas propriedades particulares. A pastagem é fisionomia dominante na sub-bacia do córrego Caxingó e na segunda metade da sub-bacia do córrego Areia, com faixa de mata ciliar variando entre 5 e 10 metros. A

vegetação do entorno da nascente do córrego Caxingó, C1, é preservada, assim como a nascente A1 do córrego Areia. Na propriedade em que se localiza a nascente A2 desse córrego, há cultivo irrigado de feijão, cuja fertilização consiste de superfosfato simples ( $\text{CaH}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), cloreto de potássio (KCl) e uréia ( $\text{NH}_2\text{CO}_2\text{NH}_4$ ).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de água nos córregos Caxingó (MG) e Areia (MG), e uso predominante do solo no entorno.

| Córrego            | Ponto de coleta | Coordenadas geográficas |           | Uso do solo        |
|--------------------|-----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|                    |                 | S                       | W         |                    |
| Caxingó (nascente) | C1              | 16.15192°               | 46.97042° | Vegetação original |
| Caxingó (meio)     | C2              | 16.17398°               | 46.97244° | Pastagem           |
| Caxingó (meio)     | C3              | 16.20457°               | 46.97537° | Pastagem           |
| Caxingó (foz)      | C4              | 16.24845°               | 46.94780° | Pastagem           |
| Areia (nascente 1) | A1              | 16.37300°               | 47.09160° | Vegetação original |
| Areia (nascente 2) | A2              | 16.39697°               | 47.09855° | Agricultura        |
| Areia (meio)       | A3              | 16.39539°               | 47.01222° | Vegetação original |
| Areia (foz)        | A4              | 16.37469°               | 46.97889° | Pastagem           |

## 2.2 Amostragem e análises dos solos

As classes de solos predominantes nas áreas de estudo são os Cambissolos, na sub-bacia do córrego Caxingó e segunda metade do córrego Areia e os Latossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos na primeira metade da sub-bacia córrego Areia (EMBRAPA, 1999; SILVA, 2004; BORGES et al., 2007). Para subsidiar a caracterização de

parâmetros físico-químicos da água, amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 cm a 40 cm, 40 cm a 60 cm e 60 cm a 80 cm, foram coletadas nas zonas ripárias associadas a cada ponto de coleta de água. Foram determinados pH em água, alumínio trocável, fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio por espectrometria de emissão atômica (ICP-MS) e matéria orgânica (método Walkley-

Black). Análises granulométricas foram realizadas em amostras indeformadas coletadas nas profundidades 0 a 20 cm e 60 a 80 cm.

### 2.3 Amostragem e análises físico-químicas da água

As coletas de água foram realizadas em janeiro (período chuvoso), maio (transição períodos chuvoso-seco), agosto (período seco) e novembro (transição períodos seco-chuvoso) de 2007. Para cada coleta, foram determinados em campo, em amostras não filtradas, pH, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD), utilizando medidor multiparâmetros (HACH, sension 156). A alcalinidade (que denota as quantidades de  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , da água) foi determinada por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N. As concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  (peso molar = 61 g eq<sup>-1</sup>) foram calculadas a partir da alcalinidade (mg  $\text{CaCO}_3^{-1}$  \* 0,61).

Os procedimentos de preservação da amostra e metodologias analíticas adotados obedeceram aos critérios adotados pela APHA (1995). Em amostras filtradas em membrana de 0,45 µm, foi determinada a concentração de ânions e cátions por cromatografia iônica (Metrohm IC 761). Para ânions ( $\text{SO}_4^-$  e  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  e  $\text{PO}_4^-$ ), foi utilizada coluna Metrosep A Supp5-100, tendo como eluente uma solução preparada com carbonato de sódio e bicarbonato de sódio e, como regenerante de supressor, ácido sulfúrico (SCHAFER et al., 2003; KARIM et al., 2008). Para cátions ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ), foi utilizada coluna Metrosep C2, tendo como eluente solução preparada com ácido dipicolínico e ácido tartárico (SCHAFER et al., 2003). Os limites de detecção (LOD) foram estimados de acordo com HULANICKI (1995), variando entre 1 e  $2 \times 10^{-4}$  meq L<sup>-1</sup> para ânions e entre 1 e  $4 \times 10^{-3}$  meq L<sup>-1</sup> para cátions.

### 2.4 Tratamento dos dados

Para investigar as possíveis correlações entre variáveis físico-químicas em cada córrego, foi aplicada matrizes de correlação (R) e análise de cluster (CA) ao conjunto de dados. Nos procedimentos multivariados de cluster, similaridade e dissimilaridade entre as variáveis foram descritas pelas distâncias euclidianas, utilizando o método aglomerativo de Ward

(JOHNSON; WICHERN, 1998), o qual maximiza a variância entre os grupos e minimiza-a entre os membros do mesmo grupo, para determinar associações entre diferentes variáveis, organizando os dados em grupos com características semelhantes, baseando-se na menor variância intra-grupos. Os cálculos estatísticos foram efetuados utilizando-se o software R (RDC TEAM, 2009).

## 3 Resultados e Discussão

### 3.1 Caracterização físico-química dos solos

As amostras de solo obtidas para a sub-bacia do córrego Caxingó apresentaram pH ácido na nascente e levemente básico nos pontos de coleta posteriores (C3 e C4) (Tabela 2).

As concentrações de  $P_{\text{total}}$  e  $\text{Ca}^{+2}$  foram mais altas nesses pontos.  $P_{\text{total}}$  e  $\text{Ca}^{+2}$  aumentaram com o percurso do córrego e  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram maiores na nascente e diminuíram nos pontos seguintes. A matéria orgânica apresentou tendência de valores maiores na nascente e menor na foz. As amostras de solo obtidas para a sub-bacia do córrego Areia apresentaram pH ácido (Tabela 2). As concentrações de  $P_{\text{total}}$  foram maiores nas nascentes comparadas ao percurso seqüencial do córrego. Para  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , ocorreu o contrário e, no meio e foz foram bastante inferiores aos obtidos no meio e foz do córrego Caxingó.

Os percentuais de matéria orgânica apresentaram valores e tendências semelhantes aos do córrego Caxingó. Solos de origem calcária como os da sub-bacia do córrego Caxingó têm como características maiores valores de pH, alta concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  e baixa concentração de  $\text{Al}^{+3}$ . Ao contrário, nas nascentes do córrego Areia, os solos são ácidos devido ao material de origem ou a processos de formação que favorecem a remoção de bases como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$ . O cultivo e o uso de adubações, principalmente fertilizantes amoniacais e a uréia, também podem contribuir para a acidificação desses solos.

A caracterização granulométrica indica solos arenosos nos entornos do córrego Caxingó e da segunda metade do córrego Areia e, solos argilosos no entorno da primeira metade do córrego Areia (Tabela 3).

**Tabela 2 - Atributos químicos de solos no entorno dos córregos Caxingó (C) e Areia (A) em Unaí-MG.  
(Média de três repetições).**

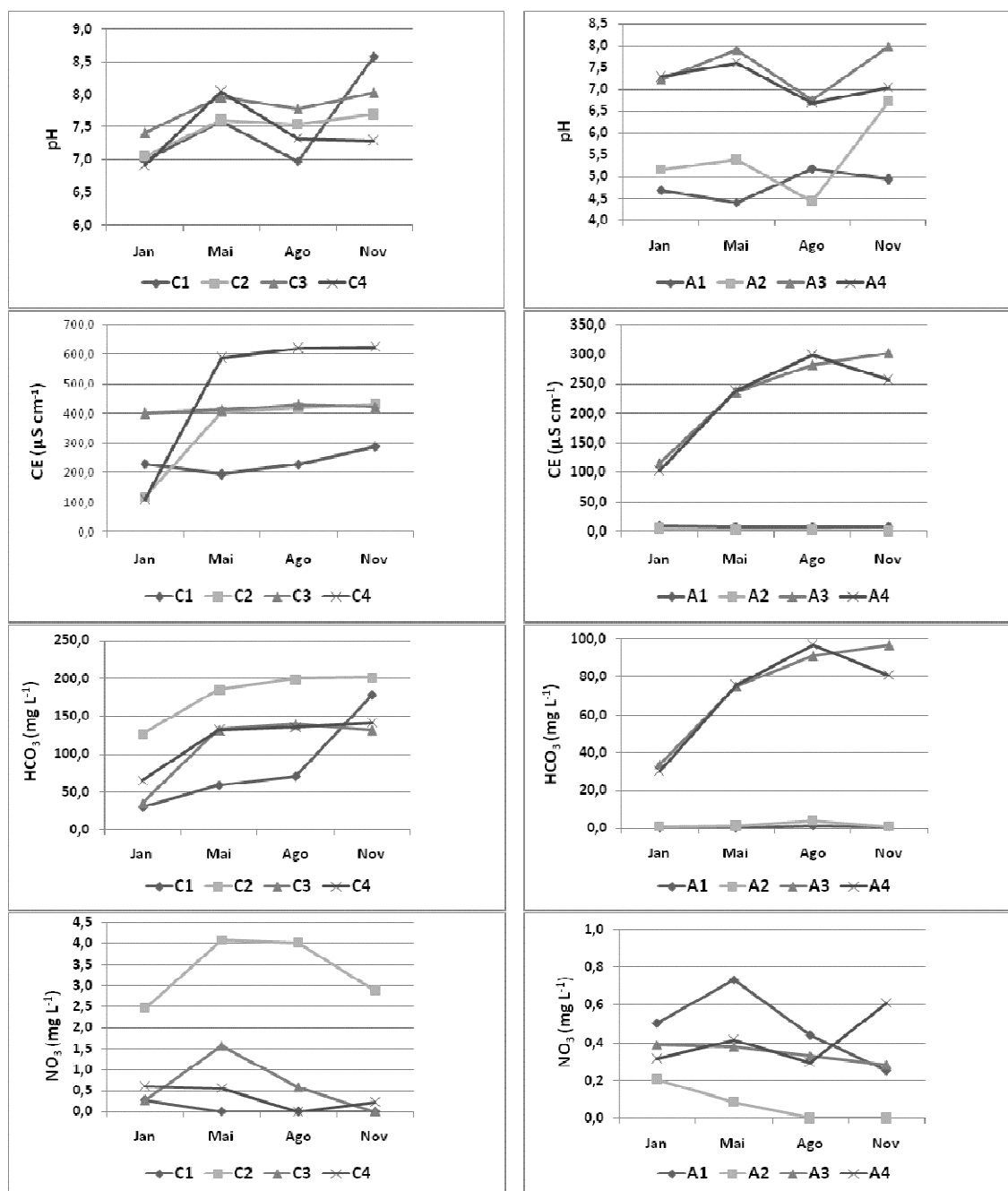
| Ponto de coleta | Profundidade (cm) | pH (H <sub>2</sub> O) | Al (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) | P (mg L <sup>-1</sup> ) | K (mg L <sup>-1</sup> ) | Ca (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) | Mg (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) | MO (%) |
|-----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------|
| C1              | 0-20              | 5,52                  | 0,05                                    | 1,9                     | 148,85                  | 5,35                                    | 1,5                                     | 3,17   |
| C1              | 20-40             | 5,27                  | 0,41                                    | 0,86                    | 118,68                  | 1,75                                    | 1,75                                    | 0,97   |
| C1              | 40-60             | 5,43                  | 0,74                                    | 0,86                    | 229,31                  | 1,55                                    | 1,67                                    | 0,71   |
| C1              | 60-80             | 5,39                  | 1,26                                    | 0,54                    | 189,08                  | 1,75                                    | 1,92                                    | 0,58   |
| C1              | 80-100            | 5,52                  | 1,29                                    | 0,61                    | 189,08                  | 1,5                                     | 1,75                                    | 0,5    |
| C2              | 0-20              | 5,82                  | 0                                       | 2,92                    | 134,62                  | 10,8                                    | 1,4                                     | 2,49   |
| C2              | 20-40             | 5,95                  | 0                                       | 2,55                    | 112,41                  | 10,4                                    | 1,2                                     | 1,36   |
| C2              | 40-60             | 6,12                  | 0                                       | 2,4                     | 107,96                  | 8,3                                     | 1,2                                     | 0,92   |
| C2              | 60-80             | 5,93                  | 0                                       | 1,99                    | 103,48                  | 7,3                                     | 1,0                                     | 0,9    |
| C2              | 80-100            | 6,51                  | 0                                       | 1,91                    | 83,37                   | 7,4                                     | 1,0                                     | 0,58   |
| C3              | 0-20              | 6,37                  | 0                                       | 3,94                    | 58,13                   | 11,2                                    | 0,83                                    | 2,94   |
| C3              | 20-40             | 6,51                  | 0                                       | 5,24                    | 48,07                   | 13,2                                    | 0,58                                    | 2,61   |
| C3              | 40-60             | 6,81                  | 0                                       | 5,94                    | 39,02                   | 13,6                                    | 0,42                                    | 2,22   |
| C3              | 60-80             | 7,08                  | 0                                       | 3,28                    | 33,99                   | 18,4                                    | 0,33                                    | 1,93   |
| C3              | 80-100            | 7,14                  | 0                                       | 3,38                    | 36                      | 18,65                                   | 0,42                                    | 1,79   |
| C4              | 0-20              | 6,34                  | 0                                       | 4,84                    | 51,09                   | 10,5                                    | 0,5                                     | 1,69   |
| C4              | 20-40             | 6,73                  | 0                                       | 4,76                    | 40,03                   | 10,05                                   | 0,33                                    | 1,26   |
| C4              | 40-60             | 7,02                  | 0                                       | 6,07                    | 29,97                   | 9,8                                     | 0,33                                    | 0,78   |
| C4              | 60-80             | 7,27                  | 0                                       | 4,84                    | 26,95                   | 10,3                                    | 0,08                                    | 0,91   |
| C4              | 80-100            | 7,28                  | 0                                       | 6,37                    | 31,98                   | 9,25                                    | 0,08                                    | 0,9    |
| A1              | 0-20              | 5,13                  | 1,36                                    | 2,52                    | 143,25                  | 0,3                                     | 0,08                                    | 2,53   |
| A1              | 20-40             | 5,2                   | 1,41                                    | 0,92                    | 52,03                   | 0,22                                    | 0,07                                    | 1,21   |
| A1              | 40-60             | 5,04                  | 0,85                                    | 0,53                    | 27,58                   | 0,24                                    | 0,08                                    | 0,44   |
| A1              | 60-80             | 5,01                  | 0,53                                    | 0,43                    | 26,96                   | 0,2                                     | 0,08                                    | 0,21   |
| A1              | 80-100            | 4,9                   | 0,85                                    | 0,42                    | 25,36                   | 0,15                                    | 0,06                                    | 0      |
| A2              | 0-20              | 4,91                  | 1,48                                    | 2,29                    | 147,65                  | 0,25                                    | 0,08                                    | 2,91   |
| A2              | 20-40             | 4,98                  | 0,88                                    | 0,86                    | 51,09                   | 0,15                                    | 0,08                                    | 1,14   |
| A2              | 40-60             | 5,22                  | 0,87                                    | 0,5                     | 29,97                   | 0,35                                    | 0,08                                    | 0,54   |
| A2              | 60-80             | 5,36                  | 0,55                                    | 0,44                    | 27,96                   | 0,2                                     | 0,08                                    | 0      |
| A2              | 80-100            | 5,21                  | 0,48                                    | 0,39                    | 27,96                   | 0,25                                    | 0,08                                    | 0      |
| A3              | 0-20              | 5,84                  | 0,08                                    | 0,89                    | 148,85                  | 2,4                                     | 1,83                                    | 2,02   |
| A3              | 20-40             | 5,33                  | 0,66                                    | 0,7                     | 96,41                   | 1,5                                     | 1,67                                    | 1,61   |
| A3              | 40-60             | 5,38                  | 0,55                                    | 0,7                     | 65,17                   | 1,5                                     | 2                                       | 1,36   |
| A3              | 60-80             | 5,26                  | 0,48                                    | 2                       | 72,21                   | 1,75                                    | 2,33                                    | 1,72   |
| A3              | 80-100            | 5,38                  | 0,31                                    | 0,94                    | 98,56                   | 1,9                                     | 3,25                                    | 1,52   |
| A4              | 0-20              | 5,37                  | 0,06                                    | 0,76                    | 69,19                   | 3,4                                     | 2,25                                    | 1,78   |
| A4              | 20-40             | 5,65                  | 0,01                                    | 0,7                     | 69,19                   | 3,65                                    | 2                                       | 1,78   |
| A4              | 40-60             | 5,77                  | 0                                       | 0,48                    | 54,11                   | 3,2                                     | 1,92                                    | 1,27   |
| A4              | 60-80             | 6,01                  | 0                                       | 0,64                    | 58,13                   | 3,7                                     | 2,42                                    | 1,34   |
| A4              | 80-100            | 6,21                  | 0,04                                    | 0,75                    | 52,1                    | 4,55                                    | 3,17                                    | 1,26   |

**Tabela 3 - Análises granulométricas de solos no entorno dos córregos Caxingó (C) e Areia (A) em Unai-MG. Médias de seis repetições nas profundidades 0-20 cm e 60-80 cm.**

| Ponto de coleta | Granulometria (%) |       |        |
|-----------------|-------------------|-------|--------|
|                 | Areia             | Silte | Argila |
| C1              | 41                | 22    | 37     |
| C2              | 39                | 26    | 35     |
| C3              | 41                | 22    | 37     |
| C4              | 39                | 25    | 36     |
| A1              | 29                | 10    | 61     |
| A2              | 25                | 12    | 63     |
| A3              | 40                | 22    | 38     |
| A4              | 42                | 19    | 39     |

### 3.2 Caracterização físico-química da água: comparação entre locais de coleta

Nas figuras 3a, 3b e 3c são apresentadas as variações locais e sazonais de pH, CE, OD, respectivamente, e das concentrações de íons presentes nas amostras de água do córregos estudados. No córrego Caxingó, localizado em região de solos calcários, o pH varia de levemente básico a básico e a CE é alta (Figura 3a).



**Figura 3a - Caracterização físico-química (pH, condutividade elétrica, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) da água do córrego Caxingó (lado direito) e do córrego Areia (lado esquerdo), na região de Unai-MG, janeiro a novembro de 2007.**

Os ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  e  $\text{Cl}^-$  apresentaram variação local (Figuras 3a e 3b). Os maiores valores de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  foram obtidos no ponto C2, onde havia fonte de contaminação por atividades domésticas (despejos alcalinos e resíduos de animais), ocorrendo redução desses nutrientes à

jusante, no ponto C3. A redução da concentração de  $\text{NO}_3^-$  nos pontos de coleta seguintes a fontes de contaminação podem ser atribuídas a processos de mineralização e, no caso do  $\text{Cl}^-$ , por ser um íon conservativo, aos processos de dispersão hidráulica.

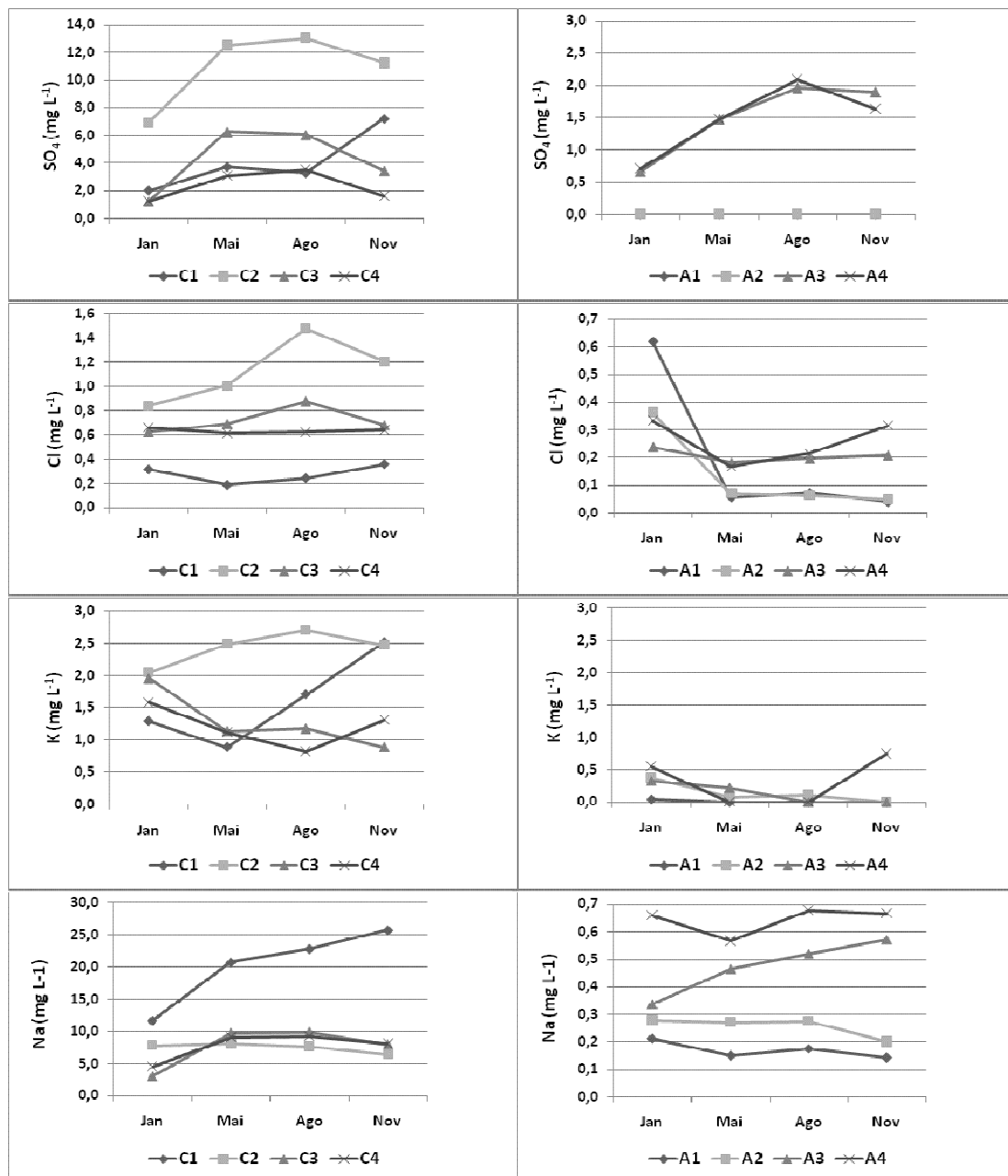


Figura 3b - Caracterização físico-química ( $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) da água do córrego Caxingó (lado direito) e do córrego Areia (lado esquerdo), na região de Una=MG, janeiro a novembro de 2007.

Os maiores valores dos cátions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  também foram obtidos no ponto C2 (Figuras 3b e 3c), exceto para  $\text{Na}^+$ , cujos valores máximos foram obtidos na nascente. Os valores de OD foram maiores onde ocorreram as menores concentrações de formas nitrogenadas ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) e em

novembro, período final da estação seca, nos pontos 1, 2 e 4, apresentaram-se abaixo de  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ , limite para consumo humano, após tratamento convencional (BRASIL, 2005).

Os valores de  $\text{PO}_4^{2-}$  e  $\text{P}_{\text{total}}$  foram próximos de zero. No córrego Areia as

amostras de água apresentaram valores menores de pH, CE,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  nas nascentes, localizadas em terrenos de origem clástica, e maiores nos pontos de coleta no meio e foz do córrego, localizados em terreno de origem calcária. As diferenças no pH, CE e concentrações de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram evidentes entre as nascentes (C1 e C2) comparadas aos pontos subsequentes (C3 e C4), os quais apresentaram o mesmo padrão dos obtidos para o córrego Caxingó. As concentrações

médias de  $\text{NO}_3^-$  foram maiores na nascente A1, quando comparadas à nascente A2. A semelhança do que ocorreu no córrego Caxingó, aqui também ocorreu redução na concentração média de  $\text{NO}_3^-$  a jusante. Concentrações de OD ficaram acima de  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Os valores de  $\text{PO}_4^{2-}$  e  $\text{P}_{\text{total}}$  foram próximos de zero. Os valores médios obtidos foram inferiores aos do córrego Caxingó para a maioria dos parâmetros, exceto para OD e  $\text{Mg}^{+2}$ .

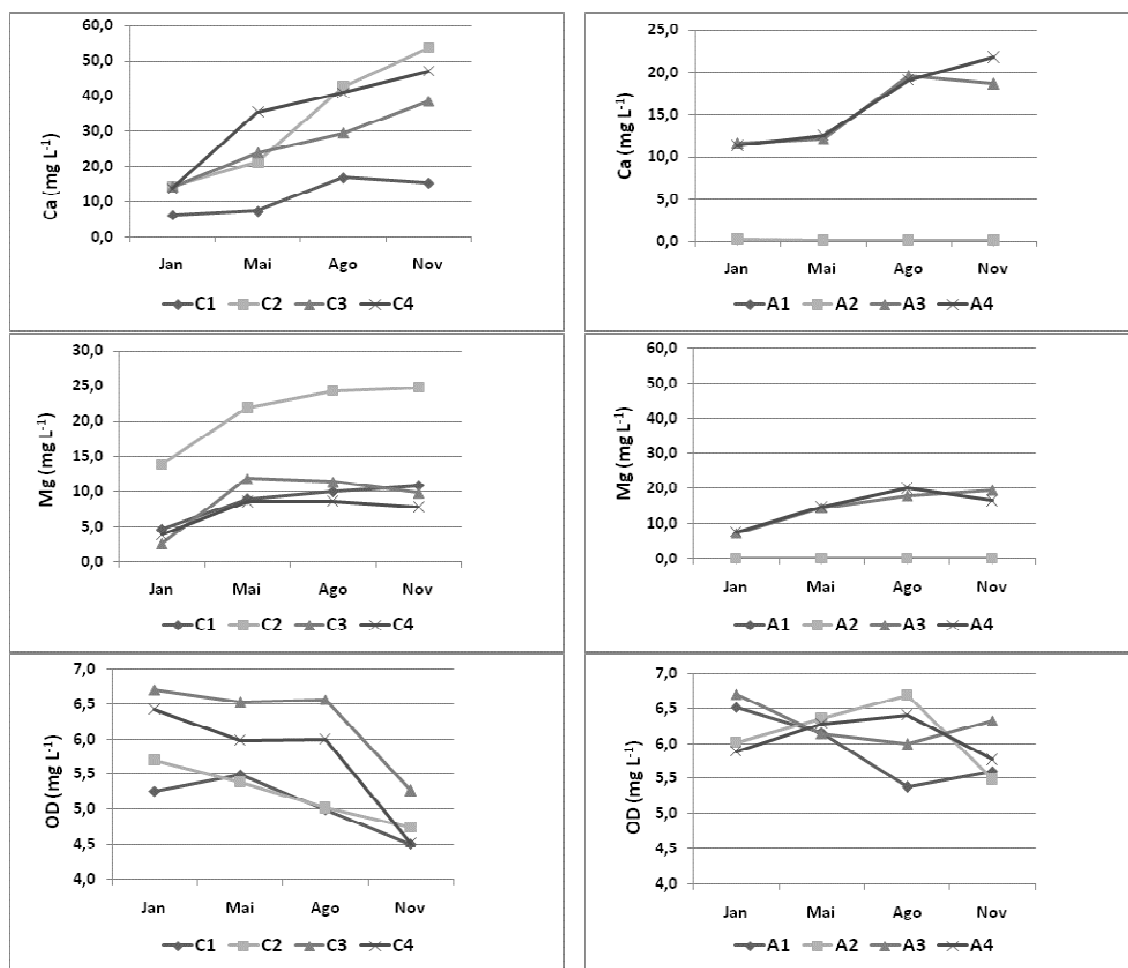


Figura 3c - Caracterização físico-química ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , oxigênio dissolvido e ) da água do córrego Caxingó (lado direito) e do córrego Areia (lado esquerdo), na região de Unaí=MG, janeiro a novembro de 2007.

### 3.3 Caracterização físico-química da água: efeito da sazonalidade

Comparando-se os dados de cada córrego em cada uma das estações (chuvosa e seca) e nas transições entre as estações, verifica-se que na estação seca e na transição seca-chuvosa ocorrem tendências de aumento de CE,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e

$\text{Mg}^{+2}$  e de redução de OD (Figura 3a e 3c). Por outro lado, íons associados a atividades antropogênicas ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ ) não apresentam um padrão. As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  foram maiores na transição chuvosa-seca em ambos os córregos e as de  $\text{Cl}^-$  foram maiores na estação seca, no córrego Caxingó (Figura 3a e 3b).

### 3.4 Correlações entre os parâmetros físico-químicos

A alcalinidade ou  $\text{HCO}_3^-$  foi o parâmetro que caracterizou mais fortemente as águas do córrego Caxingó. As maiores correlações estatísticas foram obtidas entre  $\text{HCO}_3^-$  versus  $\text{SO}_4^-$  ( $R = 0,83$ ) e  $\text{Mg}^{+2}$  ( $R = 0,84$ ). Correlações  $\geq 0,50$  entre  $\text{HCO}_3^-$  e

demais parâmetros foram obtidas também para CE, pH,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Cl}^-$  (Tabela 4). Correlações  $\geq 0,50$  também foram obtidas entre CE e os íons  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . O pH apresentou correlação  $\geq 0,50$  somente com  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ . No C. Areia vários parâmetros apresentam alta correlação entre si, principalmente entre  $\text{HCO}_3^-$ , CE, pH,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Na}^+$ .

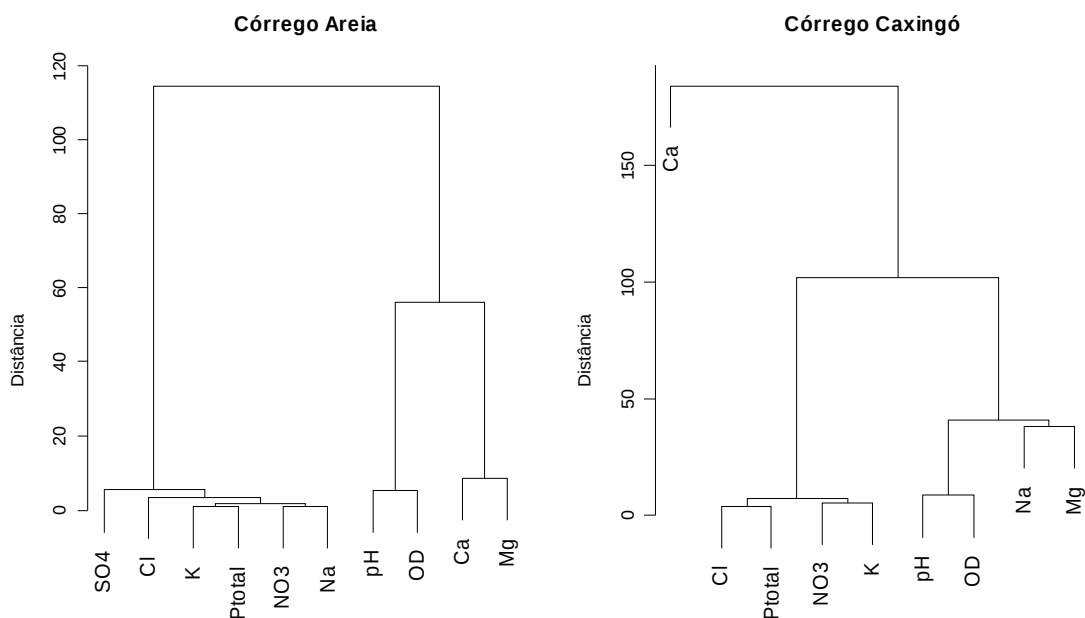
**Tabela 4 - Correlações (R) entre variáveis para os córregos Caxingó e Areia n=16, p <0,05.**

| Córregos                            | Caxingó                             |                              |       | Areia                               |                              |       |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Variáveis                           | $\text{HCO}_3^- (\text{mg L}^{-1})$ | CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) | pH    | $\text{HCO}_3^- (\text{mg L}^{-1})$ | CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) | pH    |
| $\text{HCO}_3^- (\text{mg L}^{-1})$ | --                                  | 0,70                         | 0,53  | --                                  | 1,00                         | 0,78  |
| CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )        | 0,70                                | --                           | 0,39  | 1,00                                | --                           | 0,79  |
| pH                                  | 0,53                                | 0,39                         | --    | 0,78                                | 0,79                         | --    |
| $\text{NO}_3^- (\text{mg L}^{-1})$  | 0,62                                | 0,41                         | -0,19 | 0,21                                | 0,24                         | -0,22 |
| $\text{SO}_4^- (\text{mg L}^{-1})$  | 0,83                                | 0,52                         | 0,16  | 1,00                                | 1,00                         | 0,92  |
| $\text{K}^+ (\text{mg L}^{-1})$     | 0,54                                | 0,29                         | 0,01  | 0,11                                | 0,13                         | 0,27  |
| $\text{Ca}^{++} (\text{mg L}^{-1})$ | 0,66                                | 0,72                         | 0,25  | 0,96                                | 0,96                         | 0,79  |
| $\text{Mg}^{++} (\text{mg L}^{-1})$ | 0,84                                | 0,65                         | 0,21  | 1,00                                | 1,00                         | 0,79  |
| $\text{Na}^+ (\text{mg L}^{-1})$    | -0,14                               | -0,36                        | 0,26  | 0,87                                | 0,87                         | 0,79  |
| $\text{Cl}^- (\text{mg L}^{-1})$    | 0,78                                | 0,38                         | 0,57  | -0,16                               | -0,15                        | -0,23 |
| $\text{NH}_4^+ (\text{mg L}^{-1})$  | 0,24                                | 0,36                         | -0,05 | -0,05                               | -0,03                        | 0,42  |
| OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )           | -0,10                               | -0,20                        | 0,31  | 0,26                                | 0,26                         | 0,12  |

### 3.5 Análise de clusters dos principais parâmetros físico-químicos na água

A Figura 4 mostra o dendrograma de classificação dos principais parâmetros físico-químicos analisados na água dos

córregos, utilizando a distância euclidiana e método aglomerativo de Ward. Não foram incluídos os dados de CE e  $\text{HCO}_3^-$ , com a finalidade de caracterizar as fontes dos parâmetros através da semelhança entre os mesmos.



**Figura 4 - Dendrograma para os parâmetros físico-químicos das águas dos Córregos Areia e Caxingó, Unai-MG.**

No dendrograma para o córrego Areia foi evidente a existência de três clusters (1)  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Na}^+$ , (2) pH e OD, (3)  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . O dendrograma para o córrego Caxingó também revelou três clusters (1)  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{K}^+$ , (2) pH, OD, (3)  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . O íon  $\text{Ca}^{+2}$  aparece muito distanciado dos demais. Justamente neste córrego, as amostras apresentam os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  mais elevados no conjunto considerado, e maiores valores de CE e  $\text{HCO}_3^-$  devido às águas carbonatadas.

### 3.6 Associação entre química da água, geologia e uso do solo

Os parâmetros analisados ilustraram bem o relacionamento complexo entre a química da água de mananciais e as formações geológicas. Essa relação é caracterizada pela CE e pelos principais cátions e ânions dissolvidos na água, já que a CE representa os principais íons dissolvidos. A água do córrego Caxingó apresentou maior CE devido a maiores concentrações de íons derivados da interação com as rochas carbonáticas (por exemplo,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) (CAMPOS et al., 2006), como indicado também pelos valores elevados de pH (Figura 3a).

Estas características hidroquímicas são associadas com as variáveis geológicas, que refletem a natureza estratigráfico-litológica do subsolo do 'compartimento geomorfológico de serras e cristas alinhadas'. Estas unidades estratigráficas são compostas essencialmente de carbonato e das litologias ricas em cálcio, magnésio, e em minerais com  $\text{SO}_4^-$  (calcita, dolomita e gesso). Em contraste, as águas do córrego Areia apresentaram valores menores de pH, CE,  $\text{HCO}_3^-$  e de cátions como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , indicando que as unidades lito-estratigráficas principais dos 'compartimentos de chapada intermediária' apresentam características hidroquímicas diferentes.

Embora não se caracterize uma situação de eutrofização de águas superficiais associados ao uso do solo (KELLMAN; HILLAIRES-MARCEL, 1998; HATCH et al., 2002), maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , obtidas nos pontos C2 e A1 (Figura 3a), em relação aos demais pontos de coleta, podem ser associadas à influência do uso do solo na qualidade da água dos

mananciais. A alteração no balanço de nitrogênio dentro do ecossistema pode até ser relacionado à acidificação do solo (PAUL; CLARK, 1996) nos locais onde maiores concentrações de formas nitrogenadas estão associadas a atividades antropogênicas.

Por outro lado, as reduções de concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água, no percurso sequencial dos córregos, podem inferir a ocorrência de denitrificação durante o transporte de íons. É conhecido que as bacias hidrográficas têm a capacidade de absorver parte do estoque de  $\text{NO}_3^-$  através da acumulação da biomassa e da redução do  $\text{NO}_3^-$  em lençóis freáticos e em zonas ripárias (LOWRANCE et al., 1995; RASSAM et al., 2006), todavia, essas perdas resultantes da denitrificação durante o transporte são freqüentemente negligenciadas nos estudos de ciclagem de nitrogênio. Se quantidades significativas de  $\text{NO}_3^-$  são denitrificadas durante o transporte da água, as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  em muitos córregos de ambientes contaminados podem ser subestimadas. Monitoramentos de contaminação por  $\text{NO}_3^-$  de águas superficiais devem considerar isto.

A textura do solo, possivelmente, também exerce influência nas concentrações de nutrientes na água. Solos de textura arenosa apresentam maior mobilidade e perda de íons por lixiviação quando comparados com solos com predomínio de argila (MARQUES et al., 2004; WERLE et al. 2008).

Os períodos de amostragem, assim como as características do solo e seus usos, influenciaram nos resultados das análises físico-químicas da água dos córregos. As informações obtidas nesse diagnóstico são coerentes com a literatura disponível, que associa geologia e manejo do solo com as características físico-químicas da água. Nas nascentes com vegetação natural remanescente (C1 e A2), a qualidade da água apresenta características físico-químicas melhores que na nascente com uso agrícola (A1). Por isso, o entendimento da qualidade da água em bacias hidrográficas é essencial para compreender como o seu manejo altera as características físico-químicas de seus mananciais.

### 4 Conclusões

- No córrego Caxingó e na segunda metade do córrego Areia, as águas são

alcalinas, resultantes da sua interação com rochas carbonáticas. Nas nascentes do córrego Areia, as águas são ácidas, em função de sua interação com rochas de origem sedimentar clástica.

- Concentrações maiores de nutrientes antropogênicos  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  obtidas em alguns pontos de coleta indicam interação da água

com o manejo do solo, embora não se caracterize uma situação de eutrofização de águas superficiais.

- Em ambos os mananciais, a composição química da água reflete mais sua interação com a geologia do terreno do que com o manejo do solo.

---

## 5 Geology, soil use and water quality of streams in Preto River basin, Brazil.

**Abstract:** *This study examined the spatial and temporal variations of 14 physico-chemical parameters in water samples collected along the section of Caxingó and Areia streams of Preto River basin, Brazil, in areas with calcareous rocks. The pH, conductivity and the concentration of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  showed the interaction of the water with carbonatic rocks associated to the stream Caxingó and to the second half of the Areia stream. The application of cluster analysis discriminated ionic groups. The concentrations of  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  indicated interaction with the soil use, although is not characterized eutrofization of surface waters. The chemical composition of the streams water reflects more of your interaction with the geology than with the land use in basin.*

**Keywords:** Cerrado. Biome. Calcareous soils. Hydrochemistry. Water quality.

---

## 6 Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19<sup>a</sup> ed. Washington DC: American Water Works Association and Water Environment Federation, 1995. 1268p.

BORGES, M.E.S.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; ARCOVERDE, G.F.B.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. Emprego do processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do RIO PRETO. **Espaço & Geografia**, v.10, p.401-429, 2007.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Seção 1. Brasília, DF, 17 de março de 2005. 2005. p. 58-63.

CAMPOS, J.E.G.; MONTEIRO, C.F.; RODRIGUES, L.N. **Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2006.52p. (Embrapa Cerrados. Documentos).

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa: Produção de Informação. 1999.

HATCH, D.; GOULDING, K.; MURPHY, D. Nitrogen. In: HAYGARTH, P.M.; JARVIS, S.C.

(Eds.) **Agriculture, Hydrology and Water Quality**. Wallingford, UK: CABI, 2002. p.7-28.

HILL, A.R. Stream chemistry and riparian zones. In: JONES, J.B.; MULHOLLAND, P.J. (Eds.) **Streams and groundwaters**. London: Academic Press, 2000. p. 83-107.

HOLLOWAY, J.M.; DAHLGREN, R.A.; HANSEN, B.; CASEY, W.H. Contribution of bedrock nitrogen to high nitrate concentrations in stream water. **Nature**, v. 395, p. 785-788, 1998.

HULANICKI, A.; International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC Recommendations). Absolute methods in analytical chemistry. **Pure Application Chemistry**, v. 67, n.11, p.1905-1911, 1995.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4.ed. Englewood NJ: Prentice Hall Inc., 1998. 816p.

KARIM, Z.; MUMTAZ, M.; SIDDIQUE, A.; KARIM, A. Simultaneous determination of common inorganic anions in water samples by ion chromatography. **Journal of Basic and Applied Sciences** v. 4, n. 2, p. 63-66, 2008.

KEGLEY, S.E.; ANDREWS, J. **The chemistry of water**. Sausalito, CA: University Science Books, 1998. 167p.

KELLMAN, L.; HILLAIRE-MARCEL, C. Nitrate cycling in streams: using natural abundances of  $\text{NO}_3^-$  -  $^{15}\text{N}$  to measure *in-situ* denitrification. **Biogeochemistry**, v. 43, p. 273-292, 1998.

- LOWRANCE, R, VELLIDIS, G.; HUBBARD, R.K. Denitrification in a restored riparian Forest wetland. **Journal of Environmental and Quality**, v. 24, p. 808-815, 1995.
- MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma** v. 119, p. 179-195, 2004.
- PAUL E.A.; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2ª ed. San Diego, CA: Academic Press Inc., 1996. 276p.
- PEREIRA, V.P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: FCAV, 1997. 56p.
- RASSAM, D.W.; FELLOWS, C.S.; HAYR, R.D.; HUNTER, H.; BLOESCH, P. The hydrology of riparian buffer zones; two case studies in an ephemeral and a perennial stream. **Journal of Hydrology**, v. 325, p.308-324, 2006.
- RDC TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em <<http://www.R-project.org>> Acesso em: 15 abr. 2009.
- ROBERTSON, G.P. Nitrogen use efficiency in row-crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss. In: JACKSON, L.E. (Ed.) **Ecology in agriculture**. San Diego, CA: Academic Press, 1997. p.347-365. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123782601>. Acesso em: 15 dez. 2008.
- SCHAFER, H.; LAUBLI, M.; DORIG, R. **Ion Chromatography: theory columns and eluents**. Metrohm Monograph 8.732.2003. Herisau, Switzerland: Metrohm AG, 2003. 54p.
- SILVA, V.C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.3, p.147-159, 2004.
- UNIFA - Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes. **O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente**. 7ª.ed. traduzida. Paris:UNIFA, 1997. 63p.
- WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2297-2305, 2008.

## 7 Agradecimentos

Ao CT-Agro/CT-Hidro/CNPq pelo financiamento do projeto 'Monitoramento da disponibilidade e qualidade de água em sub-bacias na bacia hidrográfica do Rio Preto, médio Rio São Francisco'.