



**Universidade Federal do Ceará
Departamento de Física**

Hidrogeoquímica de Lavras da Mangabeira

**Maria Marlúcia Freitas Santiago
Carla Maria Salgado Vidal Silva
Horst Frischkorn
Josué Mendes Filho
Liano Silva Veríssimo**

Fortaleza, setembro de 2007

ÍNDICE

Índice	2
Lista de Figuras	3
Lista de Quadros	3
Lista de fotos	4
Lista de Tabelas	4
1. Introdução	5
2. Coleta de amostras	5
3. Análise hidroquímica	6
3.1. Cálcio	7
3.2. Magnésio	7
3.3. Sódio	7
3.4. Potássio	8
3.5. Cloretos	8
3.6. Sulfatos	8
3.7. Bicarbonatos e Carbonatos	8
3.8. Nitratos	9
3.9. pH	9
3.10. Condutividade Elétrica	10
3.11. Dureza	10
3.12. Determinação química dos íons	11
4. Análise Bacteriológica	11
5. Interpretação dos resultados	14
6. Conclusões	34
7. Referências Bibliográficas	34

LISTA DE FIGURAS

1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira.	6
2. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P3 em Lavras da Mangabeira.	18
3. idem poço P4 em Lavras da Mangabeira	19
4. idem poço P6 em Lavras da Mangabeira	20
5. idem poço P8 em Lavras da Mangabeira	21
6. idem poço P22 em Lavras da Mangabeira	22
7. idem poço P24 em Lavras da Mangabeira	23
8. idem poço P27 em Lavras da Mangabeira	24
9. Pluviometria de um posto meteorológico em Lavras da Mangabeira de abril de 2005 a fevereiro de 2007	25
10. Variação da condutividade com o tempo no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços em Lavras da Mangabeira	25
11. Variação da concentração de nitrato com o tempo no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços em Lavras da Mangabeira	26
12. Variação da dureza com o tempo no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços em Lavras da Mangabeira	26
13. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira	28
14. Diagramas USDA em Lavras da Mangabeira	31
15. Diagramas USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) em Lavras da Mangabeira	32
16. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados em Lavras da Mangabeira, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	33
17. <i>E. Coli</i> nas águas coletadas de onze poços localizados em Lavras da Mangabeira, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	33

LISTA DE QUADROS

1. Locais amostrados em Lavras da Mangabeira nas sub-bacias, Riacho do Meio e Riacho do Rosário	6
2. Valores máximos permitidos (VMP) para as águas potáveis (Portaria n ^o 518 do Ministério da Saúde).	7
3. Classificação das águas quanto ao grau de dureza	11

LISTA DE FOTOS

1. Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC	12
2. Etapas iniciais do método Colilert	13
3. Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC	13

LISTA DE TABELAS

1. Identificação dos poços amostrados em Lavras da Mangabeira	14
2. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 1 em outubro de 2005.	15
3. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 2 em dezembro de 2005.	15
4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 3 em abril de 2006.	16
5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 4 em junho de 2006.	16
6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 5 em outubro de 2006.	17
7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 6 em fevereiro de 2007.	17
8. Resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007.	32

1. Introdução

O uso extensivo de água subterrânea está condicionado à sua quantidade e à sua qualidade; ou seja, ter água não resolve o problema de abastecimento, mas é necessário ter água de qualidade adequada. Estas duas condições são importantes não somente para o consumo humano, mas também para o uso em geral, principalmente na agricultura. O conhecimento deste aspecto do abastecimento tem exigido estudos adequados que permitam viabilizar a exploração de reservas que supram as necessidades as quais elas se propõem.

Embora indispensável para a manutenção da vida, a água é igualmente determinante na propagação de doenças de veiculação hídrica. Também, ela pode produzir danos aos solos, nos quais é utilizada, o que os tornam totalmente inadequados ao uso na agricultura. Em alguns casos são inadequadas para a utilização até mesmo em processos industriais.

O crescente conhecimento das reservas hídricas e da interação da água com o meio fizeram com que fossem identificados parâmetros que devem ser levados em conta quando se propõe um uso para ela, o mais nobre sendo o consumo humano. É por isso que órgãos públicos a nível mundial e nacional que trabalham na área de saúde sentiram a necessidade de produzir normas que servem como orientação e proteção ao consumidor.

Estas normas, dentre as quais se destaca a Portaria de nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, indicam limites para uma gama de substâncias e elementos dissolvidos nas águas. Embora muitos dos elementos dissolvidos nas águas sejam necessários para a vida, algumas vezes eles estão presentes em concentrações excessivamente elevadas, necessitando da estipulação de limites máximos. A presença de elementos nocivos à saúde pode tornar o uso da água proibitivo. Além das substâncias químicas, as normas também contemplam certas formas microbiológicas, as bactérias e os fungos.

Para identificar a qualidade química da água é necessário determinar as concentrações iônicas dos elementos que estão nela dissolvidos em forma iônica. Nas águas naturais, encontram-se “elementos maiores” em concentrações da ordem de mg/L; outros elementos podem estar presentes em concentrações bem mais baixas (ppm), por isso são chamados de “elementos traços”.

2. Coleta de amostras

A qualidade da água subterrânea na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira foi monitorada através de seis coletas, em outubro e dezembro de 2005, abril, junho e outubro de 2006 e fevereiro de 2007, em 7 poços distribuídos nas duas sub-bacias nos locais indicados no Quadro 2 e sua localização nas duas sub-bacias, Bacia do Riacho do Meio e Bacia do Riacho do Rosário, está mostrada na Figura 2.

Quadro 1. Locais amostrados em Lavras da Mangabeira nas sub-bacias, Riacho do Meio e Riacho do Rosário

Bacia do Riacho do Meio	Poço	Bacia do Riacho do Rosário	Poço
Sítio Calabaço	P4	Sítio Angico	P3
Sítio Logradouro	P6	Areias	P22
Sítio Barro Branco	P8	Limoeiro	P24
		Sítio Varas 2	P27

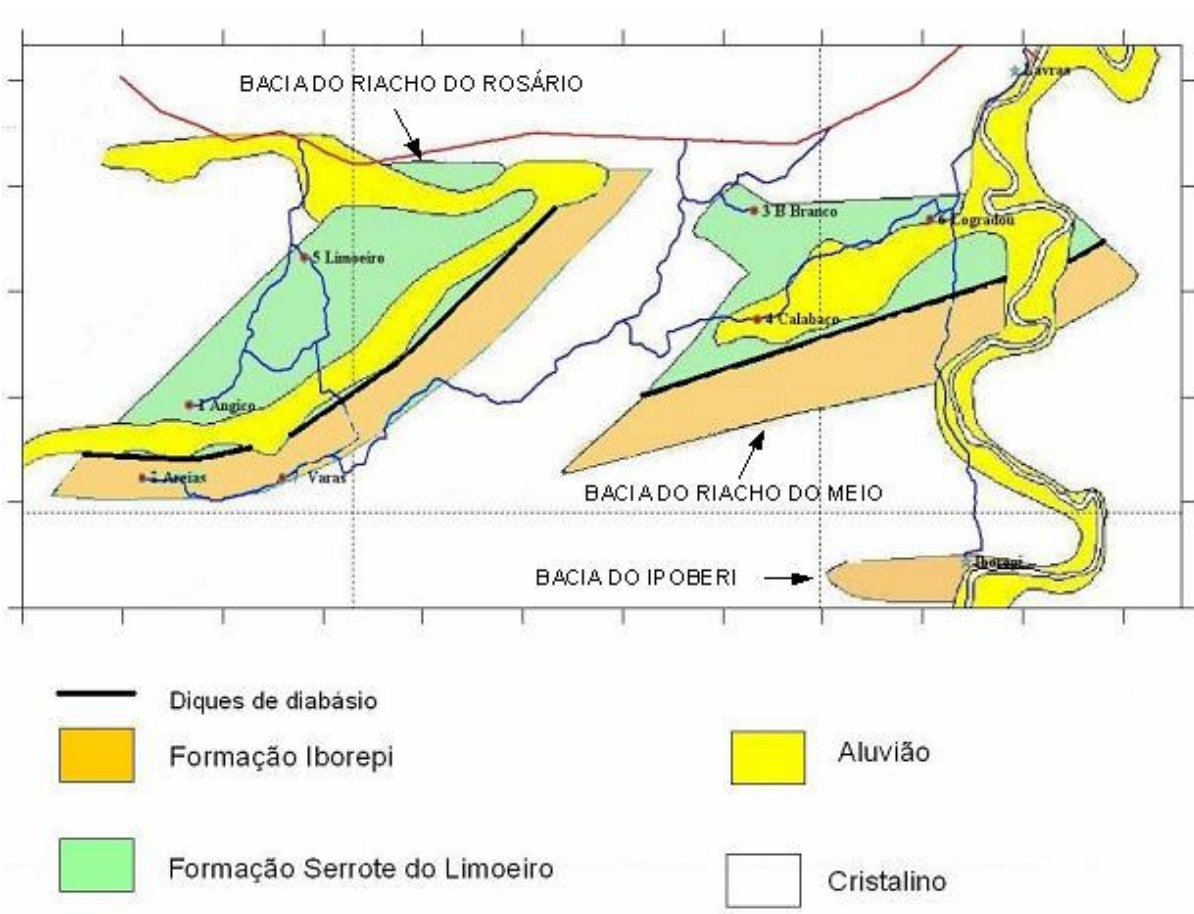


Figura 1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira.

3. Análise hidroquímica

A água contém naturalmente íons dissolvidos, sendo os mais abundantes (elementos maiores) os cátions cálcio, magnésio, sódio e potássio e os ânions, cloreto, bicarbonato e sulfato.

Os íons mais abundantes na água são discutidos a seguir quanto às suas variações naturais e quanto aos danos mais prováveis quando as concentrações são excessivas. As discussões se baseiam principalmente em dados de Davis & De Wiest (1966), Richter & Netto (1991), Sales & Gouveia (1997) e FUNASA (2001). Para alguns íons, a Portaria nº 518 (MS) estipula limites superiores que são listados no Quadro 2.

Quadro 2. Valores máximos permitidos (VMP) para as águas potáveis (Portaria nº 518 do Ministério da Saúde).

Parâmetro		VMP (mg/L)	Parâmetro		VMP (mg/L)
Cloreto	Cl ⁻	250	Sulfato	SO ₄ ⁼	250
Nitrato	NO ₃ ⁻	45	Sódio	Na ⁺	200

3.1. Cálcio

Os íons de cálcio (Ca⁺⁺) em águas subterrâneas, em contato com rochas sedimentares de origem marinha são provenientes da dissolução da calcita, dolomita e gipsita. Eles são desde moderadamente solúveis a muito solúveis e são muito fáceis de precipitar como carbonato de cálcio.

Nas águas doces as concentrações de Ca⁺⁺ variam de 10 a 250 mg/L. Grandes quantidades de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, hipercalcemia. No uso industrial, nos sistemas de refrigeração podem produzir entupimento através da produção de incrustações. O cálcio contribui para o aumento da dureza na água.

3.2. Magnésio

O íon magnésio (Mg⁺⁺) tem propriedades similares às do íon cálcio, porém ele é mais solúvel e difícil de precipitar. Devido sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que o cálcio, ou seja, de 1 a 40 mg/L. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir até 100 mg/L. Concentrações maiores que 100 mg/L são raramente encontradas, exceto em águas do mar e salmouras.

O excesso de magnésio reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; no entanto, em dosagens adequadas, trata tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e ajuda os músculos a trabalhar. O magnésio também contribui para a dureza da água.

3.3. Sódio

O íon sódio (Na⁺) apresenta solubilidade muito elevada e é muito difícil de precipitar. Em água doce, a concentração de sódio varia de 1 a 150 mg/L; nas salmouras naturais pode chegar a 100.000 mg/L. Concentrações de sódio elevadas nas águas podem ser prejudiciais às plantas por

reduzir a permeabilidade do solo, principalmente se as concentrações de Ca^{++} e Mg^{++} forem baixas.

3.4. Potássio

O íon potássio (K^+) apresenta solubilidade similar à do sódio. É facilmente afetado por troca de base e é absorvido de forma pouco reversível pelas argilas em formação para fazer parte de sua estrutura, o que o diferencia do íon sódio. Em água doce sua concentração varia de 0,1 a 10 mg/L. Ao contrário do sódio, o potássio é um elemento vital para o crescimento das plantas e é um dos constituintes de fertilizantes agrícolas.

3.5. Cloreto

Os cloretos (Cl^-) são muito solúveis, são estáveis em solução e de difícil precipitação; não sofrem oxidação nem redução em águas naturais e estão, em geral, associados aos íons de sódio, na proporção molar 1:1, principalmente, em águas salinas.

Os padrões de potabilidade, geralmente, limitam o teor de cloreto em 250 mg/L, pois quando esse valor é ultrapassado confere um sabor salgado à água. Os cloretos podem funcionar como indicadores de poluição por esgotos sanitários ou por intrusão salina em aquíferos costeiros. Águas com alto teor de cloreto são prejudiciais às plantas, são corrosivas e atacam estruturas e recipientes metálicos.

3.6. Sulfato

Os sulfatos (SO_4^{2-}) são desde moderadamente solúveis a muito solúveis, formados por oxidação de sulfitos. Os mais importantes depósitos de sulfato são encontrados em sedimentos evaporados como gipsita, anidrida e sulfato de sódio.

Nas águas naturais, as concentrações de sulfato variam de 0,2 mg/L a mais de 100.000 mg/L. As menores concentrações estão em águas de chuva, neve e águas superficiais sujeitas à redução de sulfato. As maiores concentrações estão em salmouras de sulfato de magnésio. Em águas potáveis, as concentrações de sulfato não devem exceder 250 mg/L; acima deste valor, ele confere à água um sabor amargo e pode causar efeitos laxativos quando em níveis elevados.

3.7. Bicarbonatos e Carbonatos

A maioria dos íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) em águas subterrâneas são derivados do dióxido de carbono na atmosfera e no solo, e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos produzidos por evaporação, mas se muito cálcio estiver presente, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato em águas subterrâneas varia de 10 a 800 mg/L; sendo mais comuns concentrações entre 50 e 400 mg/L. Existe uma forte relação entre o pH da água e as

concentrações do gás carbônico (CO₂), dos bicarbonatos (HCO₃⁻) e dos carbonatos (CO₃⁼); estes íons definem a alcalinidade das águas.

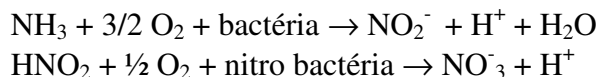
3.8. Nitrato

A quantidade de nitrogênio na água pode indicar uma poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal, nitrito (NO₂⁻) e nitratos (NO₃⁻); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

Assim, é possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Os nitratos são muito solúveis, e por isso, dificilmente precipitam. Eles tendem a estabilidade em meios redutores, podendo passar a N₂ ou NH₄⁺ e excepcionalmente a nitrito (NO₂⁻). Esta redução é um fenômeno principalmente biológico produzido pelas bactérias Nitrossomas. A maioria dos compostos nitrogenados passa a NO₃⁻ em meio oxidante, enquanto a amônia (NH₄⁺) pode transformar-se em parte para N₂. O solo pode fixar nitrato (NO₃⁻), em especial através da vegetação.

A nitrificação é um processo de oxidação que ocorre em dois estágios e através dele a amônia é convertida em nitrito e depois em nitrato.



As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas podem chegar a 200 mg/L, e em alguns casos de áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L. Independente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos em concentrações acima de 45 mg/L, provocam em crianças a cianose ou metahemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue.

3.9. pH

Nos sistemas de abastecimento público de água, o pH está entre 6,5 e 9,5. De um modo geral, águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas de alto pH tendem a formar incrustações na

maior parte das águas naturais, o pH é controlado pelo sistema de equilíbrio do gás carbônico – bicarbonatos – carbonatos.

O pH é a medida da concentração do íon hidrogênio ou de sua atividade, e é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 0 a 14. A classificação da água quanto ao pH é feita utilizando os seguintes critérios:

pH < 7 – água ácida;

pH = 7 – água neutra;

pH > 7 – água básica.

3.10. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica expressa quantitativamente a capacidade da água conduzir corrente elétrica, depende da concentração total das substâncias dissolvidas ionizadas e de sua mobilidade que, por sua vez, depende da temperatura na qual a medida é realizada. Para o consumo humano, é importante que a água possua uma condutividade entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ela é considerada como um bom critério na avaliação do grau de mineralização da água, contribuindo para o estudo do efeito de diversos íons sobre o equilíbrio químico, sobre o sistema fisiológico das plantas e animais e sobre a taxa de corrosão, além disso, servindo para verificar o grau de pureza das águas destiladas e deionizadas.

Sua determinação dá uma estimativa do conteúdo de sólidos totais dissolvidos em uma amostra. Pode-se estimar os sólidos totais dissolvidos (STD) em mg/L, utilizando a equação,

$$\text{STD} = 0,65 \text{ CE}$$

3.11. Dureza

A dureza da água mede o grau de impedimento da ação do sabão e pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária ou dureza de carbonatos é causada pelos íons de cálcio e de magnésio que se combinam com o bicarbonato e o carbonato, podendo ser eliminada com a ebulição da água.

A dureza permanente ou dureza não carbonatada é a dureza que persiste após a fervura da água. É produzida pelos íons de cálcio e de magnésio, que se combinam com os íons de sulfato, cloreto nitrato e outros. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente e é usualmente expressa em termos de carbonato de cálcio (CaCO_3) equivalente. As águas podem ser classificadas em termos do grau de dureza de acordo com a Quadro 3.

Quadro 3. Classificação das águas quanto ao grau de dureza (Fonte: FNS, 1999).

Dureza de CaCO ₃ (mg/L)	Classificação
0 – 50	Mole
>50 – 150	Moderadamente dura
>150 – 300	Dura
> 300	Muito dura

3.11. Determinação química dos íons

As determinações das concentrações iônicas foram realizadas em dois laboratórios da Universidade Federal do Ceará, o Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física (70% das medidas) e o Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Geologia (30% das medidas). A metodologia adotada foi a seguinte:

Ca ⁺⁺ e Mg ⁺⁺	método titulométrico com EDTA
Na ⁺ e K ⁺	fotometria de chama (Foto 1)
Cl ⁻	método titulométrico com AgNO ₃
SO ₄ ⁼	método espectrofotométrico com cloreto de bário (Foto 1)
CO ₃ ⁼ e HCO ₃ ⁻	método titulométrico com HCl
NO ₃ ⁻	método espectrofotométrico do NITRAVER (Foto 1).

As curvas de calibração elaboradas para os diferentes tipos de determinações, tanto fotométricas como espectrofotométricas, mostram coeficientes de correlação da ordem de 0,99; as análises titulométricas foram realizadas sempre em duplicata, com diferença de valores na faixa de 0-5%. Os resultados das análises, que têm erros de balanço iônico da ordem de até 6,0%, estando, portanto, numa faixa abaixo daqueles admissíveis pela literatura (10%), indicam que as análises físico-químicas realizadas têm características de alta precisão, estando de acordo com o perfil de qualidade exigida pela OMS.

4. Análise Bacteriológica

Além das análises físico-químicas e químicas das águas para consumo humano, é preciso pesquisar a presença de microorganismos patogênicos através de análise bacteriológica. Microorganismos provenientes de materiais fecais podem produzir uma série de doenças infecciosas causadas por bactérias, protozoários ou vírus, representando um risco para a saúde humana.

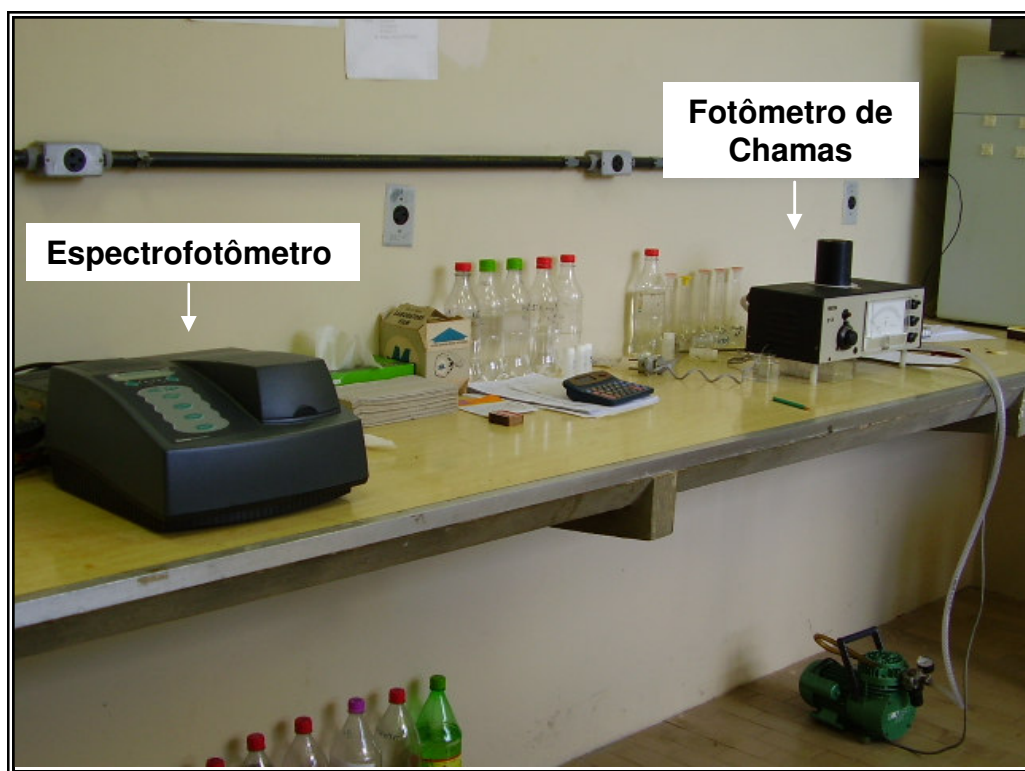


Foto 1 – Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC.

Estas análises não podem deixar de ser feitas se as águas são utilizadas para beber ou para a produção, lavagem ou mesmo o cozimento de alimentos. A contaminação da água pode ser direta ou indireta, por águas de esgotos ou por excrementos de animais. Águas com microorganismos patogênicos são responsáveis pela ocorrência de epidemias, principalmente em países onde a infra-estrutura, os cuidados sanitários e os cuidados de higiene pessoal são insuficientes ou inexistentes.

O "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2005) define o grupo coliforme como: "todas as bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, gram negativas, não esporuladas e na forma de bastonete", as quais fermentam a lactose com formação de gás dentro de 48h a 35°C. Neste grupo incluem-se organismos que diferem nas características bioquímicas, sorológicas e no seu habitat. Podem ser classificadas em: *Escherichia*, *Aerobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e outros gêneros que quase nunca aparecem em fezes, como a *Serratia*.

A presença de coliformes totais e *E. coli* nas amostras da Bacia Sedimentar do Cariri foi determinada no Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC por meio da técnica do Colilert em cartela através da qual foi detectada presença quantitativa de coliformes totais e *E. coli*.

Usando recipientes assépticos, coleta-se 100 mL de água. Após a coleta, a amostra é manuseada na presença de fogo usando um bico de Bunsen até que a amostra seja selada e adiciona-se o

reagente (Colilert) ao frasco com água (Foto 2a) que é agitado até a completa dissolução dos grânulos. A solução é colocada em uma cartela composta de quarenta e nove cúpulas maiores e quarenta e oito cúpulas menores (Foto 2b); a cartela é colocada em uma seladora (Foto 2c, Foto 3a), a solução é distribuída igualmente e incubada a 35°C em estufa (Foto 3a) por 24 horas.

A leitura para coliformes totais é feita a olho nu observando-se a coloração amarela para resultado positivo (Foto 2d) ou ausência de coloração, para resultado negativo. A leitura para *E. coli* é feita na presença de uma lâmpada ultravioleta; o resultado é positivo quando a coloração amarela se apresentava fluorescente. Os resultados são expressos de acordo com a tabela NMP (número mais provável em 100 mL de água).

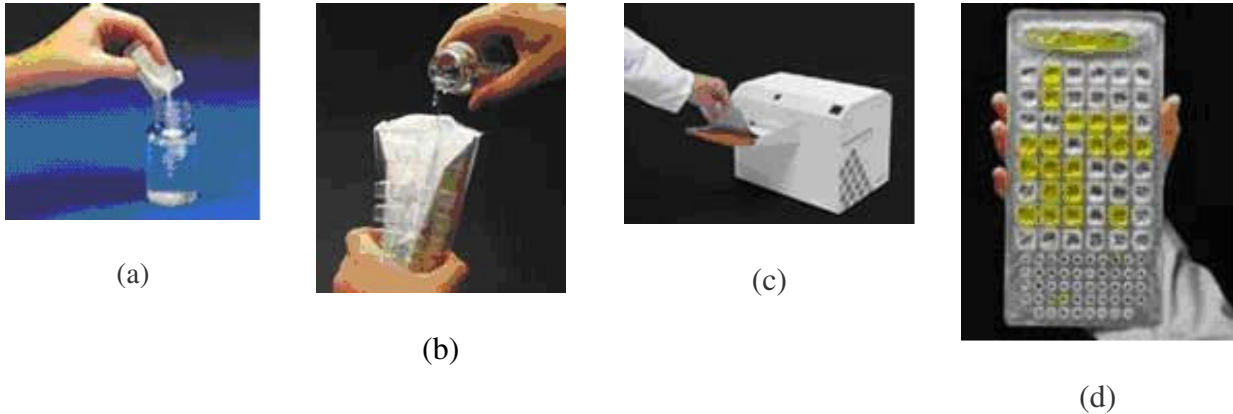


Foto 2 – Etapas iniciais do método Colilert.

Quando as amostras apresentam resultado positivo há necessidade de esterilizar as cartelas usando autoclave, antes de descartá-las. Na autoclave (Foto 3b), as amostras permanecem por no mínimo 15 minutos a uma pressão de 1 kgf/cm² e uma temperatura de 120 °C.

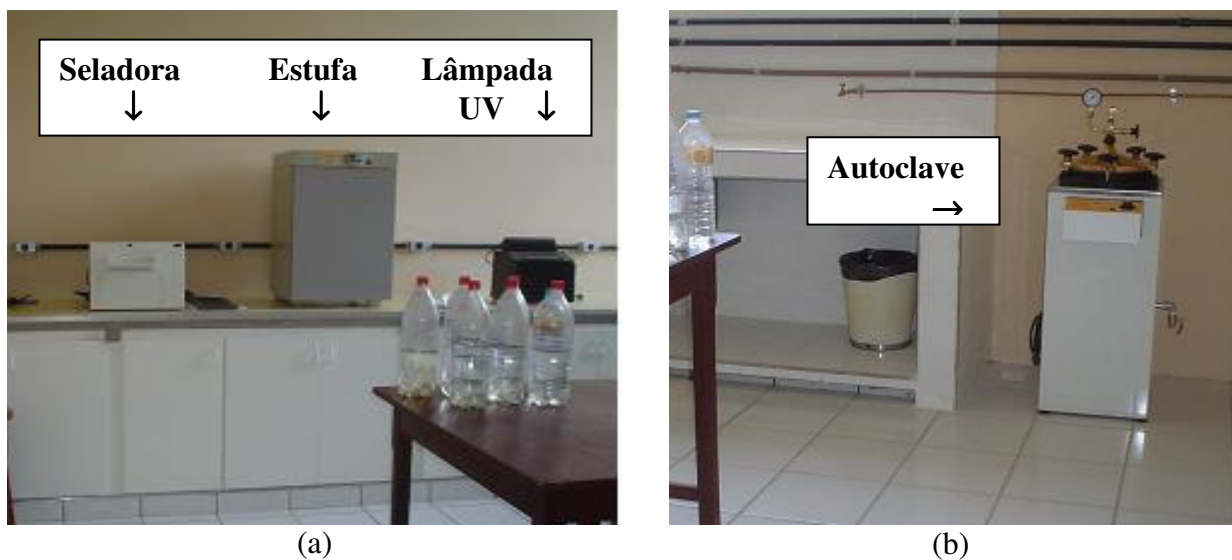


Foto 3 - Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC

5. Interpretação dos resultados

Como a qualidade das águas subterrâneas pode variar com o tempo devido à entrada de água no processo de recarga, monitoramento dos poços em diferentes épocas do ano hidrológico permite identificar as condições atuais como água potável. As localizações dos poços amostrados estão apresentadas na Tabela 1 e os resultados das análises físico-químicas e químicas estão apresentados nas Tabelas 2 a 7, de acordo com a data da coleta.

Tabela 1. Identificação dos poços amostrados em Lavras da Mangabeira.

Poço N ^o	Localidade	UTMN	UTME
P3	Sítio Angico	9246709	487539
P4	Sítio Calabaço 2	9248351	498650
P6	Sítio Logradouro	9250367	502177
P8	Sítio Barro Branco	9250516	498827
P22	Areias	9245479	487265
P24	Limoeiro	9249600	489808
P27	Varas 2	9245289	489383

As Figuras 2 a 8 apresentam as variações temporais dos parâmetros determinados em cada um dos 7 poços:

- da condutividade elétrica;
- do pH;
- dos cátions: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ ;
- dos ânions: Cl^- , HCO_3^- e SO_4^-
- do NO_3^- .

Os resultados mostram que todos os parâmetros variaram durante o período de amostragem, embora as variações sejam em pequenas faixas em cada poço, com exceção das águas do poço P3, que não estava sendo continuamente bombeado. Somente a água do poço P24, na terceira coleta, apresentou concentração de NO_3^- acima de 45 mg/L, o limite para as águas potáveis.

Na Figura 9 pode-se ver a pluviometria na área através de dados de um posto meteorológico localizado no município de Lavras da Mangabeira. Considerando que as coletas foram feitas no período seco de 2005, nos períodos seco e chuvoso de 2006, e no início do período chuvoso de 2007, observa-se a influência da recarga sobre a qualidade das águas, principalmente sobre as concentrações dos cátions e dos ânions.

A Figura 10 permite comparar as condutividades elétricas do conjunto de poços nas duas sub-bacias. Nas águas do Riacho do Meio (P4, P6 e P8) as condutividades elétricas estão em faixas de valores mais altas do que as águas da Bacia do Riacho do Rosário (P3, P22, P24 e P27). Na comparação de dados do conjunto de poços não será incluído o poço P3 porque ele não estava sendo bombeado o suficiente para ser representativo do aquífero.

Tabela 2. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 1 em outubro de 2005.

Poço N ^o	pH	CE (µS/cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	7,7	1741	109,8	59,3	96,0	72,9	240,1	35,6	299,4	105,7	518,1
P22	5,8	144	4,2	4,1	13,8	14,1	17,4	0,6	44,5	2,8	27,4
P24	6,7	490	19,6	40,3	24,6	3,5	53,6	2,8	252,0	19,2	214,6
P27	6,3	158	9,0	7,9	14,7	10,1	10,6	4,2	86,0	12,1	54,9

Tabela 3. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 2 em dezembro de 2005.

Poço N ^o	pH	CE (µS/cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	7,2	1917	132,7	66,0	115,4	46,0	291,3	35,9	284,6	107,5	602,9
P4	7,4	1114	25,6	31,6	198,7	3,5	87,5	11,7	640,4	0,0	193,9
P6	7,8	903	34,1	42,4	108,4	14,8	57,7	17,1	560,3	0,0	259,8
P8	7,7	888	33,5	18,4	144,2	6,9	92,3	0,3	421,0	17,3	159,2
P22	5,8	138	3,9	3,3	11,3	16,3	18,3	0,7	41,5	0,0	23,3
P24	6,4	495	19,4	40,1	24,6	3,5	60,6	2,8	231,2	0,0	213,3
P27	6,2	150	7,8	7,5	11,9	10,1	11,5	1,0	77,1	0,0	50,4

**Tabela 4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira.
Coleta 3 em abril de 2006.**

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	7,5	1909	131,9	67,9	108,4	50,1	290,3	17,5	307,1	338,8	608,8
P4	7,3	1111	25,6	34,9	172,7	3,5	45,2	1,1	686,5	22,1	207,5
P6	7,3	909	31,8	45,7	108,4	3,5	57,7	12,6	596,2	8,3	267,5
P8	7,1	606	32,6	17,0	76,1	3,5	45,2	1,1	337,2	22,1	151,4
P22	5,8	145	3,9	5,2	14,4	19,2	23,1	1,1	39,1	15,4	31,1
P24	6,8	397	14,0	31,6	26,0	1,7	32,7	2,0	174,6	45,9	165,0
P27	6,0	152	6,2	7,5	14,4	11,6	16,3	6,2	75,3	26,5	46,3

**Tabela 5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira.
Coleta 4 em junho de 2006.**

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	6,9	1111	73,7	35,8	82,2	30,0	157,2	29,1	183,7	179,2	331,3
P4	7,4	1095	23,5	32,5	194,2	3,5	83,1	8,1	695,3	4,6	192,4
P6	7,7	914	33,7	47,1	115,4	3,5	57,0	16,9	596,2	0,5	278,0
P8	7,3	743	32,9	18,4	110,7	3,5	69,6	0,6	379,4	25,5	157,9
P22	5,8	133	4,7	2,4	15,1	19,2	22,2	0,4	36,1	11,6	21,6
P24	6,5	476	18,0	40,1	28,9	3,5	54,1	1,9	231,8	16,8	210,0
P27	6,1	210	6,3	7,1	17,7	11,6	15,5	4,7	72,3	32,4	44,9

Tabela 6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 5 em outubro de 2006.

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	7,1	1293	87,7	43,8	97,1	47,7	179,8	22,5	201,7	235,5	399,2
P4	8,3	1105	27,2	32,1	164,3	13,2	81,7	8,7	623,3	17,3	200,0
P6	7,7	880	22,5	47,1	120,1	6,8	58,7	15,1	511,9	10,2	250,0
P8	7,3	853	36,5	18,9	99,7	10,1	87,5	0,7	412,5	28,9	168,9
P22	5,6	134	2,3	2,4	19,0	24,8	23,1	0,7	30,1	11,6	15,6
P24	6,1	558	19,1	47,1	35,0	10,1	90,4	1,4	210,8	4,6	241,5
P27	6,2	154	6,2	6,6	19,0	17,7	19,2	1,6	72,3	11,1	42,6

Tabela 7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea em Lavras da Mangabeira. Coleta 6 em fevereiro de 2007.

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P3	7,4	1423	96,6	47,6	78,1	37,1	195,8	19,1	157,5	227,5	437,1
P4	8,2	1072	53,1	16,8	185,5	5,1	83,8	8,0	694,0	6,9	201,7
P6	7,8	889	90,3	15,4	103,8	6,8	61,2	14,6	580,2	0,0	288,9
P8	7,5	874	56,2	5,8	125,0	6,8	92,3	0,8	419,9	28,9	164,2
P22	5,9	238	4,8	1,4	20,4	16,3	21,7	0,4	46,7	9,7	17,7
P27	6,4	164	15,8	1,4	21,8	13,2	18,8	1,3	81,6	2,3	45,2

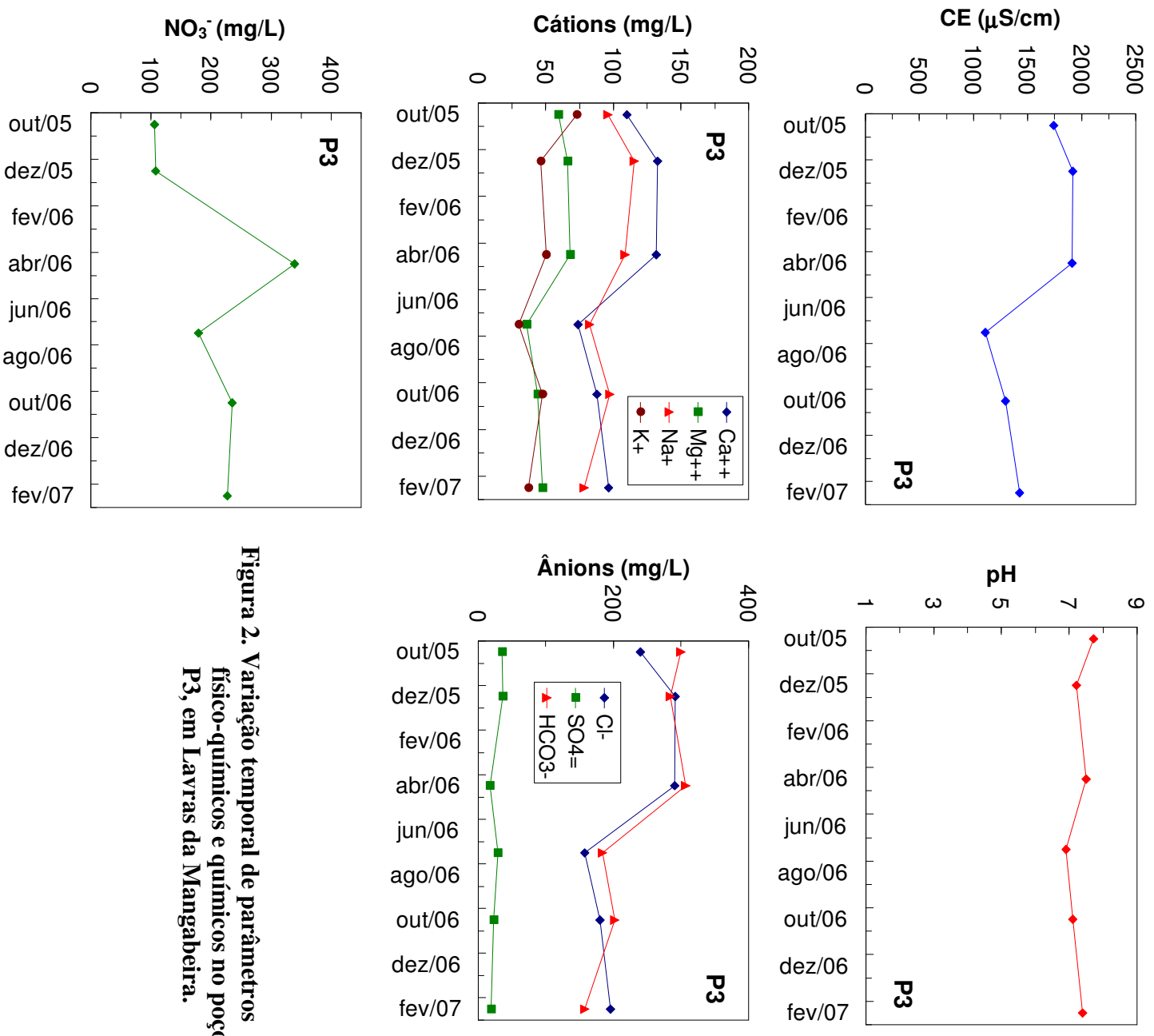


Figura 2. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P3, em Lavras da Mangabeira.

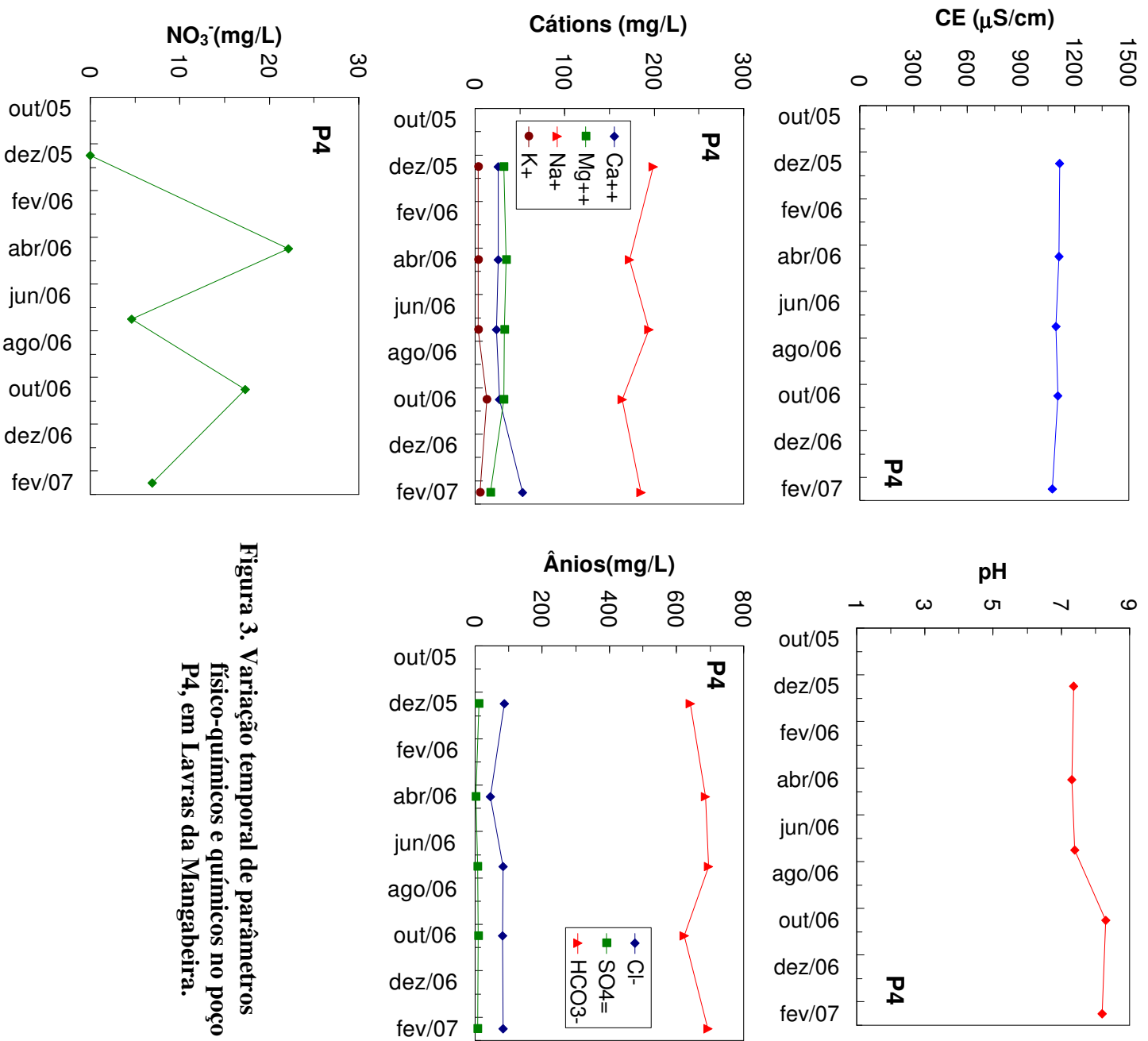


Figura 3. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P4, em Lavras da Mangabeira.

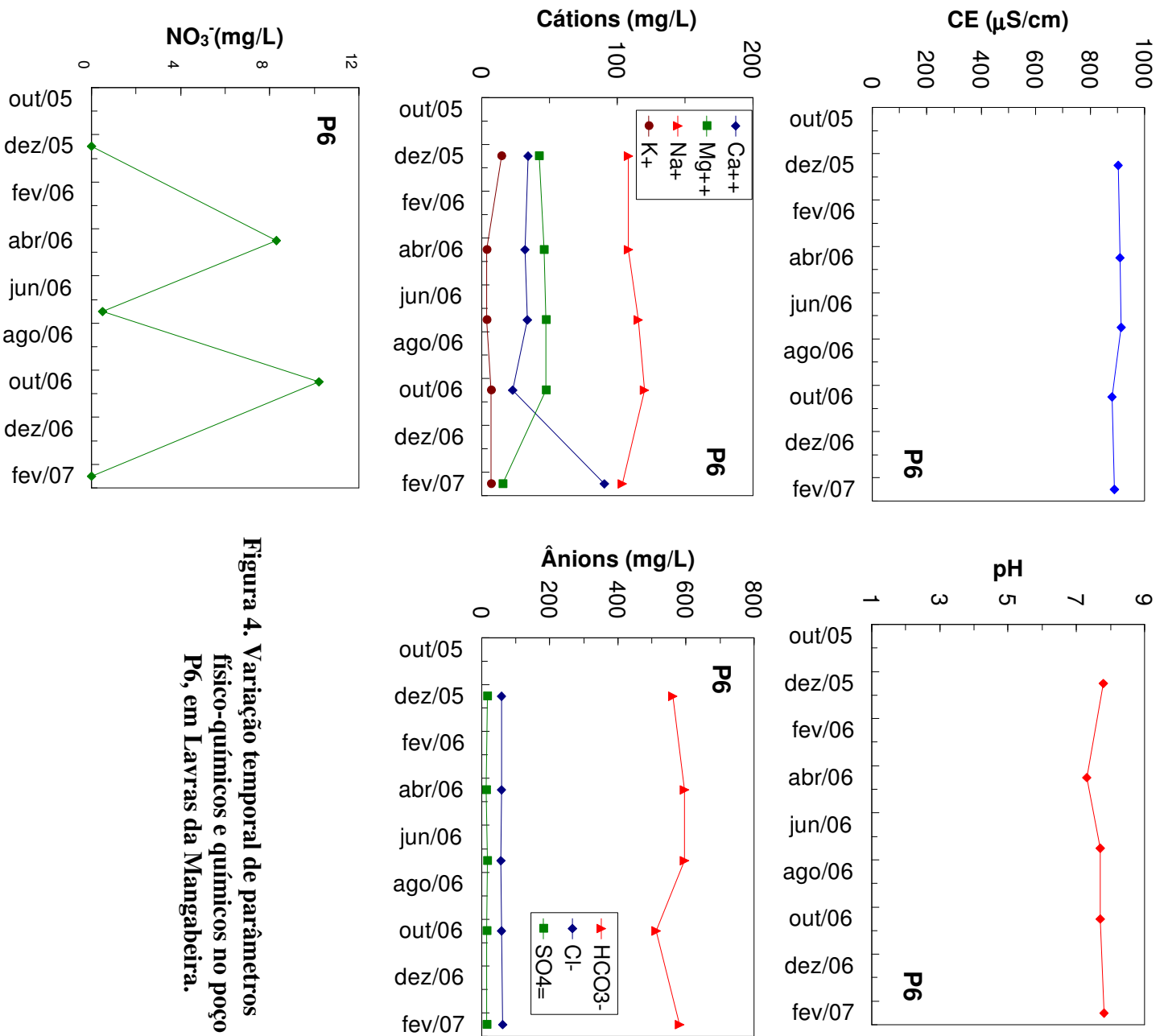


Figura 4. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P6, em Lavras da Mangabeira.

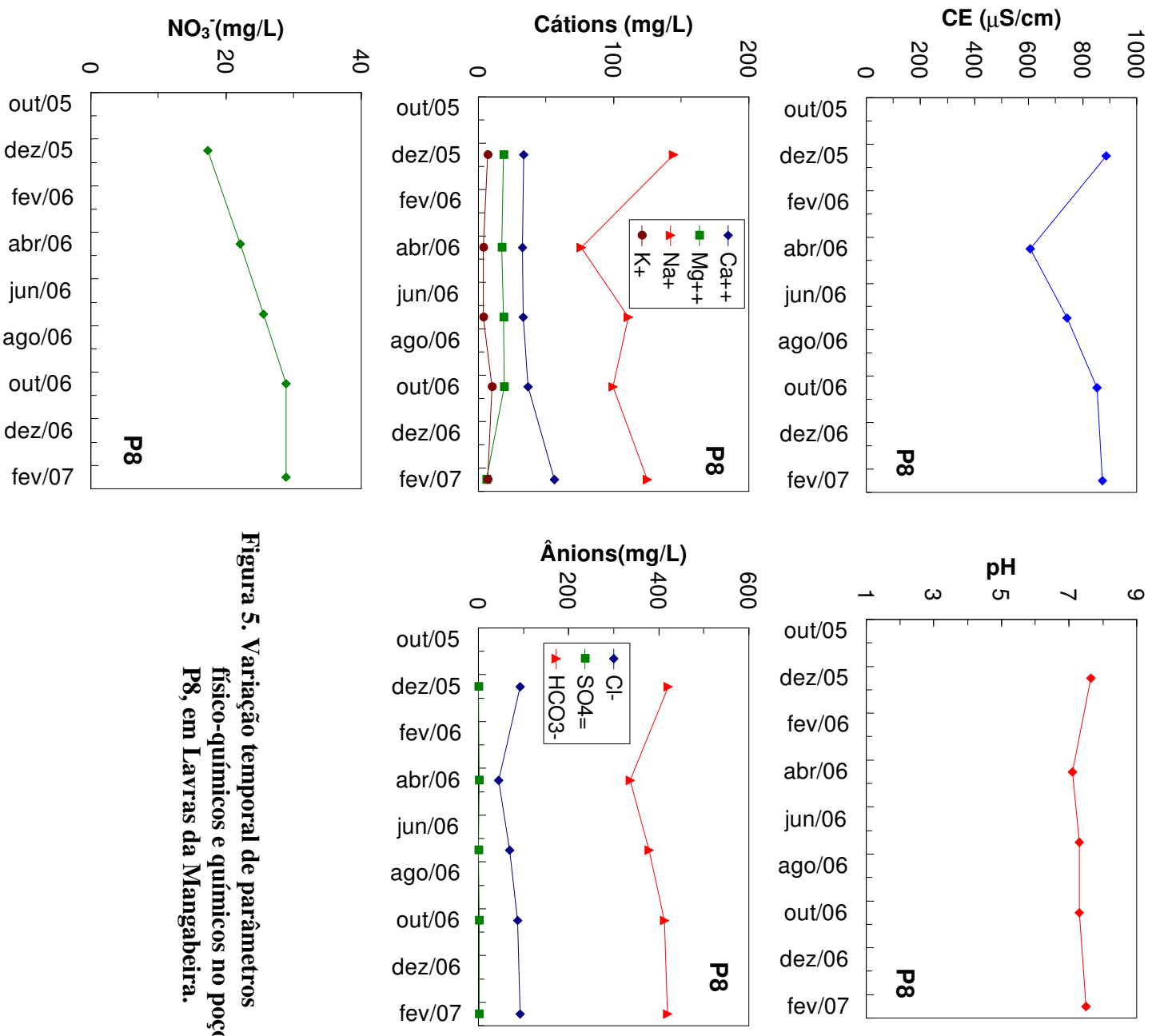


Figura 5. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P8, em Lavras da Mangabeira.

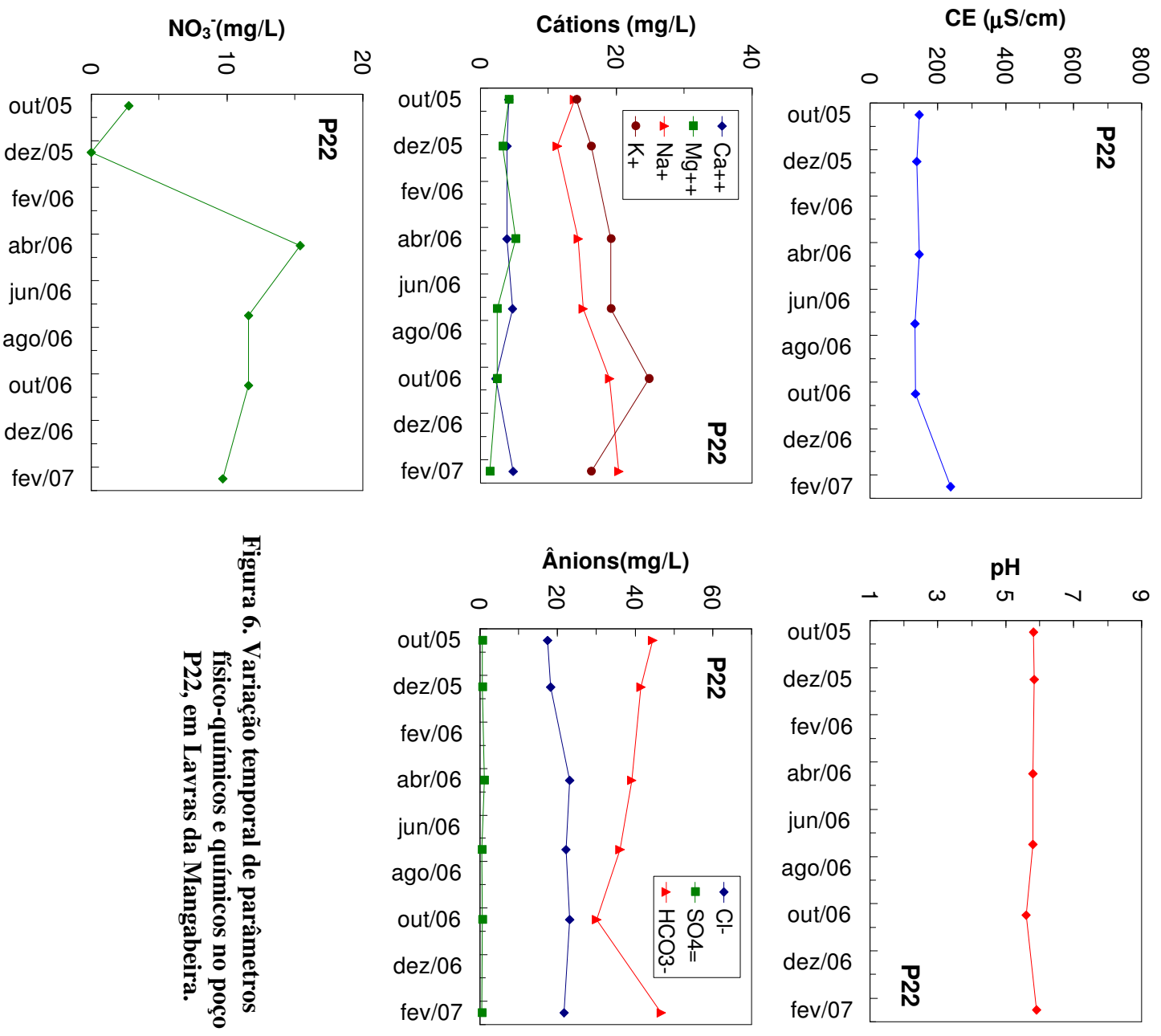


Figura 6. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P22, em Lavras da Mangabeira.

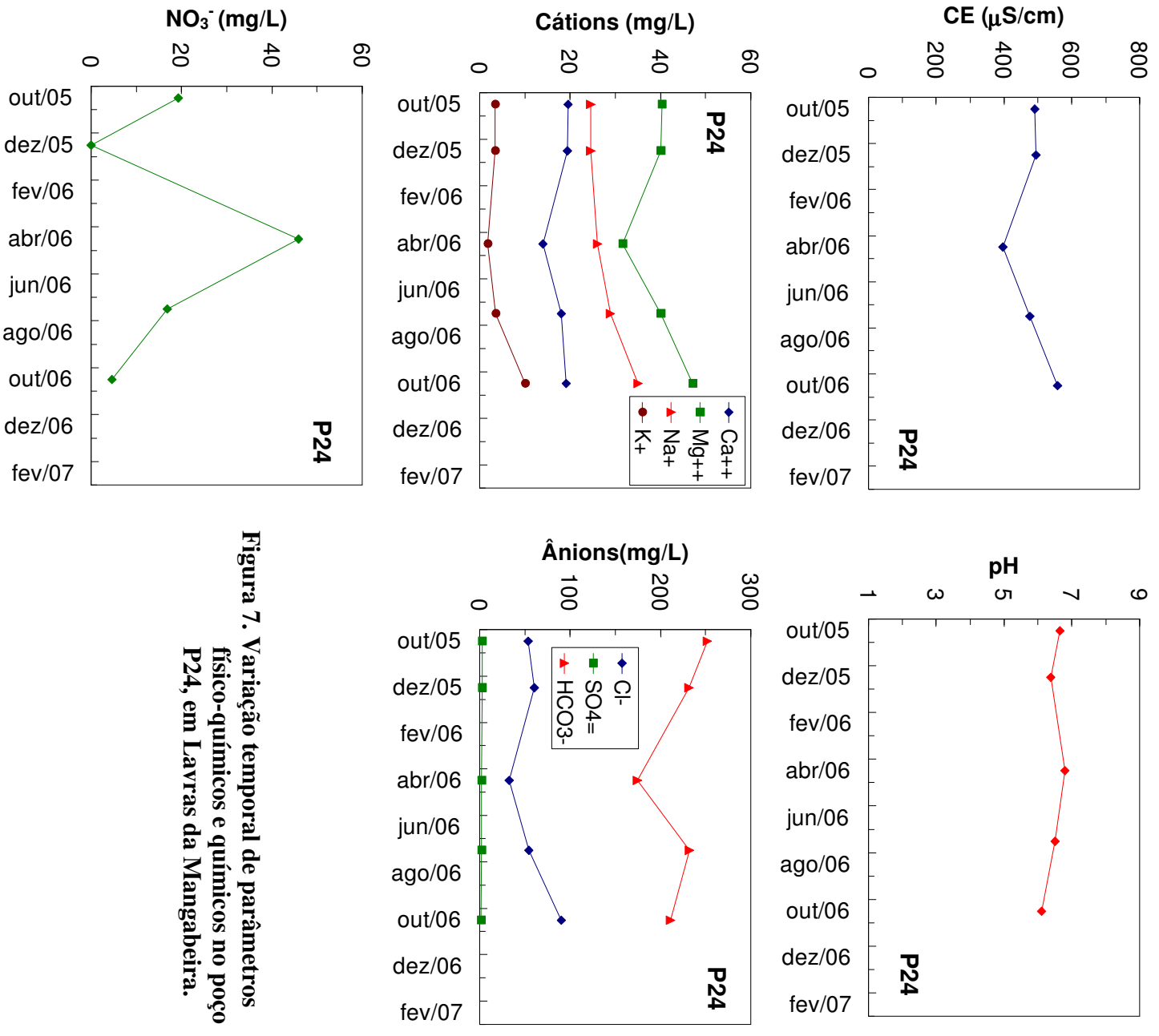


Figura 7. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P24, em Lavras da Mangabeira.

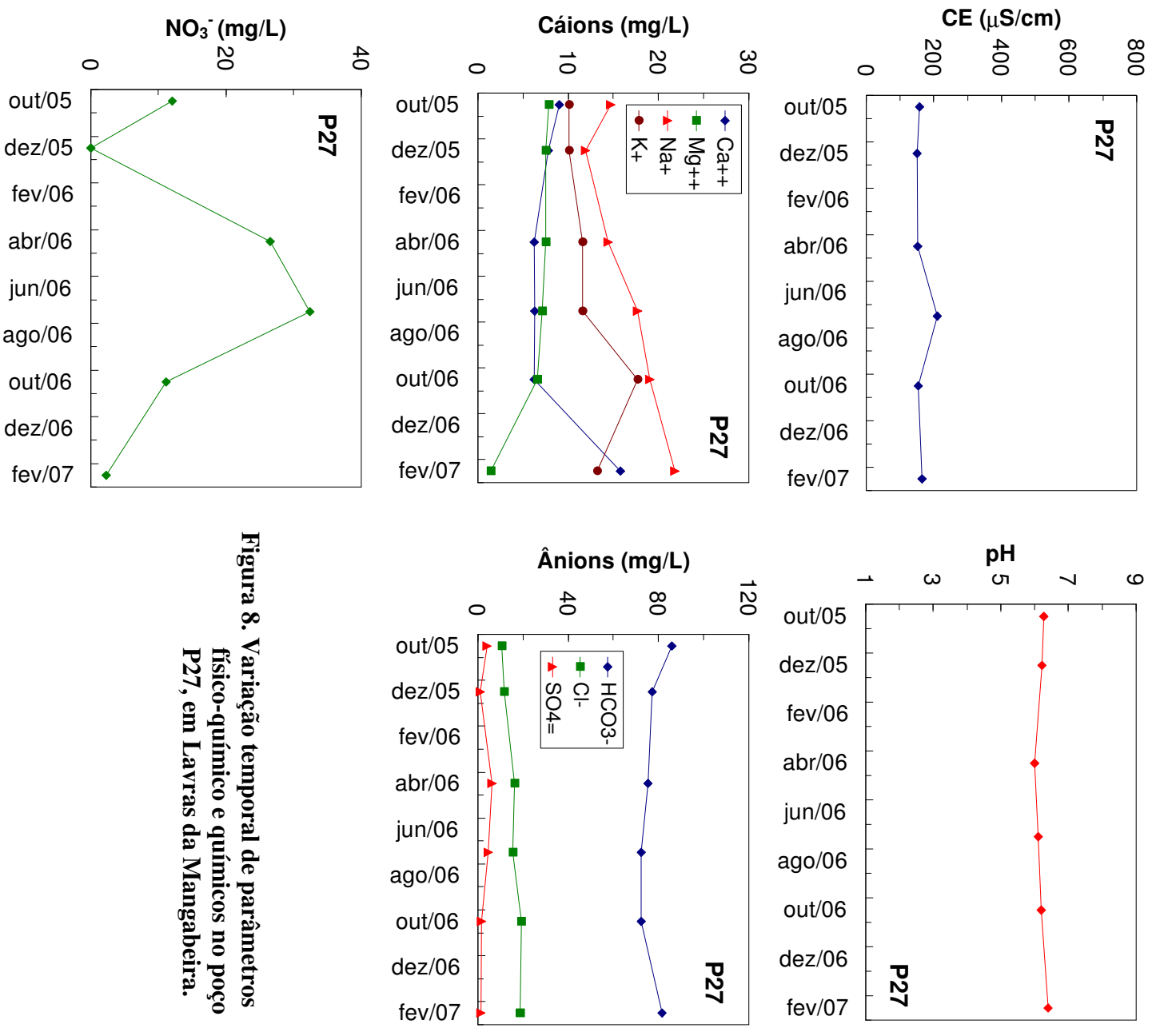


Figura 8. Variação temporal de parâmetros físico-químico e químicos no poço P27, em Lavras da Mangabeira.

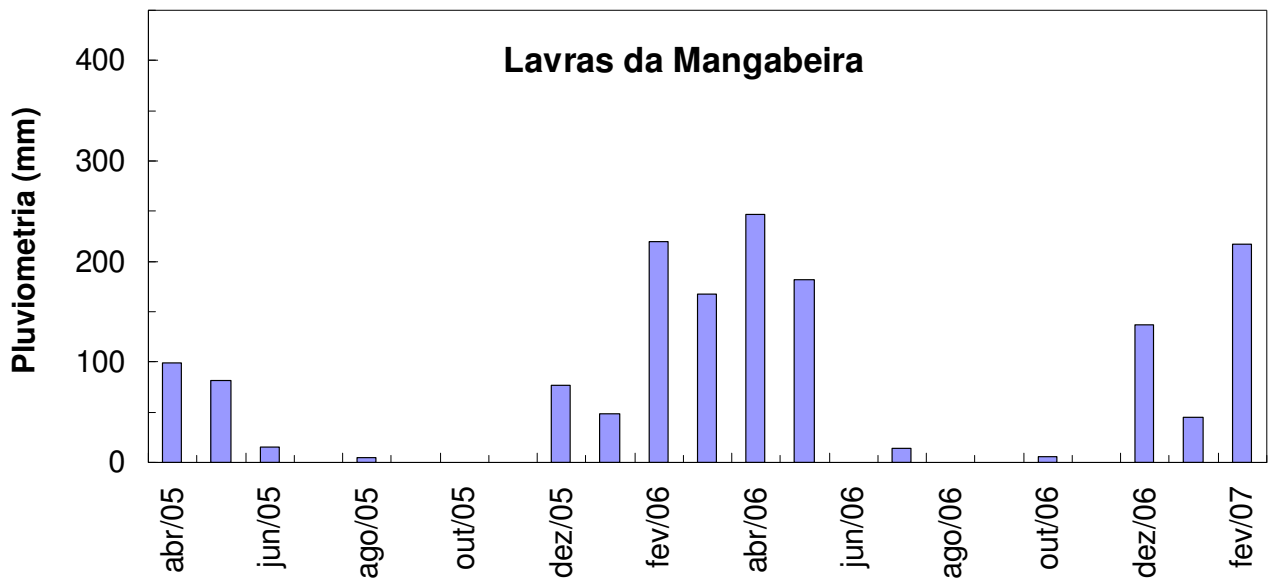


Figura 9. Pluviometria de um posto meteorológico em Lavras da Mangabeira de abril de 2005 a fevereiro de 2007.

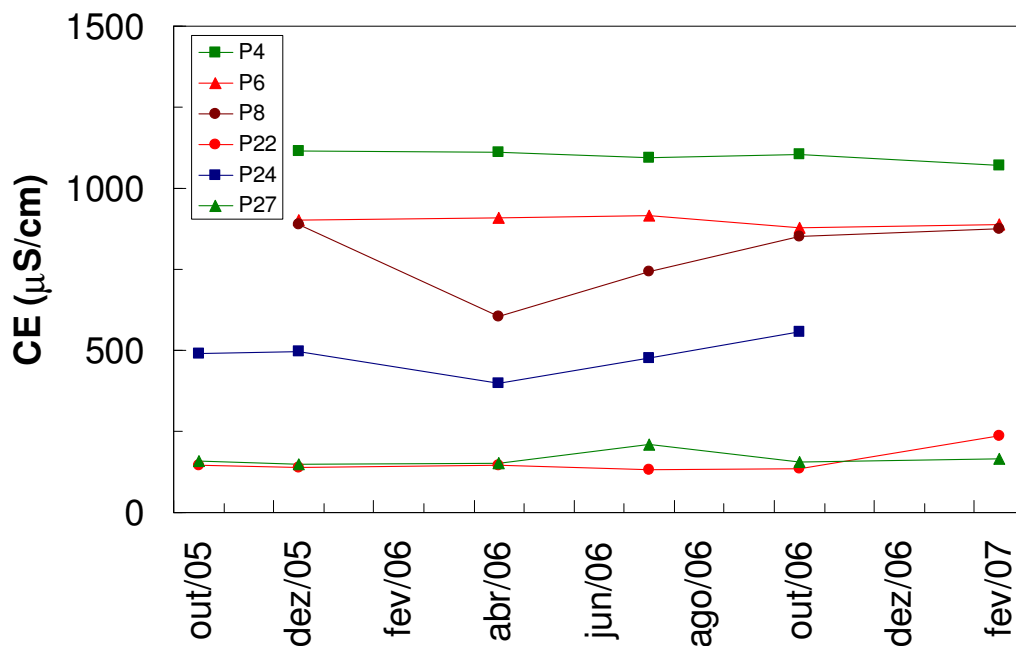


Figura 10. Variação da condutividade elétrica no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.

As concentrações de nitrato (Figura 11) variaram durante o período de coleta em todos os poços embora só atingindo valor acima do permitido para as águas potáveis em uma das amostras. No gráfico da Figura 12 para comparação das durezas foi adicionado o poço P3; a Figura mostra que este poço não pertence ao mesmo conjunto, ou seja, não é representativo das águas subterrâneas da área. São águas moles (com Dureza de 0 a 50) as águas dos poços P2, P22 e P27; são águas duras (com Dureza de 150 a 300) as dos demais poços.

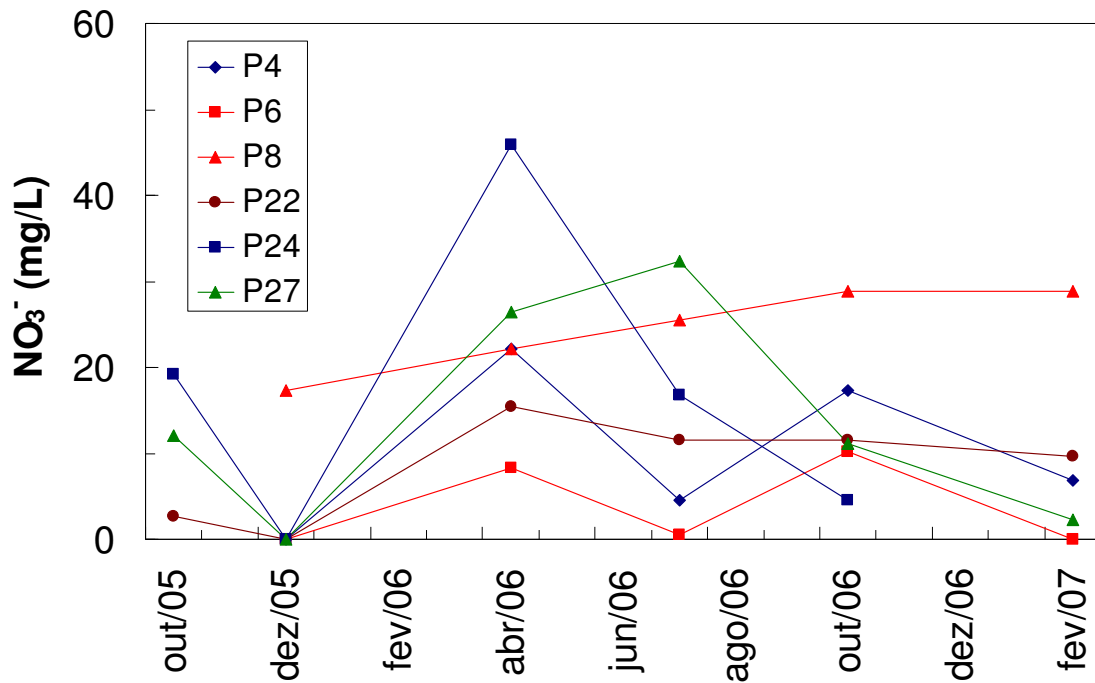


Figura 11. Variação da concentração de nitrato de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.

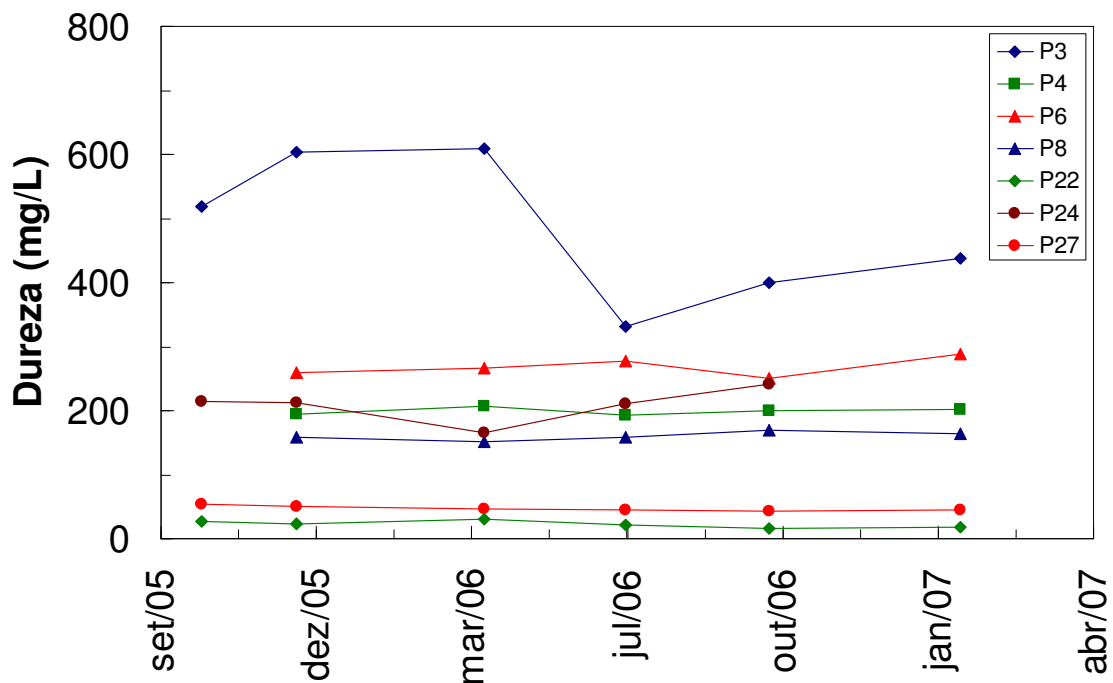


Figura 12. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços em Lavras da Mangabeira.

A Figura 13 mostra os diagramas de Piper com dados dos poços no município de Lavras da Mangabeira nas coletas feitas no período seco de 2005 (Figuras 13a e 13b), no período chuvoso de 2006 (Figura 13c), final do período chuvoso de 2006 (Figura 13d), no período seco de 2006 (Figura 13e) de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 13f).

Com relação aos cátions, em todas as coletas havia águas dos tipos, mista e magnesiana e quanto aos ânions, as águas sempre foram de dois tipos, bicarbonatadas e cloretadas.

Para identificar a adequação das águas de Lavras da Mangabeira para uso na agricultura, as amostras das seis coletas foram colocadas em seis diagramas do USSL mostrados na Figura 14, para o período seco de 2005 (Figuras 14a e 14b) no período chuvoso (Figura 14c), final do período chuvoso (Figura 14d) e período seco (Figura 14e) de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 14f).

Quanto ao risco de salinidade, durante todo o período, as águas apresentaram baixo, médio e alto risco; a maioria apresentou risco de sódio baixo, mesmo para valores elevados de condutividade elétrica, e uma amostra teve risco médio de sódio.

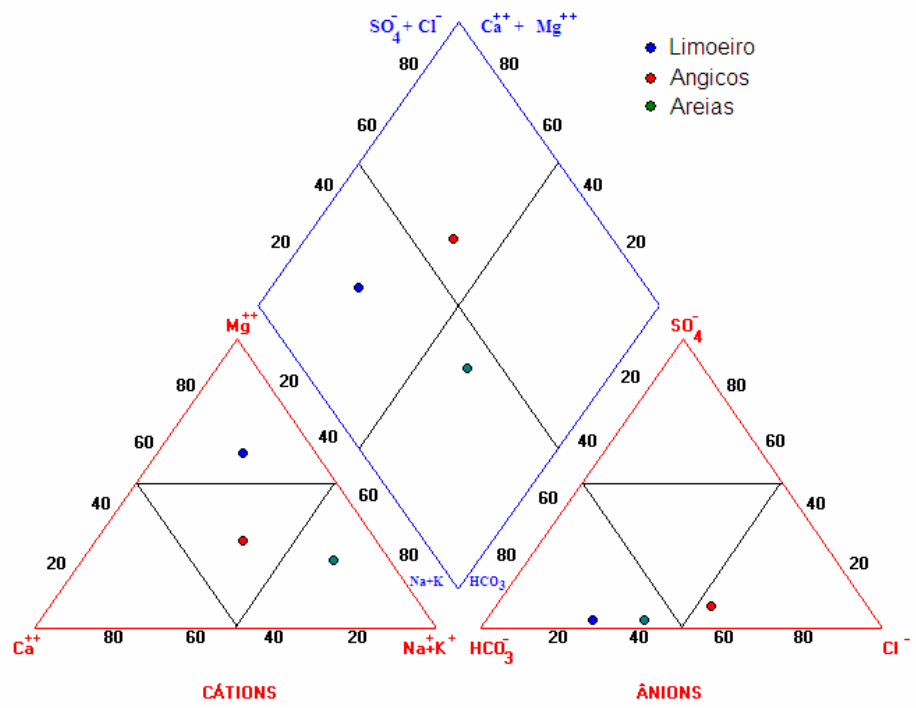
O diagrama USDA foi modificado pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (UCCC). Este diagrama usa a definição da Razão de Adsorção de Sódio Corrigida, com uma concentração de cálcio corrigida na água do solo (Ca^0) obtida a partir da razão $rHCO_3^- / rCa^{++}$, e a condutividade elétrica da água de irrigação (PIZARRO, 1985). Este diagrama utiliza quatro classes para risco de salinidade e três classes para risco de sodicidade, S_1 , S_2 , S_3 .

A Figura 15 mostra que com esta classificação as águas de Lavras da Mangabeira em todas as coletas também apresentaram risco de sodicidade nas três classes; ou seja, algumas águas não são adequadas ao uso na agricultura.

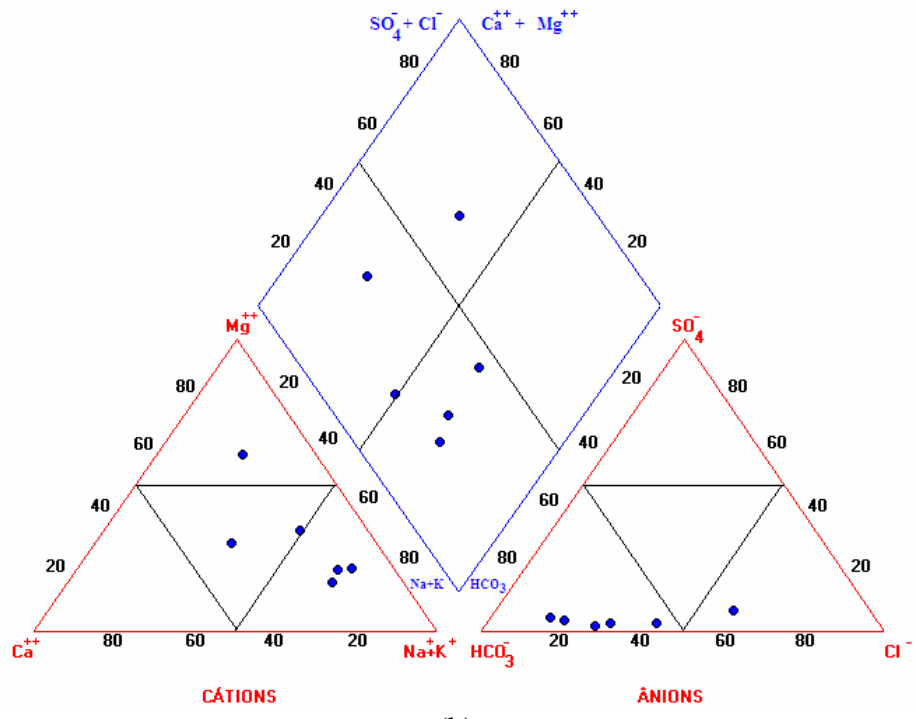
A Tabela 8 apresenta os resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas em Lavras da Mangabeira. A Figura 16 apresenta um histograma com medidas de coliformes totais em amostras coletadas em junho de 2006, logo após o período chuvoso, e em fevereiro de 2007, no início do período chuvoso seguinte. Em todos os cinco poços amostrados em Lavras da Mangabeira, foi detectada a presença de coliformes totais; no poço P3 os valores foram os mesmos nas duas coletas e em Fev./07 os valores foram mais altos do que em Jun./06 no poço P22 e mais baixos, nos demais poços, P8, P24, P27.

Medidas nestas amostras mostram também a presença de coliformes fecais em todas as coletas (Figura 17); em Fev./07 o valor foi maior que o de Jun./06 no poço P22 e menor nos outros poços, P3, P8, P24 E P27.

Os resultados mostram que, sem um tratamento prévio, as águas analisadas não são adequadas para o consumo humano uma vez que a presença de coliformes totais com ou sem *E. Coli* produz danos à saúde do consumidor.

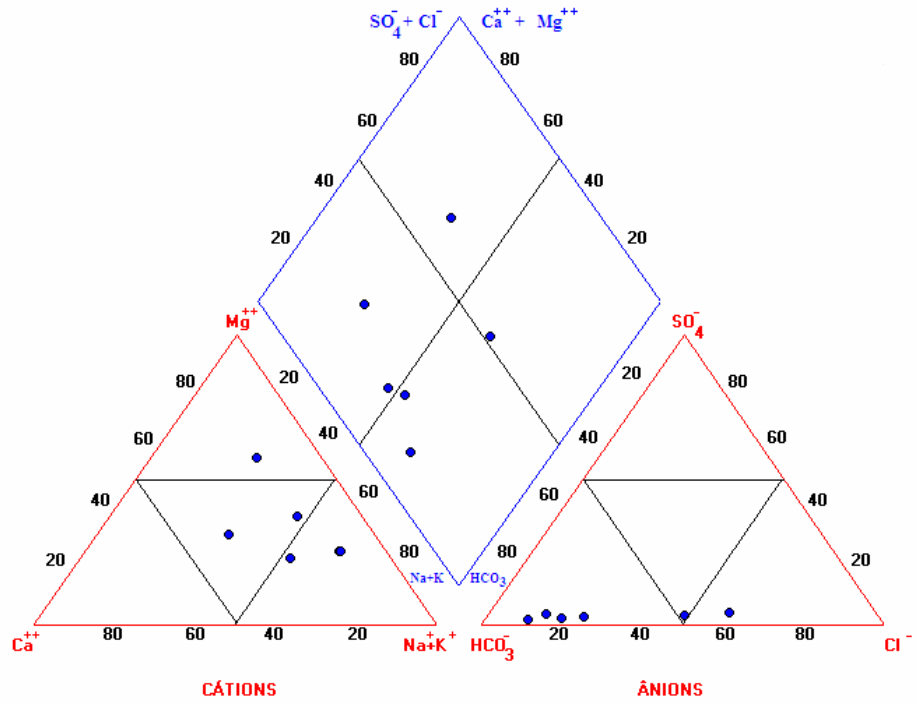


(a)

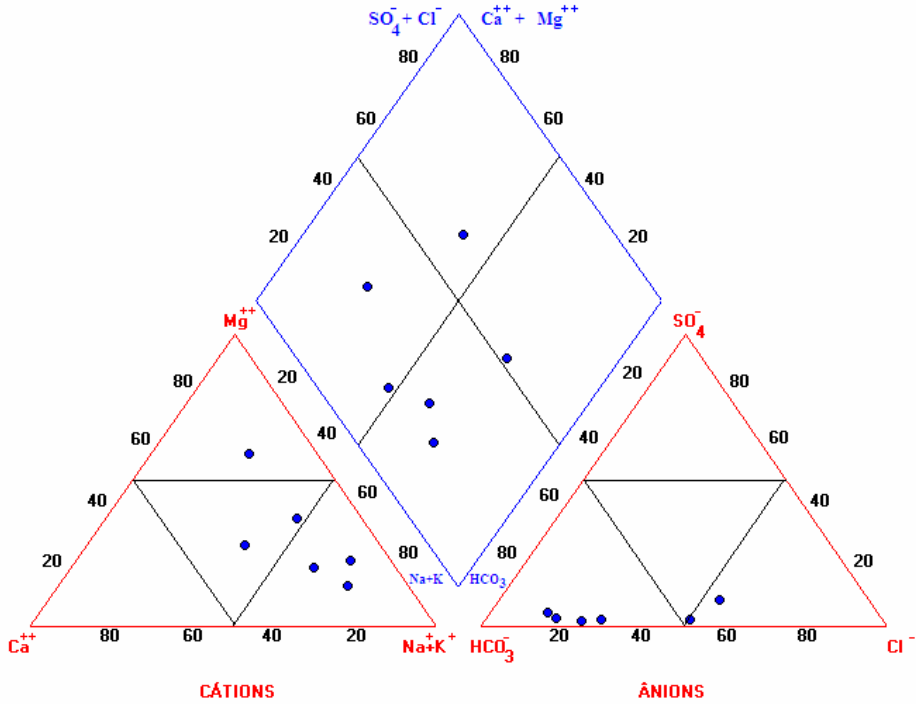


(b)

Figura 13. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira (a) em outubro de 2005 e (b) em dezembro de 2005.

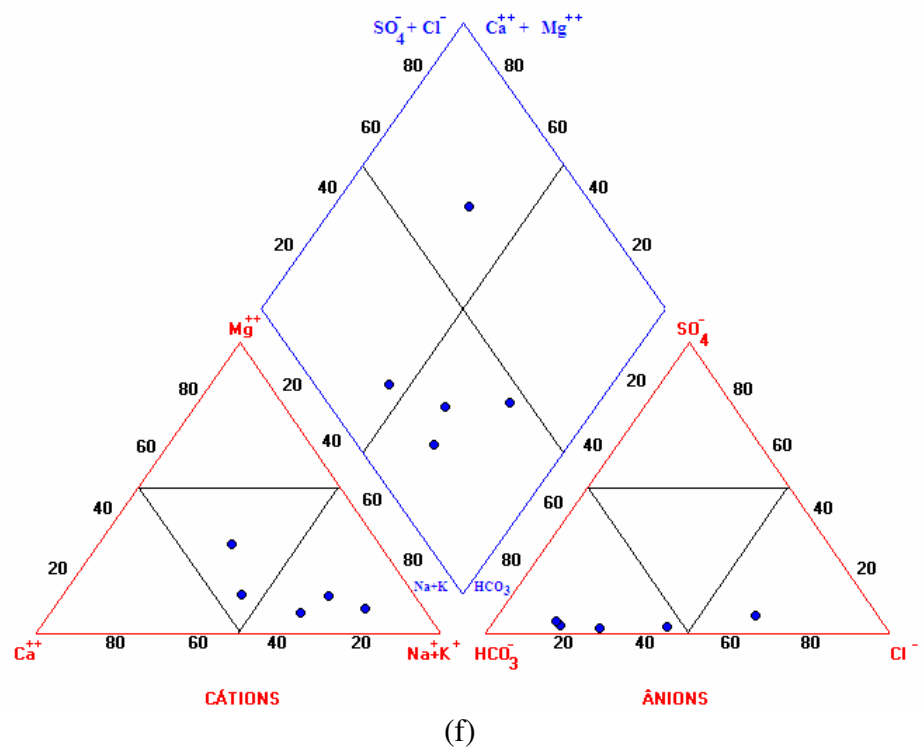
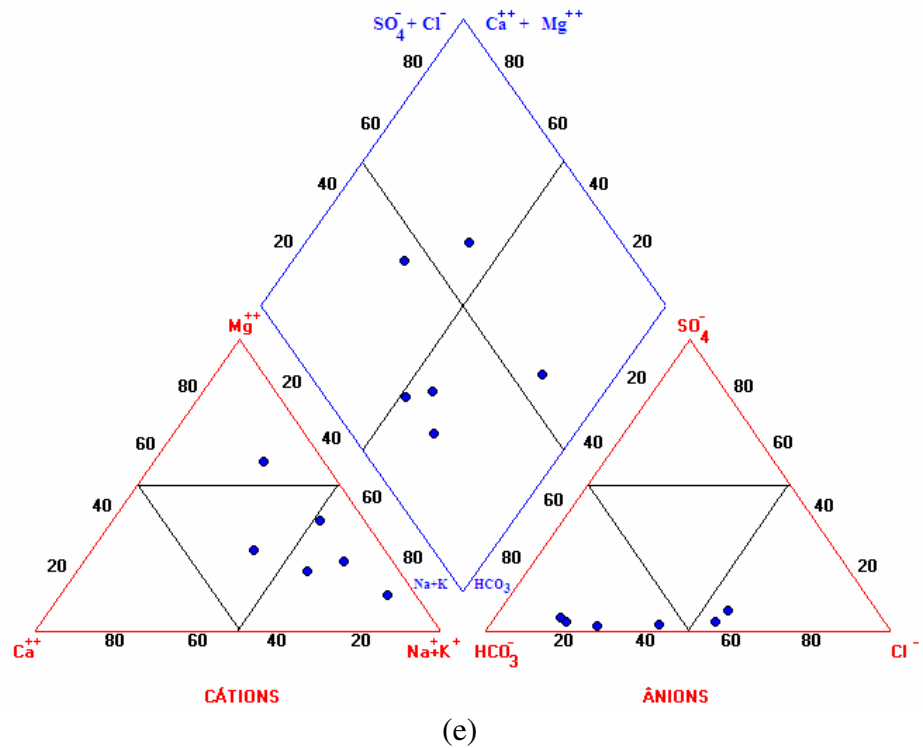


(c)

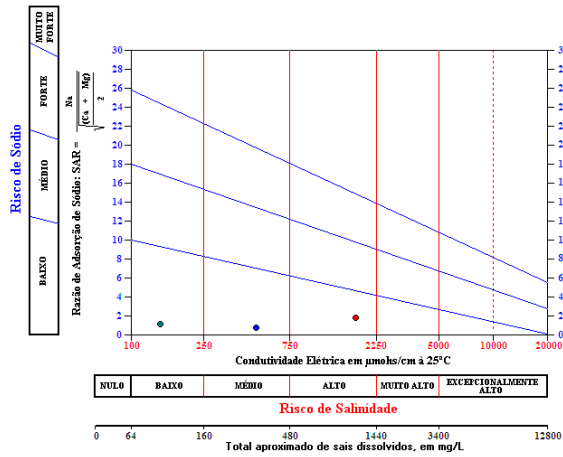


(d)

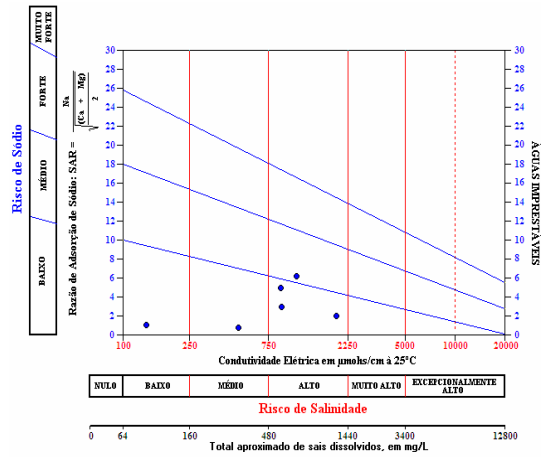
Cont. Figura 13. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira (c) em abril de 2006 e (d) em junho de 2006.



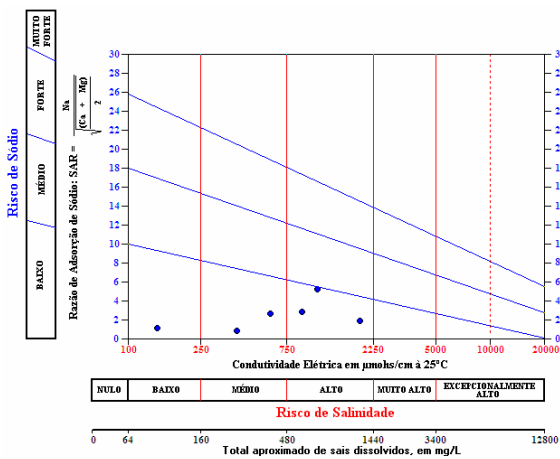
Cont. Figura 13. Diagramas de Piper em Lavras da Mangabeira (e) em outubro de 2005 e (f) em outubro de 2006 e fevereiro de 2007.



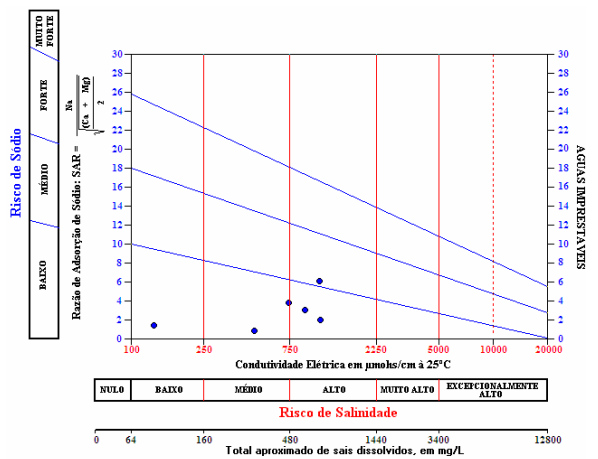
(a)



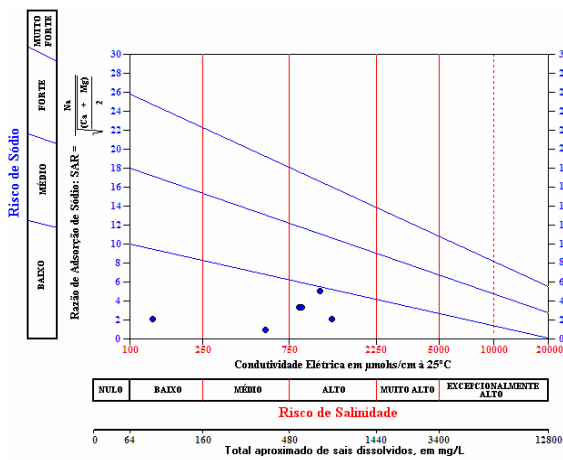
(b)



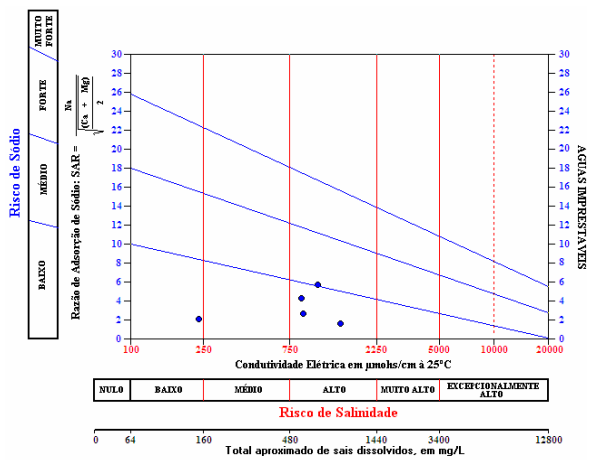
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 14. Diagramas USDA no Cariri Oriental (a) em outubro de 2005, (b) em dezembro de 2005, (c) em abril de 2006, (d) em junho de 2006, (e) em outubro de 2006 e (f) em fevereiro de 2007.

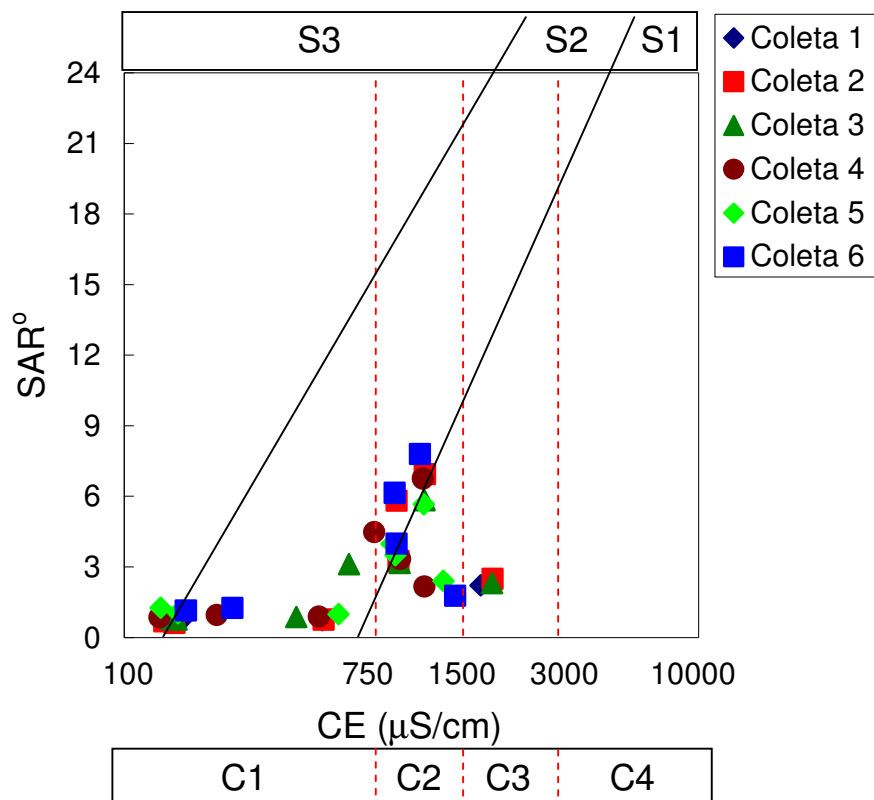


Figura 15. Diagramas USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) em Lavras da Mangabeira.

Tabela 8. Resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007.

Poço Nº	C.T. (MPN)		<i>E. Coli</i> (MPN)	
	07/2006	02/2007	07/2207	02/2007
P3	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	365,4
P8	2419,6	80,9	240,0	6,3
P22	2,0	81,3	< 1,0	25,6
P24	> 2419,6	2,0	1,0	< 1,0
P27	228,2	8,5	1,0	< 1,0

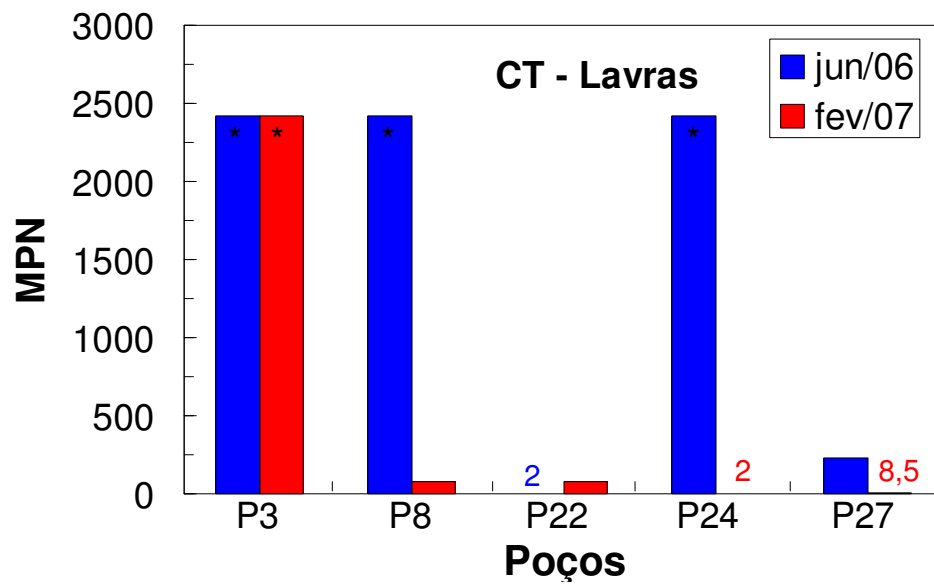


Figura 16. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados em Lavras da Mangabeira em junho de 2006 e em fevereiro de 2007

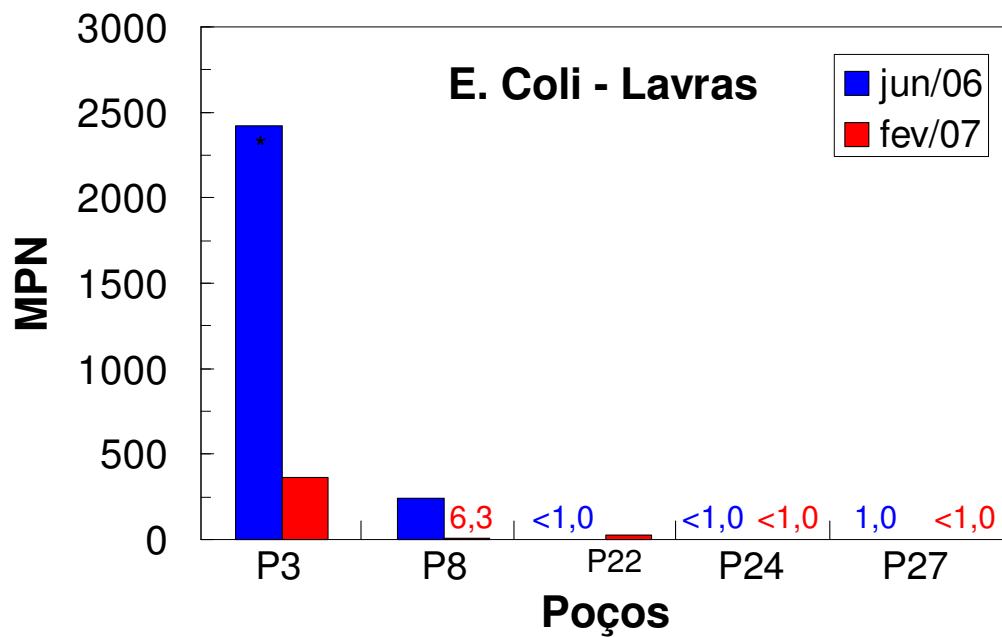


Figura 17. *E. Coli* nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Oriental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007

6. Conclusões

As análises hidroquímicas de 38 amostras de água subterrâneas da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira, coletadas em 07 poços em cinco etapas de campo, no período de outubro de 2005 a outubro de 2007, permitiram as seguintes conclusões.

Sob o aspecto temporal, todos os parâmetros variaram durante o período de amostragem embora as variações sejam pequenas em cada poço. Com exceção de uma amostra que apresentou concentração de nitratos acima do limite para as águas potáveis, todos os demais parâmetros tiveram valores para águas potáveis.

As pequenas variações que ocorreram nas concentrações iônicas mantiveram em todas as coletas águas dos tipos, mista e magnesiana quanto aos cátions, e quanto aos ânions, dos tipos, bicarbonatada e cloretada.

Parte das águas, em algumas coletas, apresentou risco de sodicidade elevado, ou seja, não eram adequadas ao uso na agricultura.

Nos cinco poços amostrados em julho de 2006 e em fevereiro de 2007 as águas não eram potáveis, por mostrar a presença de coliformes totais.

Conclui-se, portanto, que as águas naturais na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira são apropriadas para o consumo humano e em geral, também para o uso na agricultura. As águas de recarga interferem rapidamente nas concentrações iônicas durante o período chuvoso e se constata a ação antrópica tornando algumas águas não apropriadas para o consumo humano.

As águas desta Bacia são de origem pluvial com contribuição moderada de processos geoquímicos para a salinização das águas durante sua permanência no aquífero.

Mesmo estando os poços amostrados fora dos aglomerados populacionais, onde a interferência é elevada, a ação antrópica tem modificado a qualidade natural das águas. Assim, para que a população possa receber água apropriada para o consumo é preciso antes de qualquer ação, o monitoramento hidroquímico e bacteriológico para detectar a influência de fontes poluidoras e propor ações corretivas.

7. Referências Bibliográficas

- APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18. ed. AWWA - WPCP. 1992.
- DAVIS, S. N. & DE WIEST, R. J. M. 1966. **Hydrogeology**. John Wiley & Sons, Inc. New York – London – Sydney. Third Printing, November, 1970, 463 p.
- FNS (Fundação Nacional de Saúde). 1999. **Manual Técnico de Análise de Água para Consumo Humano**, Fundação Nacional de Saúde -Brasília, 211 p.
- FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). 2001. Portaria Nº 1.469.Ministério da Saúde, Brasília.
- MS (Ministério da Saúde). 2004. Portaria Nº 518, de março de 2004. 15 p.

- OMS (Organização Mundial da Saúde). 1998. Guias para a Calidad Del Água Potable. OMS. V.3. 255p.
- PIZARRO, F. 1985. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, S.A., 542p.
- RICHARDS, L.A. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington DC, US department of Agriculture, 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60)
- RICHTER, C. A. & NETTO, J. M. A. 1991. **Tratamento de Água –Tecnologia Atualizada**. Editora Edgard Blücher LTDA. 3^a reimpressão –2000. 132 p.
- SALES, H. B. & GOUVEIA, S. T. 1997. **Manual de técnicas analíticas para análise de águas**, Laboratório de Química Ambiental, LAQA. - UFC, 50 p.