

**Universidade Federal do Ceará
Departamento de Física**

Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar do Cariri

**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	4
Lista de Fotos	5
Lista de Tabelas	5
1. Introdução	6
2. Coleta de amostras	6
3. Análise hidroquímica	8
3.1. Cálcio	8
3.2. Magnésio	8
3.3. Sódio	9
3.4. Potássio	9
3.5. Cloretos	9
3.6. Sulfatos	9
3.7. Bicarbonatos e Carbonatos	9
3.8. Nitratos	10
3.9. pH	11
3.10. Condutividade Elétrica	11
3.11. Dureza	11
3.12. Determinação química dos íons	12
4. Análise Bacteriológica	13
5. Interpretação dos resultados	15
6. Conclusões	93
7. Referências Bibliográficas	94

LISTA DE FIGURAS

1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar do Cariri.	7
2. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P12 em Abaiara	28
3. idem no poço P23 em Abaiara	29
4. idem no poço P36 em Abaiara	30
5. idem no poço P95 em Barbalha	31
6. idem no poço P178 em Barbalha	32
7. idem no poço P180 em Barbalha	33
8. idem no poço P388 em Crato	34
9. idem no poço P389 em Crato	35
10. idem no poço P391 em Crato	36
11. idem no poço P467 em Crato	37
12. idem no poço P718 em Juazeiro do Norte	38
13. idem no poço P720 em Juazeiro do Norte	39
14. idem no poço P721 em Juazeiro do Norte	40
15. idem no poço P1066 em Juazeiro do Norte	41
16. idem no poço P1097 em Missão Velha	42
17. idem no poço P1131 em Missão Velha	43
18. idem no poço P1135 em Missão Velha	44
19. idem no poço P1139 em Missão Velha	45
20. idem no poço P1040 em Missão Velha	46
21. idem no poço P197 em Brejo Santo	47
22. idem no poço P340 em Brejo Santo	48
23. idem no poço P354 em Brejo Santo	49
24. idem no poço P355 em Brejo Santo	50
25. idem no poço P357 em Brejo Santo	51
26. idem no poço P358 em Brejo Santo	52
27. idem no poço P359 em Brejo Santo	53
28. idem no poço P360 em Brejo Santo	54
29. idem no poço P724 em Mauriti	55
30. idem no poço P729 em Mauriti	56
31. idem no poço P730 em Mauriti	57
32. idem no poço P732 em Mauriti	58
33. idem no poço P733 em Mauriti	59
34. idem no poço P735 em Mauriti	60
35. idem no poço P736 em Mauriti	61
36. idem no poço P737 em Mauriti	62
37. idem no poço P738 em Mauriti	63
38. idem no poço P740 em Mauriti	64
39. idem no poço P941 em Milagres	65
40. idem no poço P946 em Milagres	66
41. idem no poço P1172 em Porteiras	67
42. idem no poço P1174 em Porteiras	68
43. idem no poço P1178 em Porteiras	69
44. Pluviometria em dois postos meteorológicos, nos municípios de Juazeiro do Norte e Brejo Santo, durante o período de abril de 2005 a fevereiro de 2007.	70

45. Compartimentação da Bacia Sedimentar do Cariri	71
46. Variação da condutividade no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Ocidental	72
47. Variação da condutividade no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Oriental	73
48. Variação da concentração de nitrato no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Ocidental	75
49. Variação da concentração de nitrato no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Oriental	76
50. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Ocidental	76
51. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 de poços do Cariri Oriental	77
52. Diagramas de Piper no Cariri Ocidental	78
53. Diagramas de Piper no Cariri Oriental	81
54. Diagramas USDA no Cariri Ocidental	84
55. Diagramas USDA no Cariri Oriental	86
56. Diagramas USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) no Cariri Ocidental	87
57. Diagramas USDA modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) no Cariri Oriental	87
58. Distribuição espacial da condutividade elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri	88
59. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	91
60. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Oriental, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	92
61. <i>E. Coli</i> nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007.	92
62. <i>E. Coli</i> nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental, em junho de 2006 e em fevereiro de 2007	93

LISTA DE QUADROS

1. Municípios, total de amostras e identificação dos poços para análises físico-químicas e químicas, na Bacia Sedimentar do Cariri.	7
2. Valores máximos permitidos (VMP) para as águas potáveis (Portaria n ^o 518 do Ministério da Saúde).	8
3. Classificação das águas quanto ao grau de dureza	12
4. Divisão dos municípios da Bacia Sedimentar do Cariri para fins de interpretação dos resultados hidroquímicos	71

LISTA DE FOTOS

1. Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC	13
2. Etapas iniciais do método Colilert	14
3. Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC	15

LISTA DE TABELAS

1. Identificação dos poços amostrados na região do Cariri	
2. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 1 em outubro de 2005.	16
3. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 2 em dezembro de 2005.	17
4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 3 em abril de 2006.	19
5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 4 em junho de 2006.	21
6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 5 em outubro de 2006.	23
7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 6 em fevereiro de 2007.	25
8. Resultados das análises bacteriológicas de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri coletadas em julho de 2006 e em fevereiro de 2007.	91

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 do Cariri foi monitorada através de seis coletas, em outubro e dezembro de 2005, abril, junho e outubro de 2006 e fevereiro de 2007, em 42 poços distribuídos em toda a Bacia nos municípios indicados no Quadro 1 e sua localização está mostrada na Figura 1.

Quadro 1. Municípios, total de amostras e identificação dos poços para análises físico-químicas e químicas, na Bacia Sedimentar do Cariri.

Município	Total	Número dos poços
Abaíara	3	12, 23, 36
Barbalha	3	95, 178, 180
Brejo Santo	8	197, 340, 354, 355, 357, 358, 359, 360
Crato	4	388, 389, 391, 467
Juazeiro do Norte	3	718, 720, 721
Mauriti	10	724, 729, 730, 732, 733, 735, 736, 737, 738, 740
Milagres	2	941, 946
Missão Velha	6	1066, 1097, 1131, 1135, 1139, 1140
Porteiras	3	1172, 1174, 1178
Total	42	

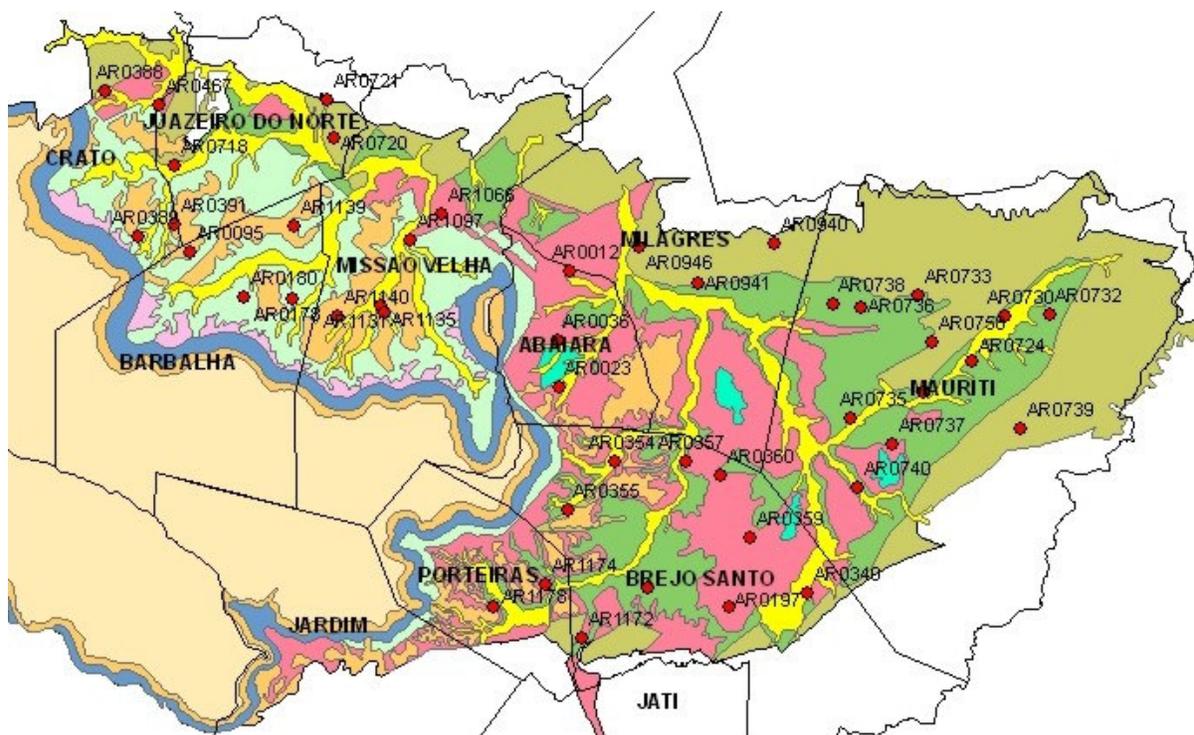


Figura 1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar do Cariri.

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 n.º 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^{--}) 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^{--}) 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.

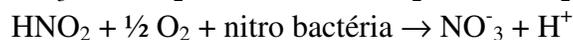
3.8. Nitratos

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

3.12. 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
$\text{SO}_4^{=}$	método espectrofotométrico com cloreto de bário (Foto 1)
$\text{CO}_3^{=}$ 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.

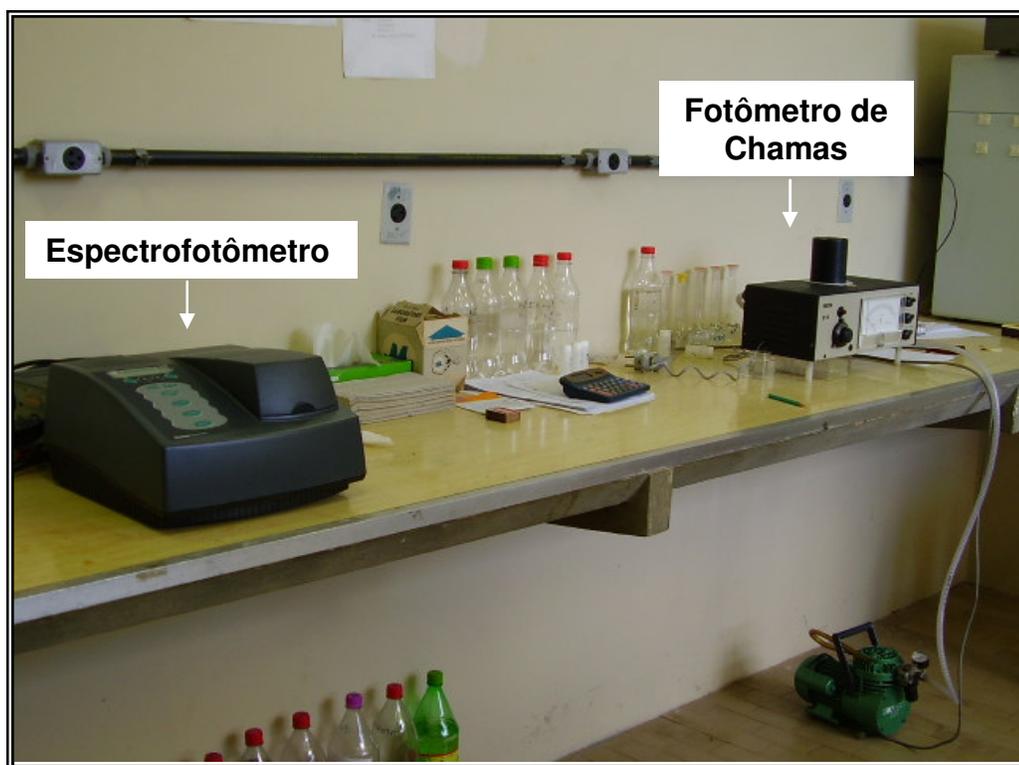


Foto 1 – Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC.

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.

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" (APAHA, 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 MPN (número mais provável em 100 mL de água).



(a)



(b)



(c)



(d)

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.

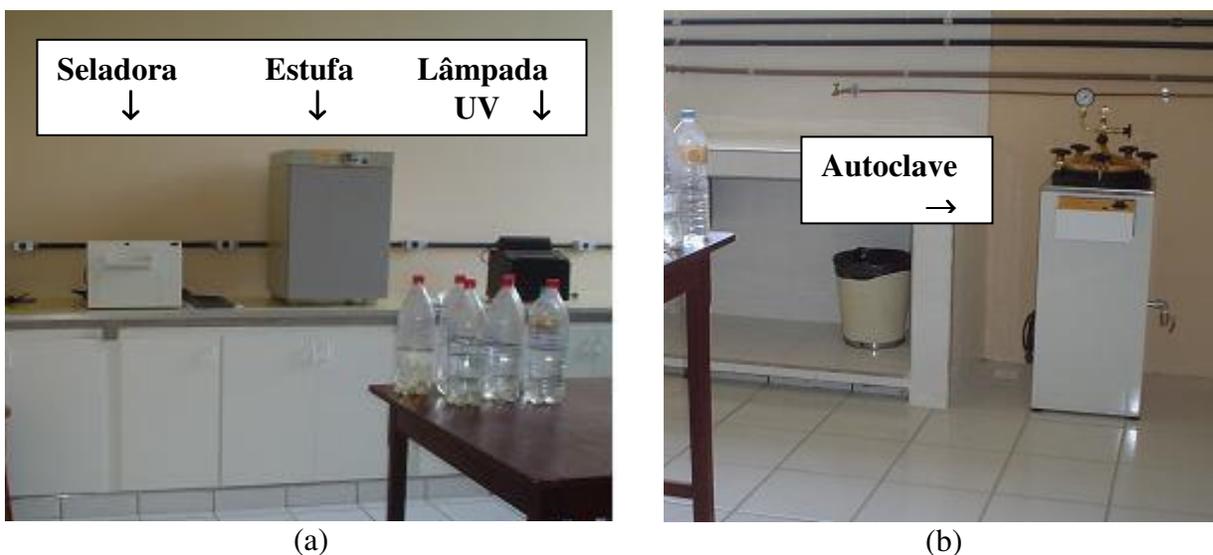


Foto 3 - Laboratório de Análise Bacteriológica do Departamento de Física da UFC

5. Interpretação dos resultados

As reservas subterrâneas são recarregadas periodicamente; no entanto, este processo que garante a quantidade de água faz variar a sua qualidade com o tempo. Assim, somente o monitoramento em diferentes épocas do ano hidrológico permite identificar as condições atuais como água potável. As localizações dos poços amostrados estão apresentados na Tabela 1 e os resultados das análises físico-químicas e químicas estão apresentados, por coleta, nas Tabelas 2 a 7.

As Figuras 2 a 43 apresentam as variações temporais dos parâmetros determinados em cada um dos 42 poços:

- (a) da condutividade elétrica;
- (b) do pH;
- (c) dos cátions: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ ;
- (d) dos ânions: Cl^- , HCO_3^- e $\text{SO}_4^{=}$
- (e) 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 dos nitratos, todos os demais parâmetros têm valores para águas potáveis. Das 252 amostras analisadas somente 16 tiveram concentrações de NO_3^- acima do limite para as águas potáveis (45 mg/L).

Na Figura 44 pode-se ver a pluviometria na área através de dados de dois postos meteorológicos localizados respectivamente em Juazeiro do Norte e Brejo Santo. Considerando que as coletas foram feitas no período seco de 2005, no período seco e no período chuvoso de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 fica clara a influência da recarga sobre a qualidade das águas, principalmente sobre as concentrações dos cátions e dos ânions.

Tabela 1. Identificação dos poços amostrados na região do Cariri.

Poço N^o	Localidade	Município	UTMN	UTME
P12	Café da Linha (Posto)	Abaiara	9193349	496176
P23	Olho d' Água Comprido	Abaiara	9183069	495173
P36	Cagece PT-02	Abaiara	9187259	495017
P95	Sítio Mata (Dist. Ind.)	Barbalha	9194964	462579
P178	Santana 3	Barbalha	9190931	471548
P180	Cirolândia - Cagece PT-07	Barbalha	9191007	467320
P197	Deserto	Brejo Santo	9163531	510188
P340	Poço das Frutas	Brejo Santo	9164818	517135
P354	Fazenda Giral	Brejo Santo	9176439	500153
P355	Macaúba	Brejo Santo	9172227	495931
P357	Sítio Onça	Brejo Santo	9176506	506418
P358	Germana	Brejo Santo	9165271	503011
P359	Cedro	Brejo Santo	9169731	512162
P360	São Bento	Brejo Santo	9175183	509447
P388	São Francisco PT-02	Crato	9209332	455046
P389	Baixio do Muquem	Crato	9196428	458042
P391	Santa Rosa	Crato	9197519	461175
P467	Serraria	Crato	9208115	459760
P718	Pau Seco	Juazeiro do Norte	9202762	461213
P720	Cachoeira	Juazeiro do Norte	9205172	475270
P721	Sítio Moleque	Juazeiro do Norte	9208519	474708
P724	Brejo Grande PT-01	Mauriti	9185344	531679
P729	Extrema	Mauriti	9182675	527387
P730	Gravatá	Mauriti	9189319	534624
P732	Lagoa Funda	Mauriti	9189558	538558
P733	Lagoa Cercada	Mauriti	9191256	526923
P735	Lagoa Seca	Mauriti	9190766	522818
P736	Macambira	Mauriti	9180349	520952
P737	Mandassaia	Mauriti	9190174	521910
P738	Moreira Felipe	Mauriti	9177987	524728
P740	Sítio Novo	Mauriti	9174128	521637
P941	Cabeceira	Milagres	9192334	507505
P946	Gameleira	Milagres	9195536	502278
P1066	Conjunto Habitacional Alvorada	Missão Velha	9198440	484840
P1097	Escondido	Missão Velha	9196164	482008
P1131	Juaca Rolim	Missão Velha	9190322	479507
P1135	Canta Galo 2	Missão Velha	9189742	479738
P1139	Pintado	Missão Velha	9197265	471754
P1140	Riacho das Palmeira	Missão Velha	9189291	475540
P1172	Café da Linha (Posto)	Porteiras	9160877	497181
P1174	Olho d' Água Comprido	Porteiras	9165661	493977
P1178	Cagece PT-02	Porteiras	9163623	489449

Tabela 2. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 1 em outubro de 2005.

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P12	4,8	123	2,4	3,0	8,1	9,1	23	1,3	12,3	23,9	18,3
P23	6,7	386	27,2	25,9	10,0	4,0	24,7	12,6	160,2	19,5	174,5
P36	7,8	605	17,6	50,9	33,4	5,9	49,3	42,4	240,3	0,9	253,4
P95	7,5	331	19,2	30,7	7,1	3,1	8,2	11,2	177,4	0,9	174,3
P178	5,9	223	19,2	10,6	4,5	11,6	11,3	8,5	96,1	22,6	91,6
P180	7,4	349	24,0	17,0	25,6	6,6	16,4	28,2	154,0	21,7	129,9
P197	7,3	661	33,7	50,0	39,8	11,6	26,0	41,8	395,8	0,0	290,0
P340	6,1	349	4,7	11,4	53,4	6,1	63,3	8,3	69,7	10,2	58,8
P354	6,9	1483	137,6	78,8	72,1	14,1	160,4	205,2	312,8	0,0	667,9
P355	6,6	432	39,2	22,9	14,7	8,8	21,3	36,2	185,3	10,2	192,0
P357	5,5	749	13,7	29,3	68,8	24,3	174,9	0,7	22,2	39,8	154,8
P358	7,7	281	15,3	12,4	35,8	6,8	4,4	1,4	207,5	0,0	89,1
P359	6,7	184	7,1	4,8	33,5	3,5	8,2	0,6	124,5	0,0	37,2
P360	5,4	524	12,5	17,6	53,4	14,1	121,3	0,4	16,3	27,0	103,8
P388	5,3	286	3,2	13,4	19,0	17,0	63,7	2,5	16,0	67,3	63,1
P389	6,0	400	22,4	23,0	11,5	11,3	59,6	22,1	86,3	31,9	150,6
P391	5,2	193	9,6	9,6	5,6	11,0	18,5	16,2	39,4	42,1	63,5
P467	5,3	123	4,8	7,7	4,7	8,8	24,7	1,3	19,7	20,0	43,7
P718	7,0	470	27,2	27,8	24,0	20,9	18,5	21,7	214,4	39,4	182,3
P720	5,4	177	6,4	5,8	7,0	12,0	23,6	3,5	25,9	57,6	39,8
P721	5,3	162	6,4	2,9	6,0	18,0	22,6	3,6	23,4	61,1	27,9
P724	6,8	165	6,3	11,4	8,9	9,7	8,7	1,4	91,9	1,8	62,7
P729	7,4	147	7,5	8,1	14,6	8,4	5,8	2,0	91,9	0,9	51,9
P730	8,3	298	11,0	5,0	48,1	3,5	26,1	15,5	120,1	0,5	48,0
P732	6,2	124	2,7	5,2	8,9	13,8	20,8	0,4	26,7	5,1	28,4
P733	5,8	117	2,4	2,4	11,3	15,7	17,4	0,6	25,2	5,1	15,7
P735	7,7	213	6,3	5,5	35,0	7,8	14,5	5,0	105,2	4,6	38,2

Continuação da Tabela 2.

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P736	6,8	172	4,7	8,1	19,0	13,2	11,6	0,8	90,4	2,3	45,1
P737	7,0	458	23,9	28,1	23,2	7,5	80,2	10,0	134,9	0,0	175,3
P738	6,8	195	9,4	9,1	17,0	15,1	12,1	0,0	112,7	22,6	60,7
P740	7,1	1012	33,3	52,2	108,4	5,1	157,5	33,7	329,1	18,3	297,8
P941	5,7	131	1,6	6,7	11,7	12,6	16,4	0,5	38,5	7,4	31,4
P946	5,7	117	1,6	1,4	11,9	18,0	15,5	0,5	25,2	8,3	9,8
P1066	6,1	254	19,2	11,5	15,7	5,3	18,5	15,8	98,6	8,9	95,3
P1097	7,7	301	36,8	13,4	8,3	4,7	11,3	11,6	165,1	1,8	147,0
P1131	6,7	367	41,6	16,3	13,5	4,3	10,3	30,1	179,9	0,9	170,9
P1135	6,6	442	64,0	14,4	10,0	4,7	27,8	41,9	184,8	4,4	219,1
P1139	4,7	238	8,0	8,2	15,1	16,4	57,6	2,3	9,9	20,4	53,7
P1140	5,8	170	11,2	7,7	5,3	12,0	24,7	3,2	49,3	4,0	59,7
P1172	6,9	677	30,2	43,8	38,2	11,3	95,2	3,7	244,6	16,8	255,7
P1174	6,6	231	11,8	15,5	12,6	8,4	22,2	7,2	103,8	6,9	93,1
P1178	6,5	396	36,9	13,6	13,8	10,1	67,7	3,8	57,8	23,6	147,9

Tabela 3. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. Coleta 2 em dezembro de 2005.

Poço N ^o	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Dureza
P12	5,3	118	2,0	5,0	9,0	9,0	24,0	3,0	15,0	17,7	25,6
P23	6,7	520	51,0	16,0	22,0	6,0	85,0	2,0	104,0	49,2	193,2
P36	6,7	421	16,0	14,0	28,0	34,0	69,0	20,0	67,0	32,8	97,6
P95	7,0	293	40,0	10,0	7,0	6,0	16,0	7,0	165,0	4,0	141,0
P178	6,4	205	19,0	9,0	6,0	11,0	10,0	5,0	99,0	12,4	84,5
P197	7,0	577	31,0	41,0	30,4	10,1	26,9	42,5	317,2	0,9	246,3
P340	5,8	419	6,2	11,3	62,5	6,8	87,5	9,8	56,3	7,9	62,0
P354	6,6	1519	146,7	84,4	67,2	14,8	171,1	237,5	308,3	0,0	713,4
P355	6,4	476	46,6	22,2	17,7	6,8	22,1	61,1	157,1	17,3	207,4
P357	5,7	776	20,2	35,4	60,6	19,2	178,8	0,4	23,7	26,0	195,9
P358	7,8	277	15,5	11,3	30,4	5,1	4,8	0,5	192,7	0,0	85,3
P359	6,3	146	4,7	4,2	23,2	3,5	6,7	0,3	83,0	0,0	29,1
P388	5,9	155	2,0	6,0	20,0	7,0	16,0	6,0	57,0	1,3	29,7
P389	6,2	393	26,0	22,0	10,0	11,0	58,0	18,0	96,0	21,3	155,5
P391	5,4	190	8,0	14,0	6,0	10,0	20,0	18,0	51,0	23,0	77,6
P467	6,5	186	13,0	11,0	8,0	8,0	18,0	1,0	80,0	7,5	77,7
P718	7,3	530	35,0	24,0	22,0	33,0	26,0	23,0	237,0	42,1	186,2
P720	5,6	175	8,0	5,0	9,0	14,0	25,0	3,0	32,0	14,2	40,6
P721	6,1	158	6,0	4,0	8,0	17,0	19,0	2,0	35,0	32,3	31,4
P724	6,8	161	6,2	10,8	9,5	6,8	8,7	2,2	86,0	0,5	60,1
P729	7,4	140	7,0	7,1	10,7	6,8	5,8	0,6	80,0	0,0	46,5
P730	7,2	280	7,8	4,2	47,3	3,5	23,1	15,4	112,7	0,5	36,8
P732	5,7	117	1,6	5,7	12,6	14,8	17,3	0,2	20,8	4,1	27,2
P733	5,7	111	1,6	2,4	9,5	14,8	18,3	0,4	14,8	3,2	13,6
P735	7,1	207	3,9	5,7	31,9	6,8	13,5	4,8	91,9	3,7	33,0
P736	6,2	140	4,7	4,2	13,2	13,2	11,5	0,4	68,2	1,8	29,1
P737	6,3	340	16,3	21,2	15,7	6,8	47,1	8,0	121,6	0,0	128,0
P738	6,9	186	6,2	8,0	10,7	16,3	12,5	4,4	91,9	17,3	48,5

Continuação da Tabela 3

Poço Nº	pH	CE (µS/cm)	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁼	HCO₃⁻	NO₃⁻	Dureza
P740	6,7	1019	33,4	47,6	103,8	5,1	157,7	38,2	332,0	0,0	279,2
P1066	6,3	240	16,0	13,0	14,0	6,0	16,0	9,0	110,0	7,1	93,4
P1097	7,1	293	28,0	17,0	10,0	6,0	8,0	10,0	175,0	7,1	139,9
P1131	6,8	382	37,0	23,0	14,0	6,0	14,0	23,0	214,0	1,8	187,0
P1135	6,6	414	30,0	30,0	10,0	6,0	26,0	33,0	190,0	4,0	198,4
P1139	5,0	224	6,0	8,0	14,0	18,0	56,0	2,0	7,0	11,1	47,9
P1140	5,8	161	11,0	6,0	7,0	14,0	25,0	2,0	52,0	7,1	52,2
P1174	6,3	206	16,3	11,3	10,1	6,8	12,5	9,8	97,8	2,3	87,2
P1178	6,2	392	32,6	8,5	12,5	6,8	42,3	5,9	65,2	12,6	116,3

Tabela 4. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. 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
P12	5,1	130	3,0	4,0	7,0	8,0	19,0	1,0	19,7	22,1	24,0
P36	6,8	665	32,0	21,0	42,0	45,0	96,0	47,3	170,0	8,9	166,3
P95	6,9	317	29,0	21,0	7,0	4,0	6,0	10,0	187,3	0,0	158,8
P178	6,3	235	19,0	11,0	5,0	11,0	8,0	8,1	106,0	13,3	92,7
P180	7,4	365	19,2	10,6	5,2	11,1	8,0	8,1	106,0	18,4	91,4
P340	6,0	407	7,8	11,8	58,8	6,8	74,0	9,6	105,4	12,1	68,0
P355	6,3	457	41,9	22,2	21,8	8,4	21,2	32,6	165,6	19,2	196,0
P357	4,4	573	7,8	14,6	66,3	30,0	130,0	1,5	6,0	32,4	79,6
P358	7,8	277	16,3	10,8	35,0	6,8	7,7	0,5	210,8	0,0	85,1
P359	6,3	144	3,9	4,7	26,0	3,5	11,5	0,4	90,3	0,0	29,1
P360	5,2	500	12,4	16,5	51,6	13,2	119,2	0,4	15,1	18,3	98,9
P388	6,1	178	3,0	5,0	20,0	10,0	14,0	6,1	61,6	8,9	28,1
P389	6,4	425	32,0	20,0	11,0	11,0	63,0	21,3	98,6	17,7	162,2
P391	5,5	217	8,0	12,0	6,0	10,0	20,0	15,9	49,3	22,1	69,4
P467	5,9	164	10,0	7,0	6,0	9,0	21,0	1,0	49,3	8,9	53,8
P718	6,6	593	46,0	12,0	14,0	57,0	16,0	6,5	32,0	106,3	164,2
P720	5,6	179	6,0	5,0	9,0	15,0	20,0	1,0	29,6	35,4	35,6
P721	6,3	142	6,0	4,0	6,0	18,0	48,0	57,3	130,6	13,3	31,4
P724	6,7	159	7,0	13,2	11,3	10,1	10,6	0,6	96,4	2,3	71,8
P730	7,9	218	7,8	5,7	41,4	3,5	13,5	3,3	129,5	13,5	42,9
P732	5,7	116	3,1	6,6	11,3	14,8	20,2	0,6	27,1	23,1	34,9
P733	5,7	115	1,6	2,4	11,3	16,3	22,1	0,7	21,1	17,3	13,9
P735	7,5	206	6,2	5,7	33,5	8,4	15,4	0,7	105,4	14,9	38,9
P736	6,5	144	4,7	6,6	15,1	14,8	13,5	0,5	66,2	10,7	38,9
P737	6,1	463	26,4	29,7	23,2	8,4	86,5	7,0	126,5	0,0	188,1
P738	6,7	182	10,1	9,0	16,4	17,8	13,5	4,5	99,4	21,1	62,3
P740	6,5	1071	33,4	51,4	110,7	5,1	175,0	26,0	340,2	13,5	294,9
P1066	6,6	343	22,0	15,0	20,0	6,0	26,0	15,4	138,0	8,9	116,7

Continuação da Tabela 4

Poço N^o	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁼	HCO₃⁻	NO₃⁻	Dureza
P1097	7,8	313	32,0	15,0	8,0	5,0	2,0	11,4	179,9	17,7	141,6
P1131	6,9	392	37,0	21,0	12,0	5,0	12,0	30,3	202,1	0,0	178,8
P1139	5,3	208	8,0	8,0	9,0	13,0	49,0	2,0	14,8	8,9	52,9
P1140	6,1	181	14,0	7,0	6,0	12,0	22,0	1,0	62,8	8,9	63,8
P1172	6,9	635	34,9	42,0	41,4	10,1	68,3	2,2	319,2	6,9	260,0
P1174	6,2	245	9,3	18,9	15,7	8,4	28,8	2,0	75,3	32,9	101,0
P1178	5,9	388	28,7	16,0	19,0	14,8	63,5	0,6	27,1	70,4	137,5

Tabela 5. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. 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
P12	5,7	130	1,0	6,0	6,0	8,0	19,0	1,1	19,7	15,5	27,2
P23	6,8	385	32,0	26,0	11,0	5,0	25,0	5,8	184,8	6,6	186,9
P36	7,1	598	19,0	27,0	33,0	36,0	72,0	11,8	187,3	10,2	158,5
P95	7,5	341	11,0	35,0	10,0	4,0	8,0	3,6	211,9	0,9	171,5
P178	6,8	238	9,0	18,0	8,0	10,0	11,0	3,1	110,9	11,1	96,5
P197	6,8	587	30,6	42,4	39,8	11,6	28,0	33,8	337,2	8,8	250,9
P340	6,1	448	4,7	12,3	68,2	6,8	94,7	9,5	78,3	14,4	62,4
P354	6,4	1492	137,4	79,7	76,1	13,2	169,1	237,5	325,2	17,3	671,1
P355	6,4	467	43,1	23,1	21,8	8,4	23,2	37,4	171,6	32,4	202,7
P357	4,8	625	40,8	20,3	66,3	27,5	131,4	2,7	87,3	73,1	185,4
P358	7,8	313	15,7	11,3	35,0	6,8	5,8	0,9	204,8	5,1	85,7
P359	6,3	151	3,1	5,2	27,5	3,5	8,7	0,2	90,3	14,9	29,2
P360	6,2	664	22,7	25,5	64,4	14,8	151,7	8,9	69,3	32,4	161,6
P388	6,7	224	3,0	8,0	14,0	8,0	21,0	2,3	59,1	22,6	40,4
P389	6,6	406	18,0	29,0	11,0	10,0	57,0	6,9	120,8	17,3	164,3
P391	6,2	217	7,0	14,0	5,0	9,0	19,0	5,3	59,1	16,8	75,1
P467	6,8	243	10,0	16,0	12,0	7,0	13,0	1,0	123,2	3,1	90,8
P718	6,6	667	11,0	28,0	12,0	74,0	91,0	5,8	104,0	61,1	142,7
P720	6,2	231	4,0	6,0	7,0	15,0	21,0	1,0	34,5	27,5	34,7
P721	7,0	153	3,0	8,0	7,0	14,0	17,0	1,8	40,0	12,0	40,4
P724	7,1	186	6,3	13,7	13,8	10,1	10,6	0,4	117,4	11,1	72,1
P729	7,6	136	6,3	6,6	12,6	8,4	7,7	0,3	87,3	7,9	42,9
P730	7,9	218	7,1	4,2	68,2	3,5	50,3	11,3	114,4	24,5	35,0
P732	6,8	152	3,9	5,2	13,8	16,3	22,2	1,1	36,1	19,7	31,1
P733	5,8	110	0,8	2,4	10,1	16,3	20,3	0,4	24,1	27,0	11,9
P735	7,8	231	3,9	5,2	36,6	6,8	16,4	4,5	102,4	14,9	31,1
P736	6,5	171	3,9	4,2	19,0	14,8	15,5	0,2	63,2	43,4	27,0
P737	6,2	454	22,7	26,4	26,0	8,4	81,2	8,4	126,5	19,2	165,3

Continuação da Tabela 5.

Poço N^o	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁼	HCO₃⁻	NO₃⁻	Dureza
P738	6,7	183	9,3	6,6	20,4	17,8	13,5	14,6	93,3	71,0	50,4
P740	6,5	1088	32,9	50,9	120,1	5,1	183,6	29,4	337,2	19,7	291,6
P1097	7,8	316	16,0	27,0	9,0	5,0	6,0	4,0	184,8	1,3	151,1
P1131	7,1	397	23,0	30,0	13,0	5,0	10,0	11,5	207,0	1,8	180,9
P1135	6,9	476	31,0	38,0	11,0	5,0	30,0	23,4	209,5	3,5	233,8
P1139	6,0	222	5,0	11,0	10,0	13,0	50,0	1,0	17,3	8,4	57,8
P1140	6,1	182	6,0	10,0	8,0	13,0	29,0	1,3	46,8	5,8	56,1
P1172	6,8	640	33,7	40,5	48,1	11,6	70,5	4,3	319,2	20,7	250,8
P1174	6,4	207	15,7	11,3	13,8	8,4	13,5	9,4	108,4	14,4	85,7
P1178	6,3	417	37,6	12,3	19,0	10,1	68,6	3,6	54,2	47,4	144,5

Tabela 6. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. 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
P12	5,1	125	1,6	5,2	17,7	10,1	21,2	0,7	16,6	22,7	25,4
P23	6,5	396	37,3	17,9	19,0	5,1	28,8	7,0	234,9	32,9	166,8
P36	6,5	525	14,7	19,3	48,1	37,1	76,9	19,3	146,0	16,3	116,1
P95	6,9	339	44,2	13,2	19,0	5,1	7,7	5,8	246,9	0,0	164,7
P178	6,1	218	15,5	11,3	15,1	14,8	9,6	5,6	117,4	17,8	85,2
P197	6,7	619	31,0	46,7	48,1	16,3	27,9	36,5	368,8	24,0	269,6
P340	5,4	428	3,9	10,8	82,2	10,1	95,2	8,0	43,7	18,7	54,2
P355	6,1	416	36,5	21,7	20,4	11,6	25,0	28,2	177,7	20,7	180,4
P357	5,3	765	17,9	35,4	72,1	27,5	179,8	3,9	16,6	78,5	190,4
P358	7,6	275	15,5	10,4	46,4	10,1	5,8	0,7	204,8	16,8	81,5
P359	6,2	147	4,7	4,7	31,9	5,1	9,6	0,5	90,3	0,0	31,1
P360	4,9	513	10,1	21,2	58,8	19,2	123,1	0,7	10,5	49,0	112,5
P388	6,1	195	3,1	5,7	33,5	10,1	18,3	2,8	90,3	11,5	31,2
P389	6,1	407	24,8	22,2	23,2	13,2	59,6	14,4	111,4	27,0	153,3
P391	5,4	200	8,5	11,3	17,7	11,6	21,2	9,3	57,2	18,7	67,7
P467	6,4	249	16,3	13,7	26,0	8,4	16,3	0,0	150,6	19,2	97,1
P718	6,2	568	16,3	17,4	31,9	90,2	78,8	7,2	93,3	76,3	112,3
P720	6,0	175	5,4	5,2	20,4	17,8	21,2	0,4	30,1	34,8	34,9
P724	6,6	171	6,2	11,8	12,6	13,2	11,5	0,5	93,3	11,6	64,0
P729	7,2	147	7,8	7,1	20,4	10,1	9,6	0,9	81,3	6,5	48,7
P730	7,5	222	8,5	1,9	39,8	6,8	12,5	8,2	120,4	24,0	29,0
P732	5,7	118	1,6	2,8	14,4	16,3	22,1	0,6	21,1	9,3	15,5
P733	5,5	107	0,8	2,4	13,8	20,7	21,2	0,6	15,1	8,3	11,9
P735	7,4	207	5,4	4,7	38,2	10,1	15,4	1,7	102,4	12,1	32,8
P736	6,6	152	4,7	4,2	19,0	20,7	16,3	0,5	60,2	3,7	29,0
P737	6,3	318	15,5	19,8	26,0	8,4	40,4	6,8	128,0	0,5	120,2
P738	6,4	181	6,2	7,1	23,2	22,1	15,4	0,8	84,3	16,8	44,7
P740	6,3	1054	32,6	48,6	120,1	10,1	172,1	28,7	319,2	2,3	281,4

Continuação da Tabela 6.

Poço N^o	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁼	HCO₃⁻	NO₃⁻	Dureza
P941	5,7	120	0,8	5,2	11,3	17,8	15,4	0,5	18,1	34,3	23,4
P946	5,6	109	0,8	0,9	15,1	19,2	16,3	0,7	15,1	15,9	5,7
P1066	6,0	262	14,0	13,2	27,5	6,8	23,1	5,4	120,4	8,3	89,3
P1097	7,5	312	31,0	16,0	19,0	5,1	6,7	8,9	222,8	26,5	143,2
P1131	6,7	391	37,3	19,8	27,5	5,1	13,5	18,5	249,9	21,1	174,6
P1135	6,5	554	66,0	25,9	23,2	6,8	34,6	25,3	283,0	6,2	271,4
P1139	5,1	199	4,7	8,0	16,4	14,8	47,1	0,5	12,0	33,9	44,7
P1140	6,0	173	7,8	7,1	15,1	14,8	23,1	1,0	61,7	8,8	48,7
P1172	6,3	668	31,0	42,0	51,6	14,8	98,1	1,8	234,9	44,9	250,2
P1174	6,2	205	15,5	11,8	19,0	16,9	15,4	9,9	99,4	11,1	87,3
P1178	6,1	316	33,4	9,4	21,8	8,4	51,9	1,9	69,3	26,0	122,1

Tabela 7. Resultados de análise físico-química e química de água subterrânea na Região do Cariri. 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
P23	6,9	590	53,9	16,4	20,4	5,1	13,2	12,2	259,5	0,0	202,1
P178	6,7	345	13,5	12,0	21,8	10,1	10,4	4,9	110,8	17,3	83,1
P355	6,2	460	43,6	23,6	24,6	6,8	23,5	35,9	169,1	33,9	206,0
P360	6,0	601	19,8	24,1	62,5	13,2	135,6	7,4	49,6	30,9	148,6
P388	6,9	379	7,1	1,9	17,7	6,8	17,0	3,1	58,3	0,5	25,5
P389	6,0	517	53,1	5,8	24,6	10,1	59,3	14,7	107,9	23,1	156,5
P718	7,5	486	20,6	16,8	35,0	39,2	69,7	0,5	72,9	75,3	120,6
P720	6,7	395	7,1	2,9	21,8	13,2	19,8	0,4	32,1	37,8	29,7
P721	6,5	282	12,7	1,9	17,7	13,2	16,0	0,9	37,9	44,3	39,5
P733	6,8	110	3,2	3,9	12,6	13,2	15,1	0,4	35,0	10,7	24,0
P738	6,1	170	8,7	5,8	17,7	16,3	12,2	0,2	93,3	3,2	45,6
P941	5,4	121	1,6	4,3	17,7	10,1	18,8	0,3	17,5	33,4	21,7
P1139	6,1	211	4,8	8,7	20,4	13,2	49,0	0,5	8,8	13,3	47,8
P1178	6,4	239	29,3	6,7	23,2	6,8	33,9	5,7	74,4	14,4	100,7

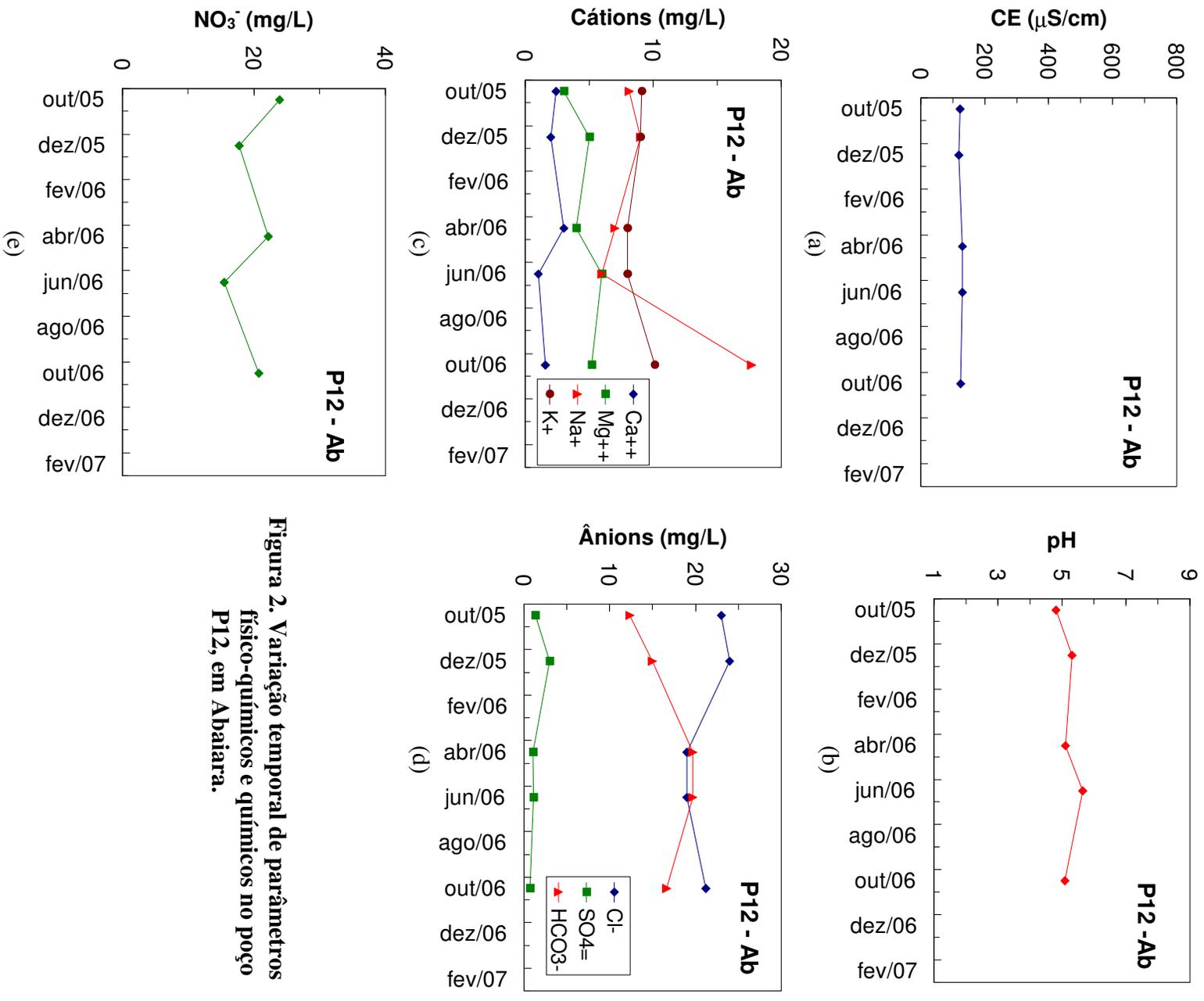


Figura 2. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P12, em Abaiara.

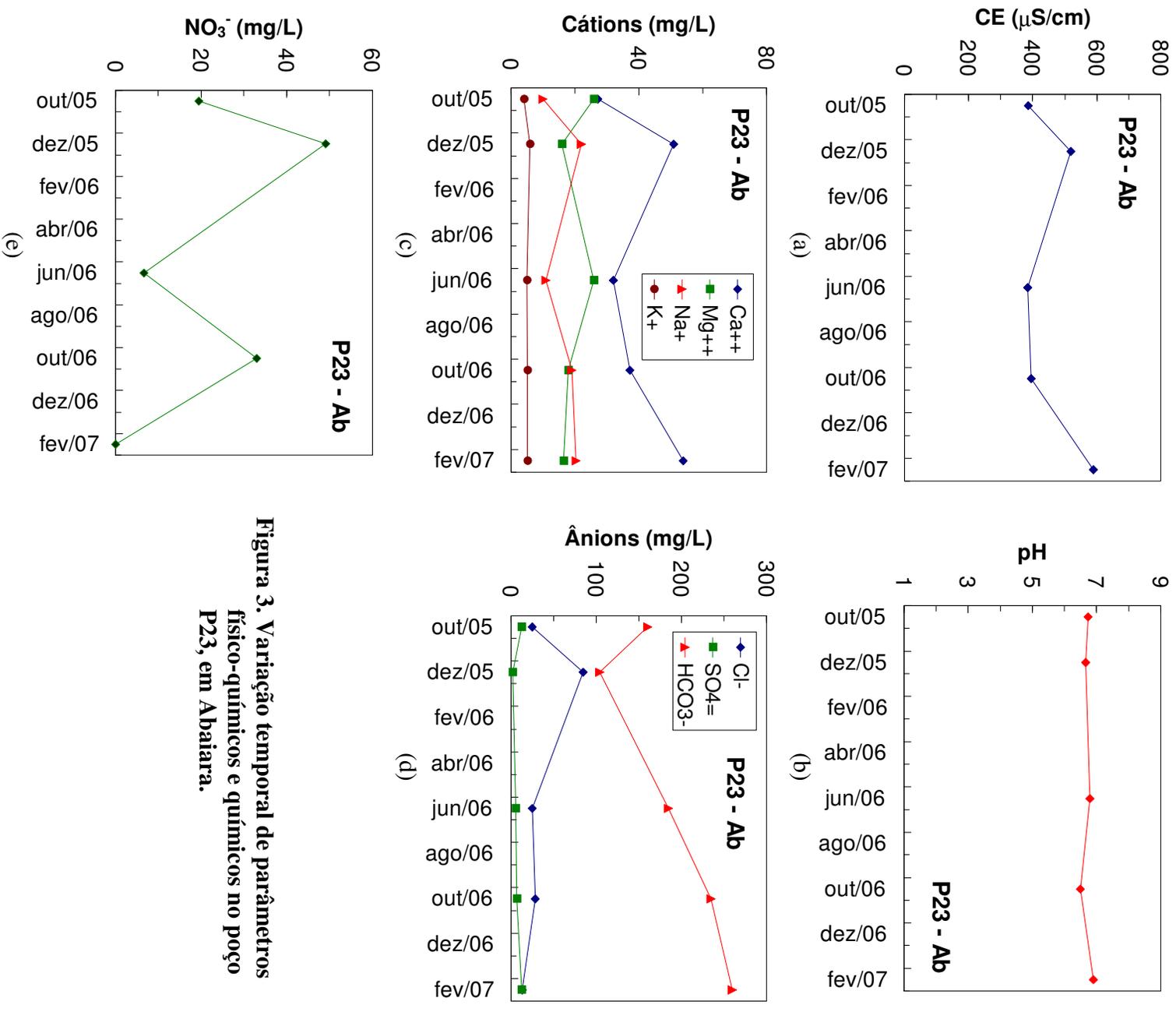


Figura 3. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P23, em Abaiara.

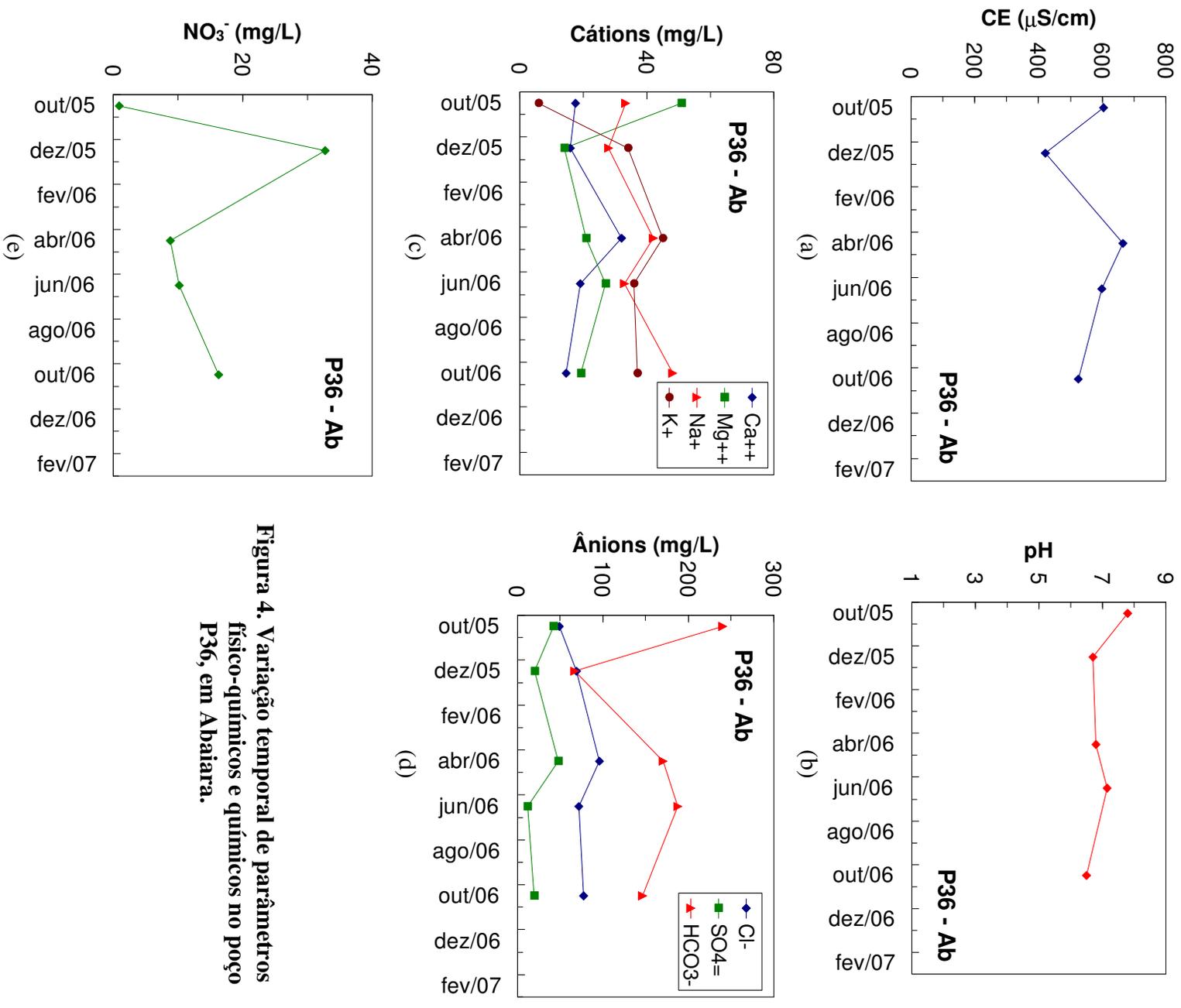


Figura 4. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P36, em Abaiara.

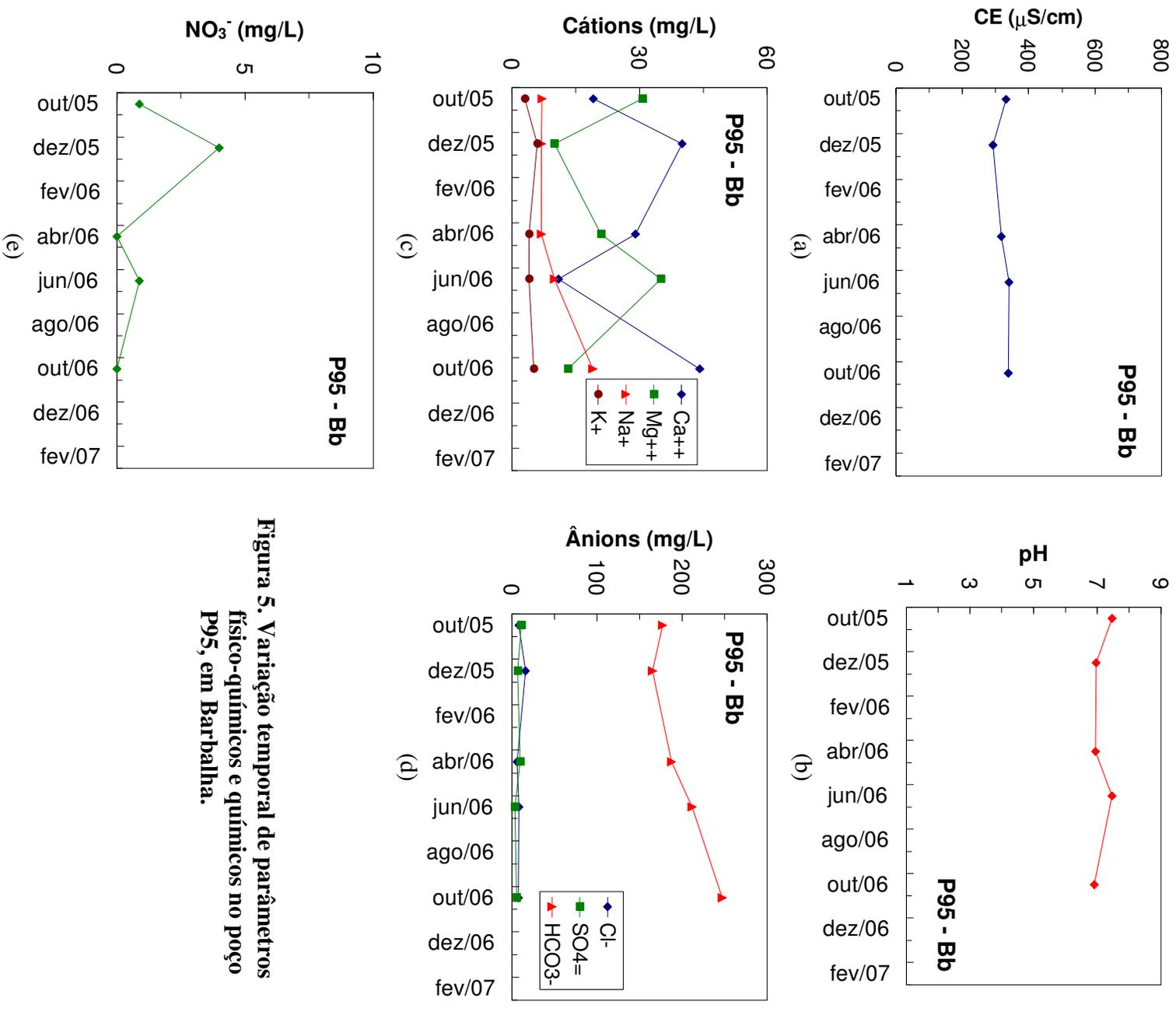


Figura 5. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P95, em Barbalha.

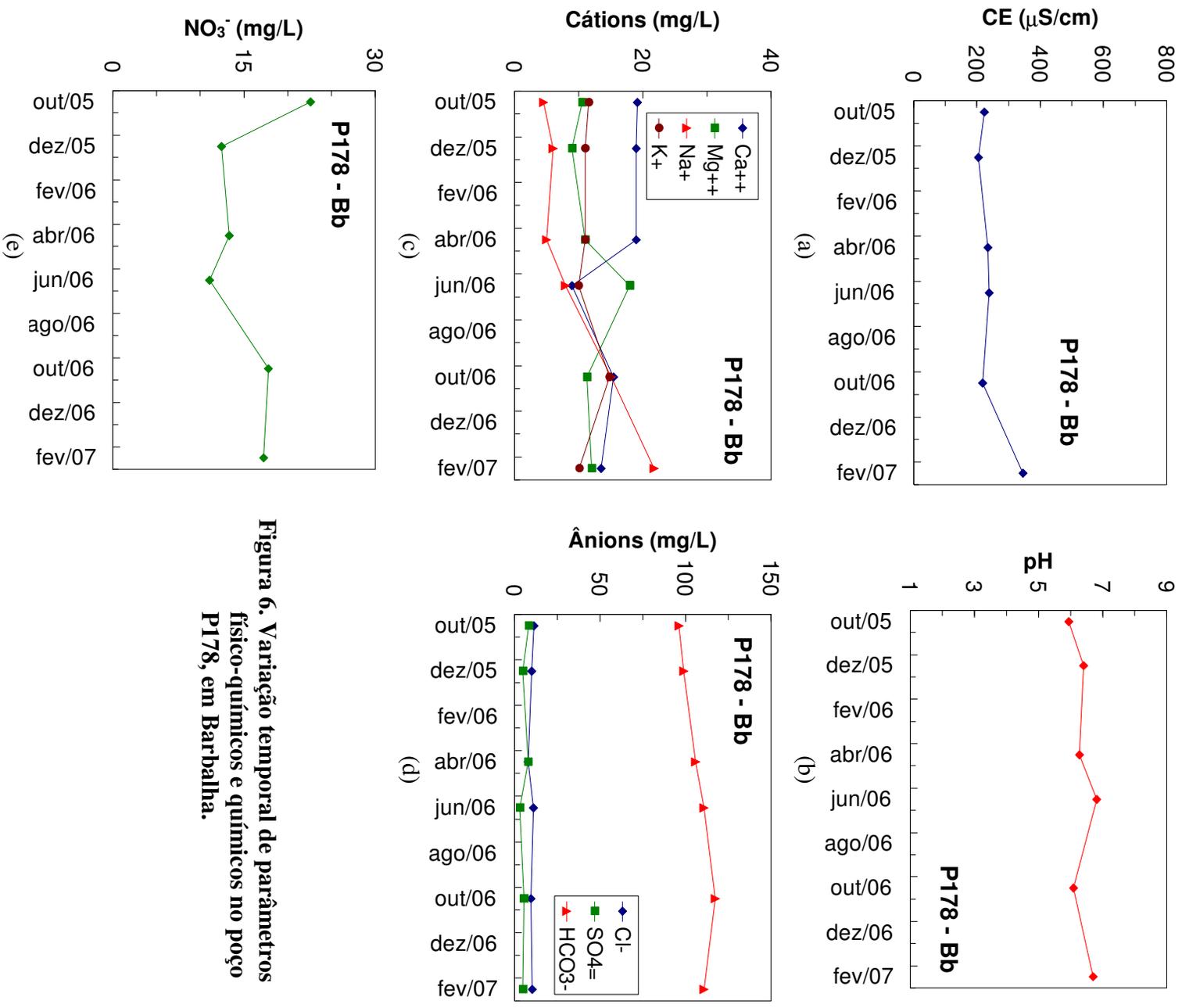


Figura 6. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P178, em Barbalha.

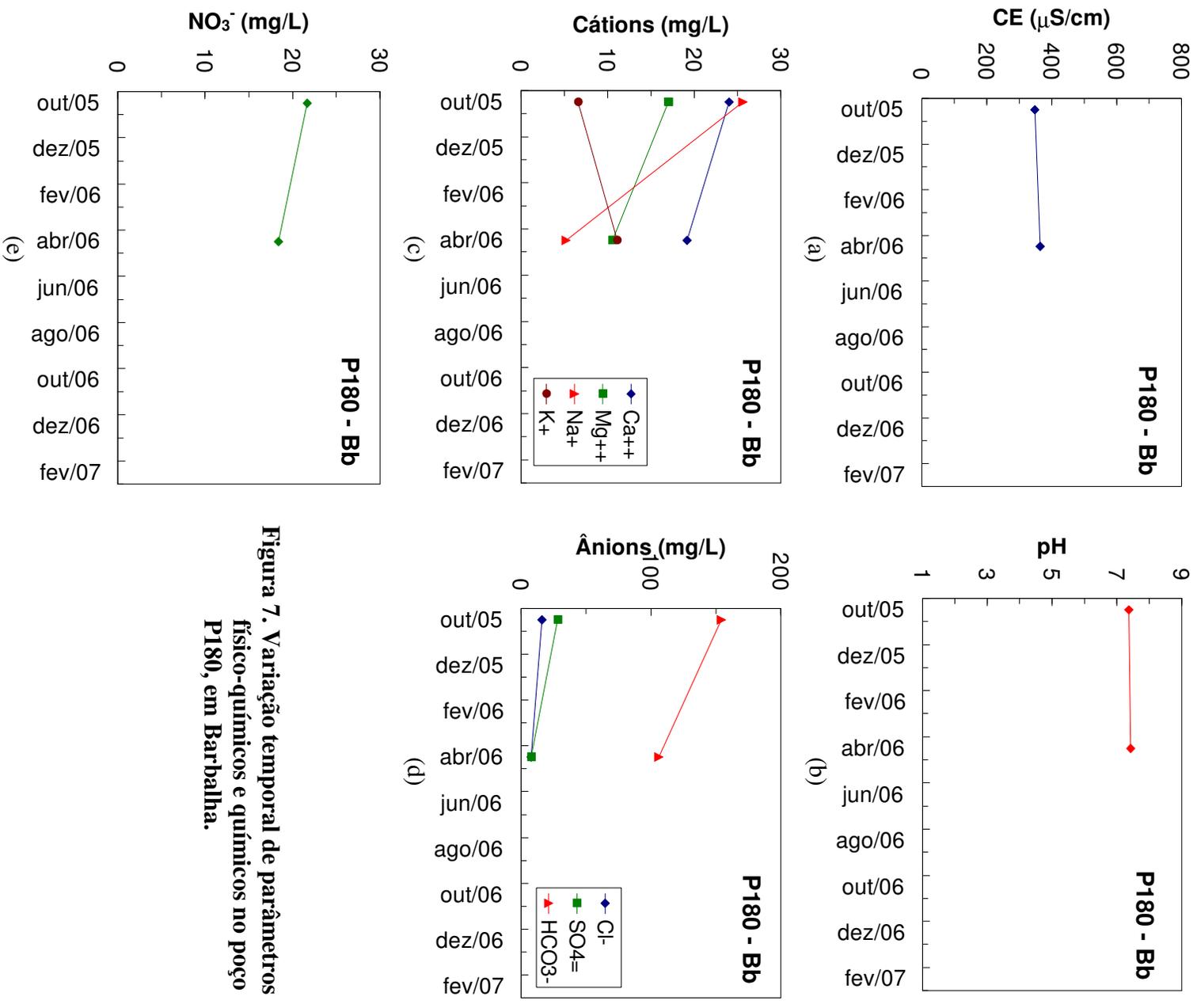


Figura 7. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P180, em Barbalha.

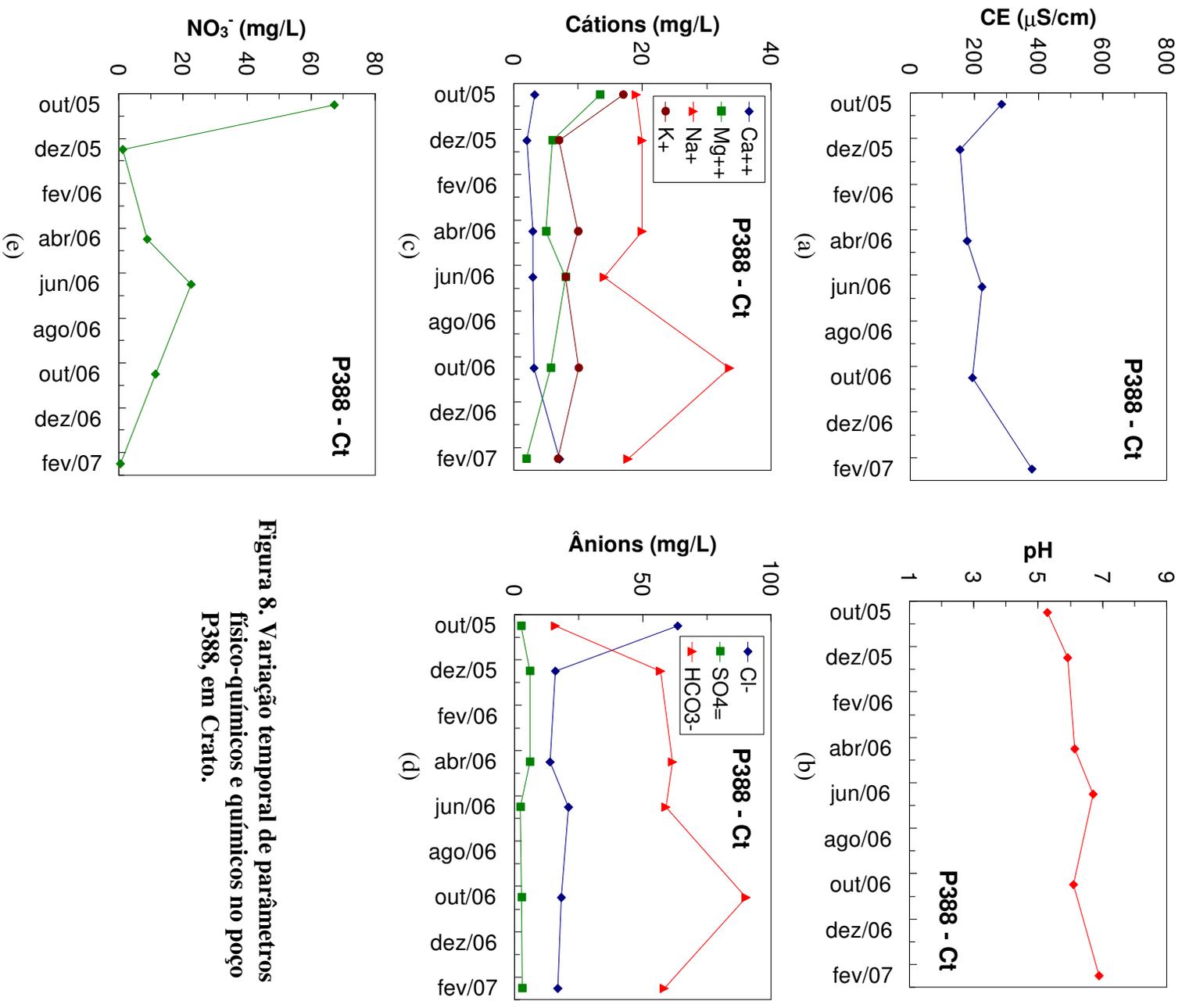


Figura 8. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P388, em Crato.

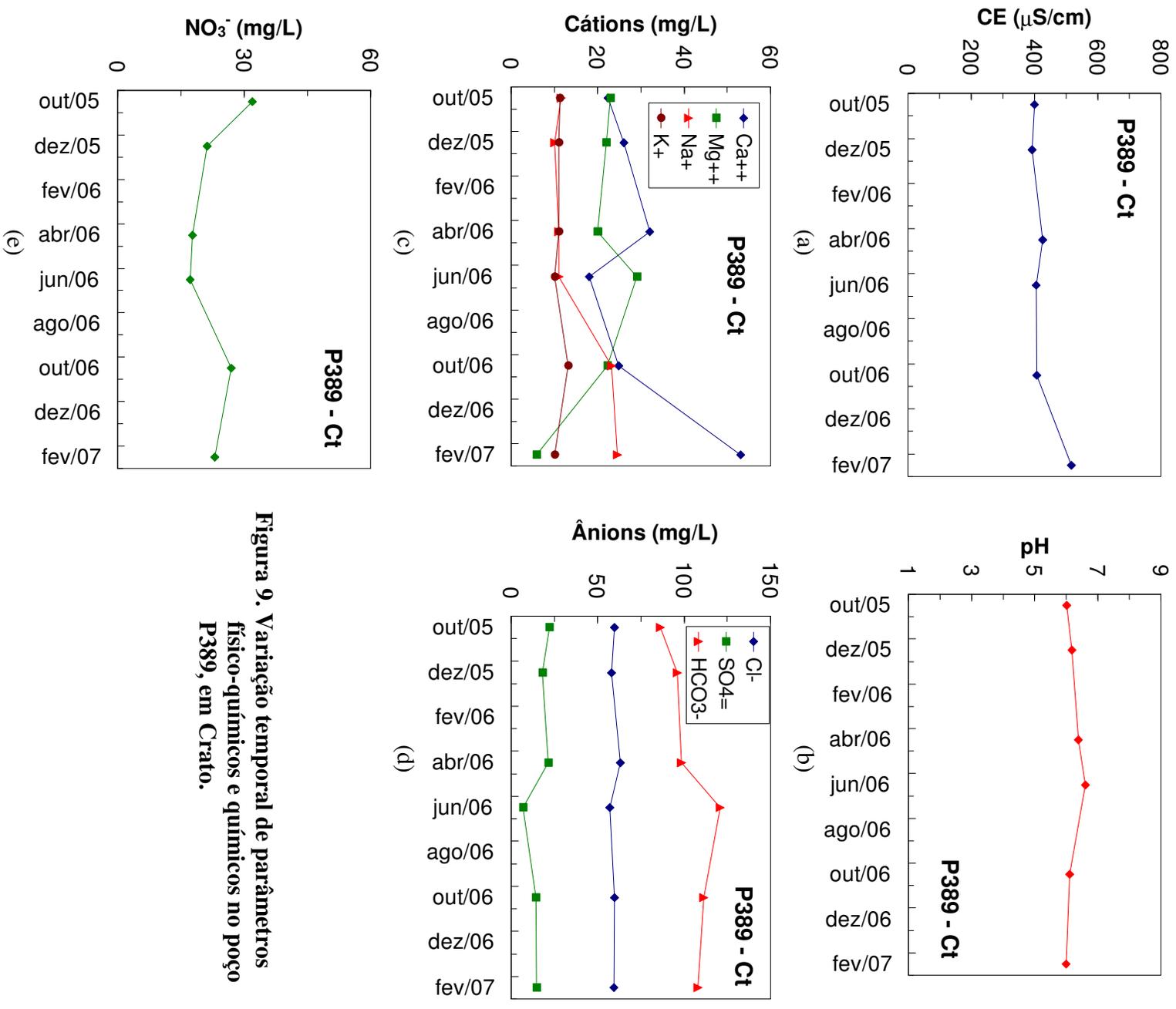


Figura 9. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P389, em Crato.

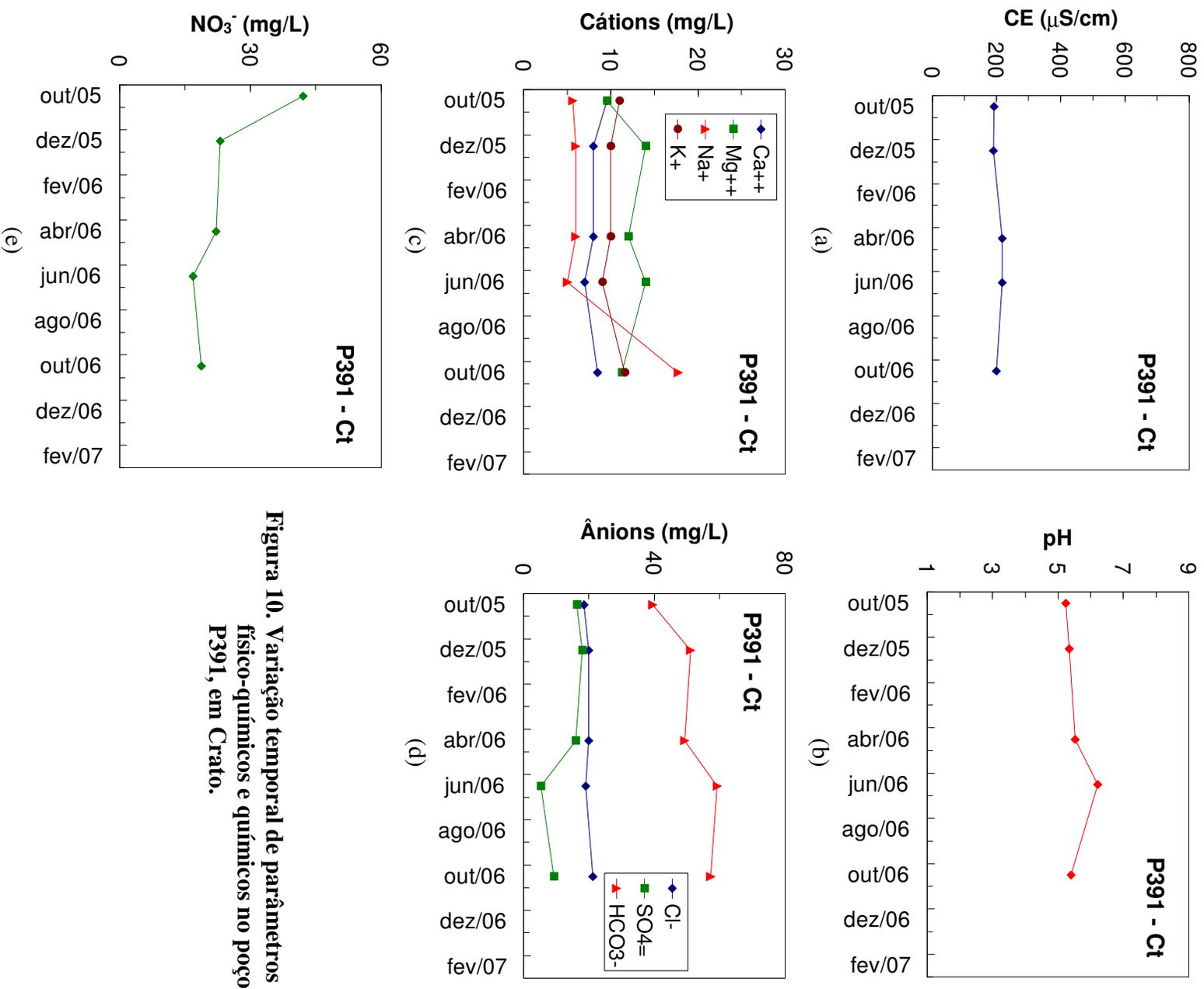


Figura 10. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P391, em Crato.

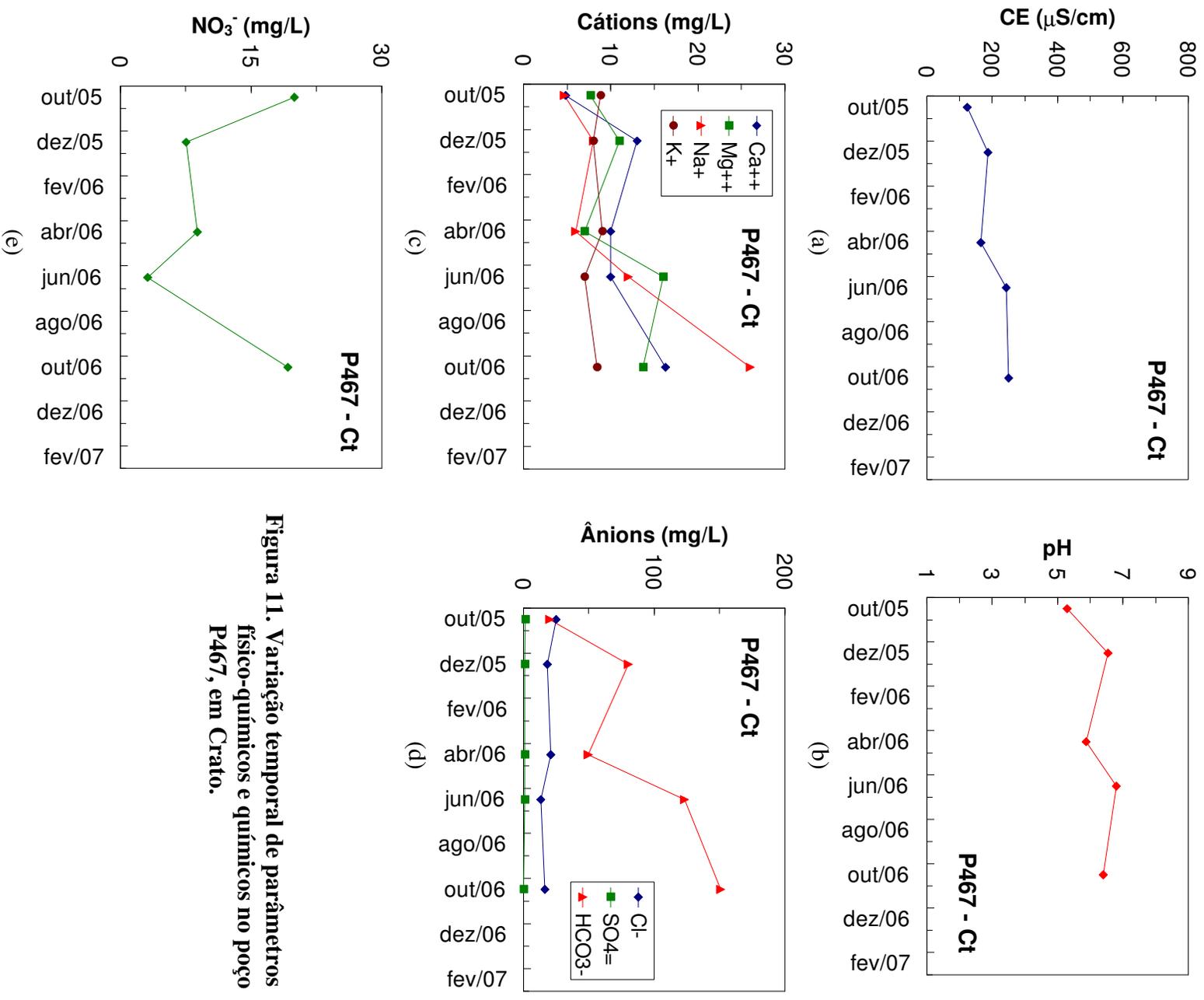


Figura 11. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P467, em Crato.

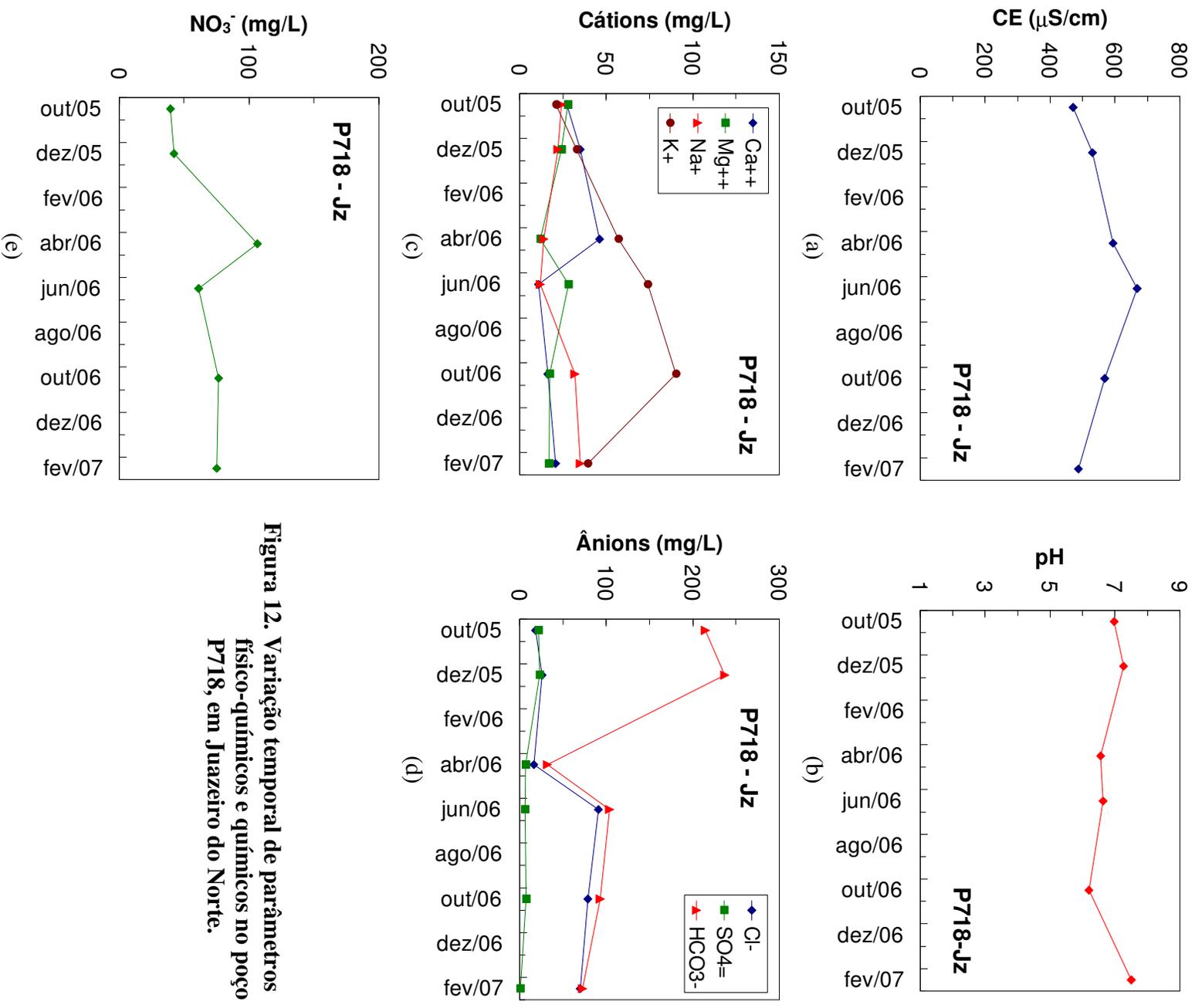


Figura 12. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P718, em Juazeiro do Norte.

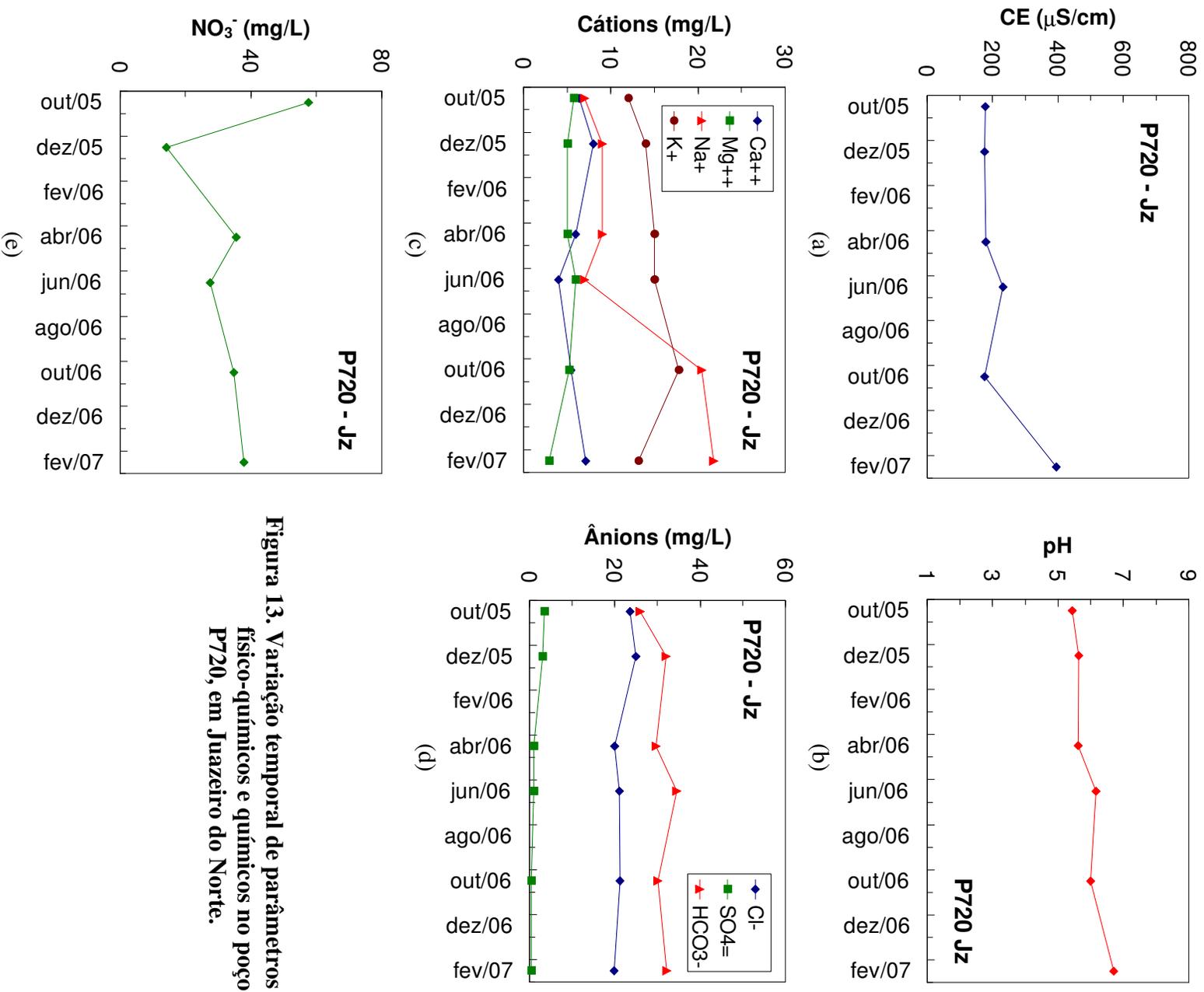


Figura 13. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P720, em Juazeiro do Norte.

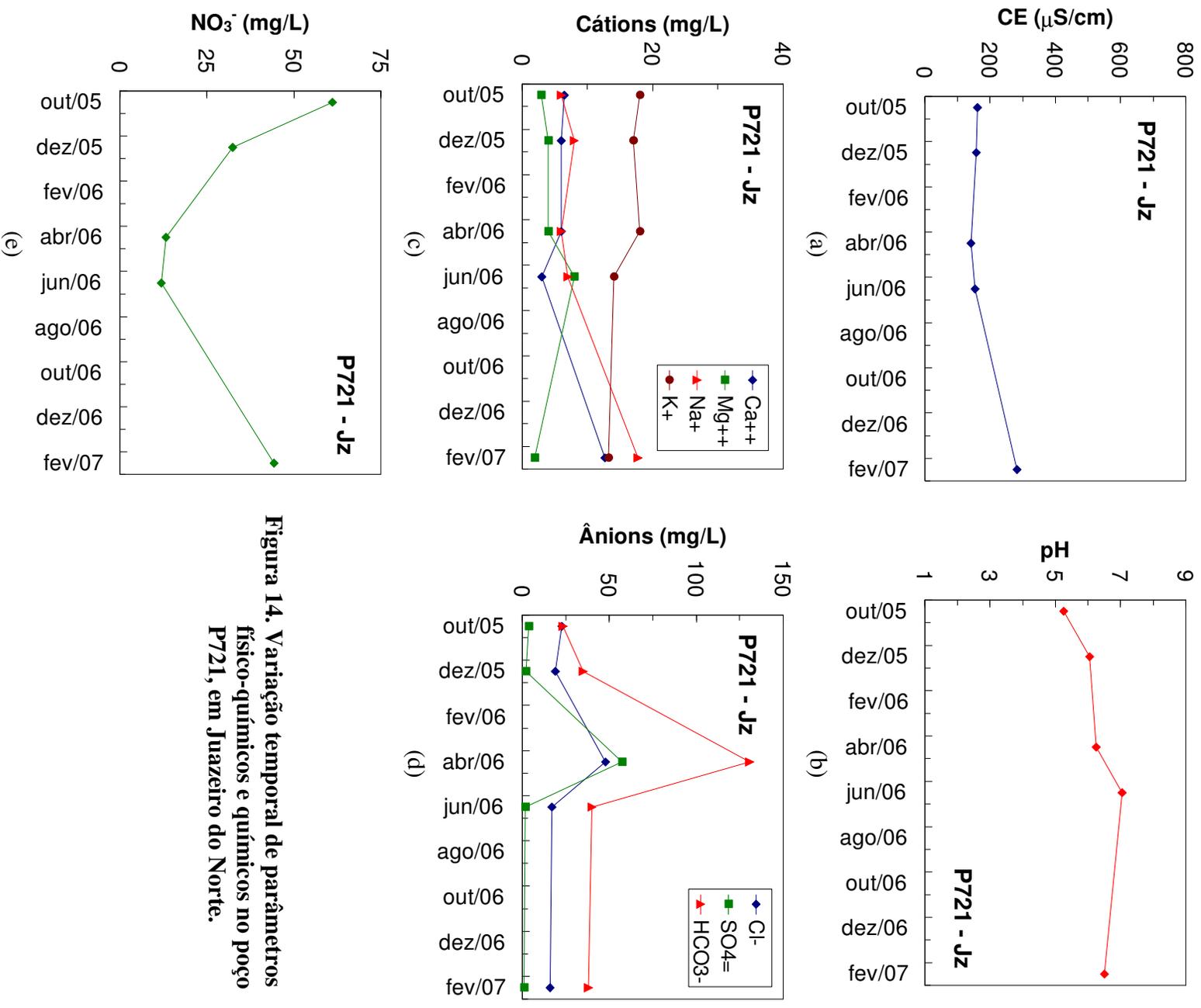


Figura 14. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P721, em Juazeiro do Norte.

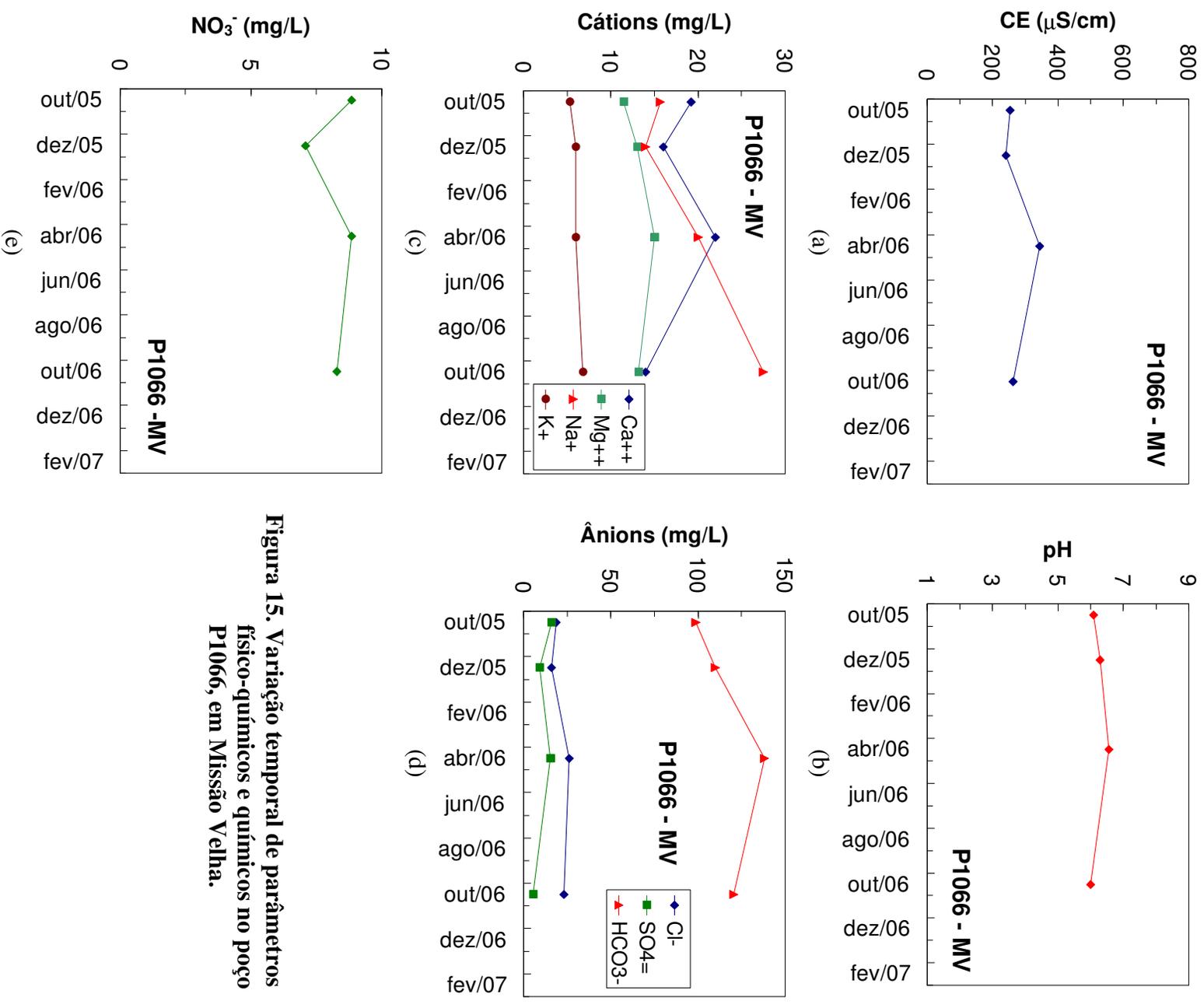


Figura 15. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1066, em Missão Velha.

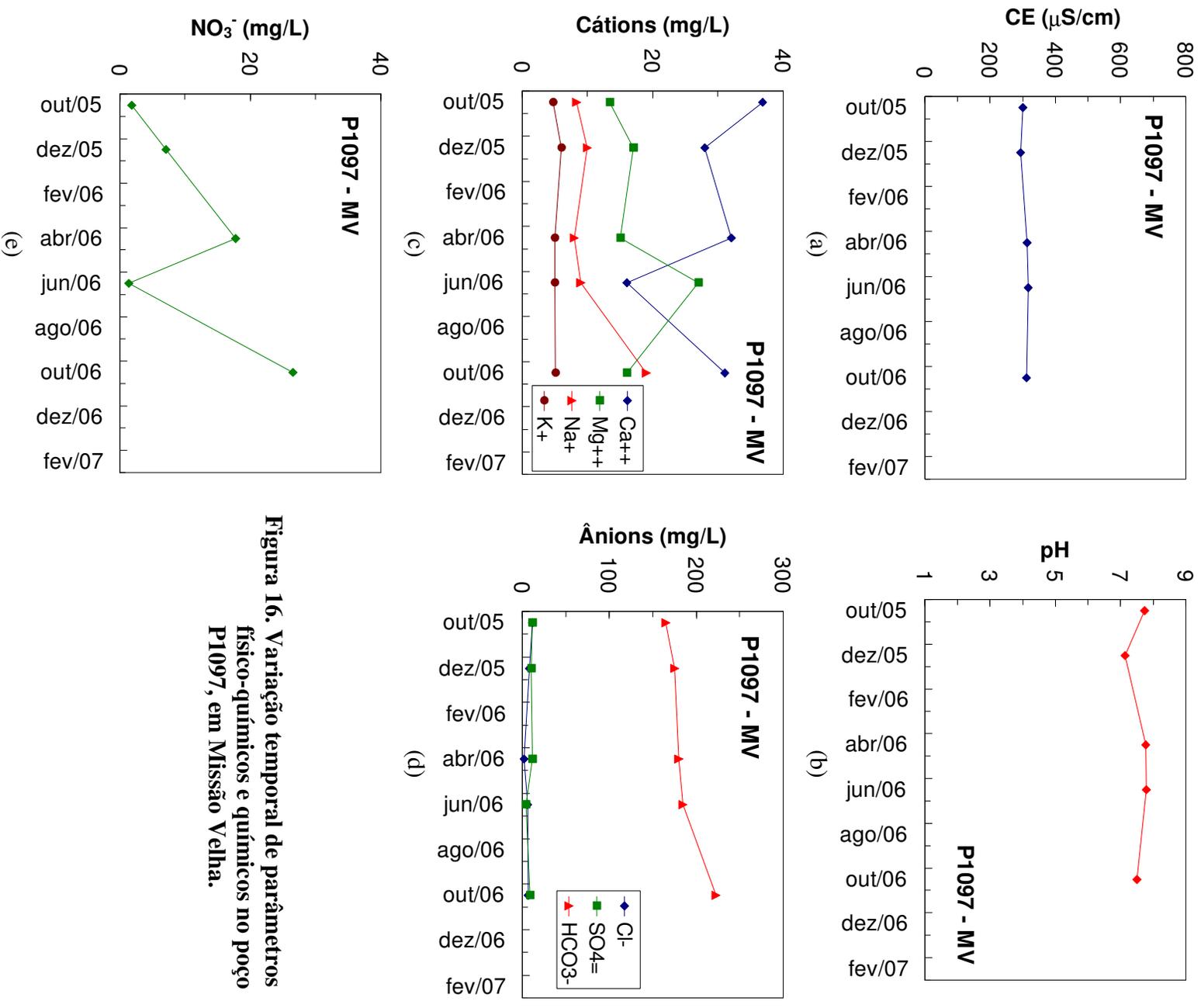


Figura 16. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1097, em Missão Velha.

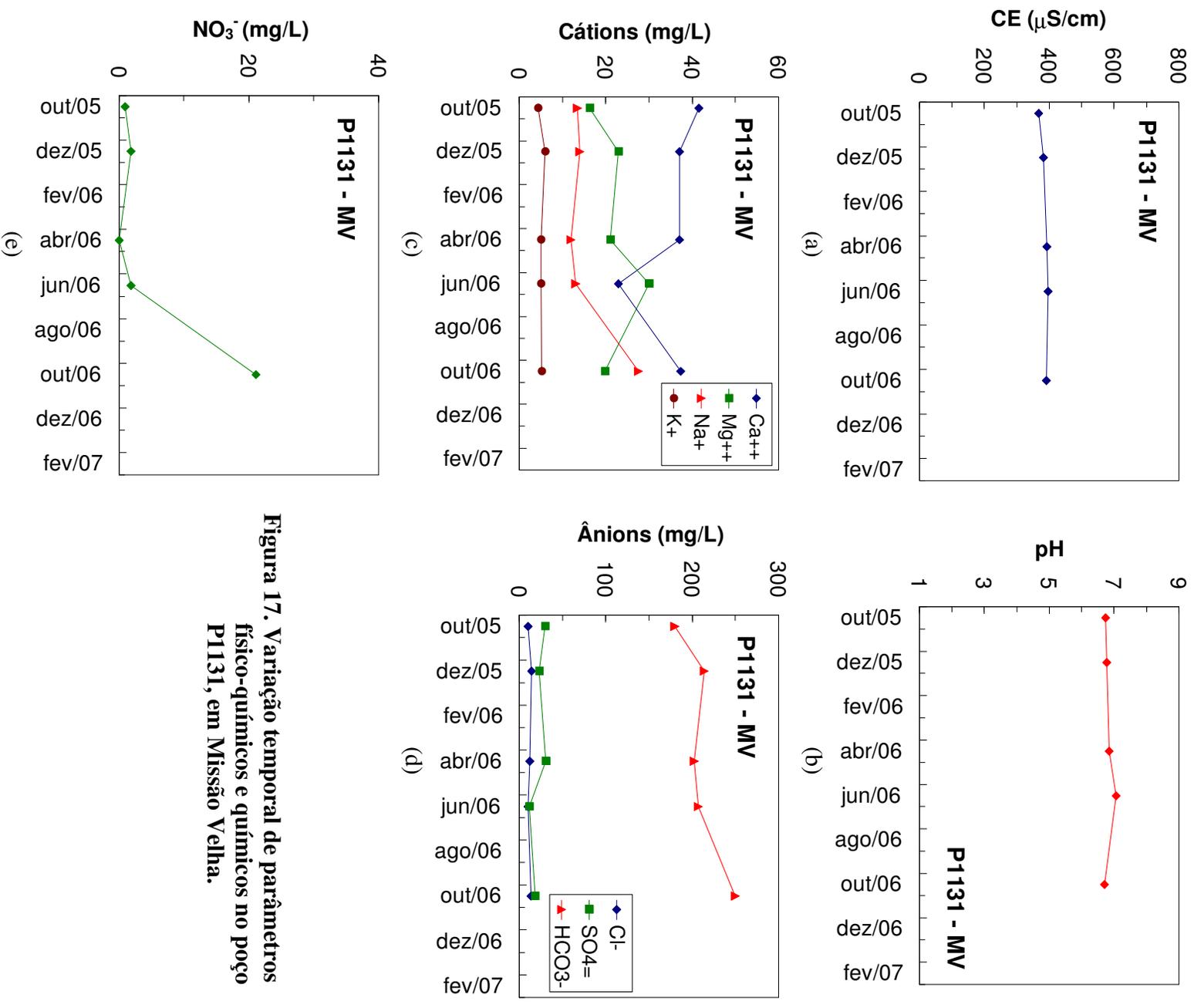


Figura 17. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1131, em Missão Velha.

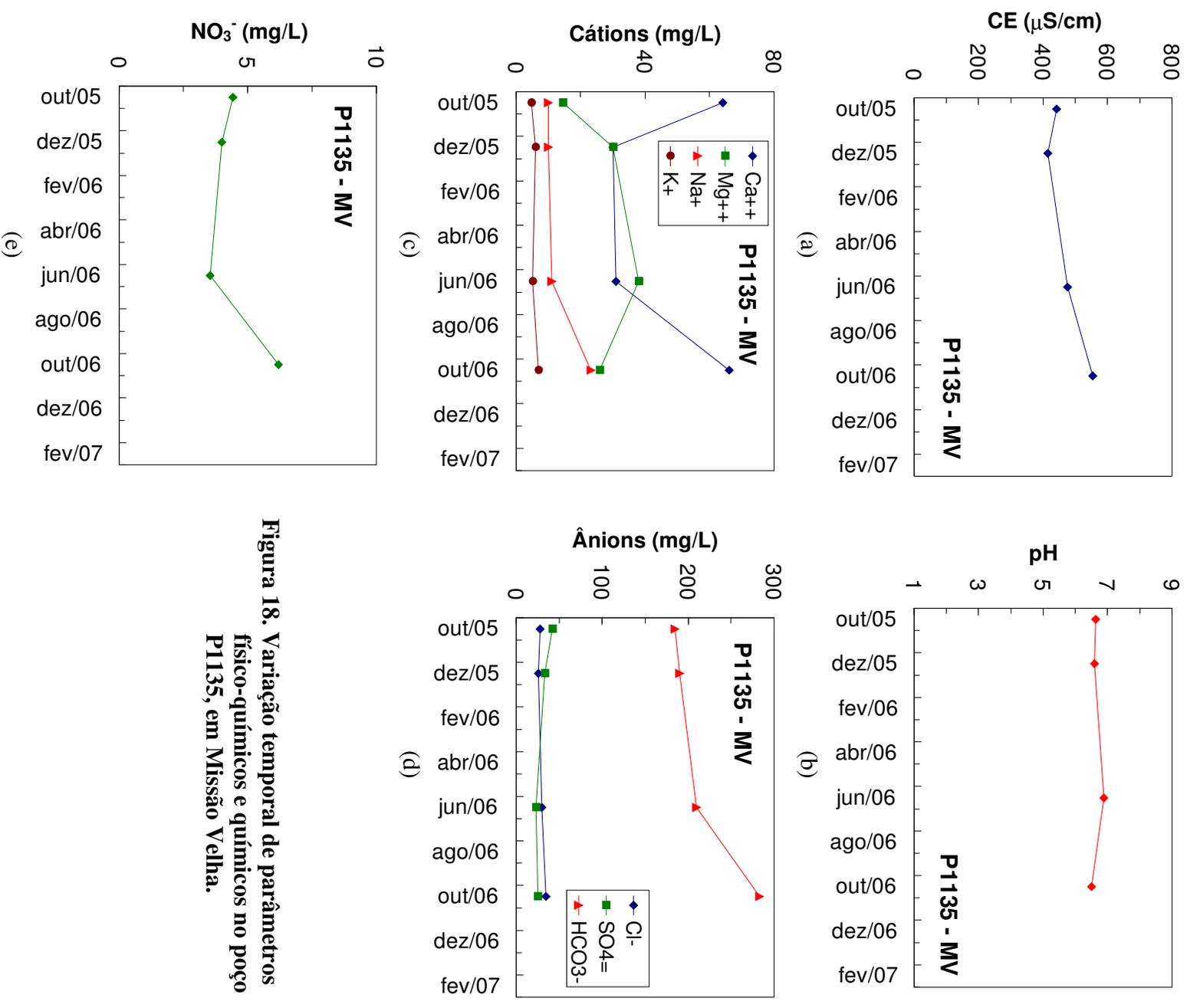


Figura 18. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1135, em Missão Velha.

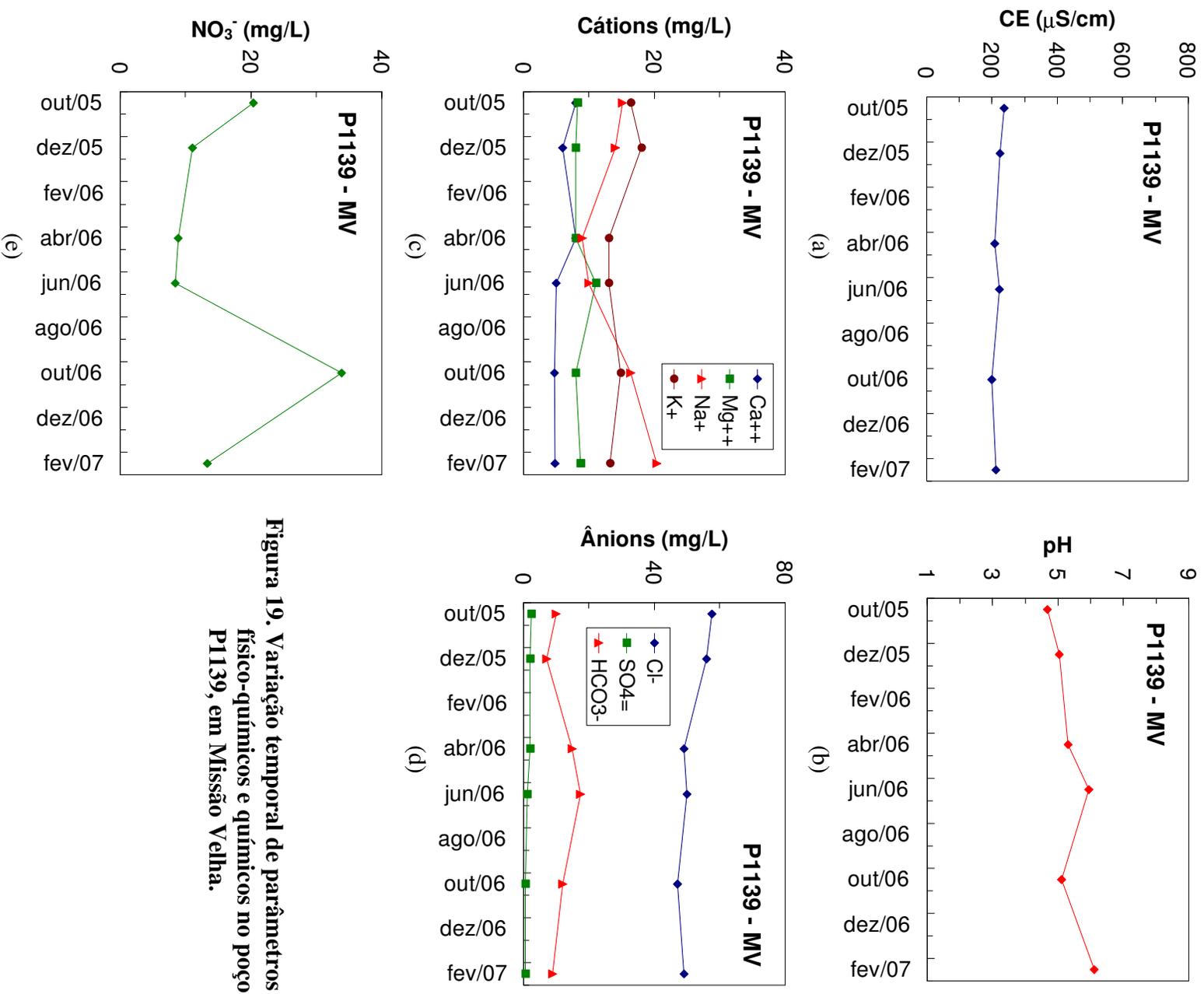


Figura 19. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1139, em Missão Velha.

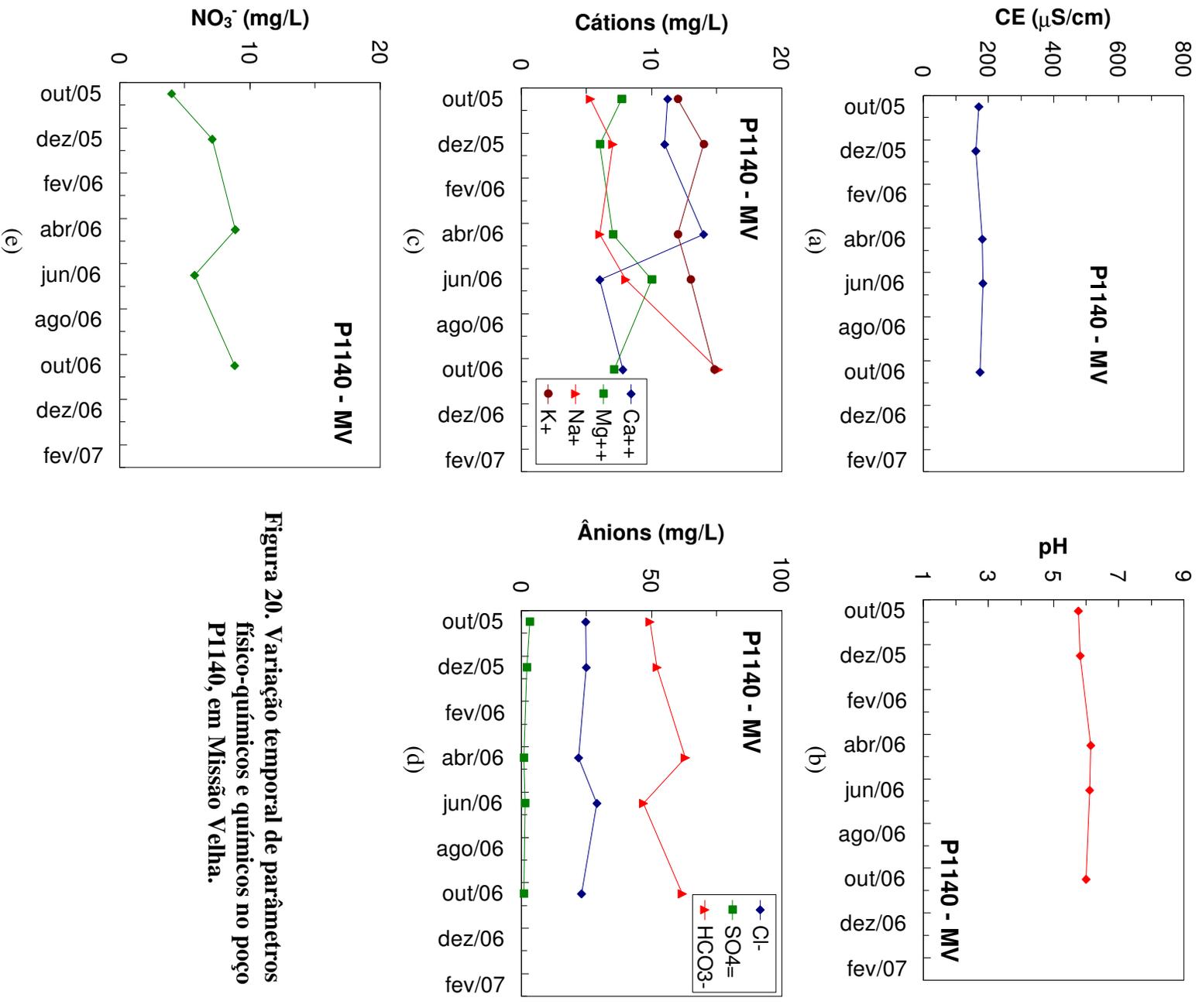


Figura 20. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1140, em Missão Velha.

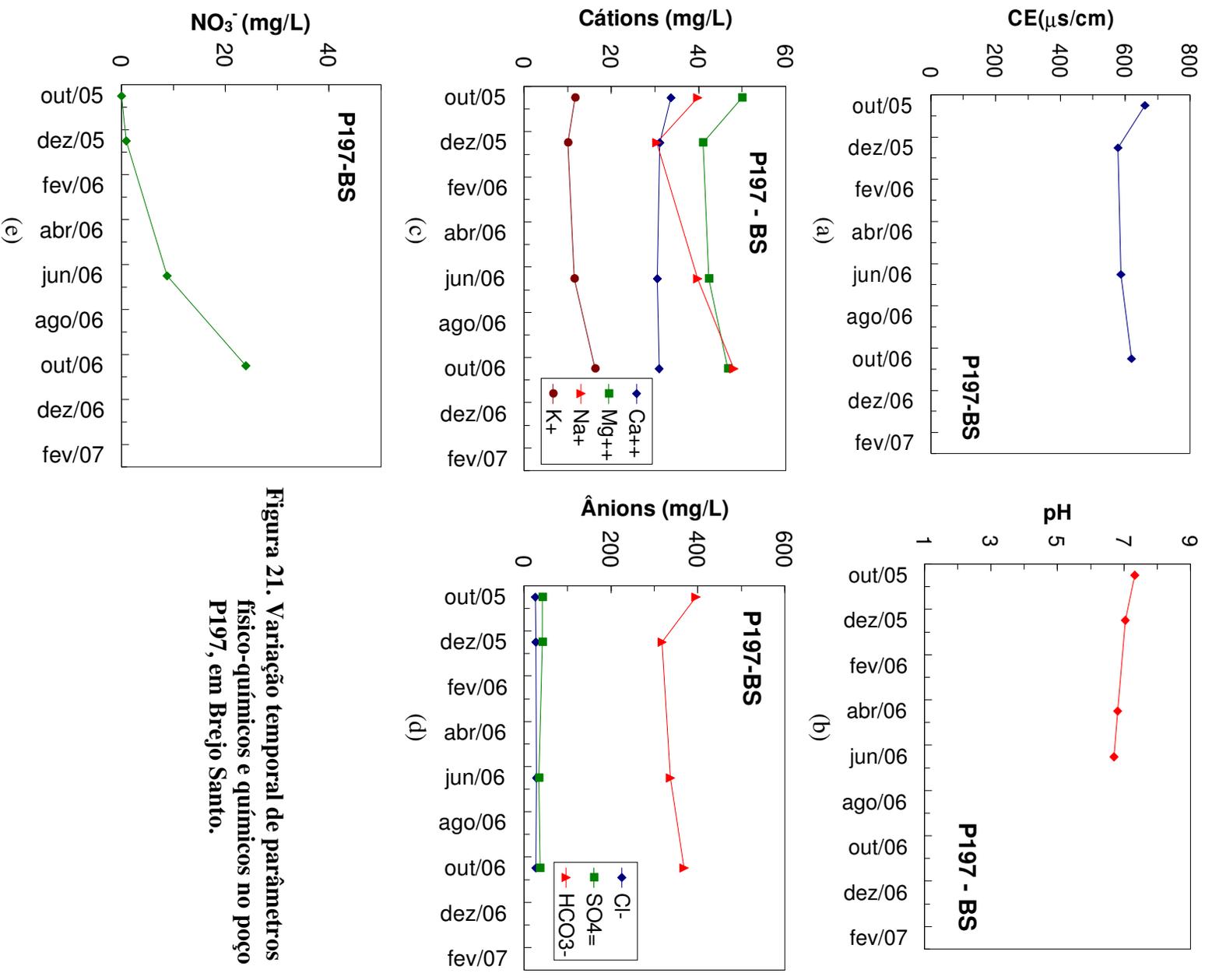


Figura 21. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P197, em Brejo Santo.

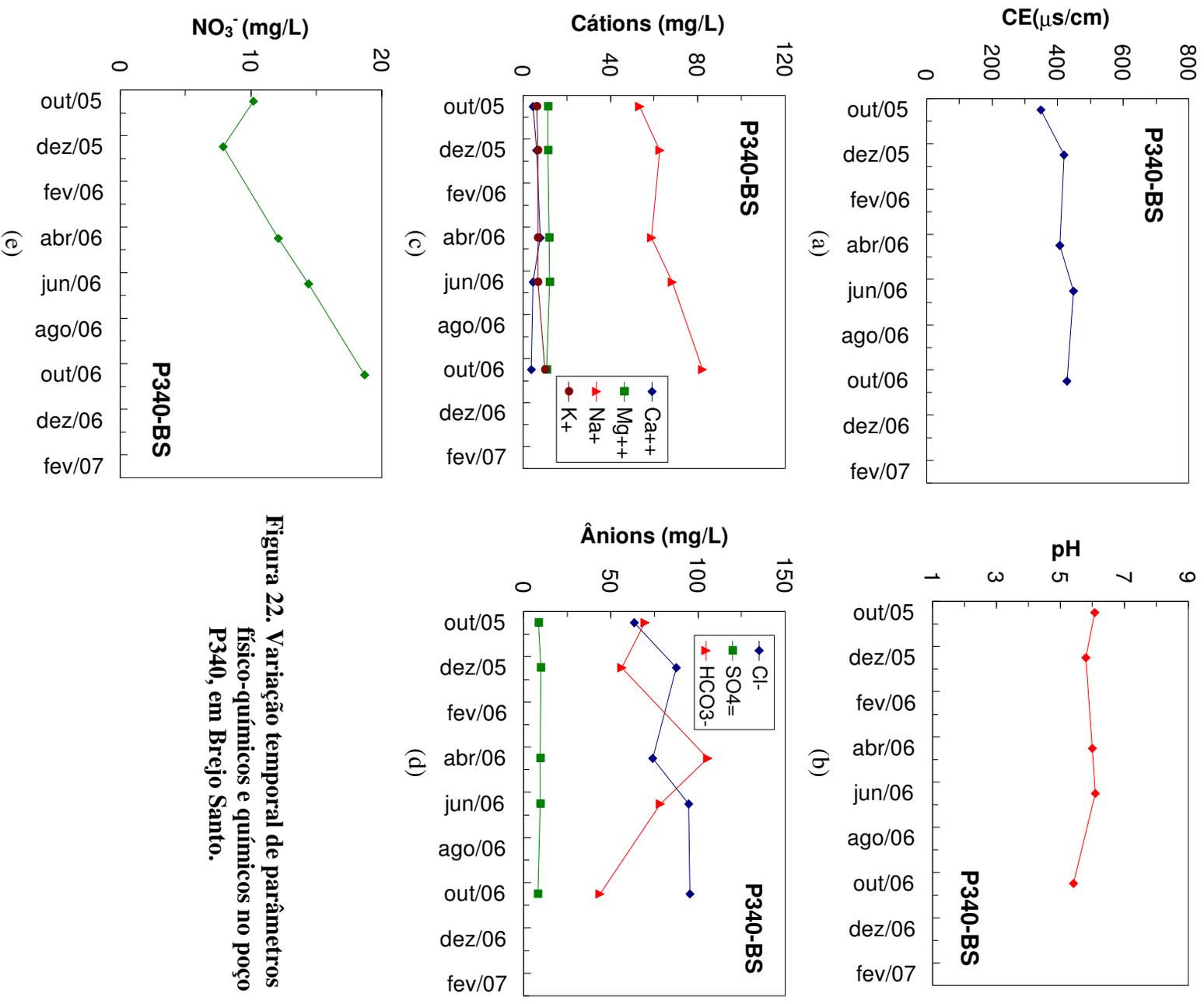


Figura 22. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P340, em Brejo Santo.

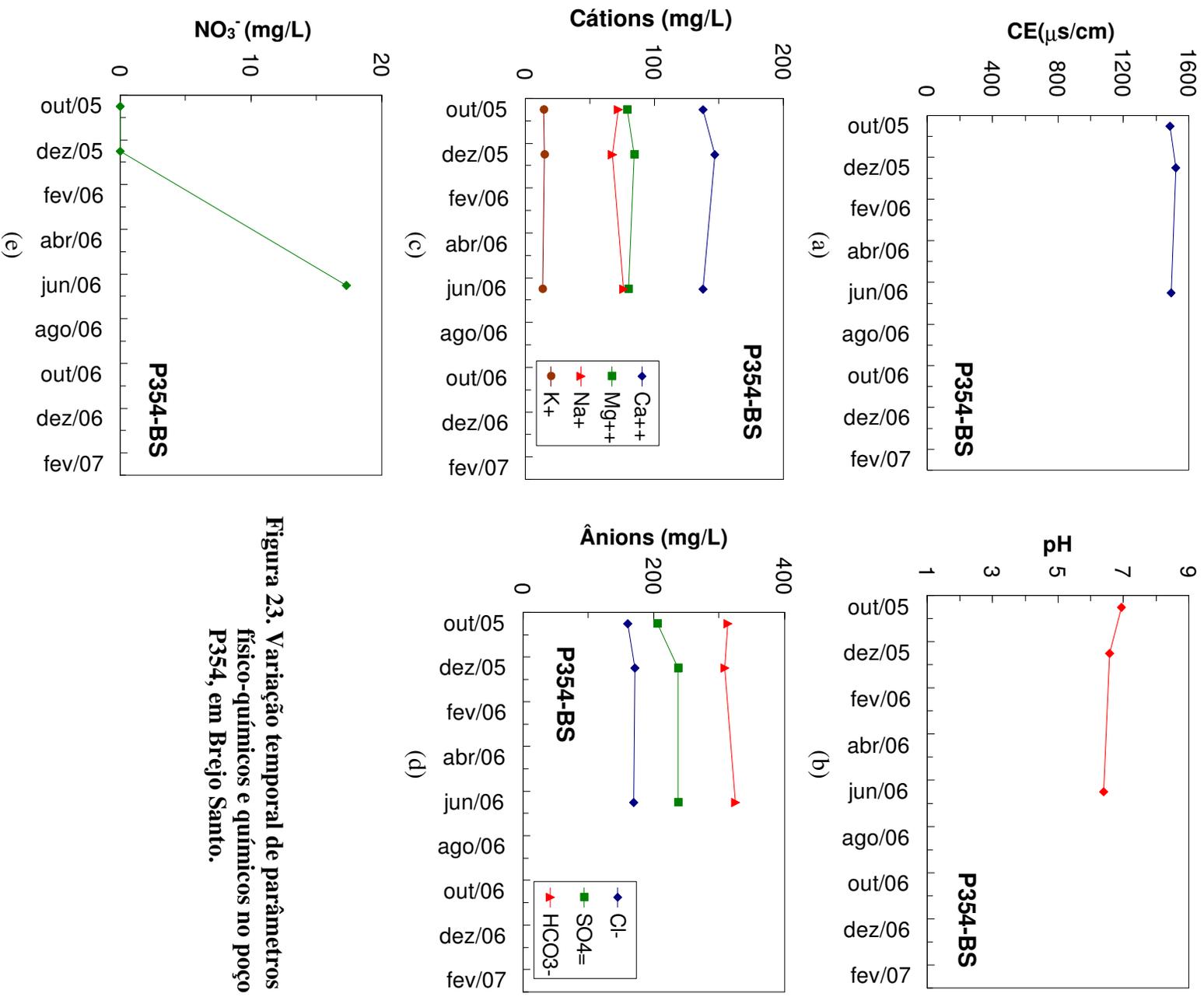


Figura 23. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P354, em Brejo Santo.

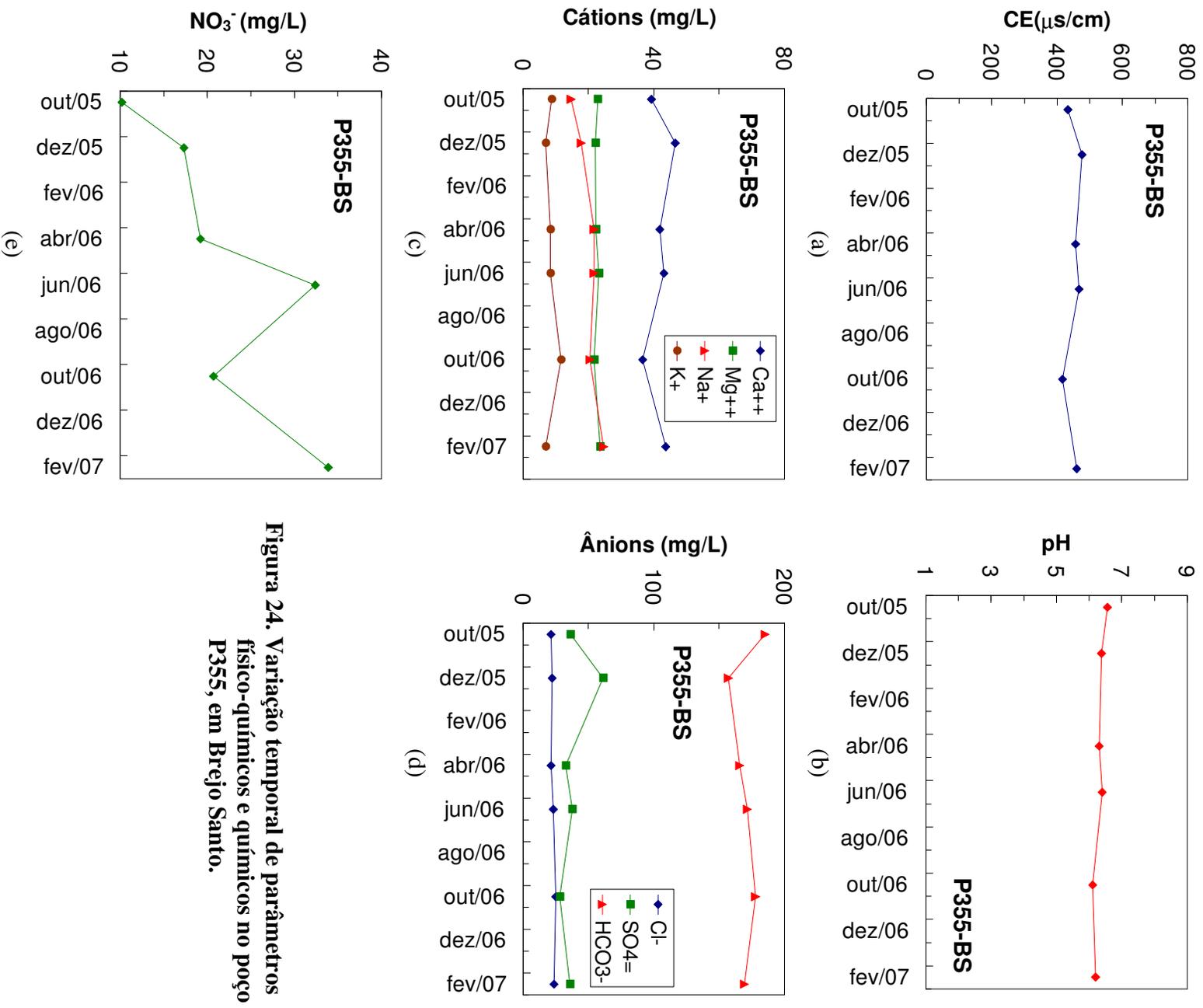


Figura 24. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P355, em Brejo Santo.

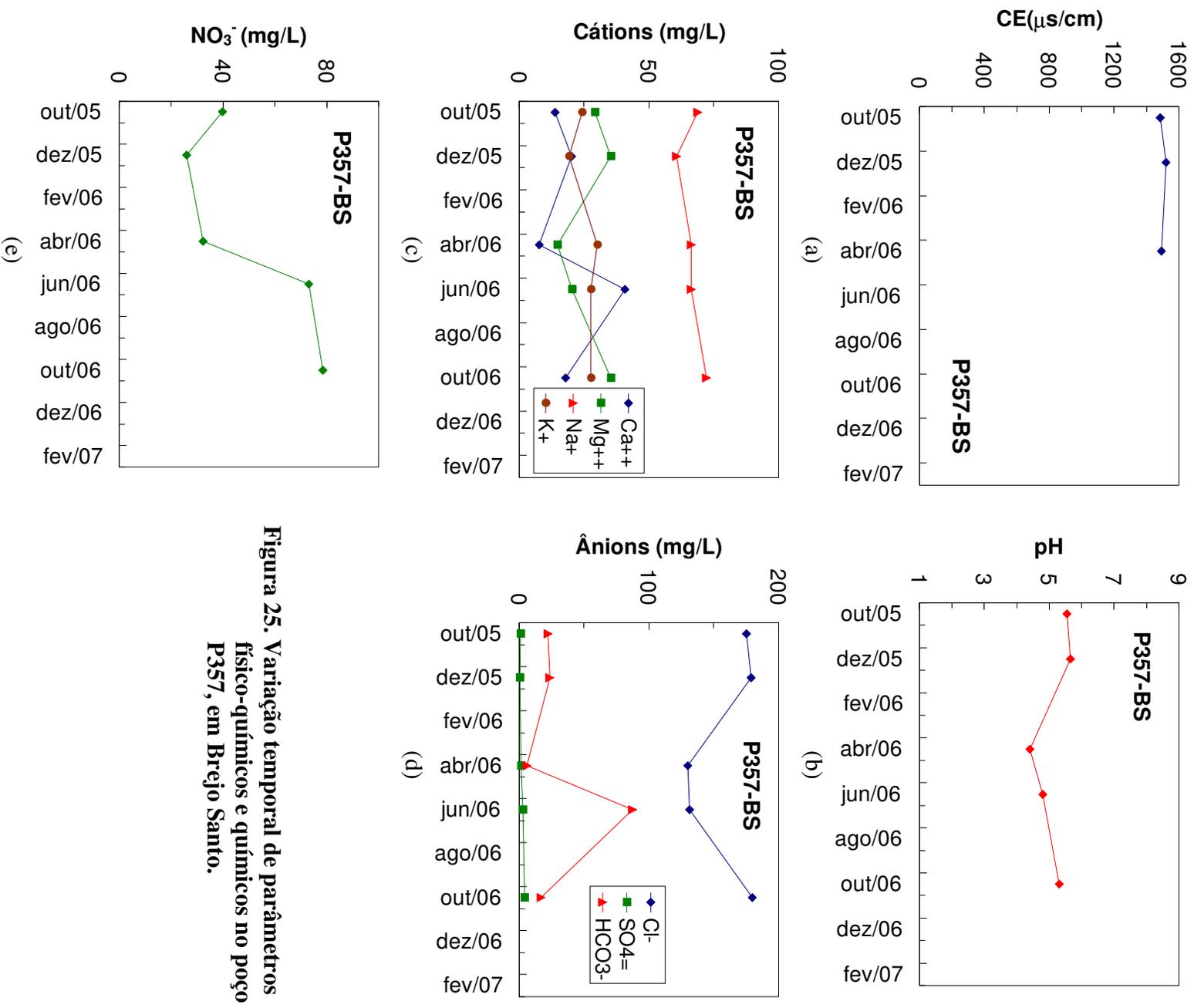


Figura 25. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P357, em Brejo Santo.

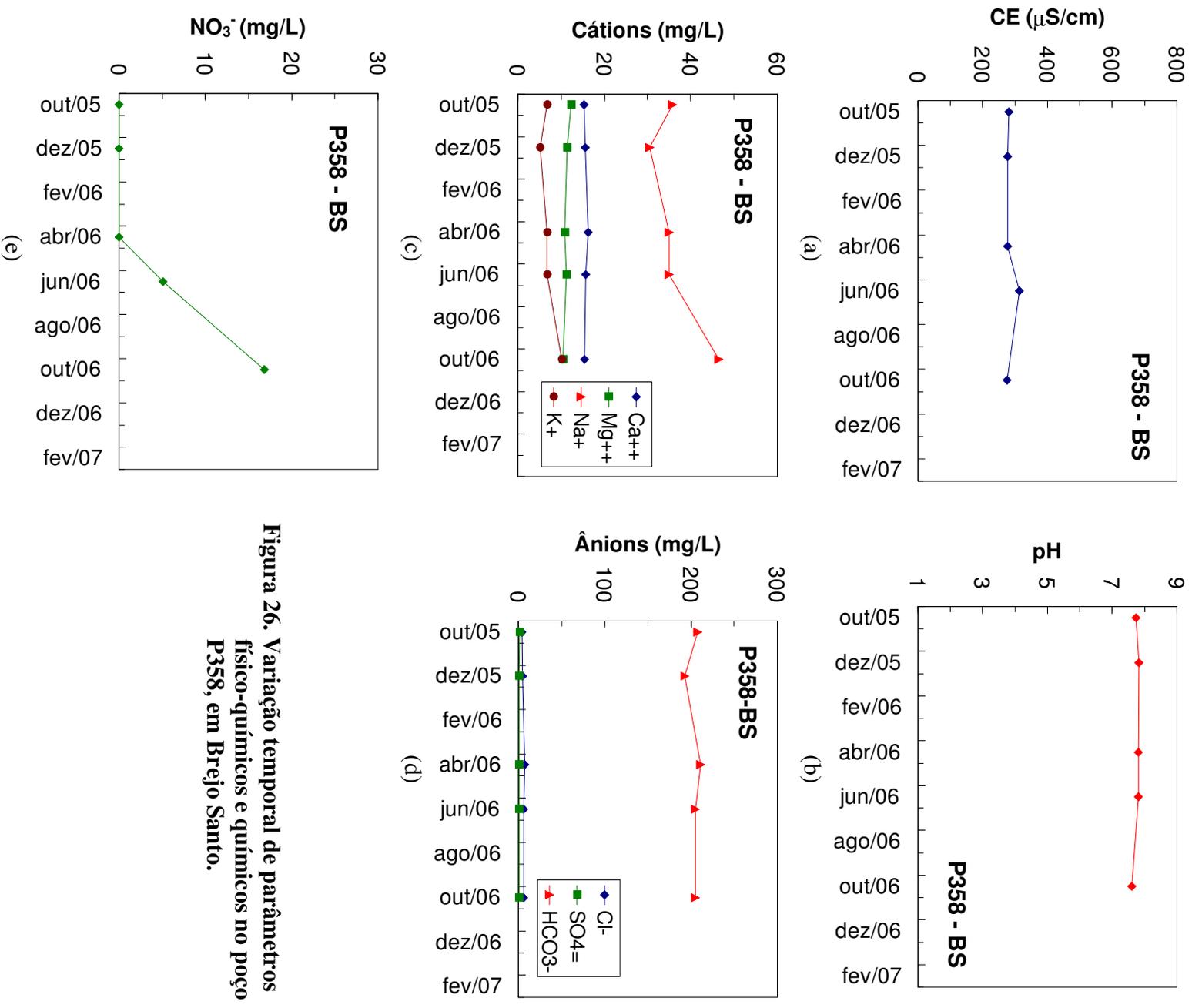


Figura 26. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P358, em Brejo Santo.

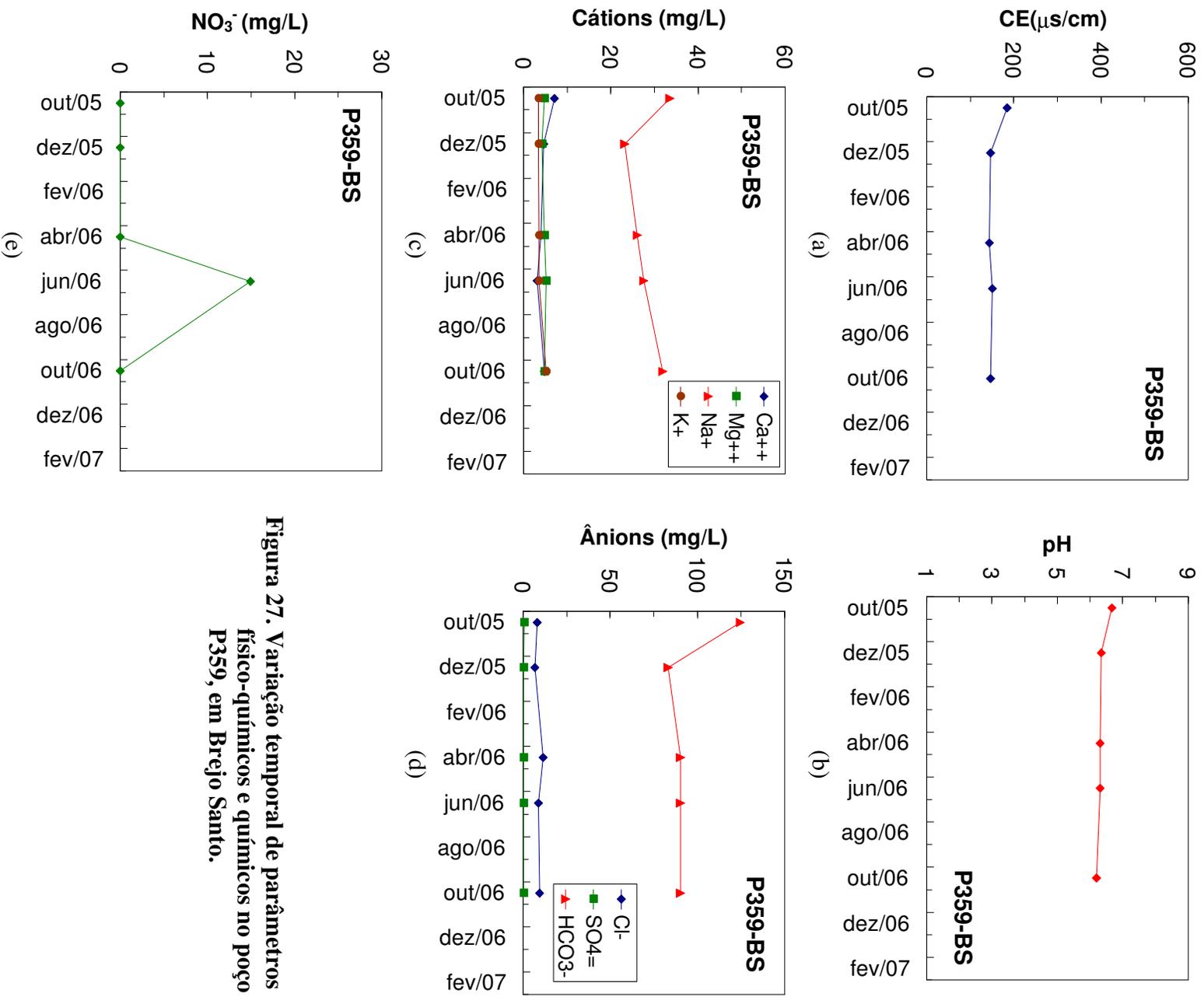


Figura 27. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P359, em Brejo Santo.

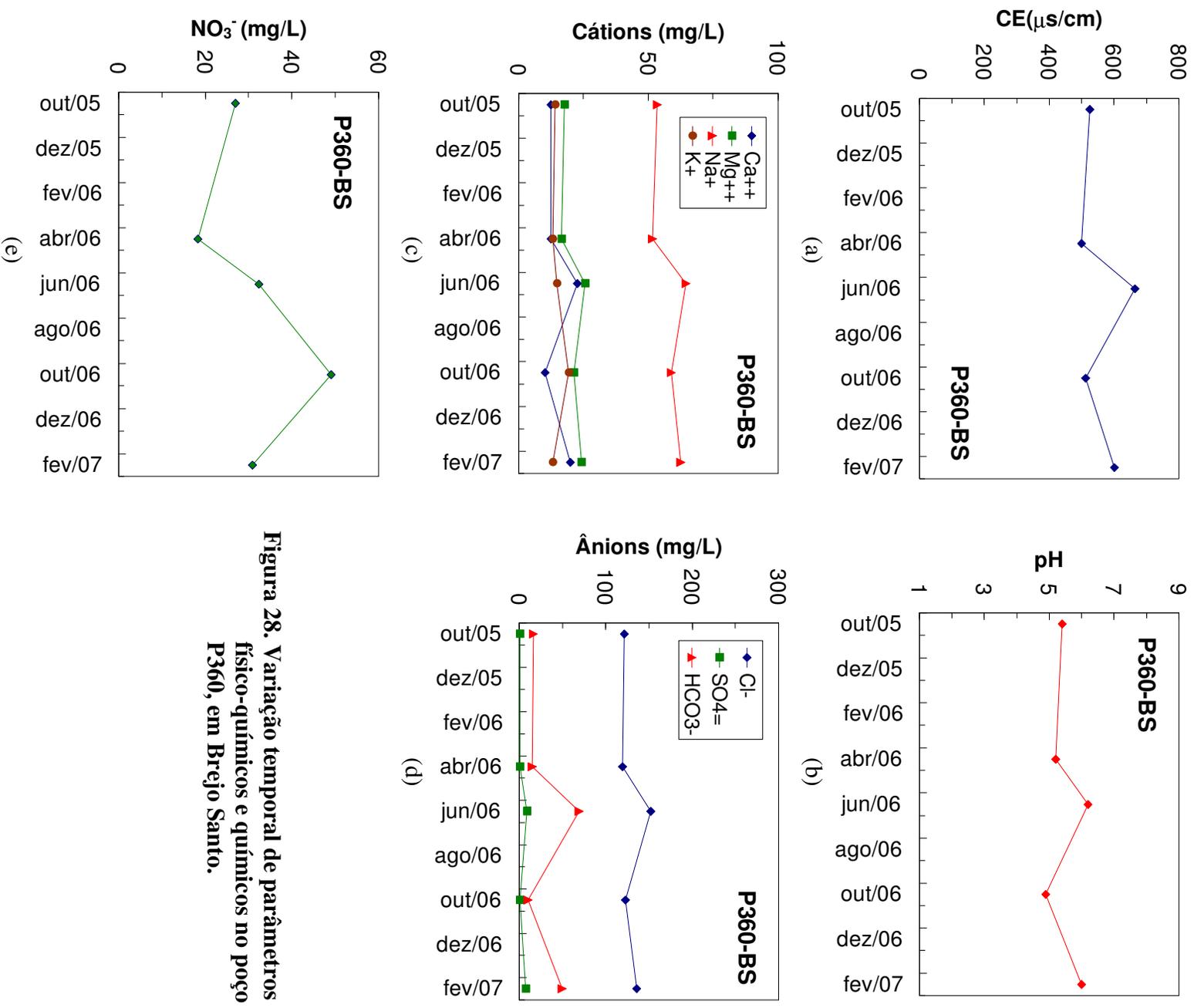


Figura 28. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P360, em Brejo Santo.

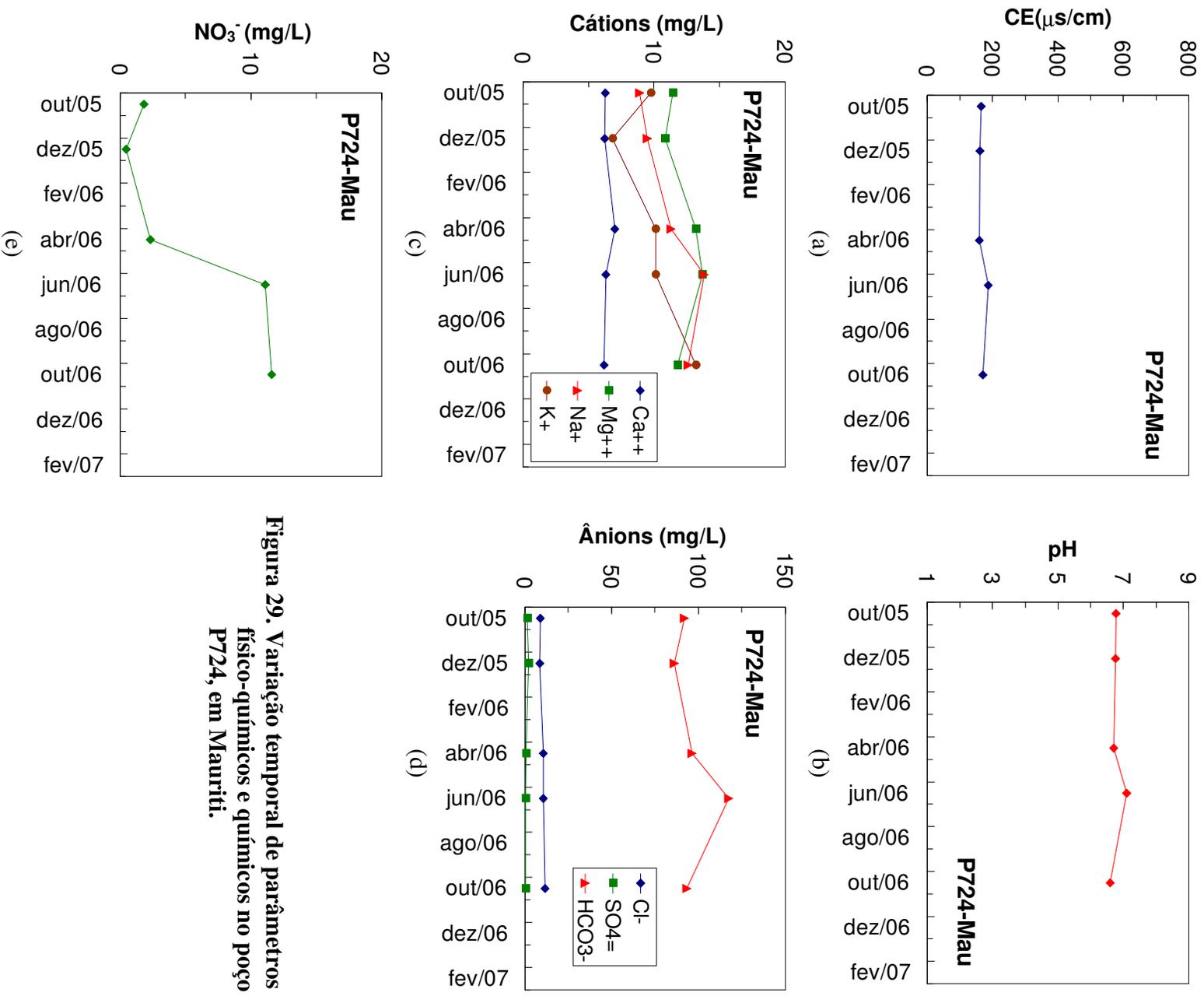


Figura 29. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P724, em Mauriti.

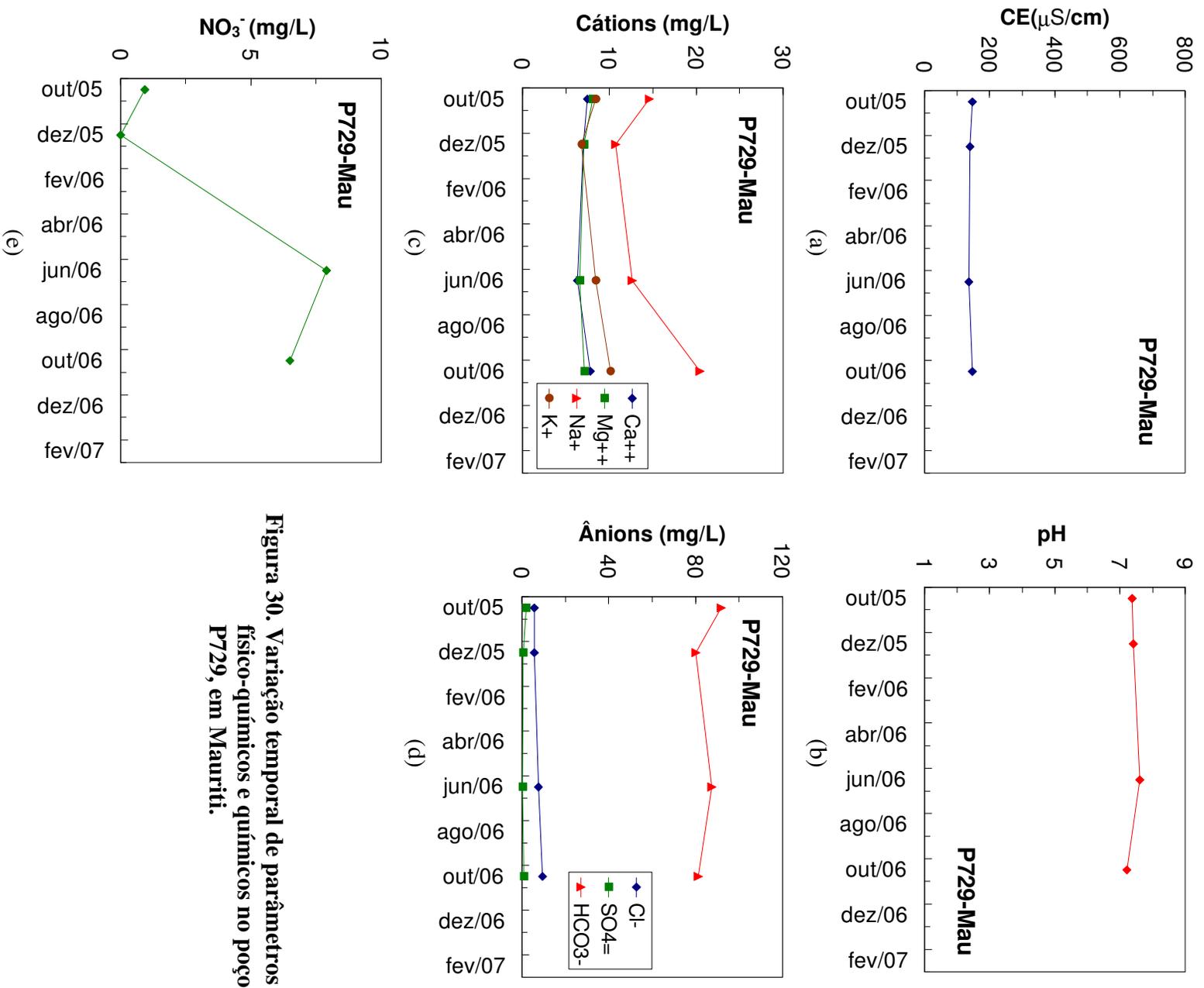


Figura 30. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P729, em Mauriti.

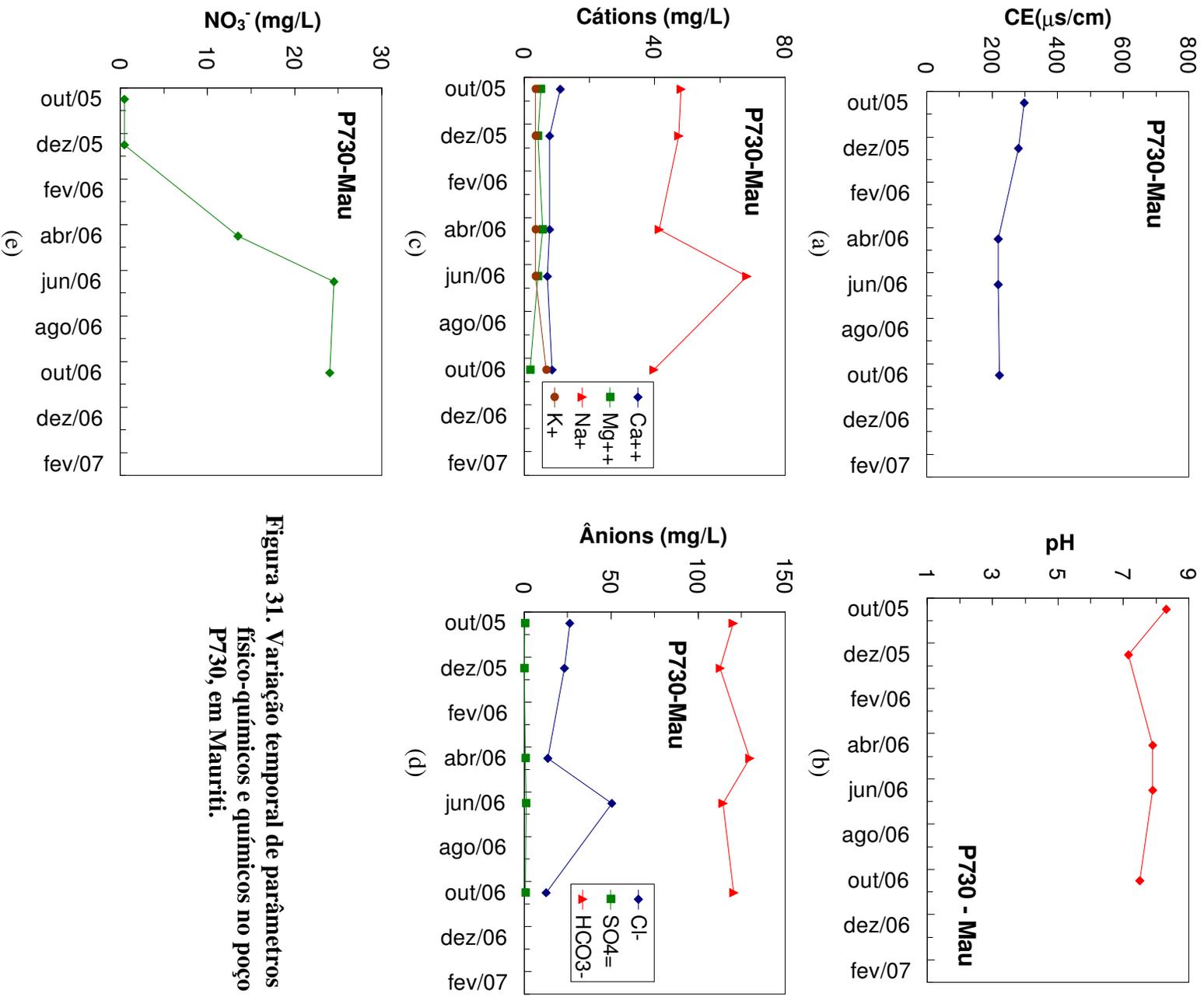


Figura 31. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P730, em Mauriti.

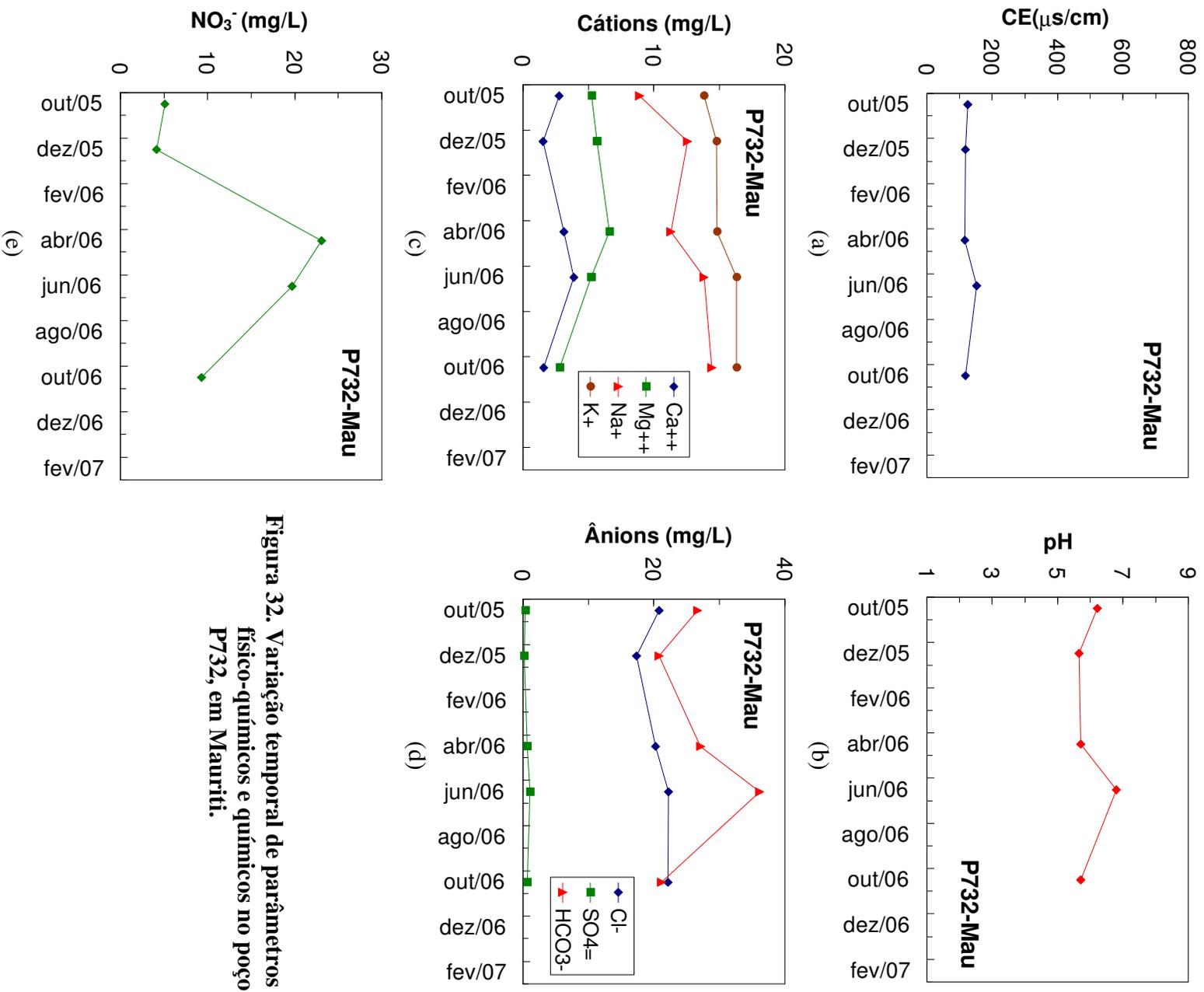


Figura 32. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P732, em Mauriti.

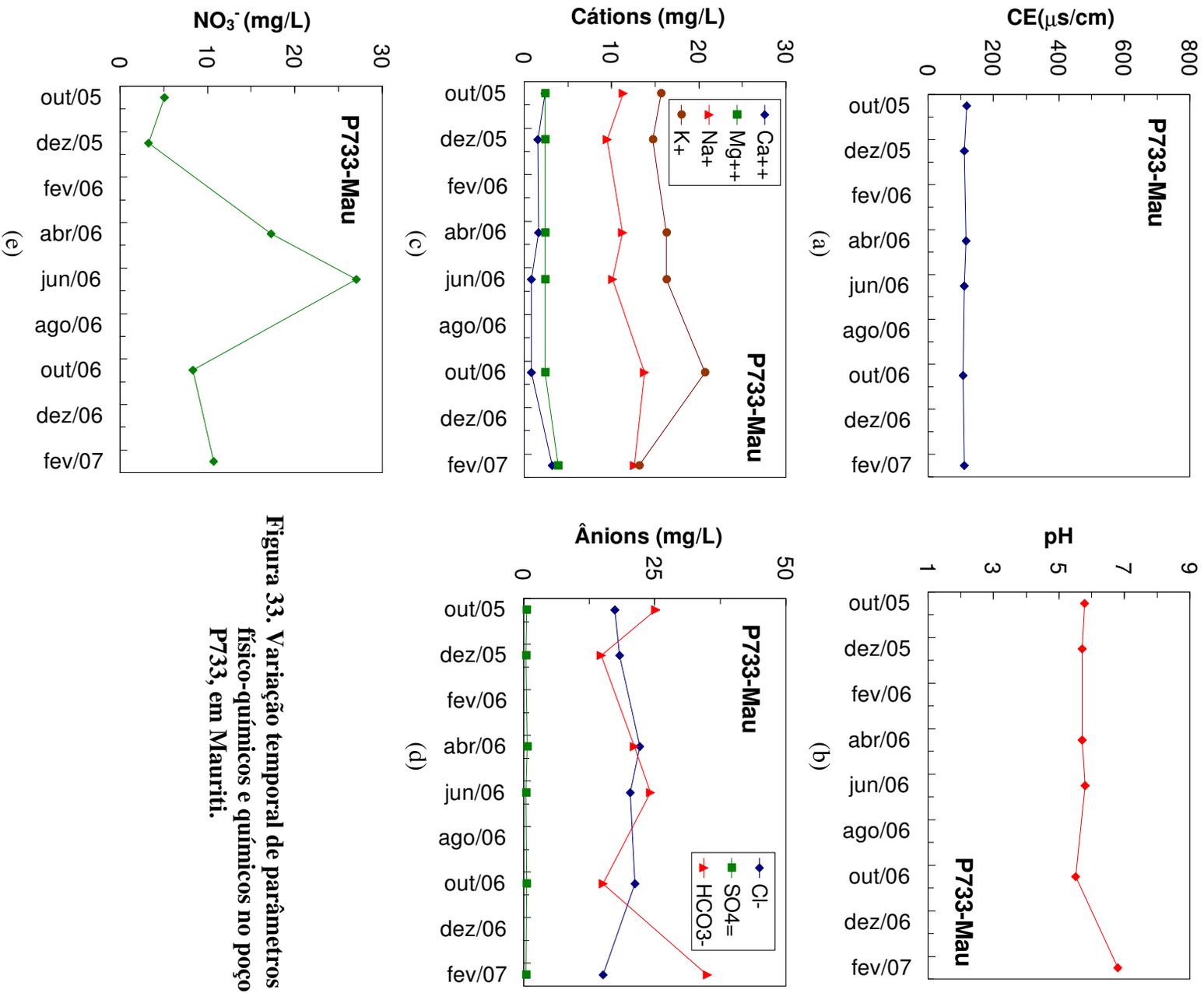


Figura 33. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P733, em Mauriti.

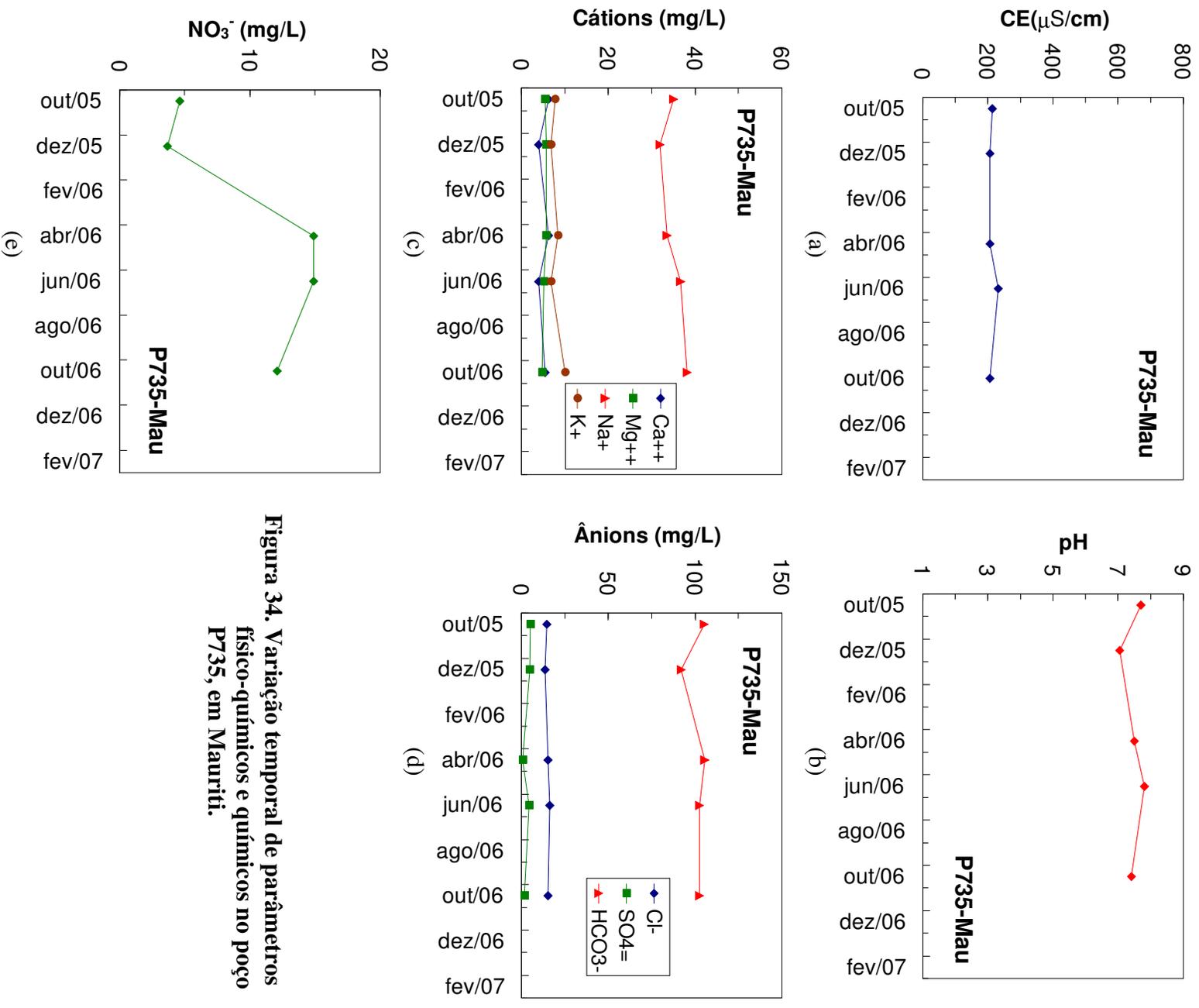


Figura 34. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P735, em Mauriti.

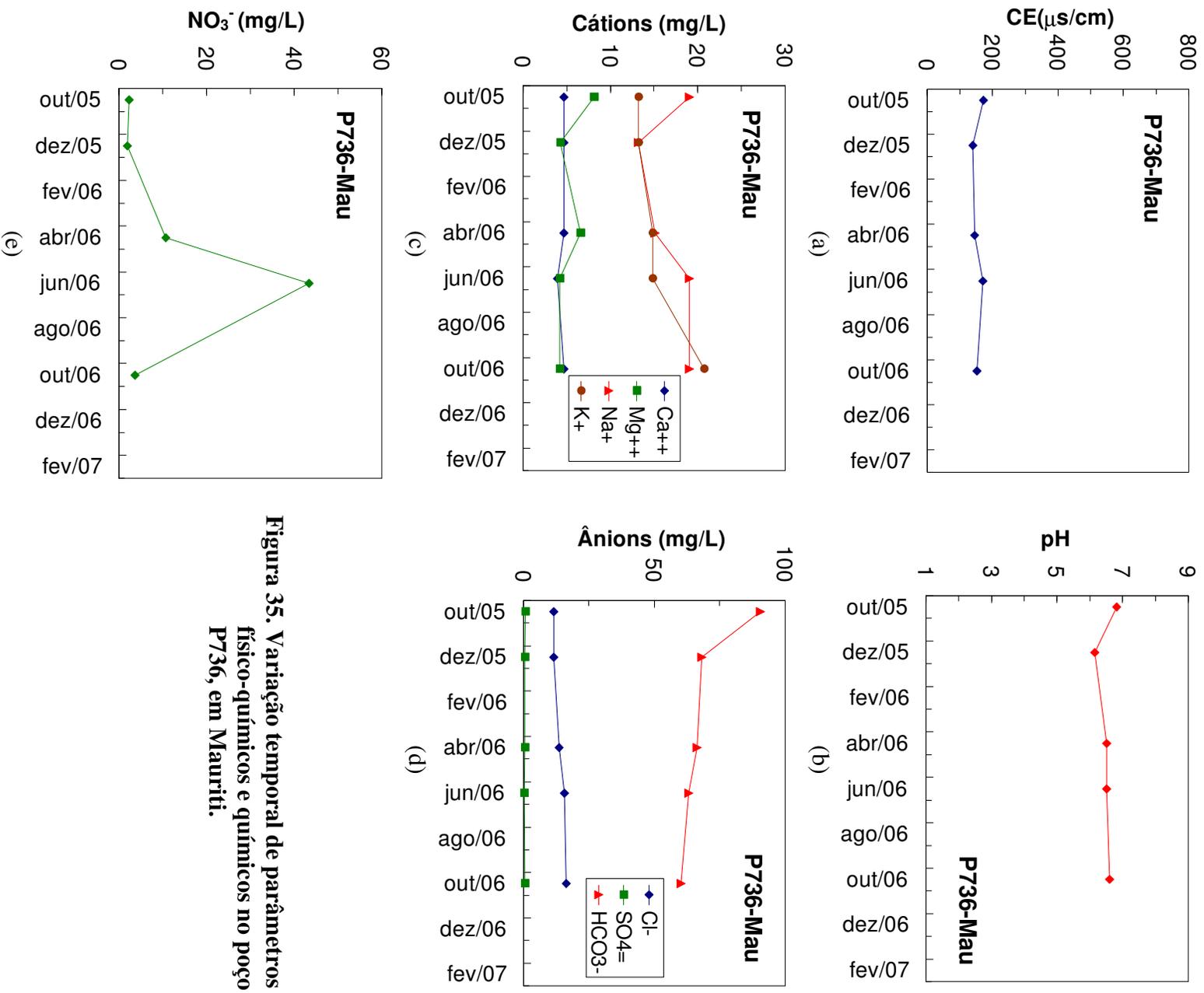


Figura 35. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P736, em Mauriti.

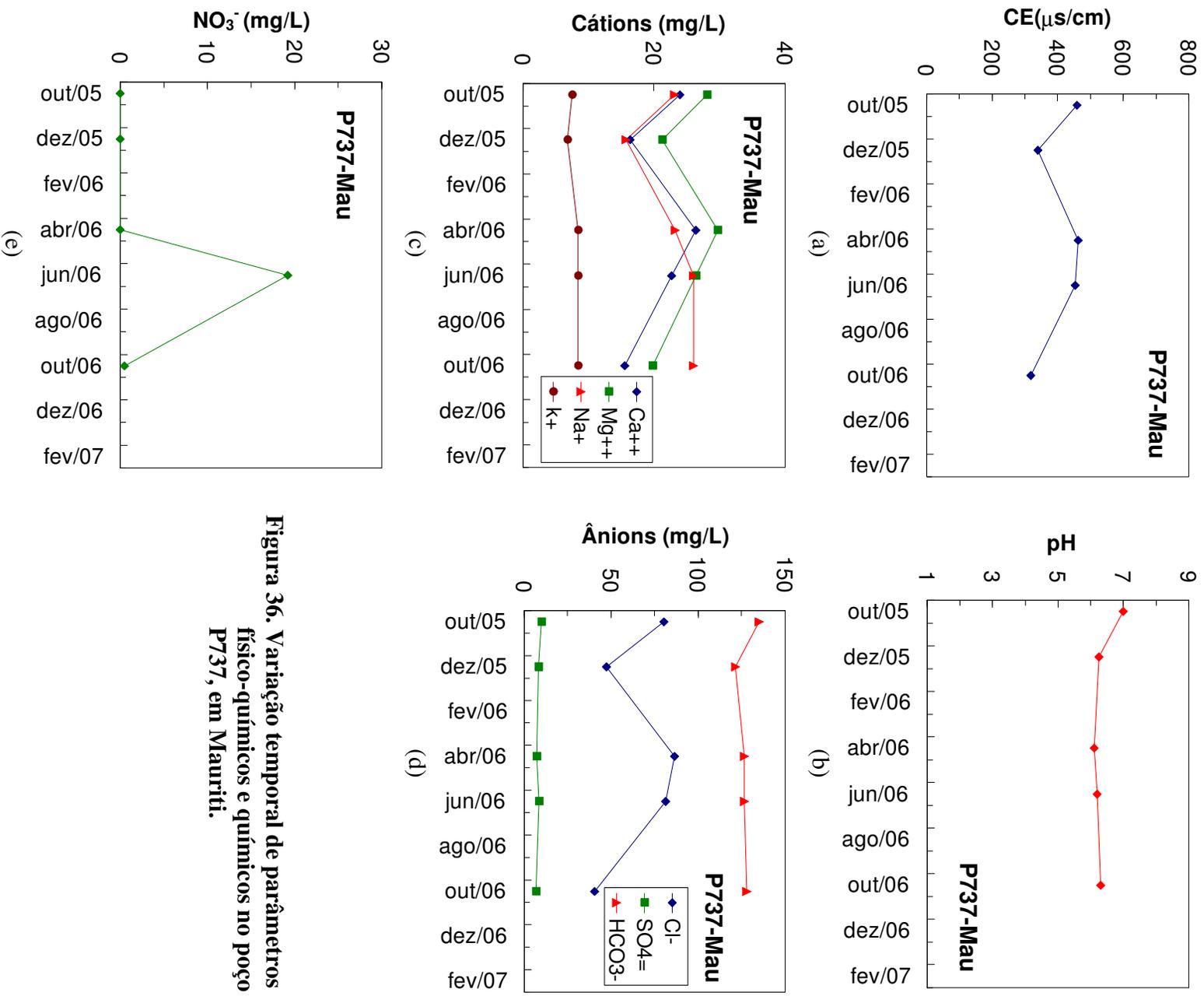


Figura 36. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P737, em Mauriti.

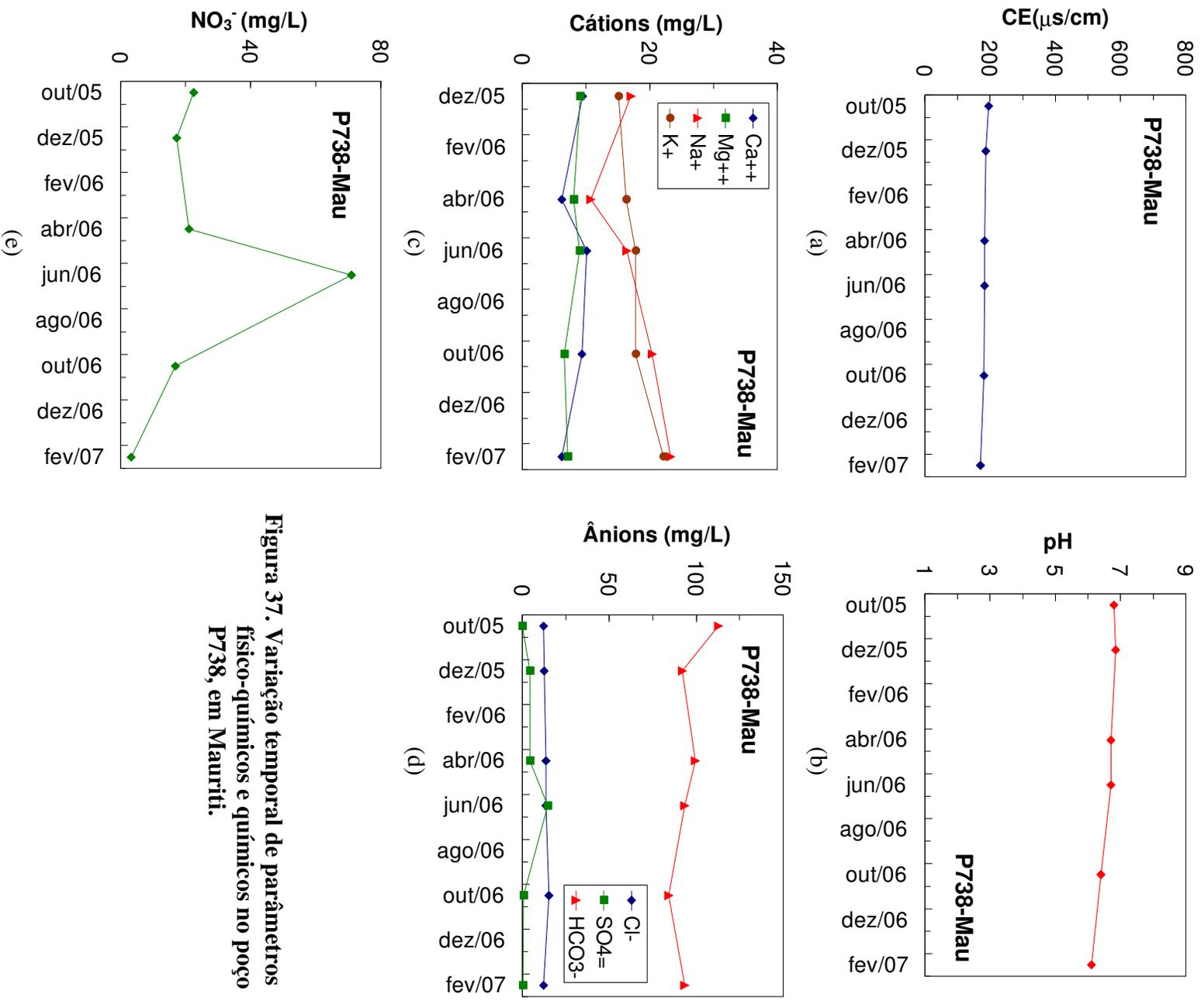


Figura 37. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P738, em Mauriti.

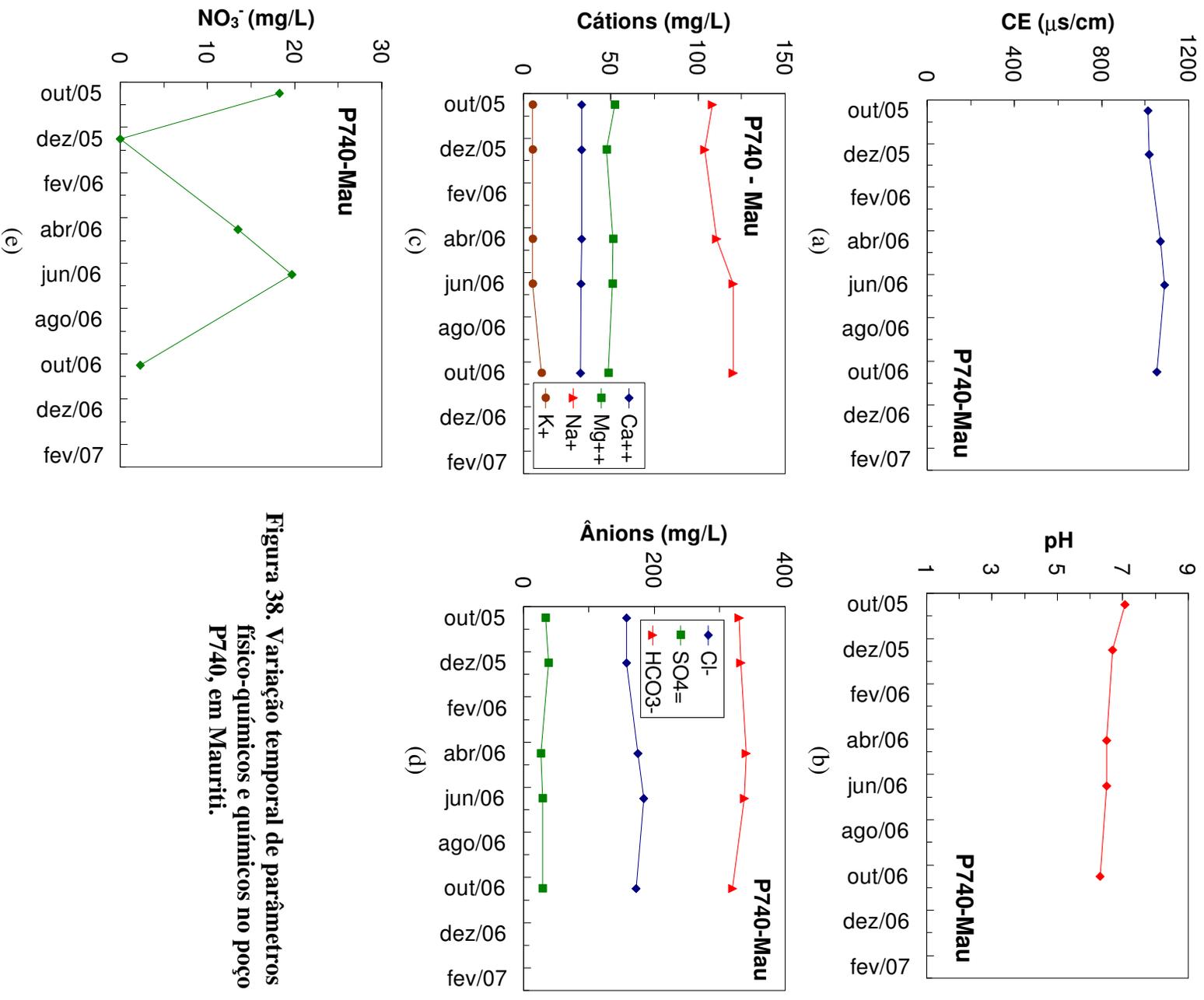


Figura 38. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P740, em Mauriti.

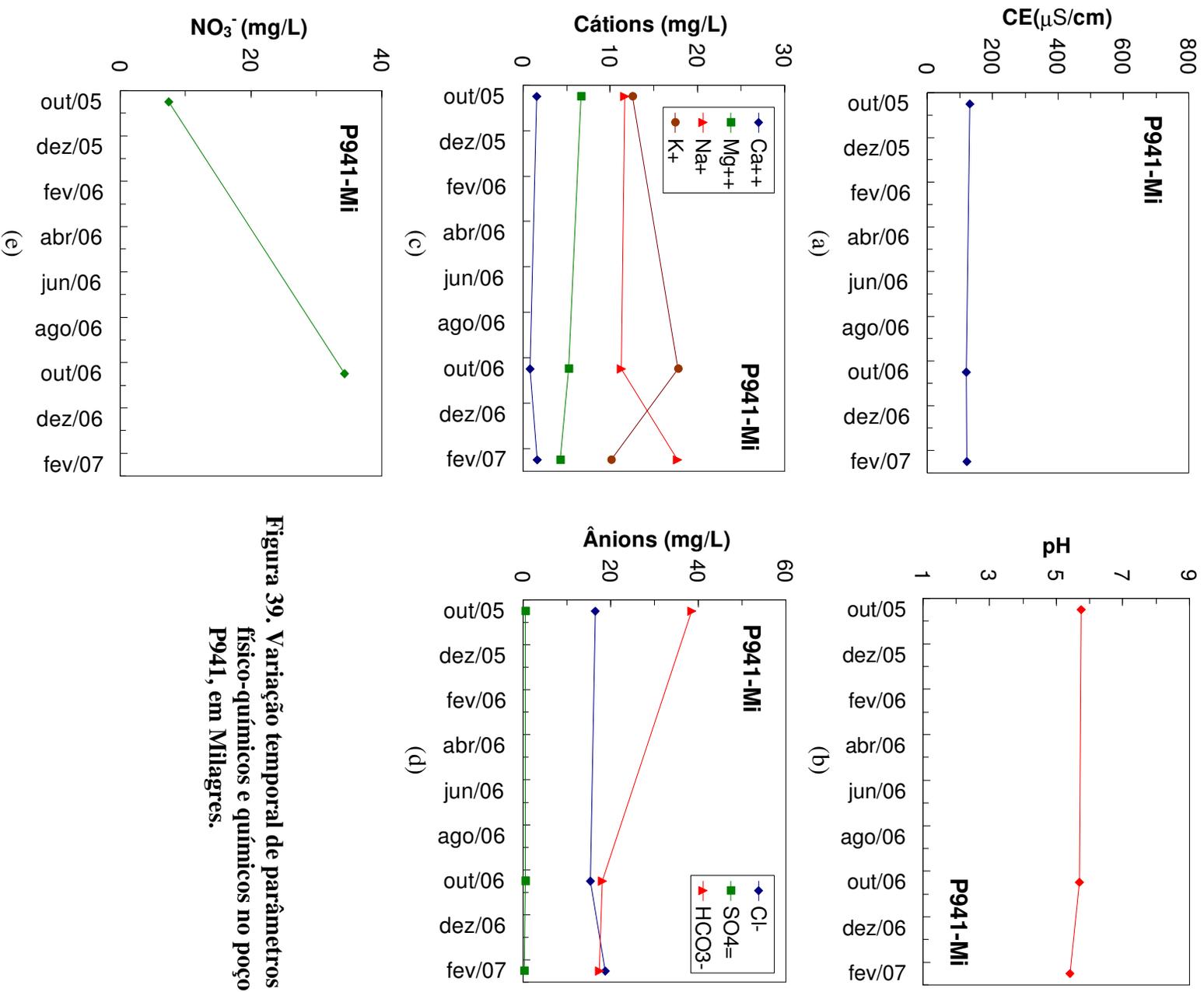


Figura 39. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P941, em Milagres.

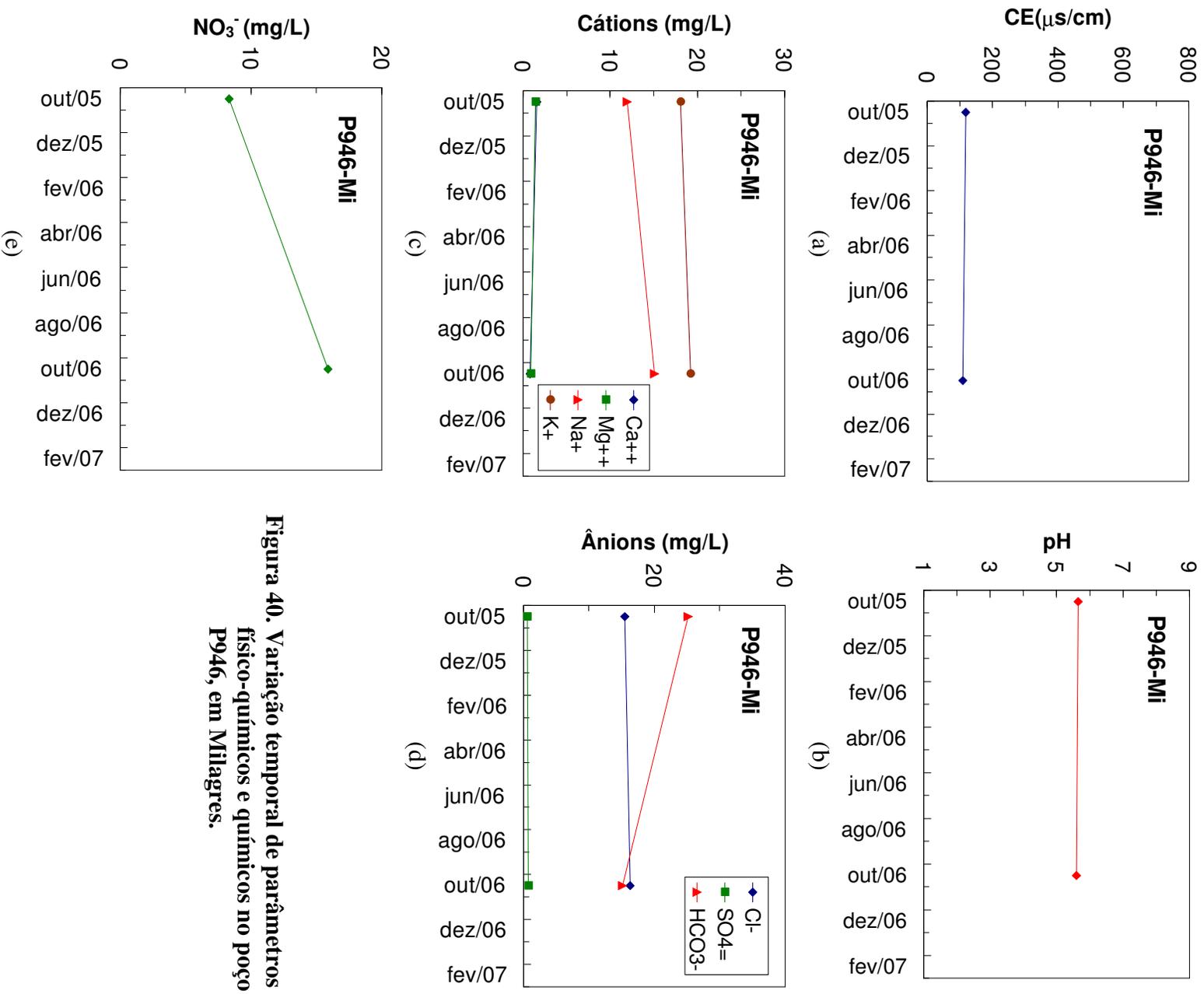


Figura 40. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P946, em Milagres.

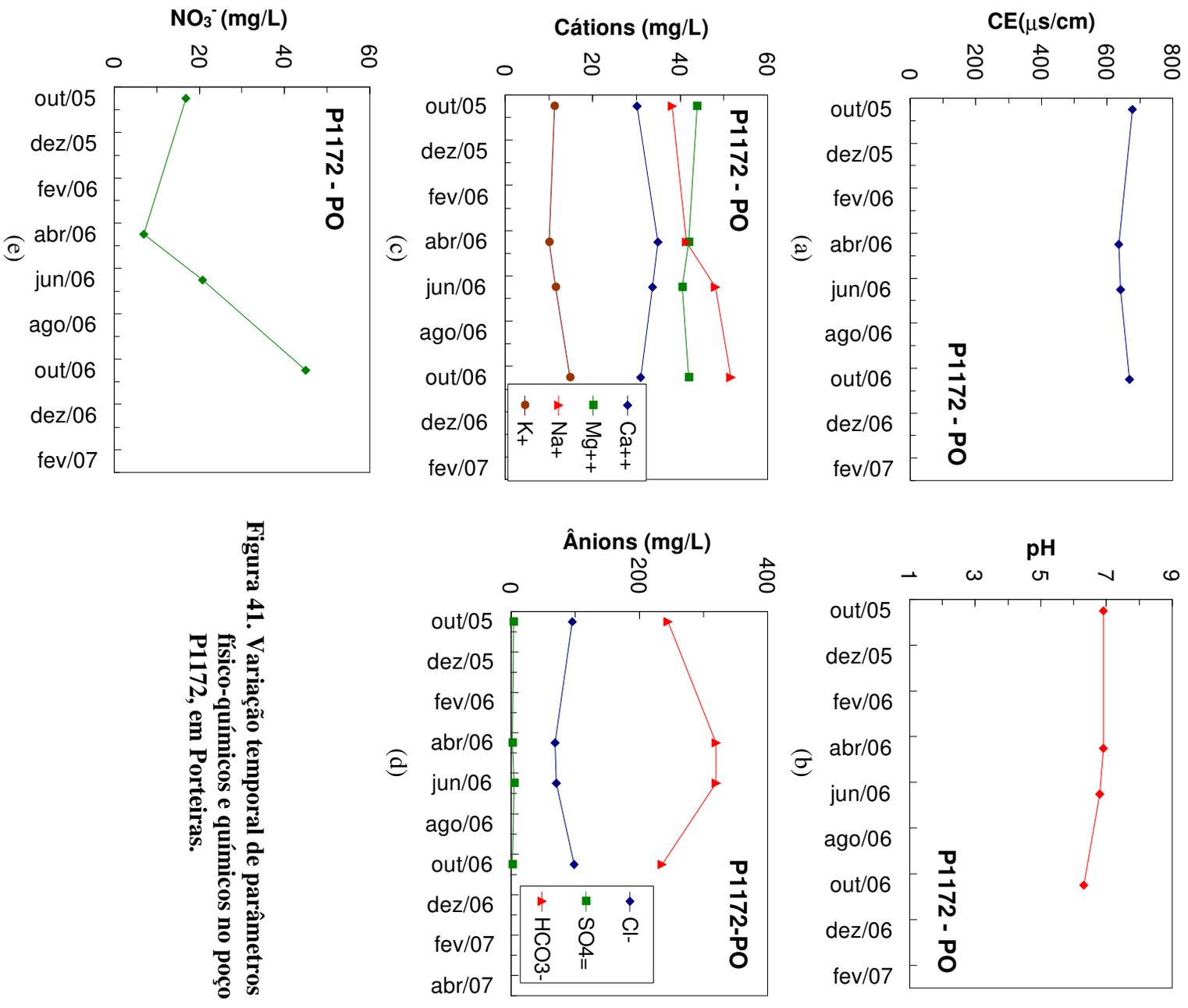


Figura 41. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1172, em Porteiras.

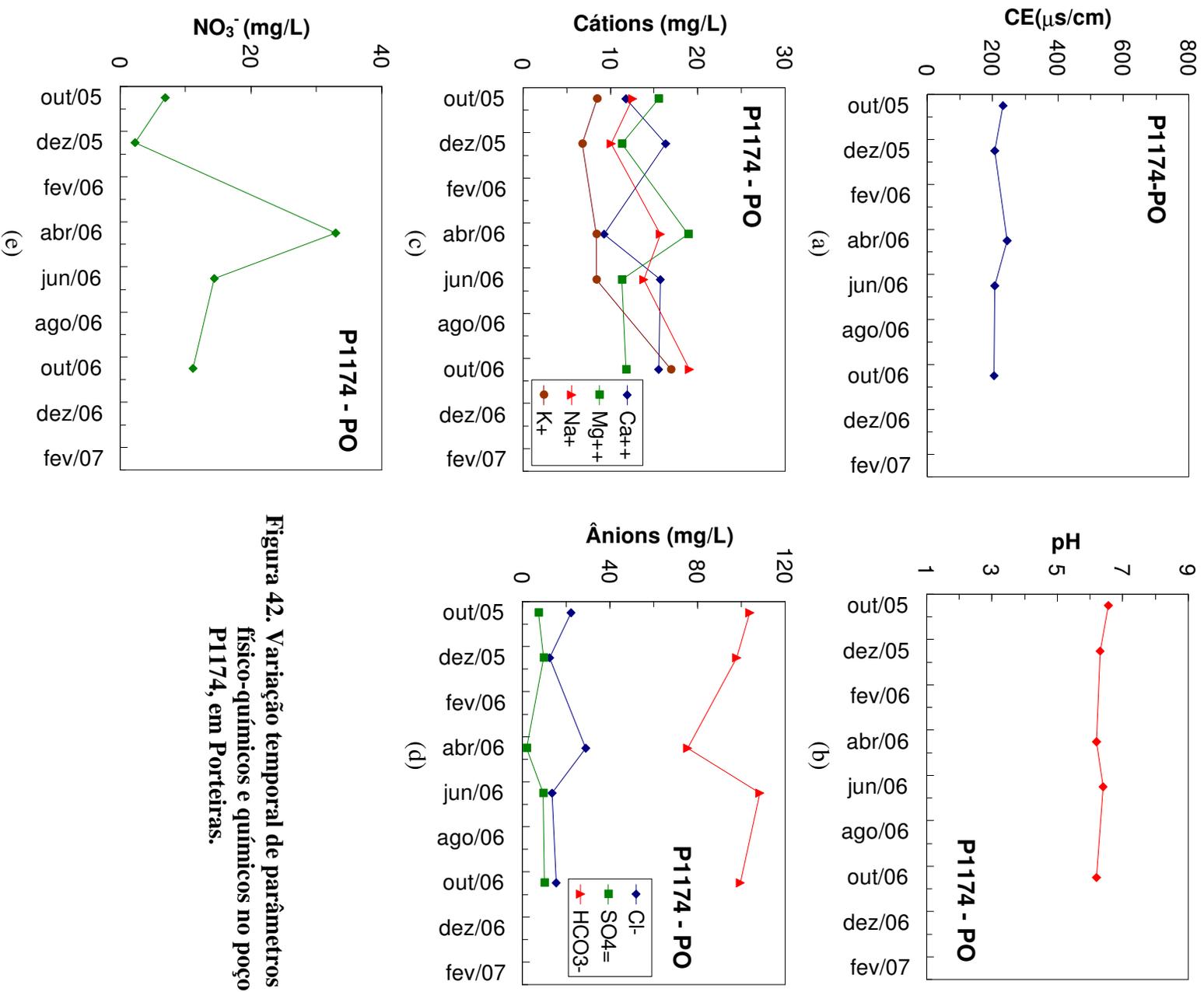


Figura 42. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1174, em Porteiras.

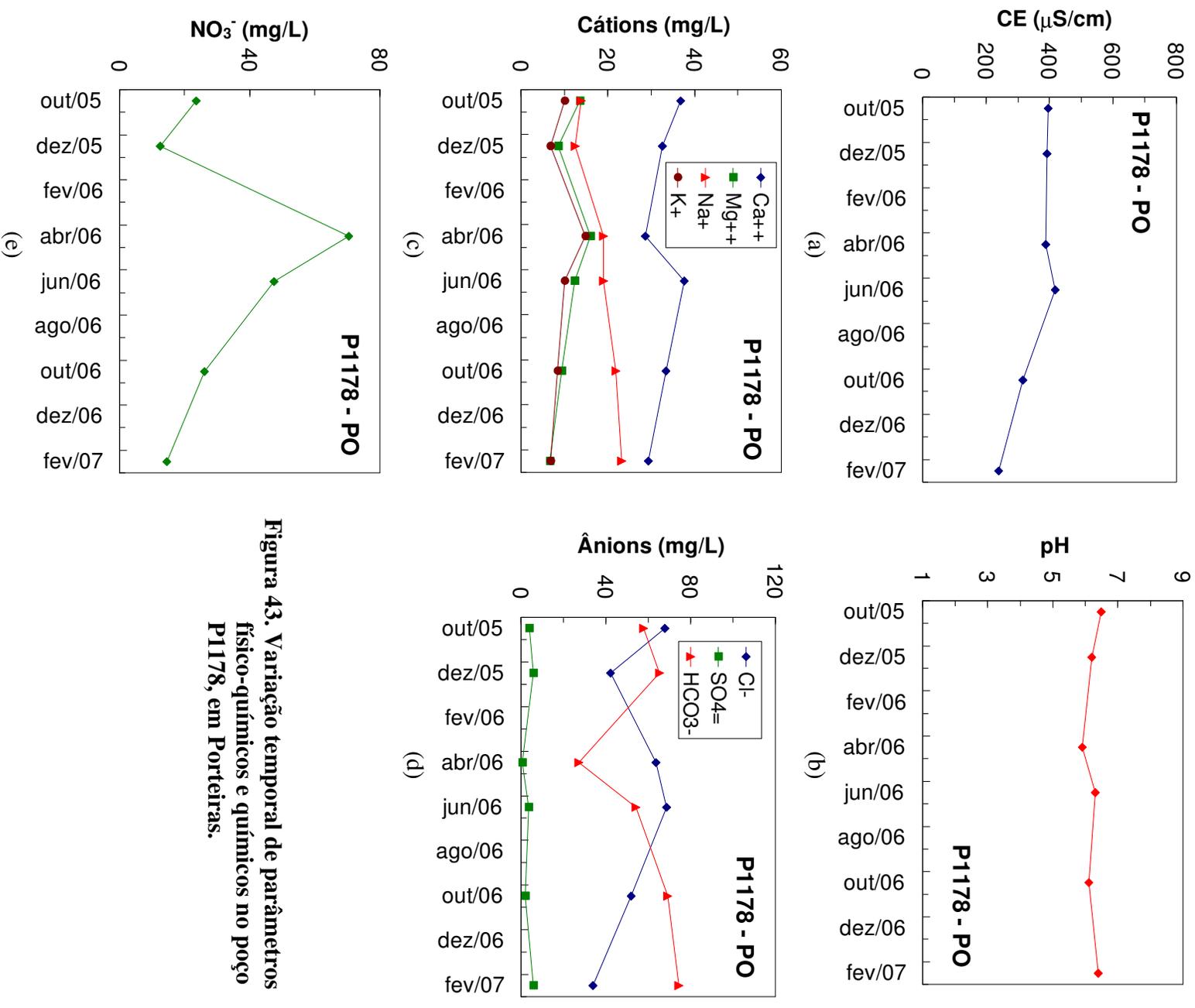


Figura 43. Variação temporal de parâmetros físico-químicos e químicos no poço P1178, em Porteiras.

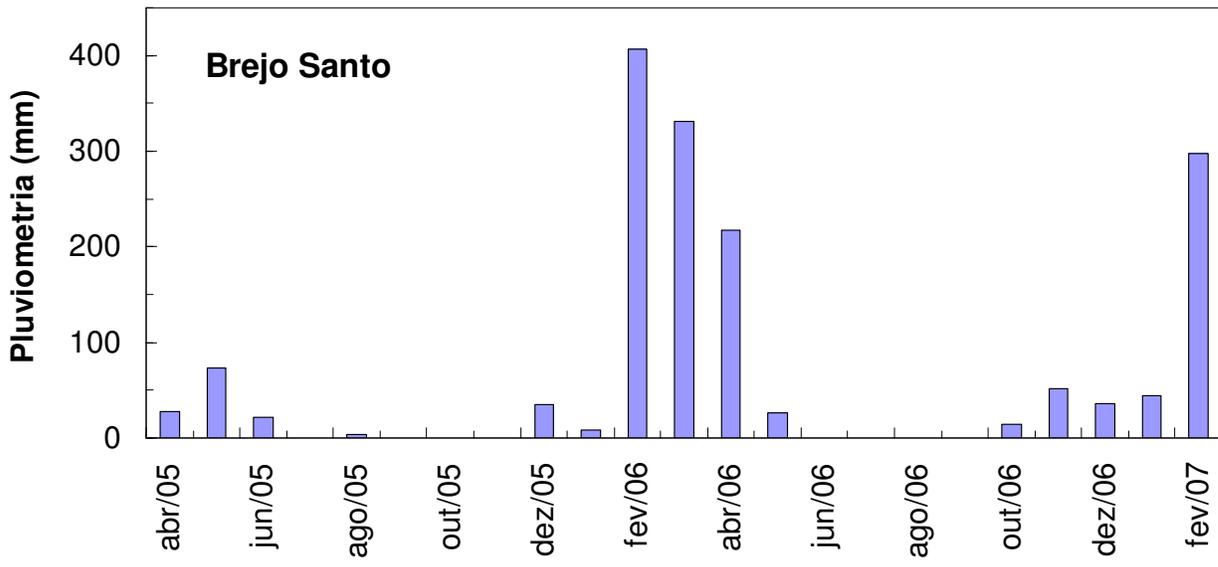
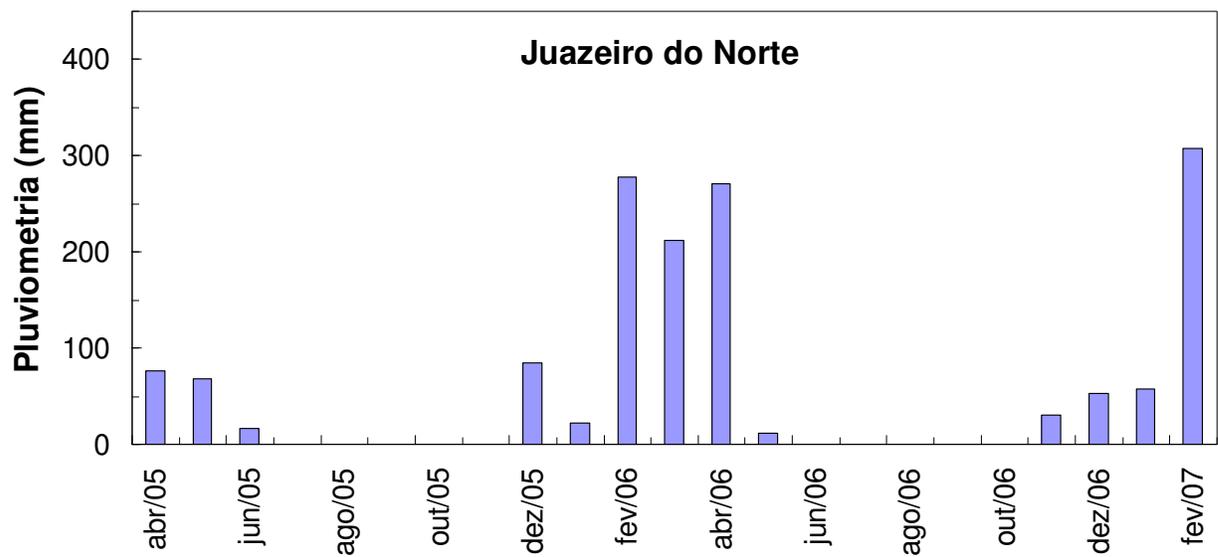


Figura 44. Pluviometria em dois postos meteorológicos, nos municípios de Juazeiro do Norte e Brejo Santo, no período de abril de 2005 a fevereiro de 2007.

Por causa da grande extensão da área e intenso tectonismo que dividiu a Bacia em vários blocos de horstes e grábens (Figura 45), para o tratamento coletivo dos dados dos poços dividimos a área em duas sub-áreas conforme o Quadro 4.

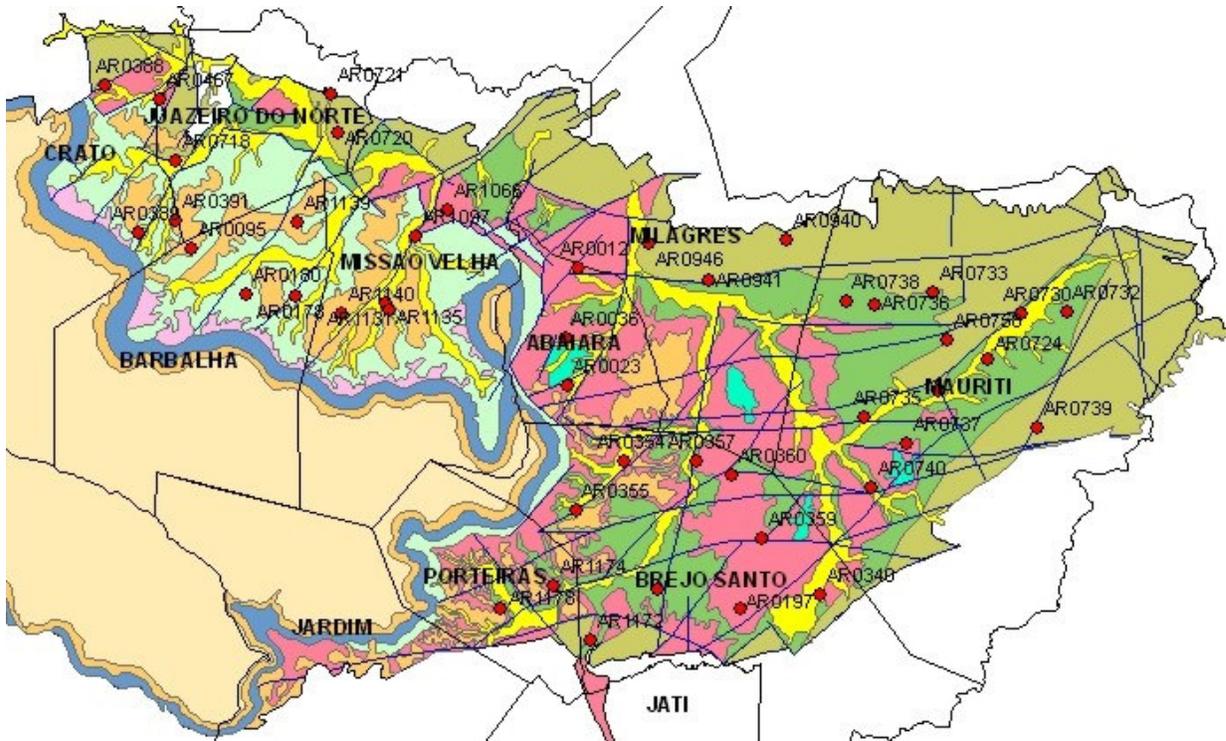


Figura 45. Compartimentação da Bacia Sedimentar do Cariri.

Quadro 4. Divisão dos municípios da Bacia Sedimentar do Cariri para fins de interpretação dos resultados hidroquímicos.

Cariri Ocidental	Cariri Oriental
Abaiara	Brejo Santo
Barbalha	Mauriti
Crato	Milagres
Juazeiro do Norte	Porteiras
Missão Velha	

As Figuras 46a, 46b, 47a e 47b permitem comparar as condutividades elétricas dos poços em cada uma das sub-áreas; a separação das figuras em (a) e (b) foi feita para distinguir melhor poços que apresentaram pequenas variações no período estudado daqueles que tiveram a condutividade elétrica variando numa faixa mais larga.

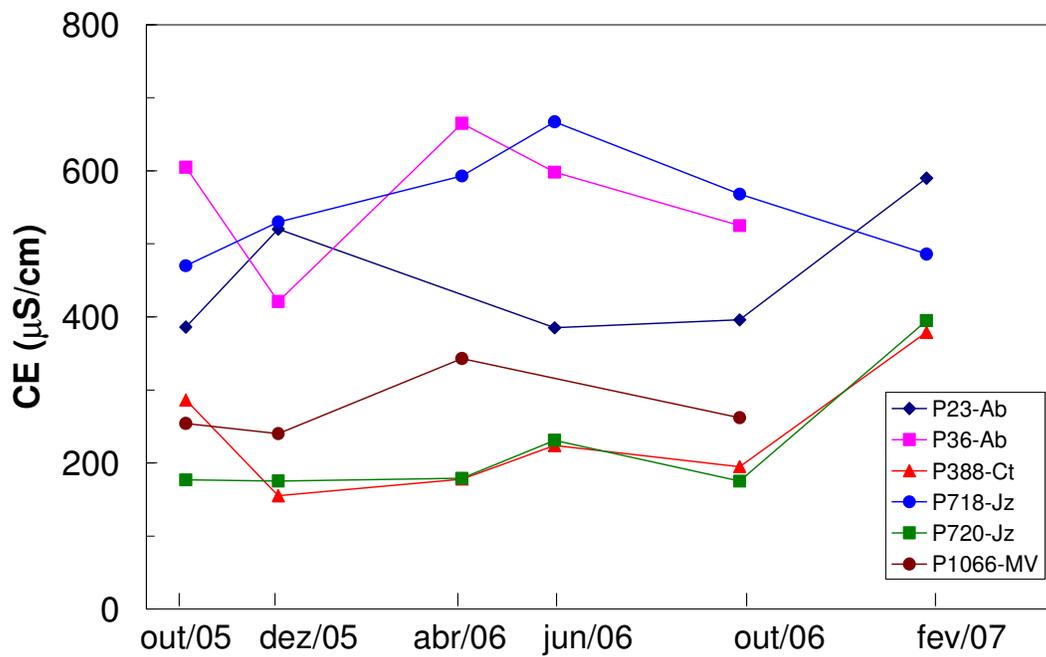
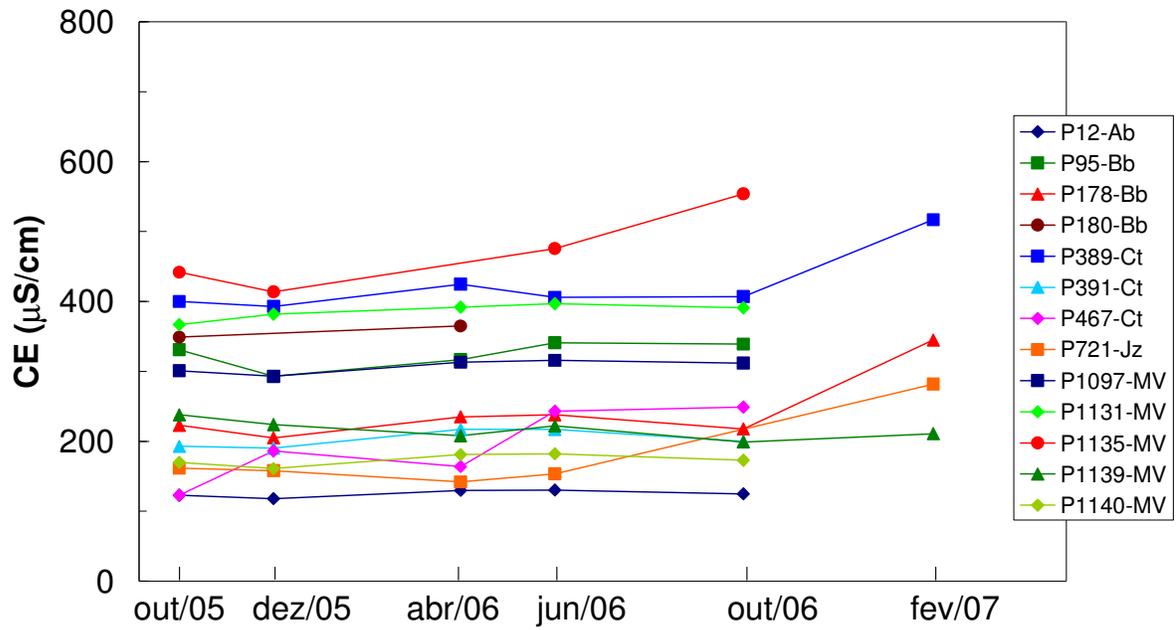
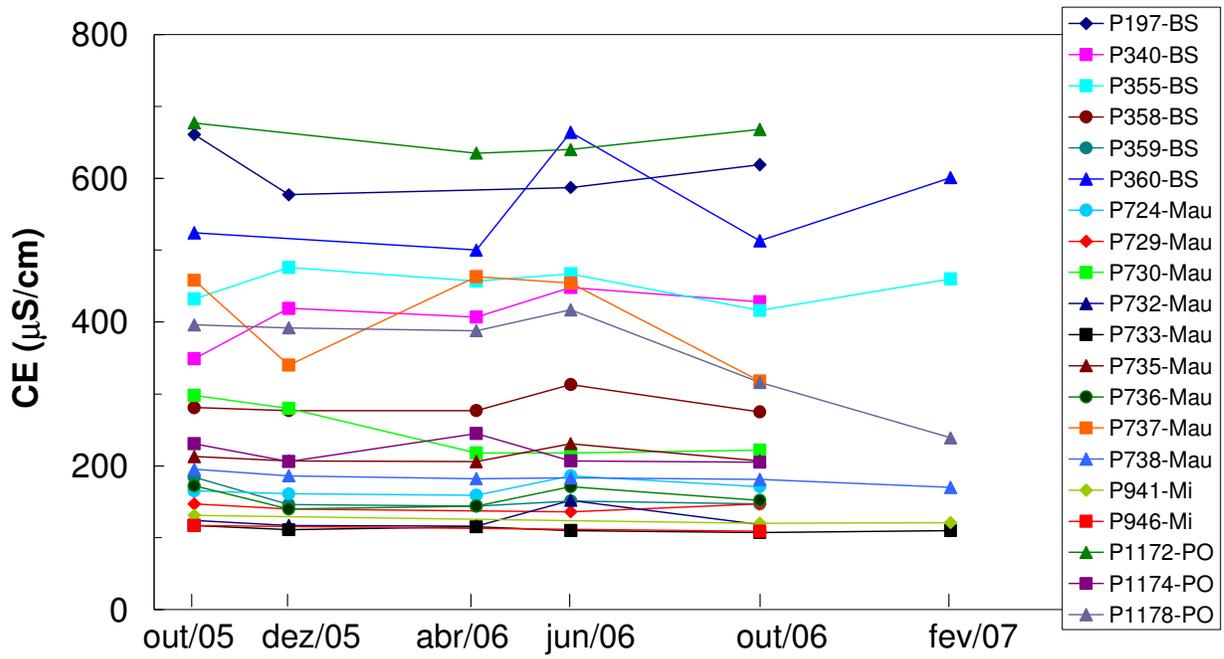
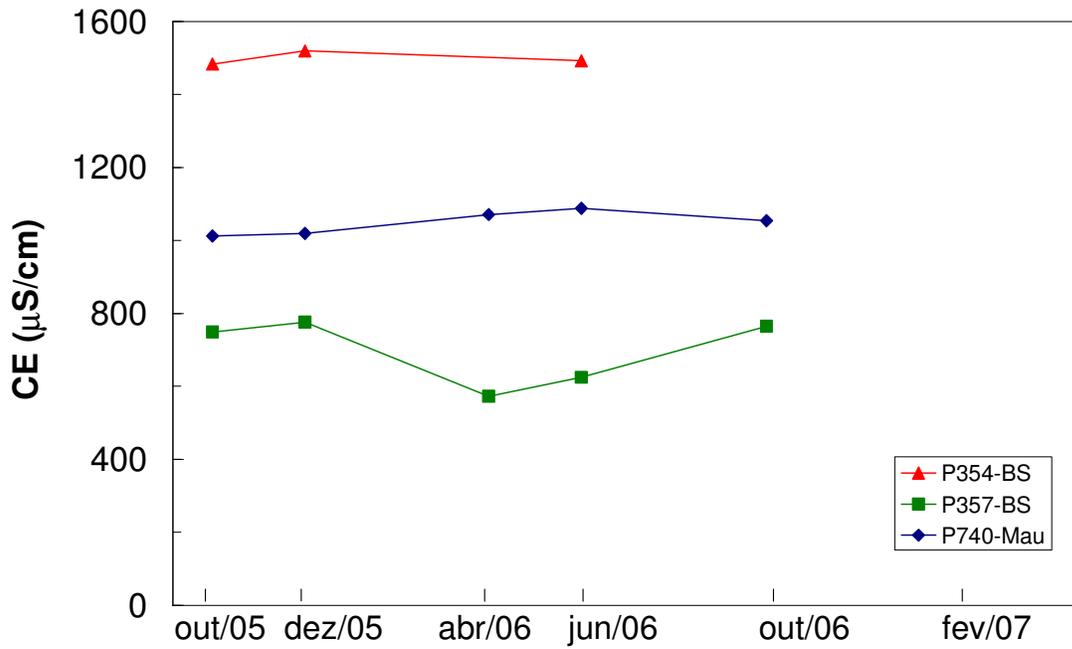


Figura 46. Variação da condutividade elétrica no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Ocidental.



(a)



(b)

Figura 47. Variação da condutividade elétrica no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Oriental.

Os resultados mostram larga faixa de valores do conjunto de poços e diferentes comportamentos; em parte dos locais, a condutividade elétrica se manteve dentro de uma faixa estreita de valores e em outras áreas variou muito durante o período da pesquisa. Em geral, os poços com mais baixas condutividades elétricas apresentam menores variações deste parâmetro. No Cariri Oriental dois poços tiveram condutividades elétricas numa faixa bem mais elevada do que os demais.

A maioria das águas tem condutividade elétrica abaixo de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dos quarenta e dois poços estudados somente sete (P23, P36, P197, P357, P360, P718, P1172) têm valores na faixa acima de 500 e abaixo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e dois poços (P354 e P740) na faixa acima de 1000 e abaixo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

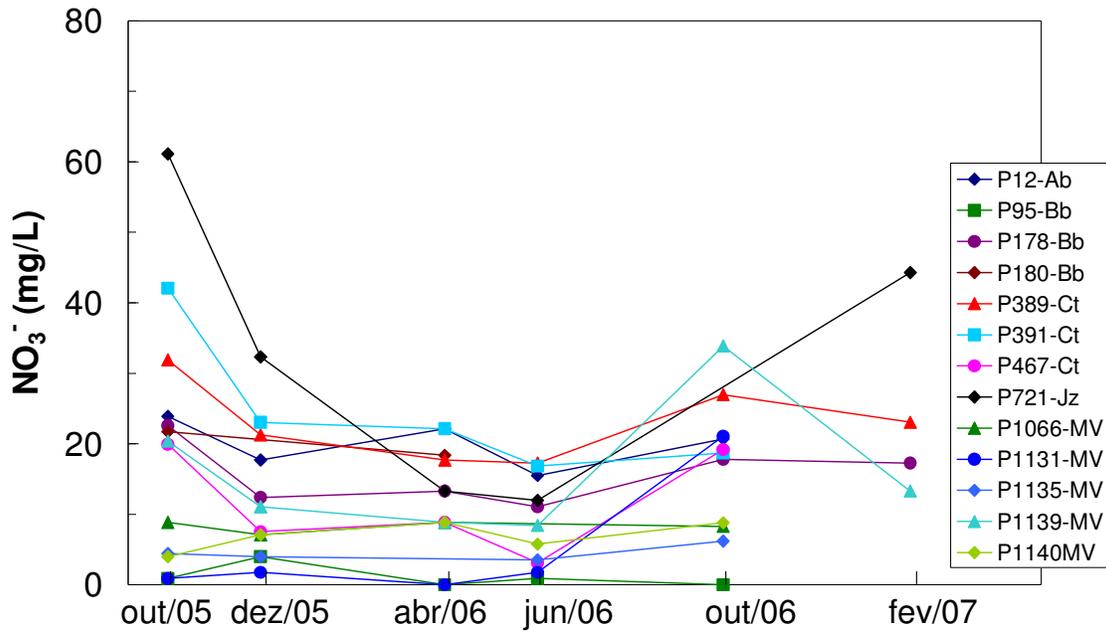
Dos nove poços com valores mais elevados de condutividade elétrica estão localizados: três no Cariri Ocidental (dois em Abaiara, P23 e P36, e um em Juazeiro, P718); os outros seis no Cariri Oriental (quatro em Brejo Santo, P197, P354, P357 e P360, um em Mauriti, P740, e um em Porteiras, P1172). É importante observar que em todas as coletas eles se mantêm na mesma faixa de valores.

Comparação entre valores de concentração de nitrato nos poços pode ser feita através das Figuras 48a, 48b e 49; a separação da figura 48 em (a) e (b) mostra melhor as variações no período. Em geral, nos poços amostrados tiveram concentrações abaixo dos 45mg/L, limite das águas potáveis, com exceção dos poços: P388, P720 e P721 (1^a coleta), P23 (2^a coleta), P718 (3^a coleta), P738 (4^a coleta), P360 e P1172 (5^a coleta), e P1178 (3^a e 4^a coletas), P357 (4^a e 5^a coletas), e P718 (3^a, 4^a, 5^a e 6^a coletas).

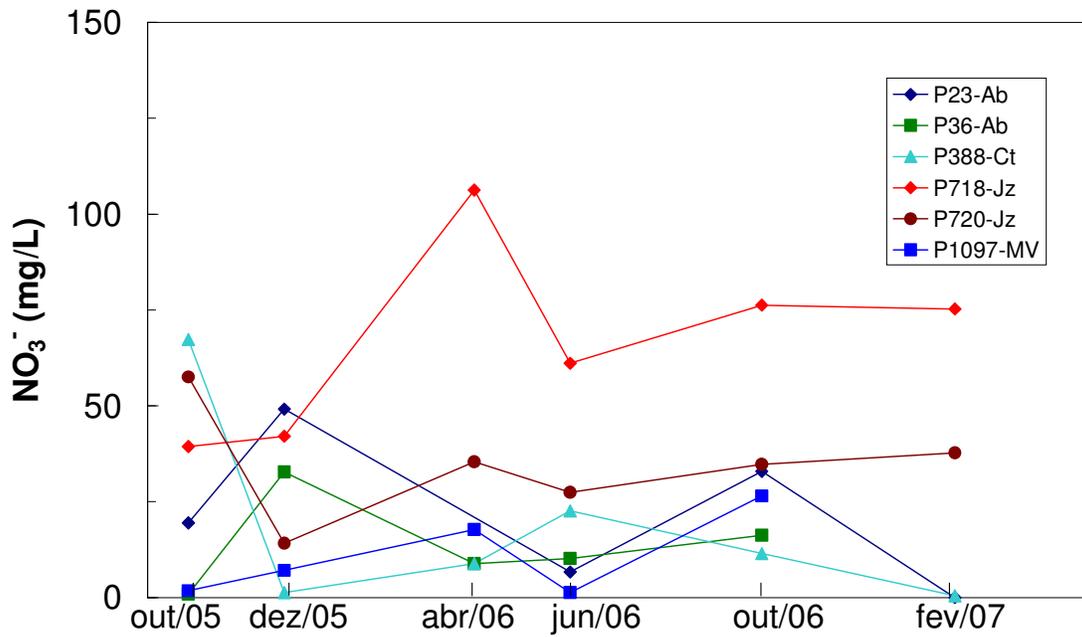
Nas Figuras 50 e 51 são comparadas as variações das durezas das águas do Cariri Ocidental e do Cariri Oriental, respectivamente. A maior parte das águas são classificadas como moles (10 no Cariri Oriental e 5 no Cariri Ocidental) moderadamente duras (7 no Cariri Oriental e 8 no Cariri Ocidental). Somente cinco amostras do Cariri Oriental e 6 do Cariri Ocidental são classificadas como duras (São classificadas como moles águas com Dureza de 0 a 50, como moderadamente moles aquelas com Dureza de 50 a 150, como duras águas com Dureza de 150 a 300 e muito duras aquelas com Dureza > 300). O poço P354, com mais elevada dureza, está localizado no município de Brejo Santo.

A Figura 52 mostra os diagramas de Piper com dados dos poços nos municípios de Abaiara, Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha das coletas feitas no período seco de 2005 (Figuras 52a e 52b), no período chuvoso de 2006 (Figura 52c), final do período chuvoso de 2006 (Figura 52d), no período seco de 2006 (Figura 52e) de 2006 e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 52f).

Com relação aos cátions, na primeira coleta e na segunda coleta realizadas no período seco, havia amostras de todos os quatro tipos, cálcica, magnésiana, sódica e mista (Figura 52a e 52b); na terceira coleta, no período chuvoso, as mostras eram somente mistas e algumas sódicas (Figura 52c); na quarta coleta, eram mistas e magnesianas (Figura 52d), na quinta, no período seco, eram mistas e sódicas e na sexta coleta, no início do período chuvoso, eram cálcicas, mistas e sódicas. Quanto aos cátions, as águas sempre foram de dois tipos, bicarbonatadas e cloretadas.



(a)



(b)

Figura 48. Variação da concentração de nitrato no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Ocidental.

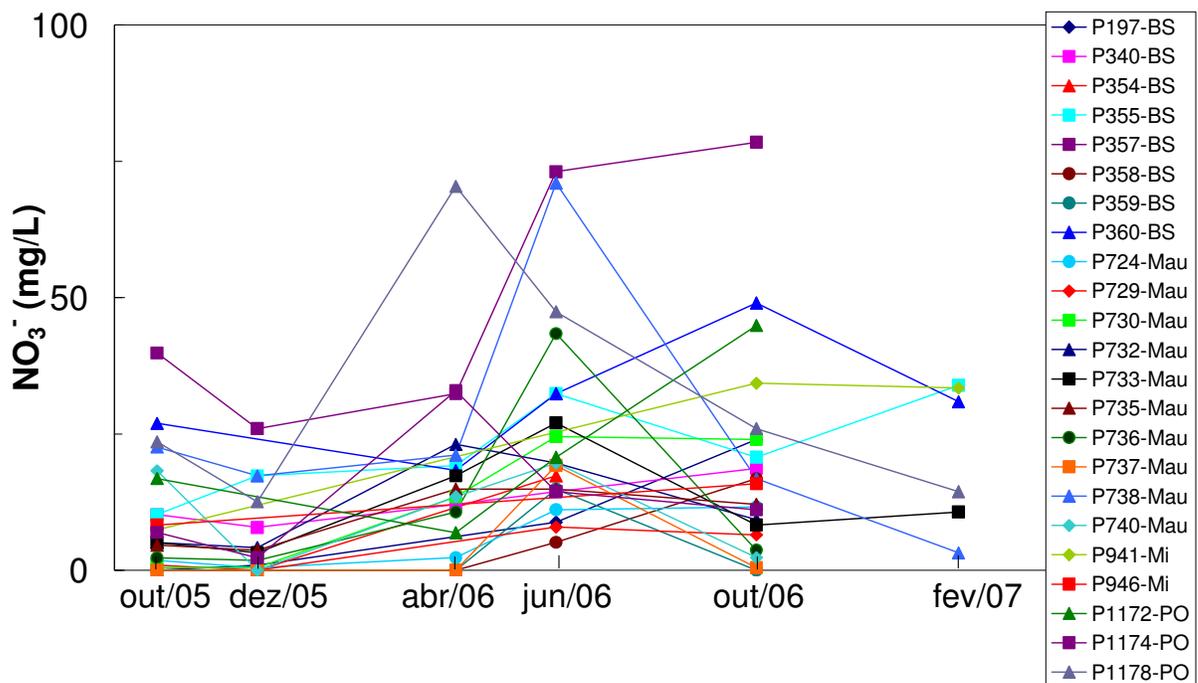


Figura 49. Variação da concentração de nitrato no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Oriental.

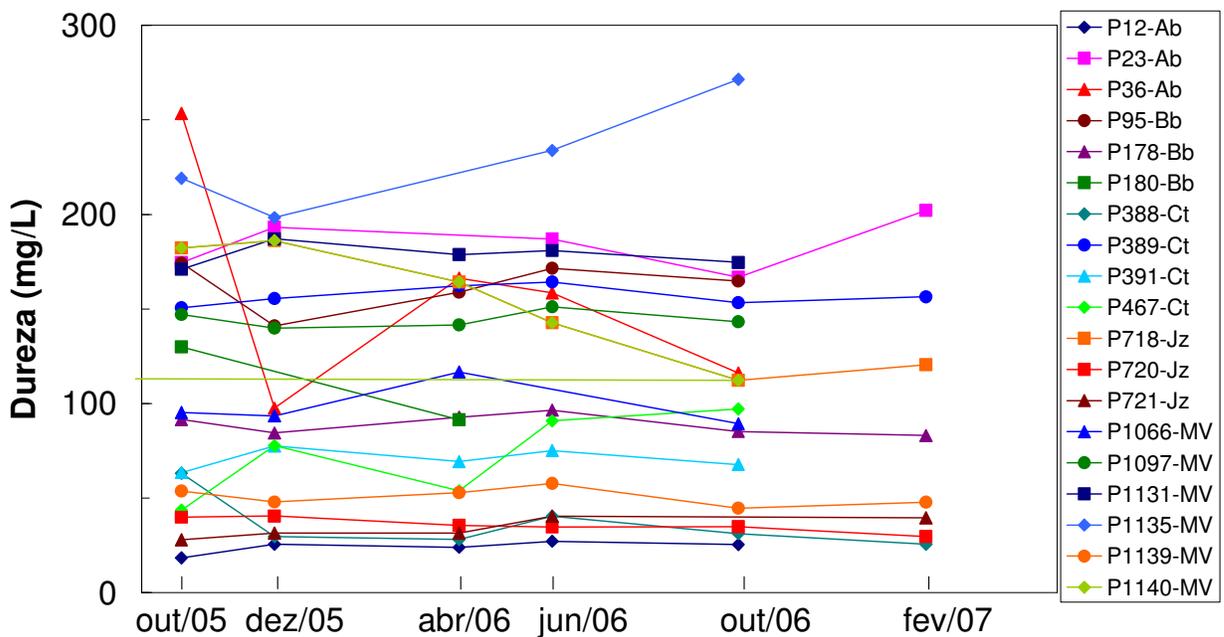


Figura 50. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Ocidental.

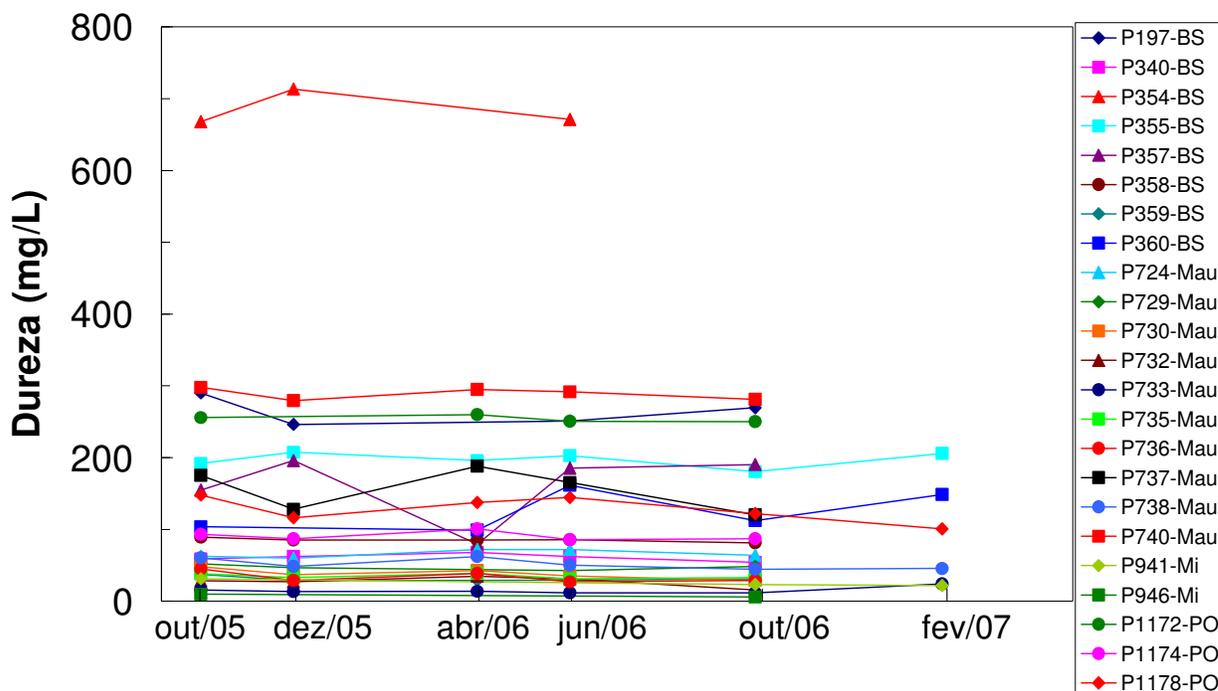


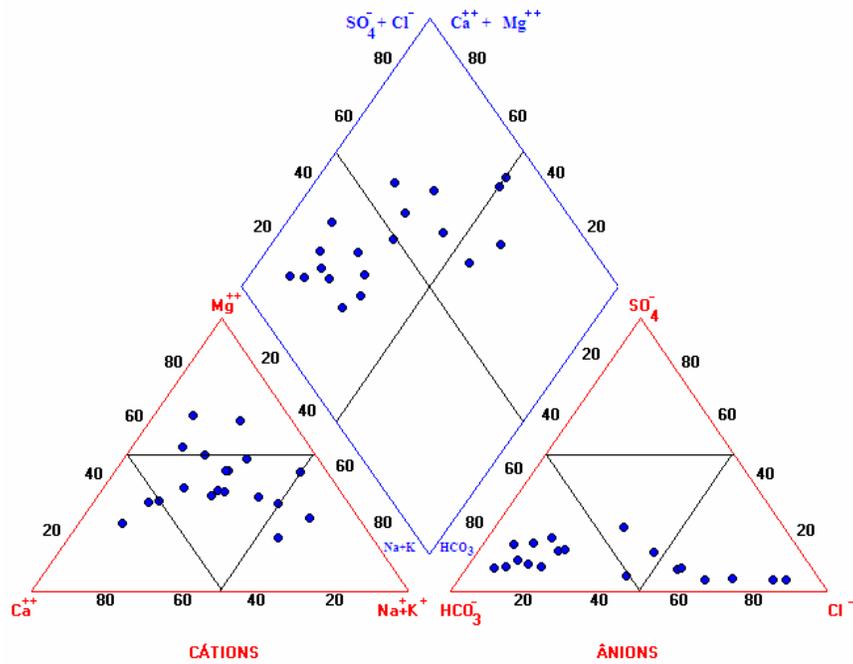
Figura 51. Variação da dureza no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007 nos poços do Cariri Oriental.

Estes resultados mostram as mudanças nos tipos de água decorrentes principalmente da recarga. Em todas as coletas foram identificadas, quanto aos cátions, águas mistas e uma tendência a alternar águas sódicas com águas magnesianas.

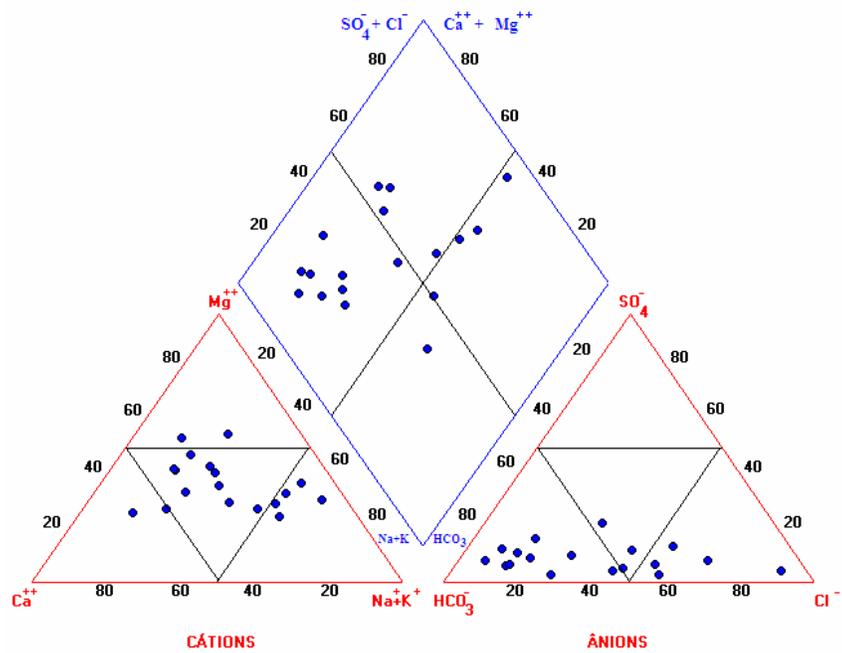
A Figura 53 mostra os diagramas de Piper com dados dos poços nos municípios de Brejo Santo, Mauriti, Milagres e Porteiras nas coletas feitas no período seco de 2005 (Figuras 53a e 53b), no período chuvoso de 2006 (Figura 53c), final do período chuvoso de 2006 (Figura 53d), período seco de 2006 (Figura 53e) e no início do período chuvoso de 2007 (Figura 53f).

Quanto aos cátions, em todas as coletas no Cariri Oriental, as águas eram mistas e sódicas, com exceção de duas águas magnesianas na primeira e segunda coleta; e quanto aos ânions as águas eram bicarbonatadas ou cloretadas.

Para identificar a adequação das águas do Cariri Ocidental para uso na agricultura, as amostras das seis coletas foram colocadas em seis diagramas do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) mostrados na Figura 55, para o período seco de 2005 (Figuras 54a e 54b) no período chuvoso (Figura 54c), final do período chuvoso (Figura 54d) e período seco (Figura 54e) de 2006 e no início do período chuvoso (Figura 54f) de 2007. O diagrama USDA usa quatro classes, C₁, C₂, C₃ e C₄, para os níveis de salinidade e quatro classes, S₁, S₂, S₃ e S₄, para o risco de sodicidade (RICHARDS, 1954).

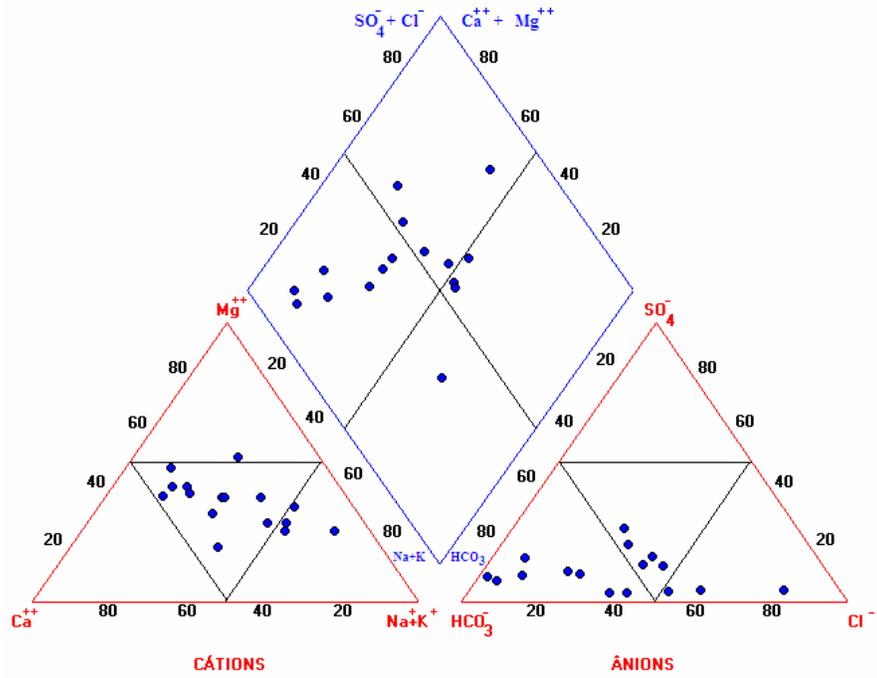


(a)

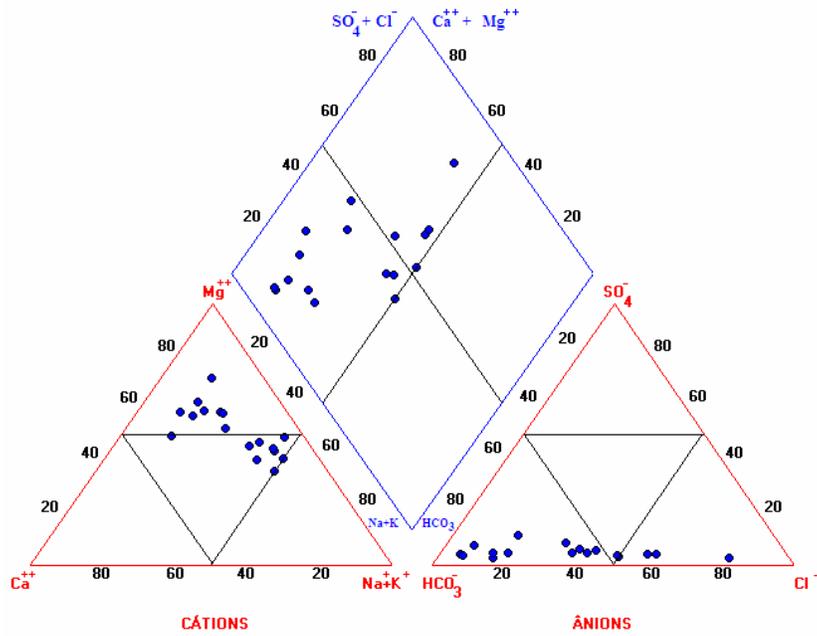


(b)

Figura 52. Diagramas de Piper no Cariri Ocidental (a) em outubro de 2005 e (b) em dezembro de 2005.

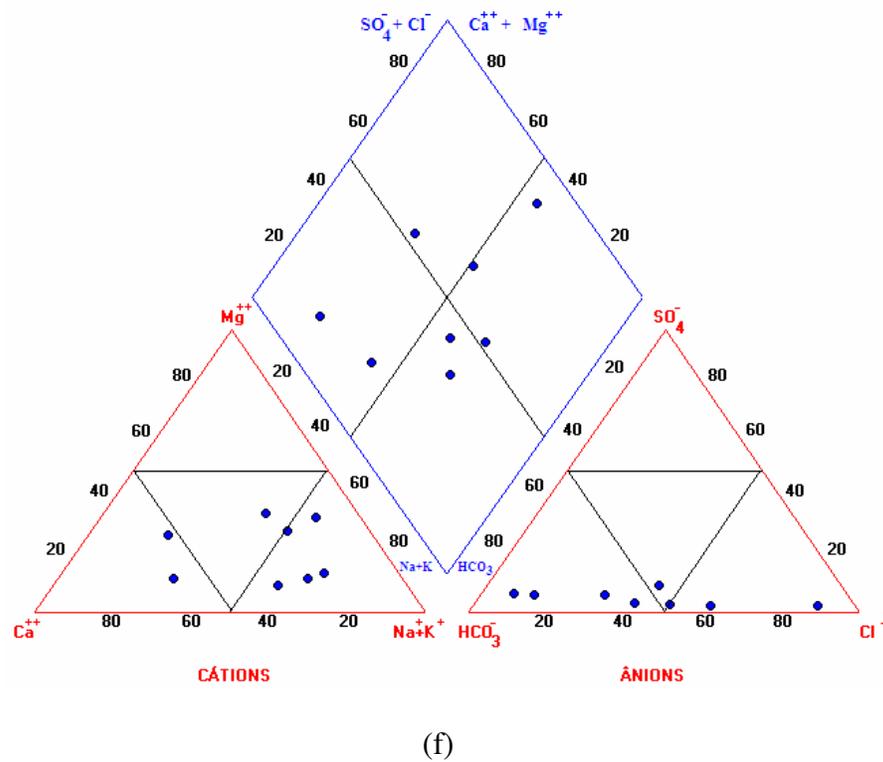
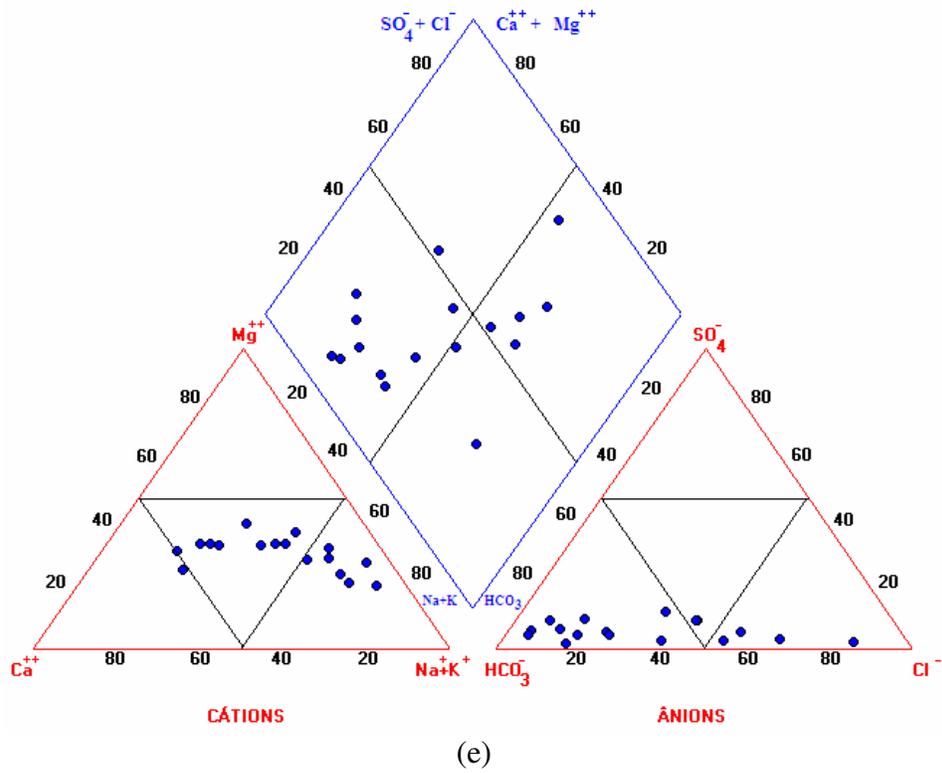


(c)

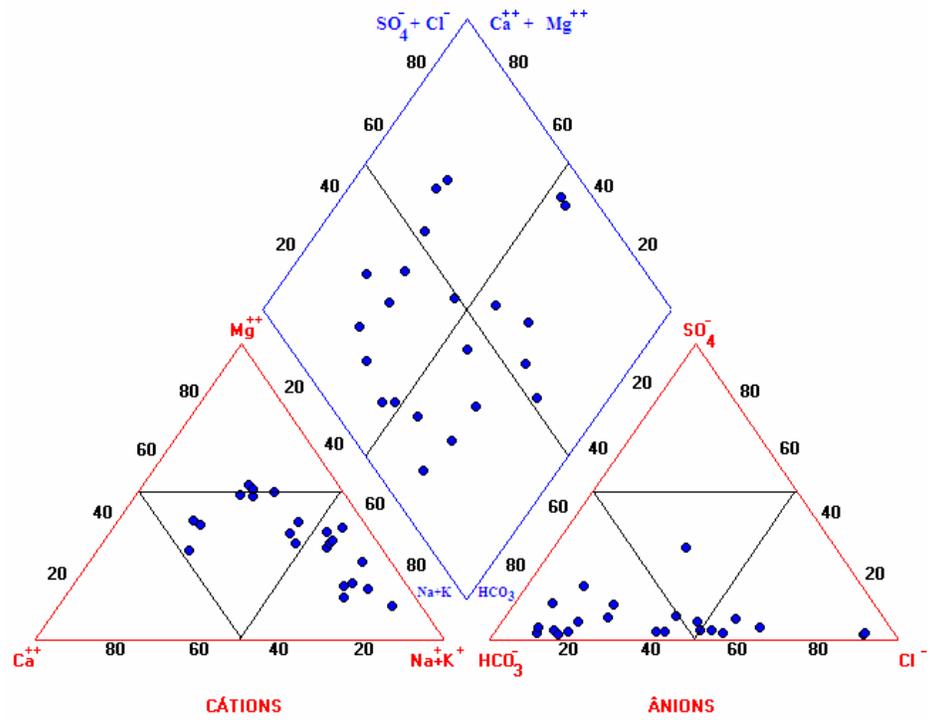


(d)

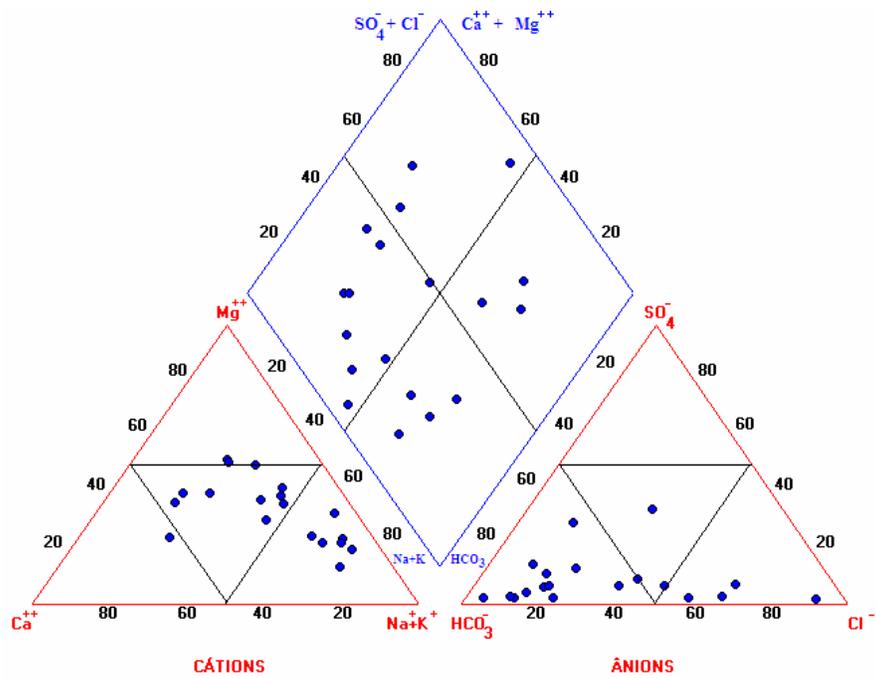
Cont. Figura 52. Diagramas de Piper no Cariri Ocidental (c) em abril de 2006 e (d) em junho de 2006.



Cont. Figura 52. Diagramas de Piper no Cariri Ocidental (e) em outubro de 2006 e (f) em fevereiro de 2007.

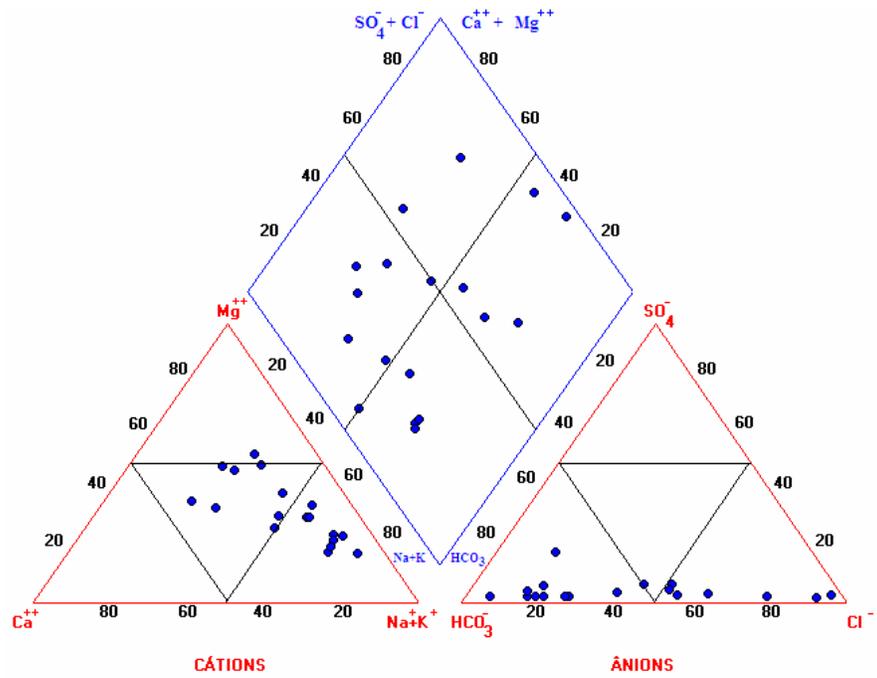


(a)

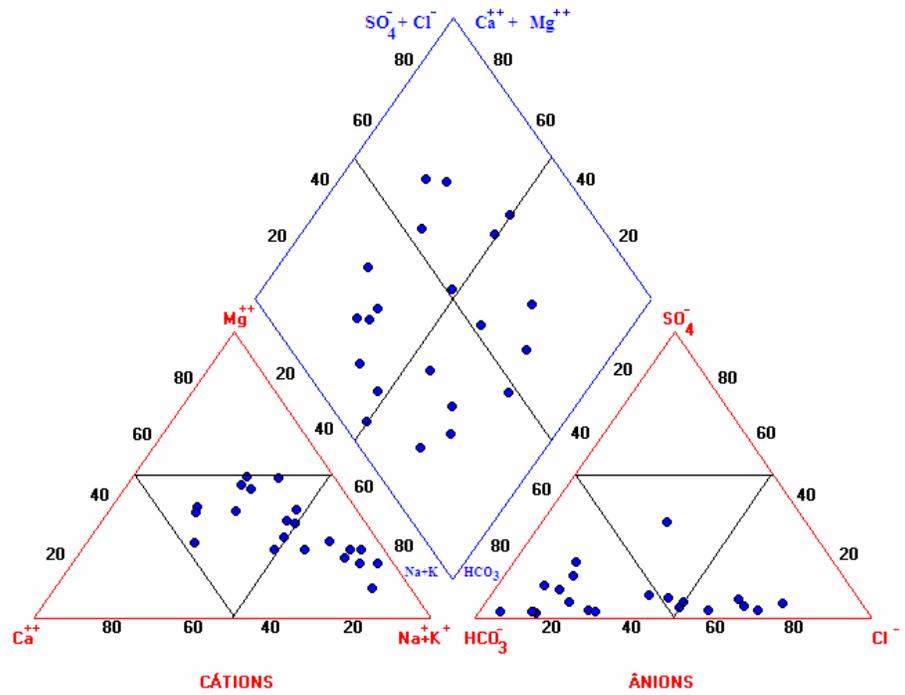


(b)

Figura 53. Diagramas de Piper no Cariri Oriental (a) em outubro de 2005. (b) em dezembro de 2005.

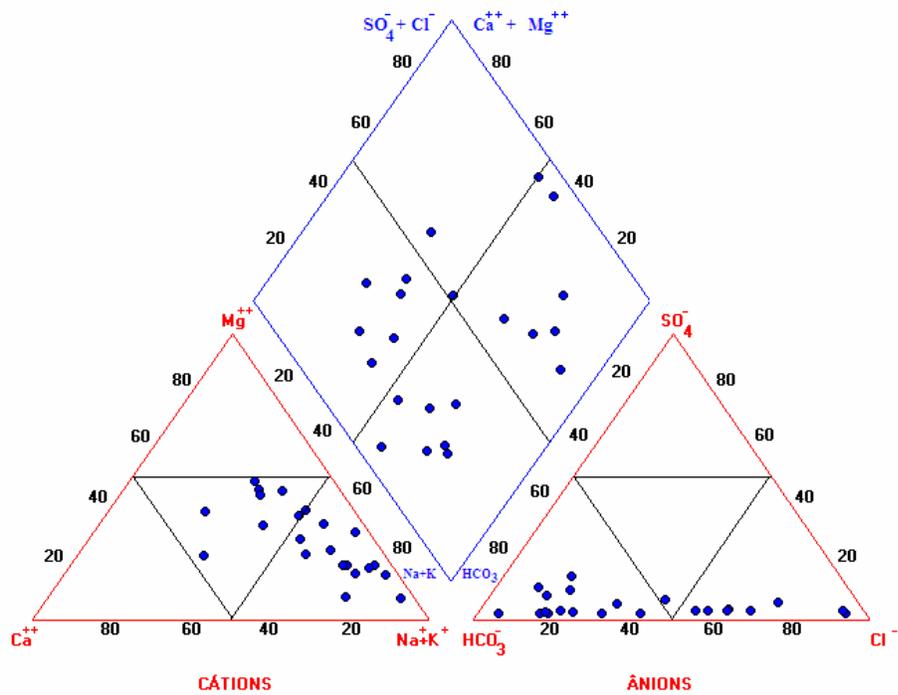


(c)

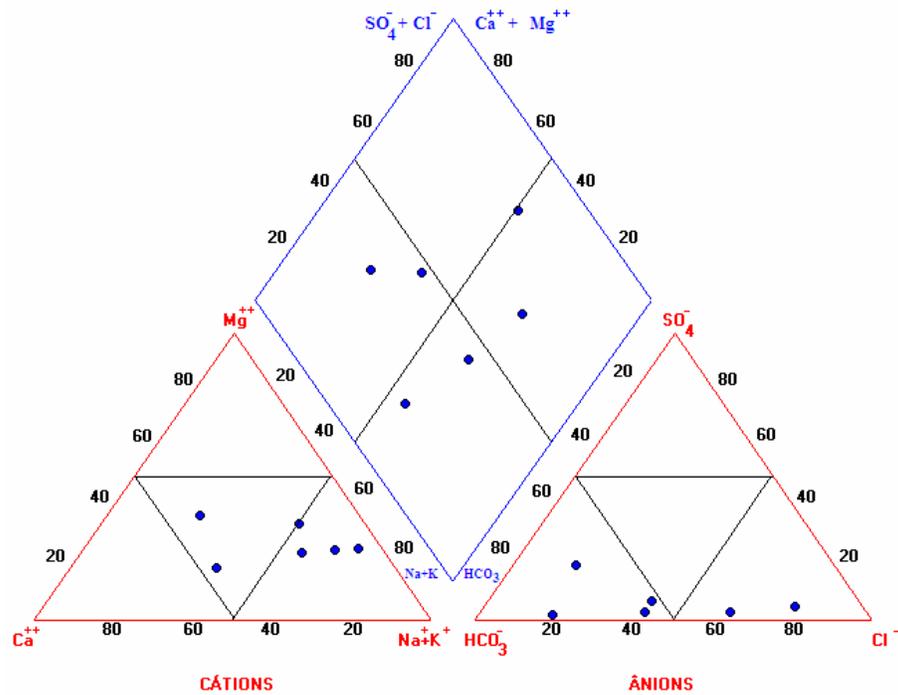


(d)

Cont. Figura 53. Diagramas de Piper no Cariri Oriental (c) em abril de 2006 e (d) em junho de 2006.



(e)



(f)

Cont. Figura 53. Diagramas de Piper no Cariri Oriental (e) em outubro de 2006 e (d) em fevereiro de 2007

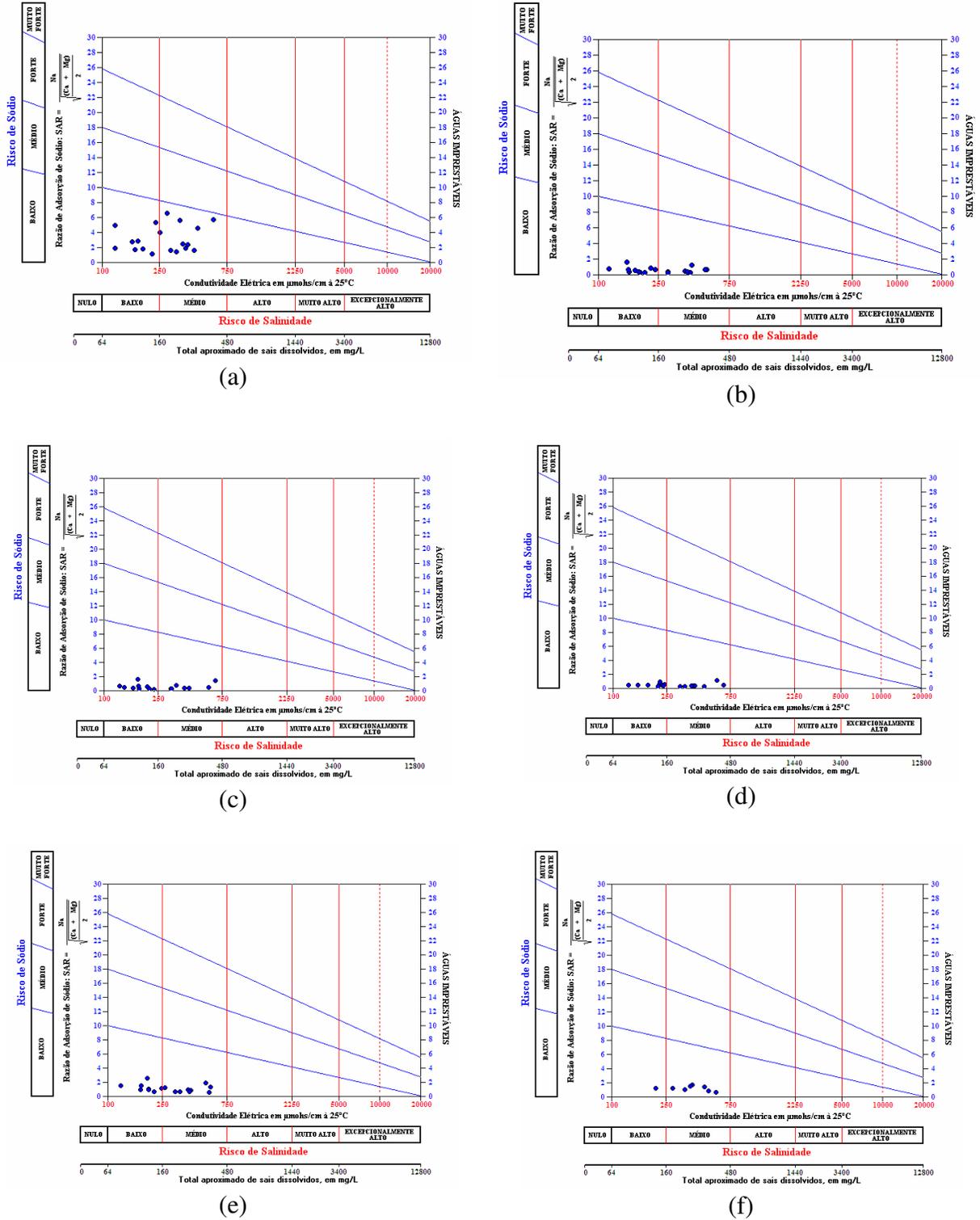


Figura 54. Diagramas USSS no Cariri Ocidental (a) em outubro de 2005, (b) em dezembro de 2005, (c) abril de 2006, (d) em junho de 2006, (e) em outubro de 2006 e (f) fevereiro de 2007.

Neste diagrama, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), que representa o risco de sodicidade, é dada por:

$$RAS = Na/[(Ca + Mg)/2]^{1/2}$$

Sendo as concentrações expressas em mmol/L.

Quanto ao risco de salinidade, durante todo o período as águas apresentaram baixo e médio risco e sempre apresentaram baixo risco de sódio, embora com valores mais elevados na primeira coleta.

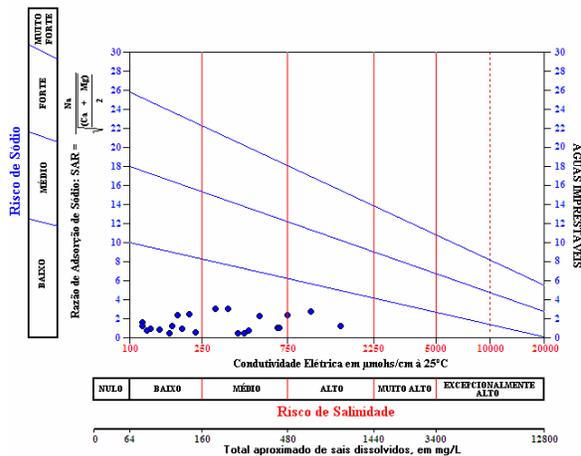
As águas do Cariri Oriental (Figura 55) apresentaram risco de salinidade baixo, médio e alto, menos na última coleta quando o número de amostras foi menor; dos 23 poços amostrados na primeira coleta somente 6 foram amostrados na sexta coleta. Quanto ao risco de salinidade, durante todo o período as águas apresentaram baixo e médio risco, mas com valores mais elevados do que os encontrados nas águas do Cariri Ocidental.

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

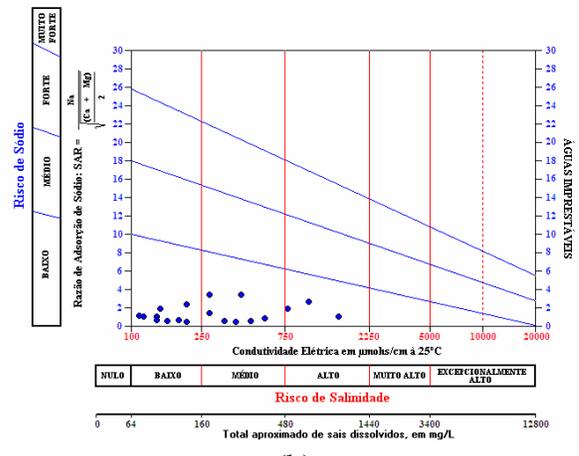
A Figura 56 mostra que as águas do Cariri Ocidental apresentam em geral risco moderado de causar problemas de infiltração do solo, com somente algumas amostras apresentando severo risco de causar problemas. As amostras do Cariri Oriental, apresentadas na Figura 57, se distribuem nas três faixas de mínimo, médio e alto risco de causar problemas ao solo.

As distribuições espaciais dos valores de condutividade elétrica com amostras das cinco coletas estão mostradas na Figura 58. Nela, observa-se o mesmo padrão de distribuição para as amostras coletadas no período de outubro de 2005 a outubro de 2006 e que predominam na área amostras com condutividades elétricas abaixo de 400 $\mu S/cm$; o número de poços com até 400 $\mu S/cm$ é o mesmo na faixa de 200 a 400 $\mu S/cm$.

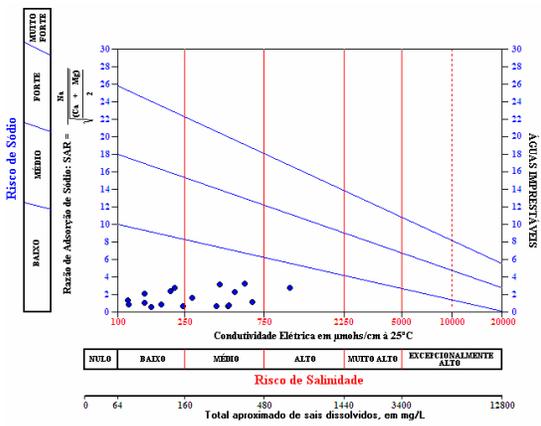
Os maiores valores de condutividade elétrica foram encontrados em amostras dos municípios de Brejo Santo e Missão Velha. O tectonismo na área pode ter produzido áreas com diferentes sedimentos e conseqüentemente favorecendo diferentes processos geoquímicos.



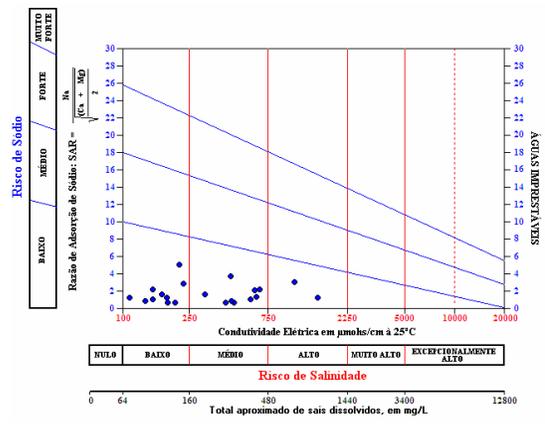
(a)



(b)



(c)



(d)

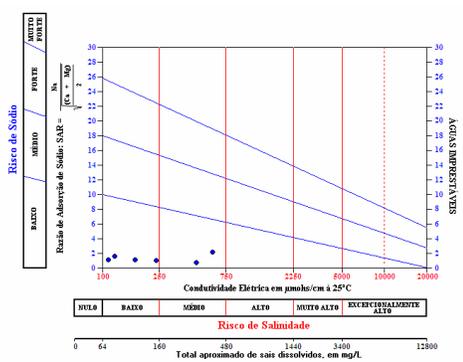
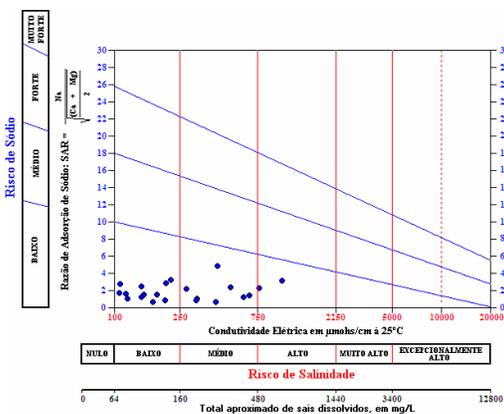


Figura 55. Diagramas USSL no Cariri Oriental (a) em outubro de 2005, (b) em dezembro de 2005, (c) abril de 2006, (d) em junho de 2006, (e) em outubro de 2006 e (f) fevereiro de 2007.

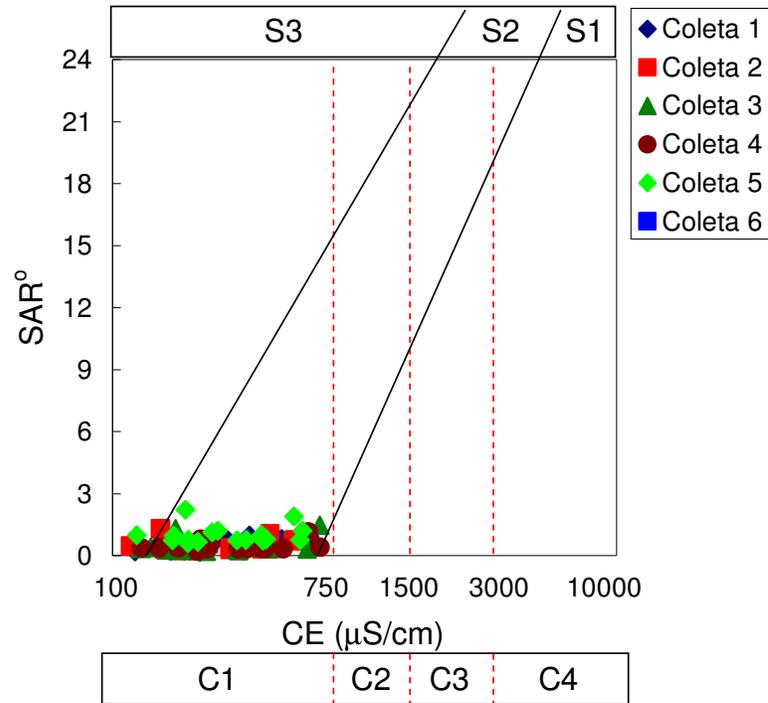


Figura 56. Diagramas USSL modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) no Cariri Ocidental

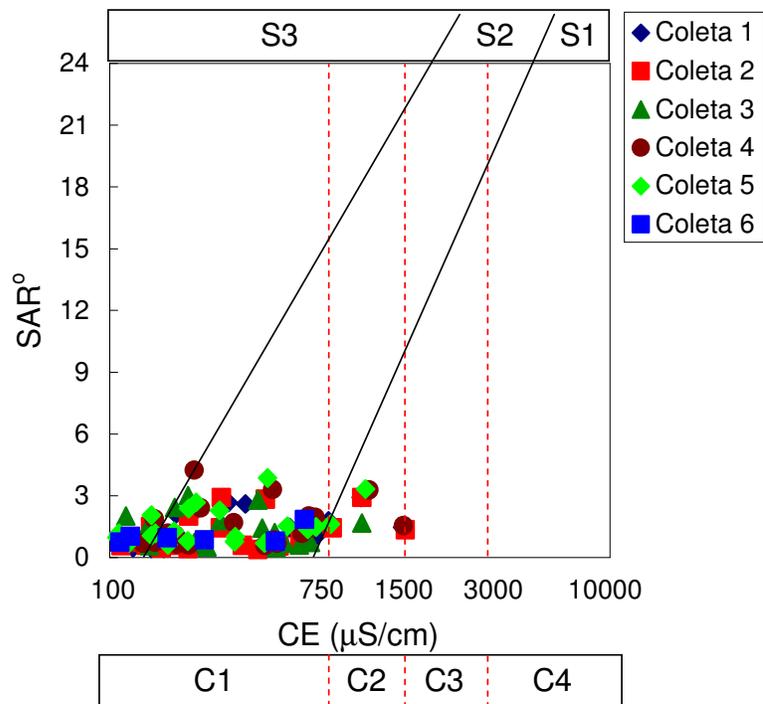


Figura 57. Diagramas USSL modificado segundo UCCC (Pizarro, 1985) no Cariri Oriental

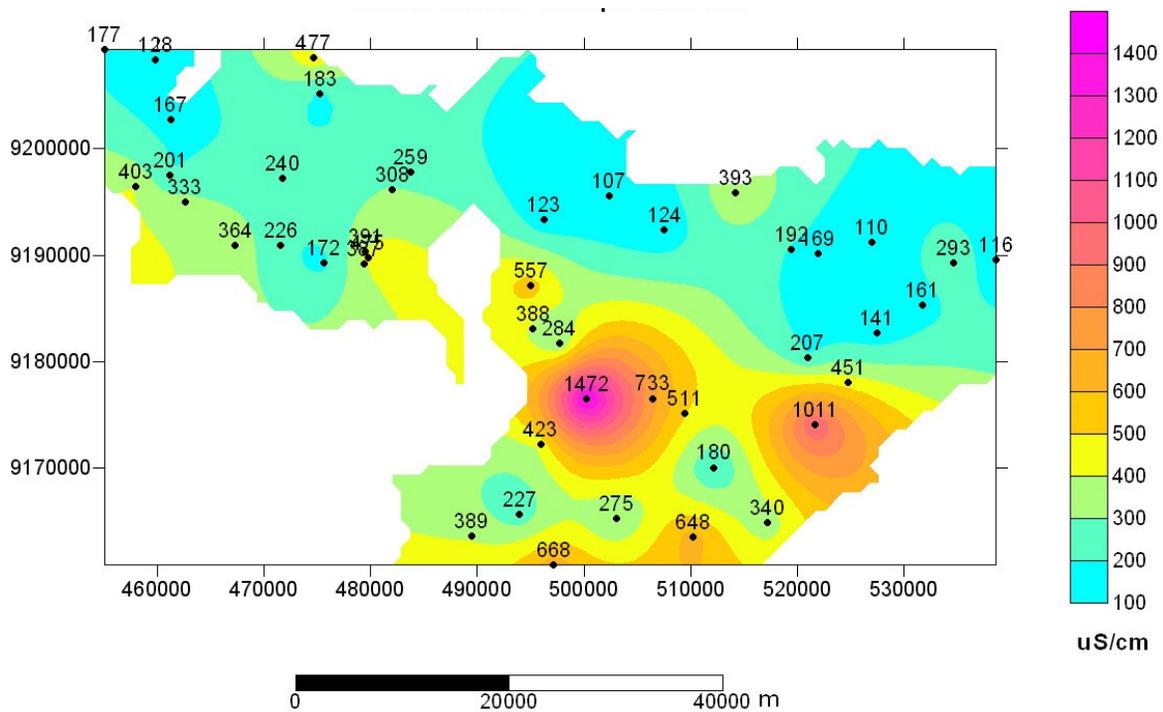
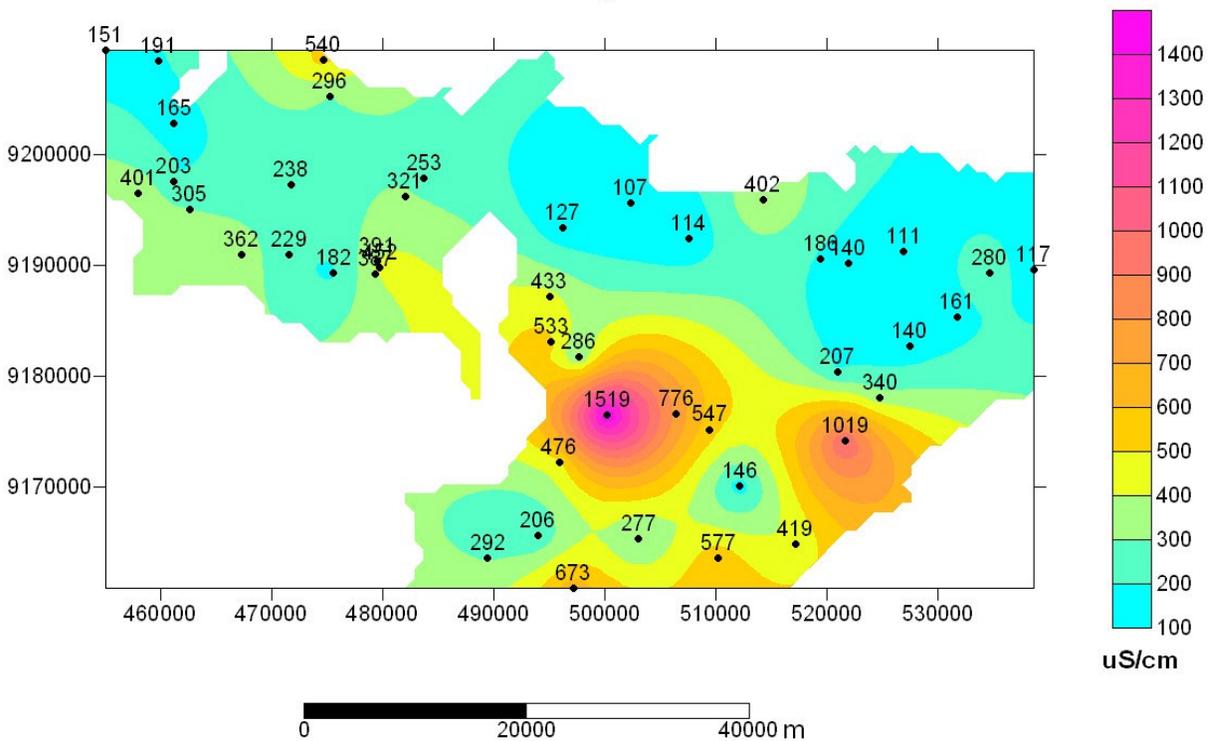
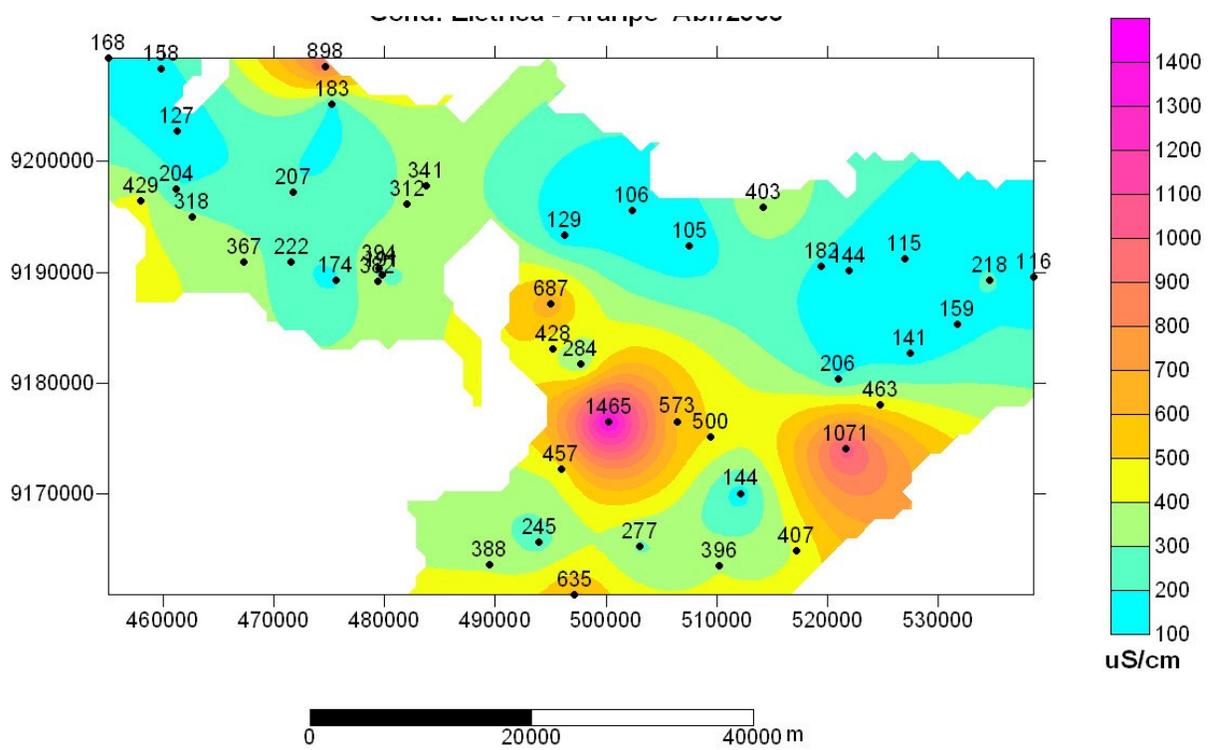


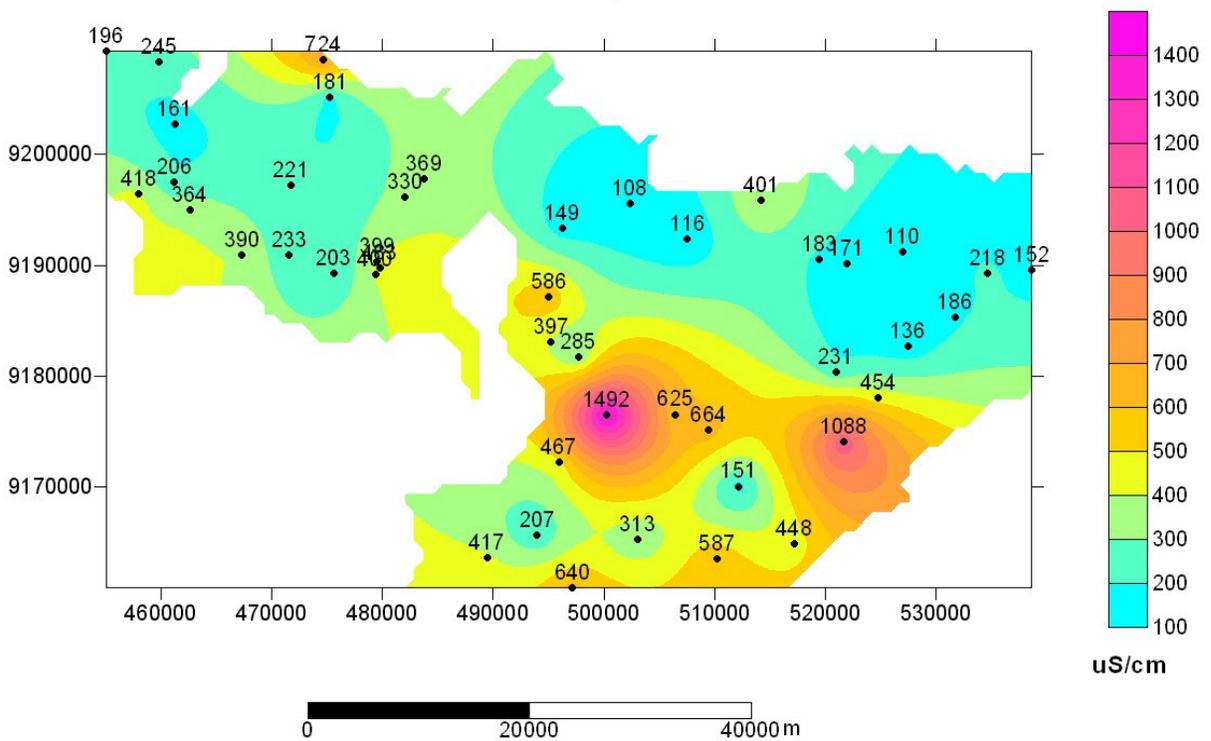
Figura 58. Distribuição da espacial condutividade da elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri em outubro de 2005



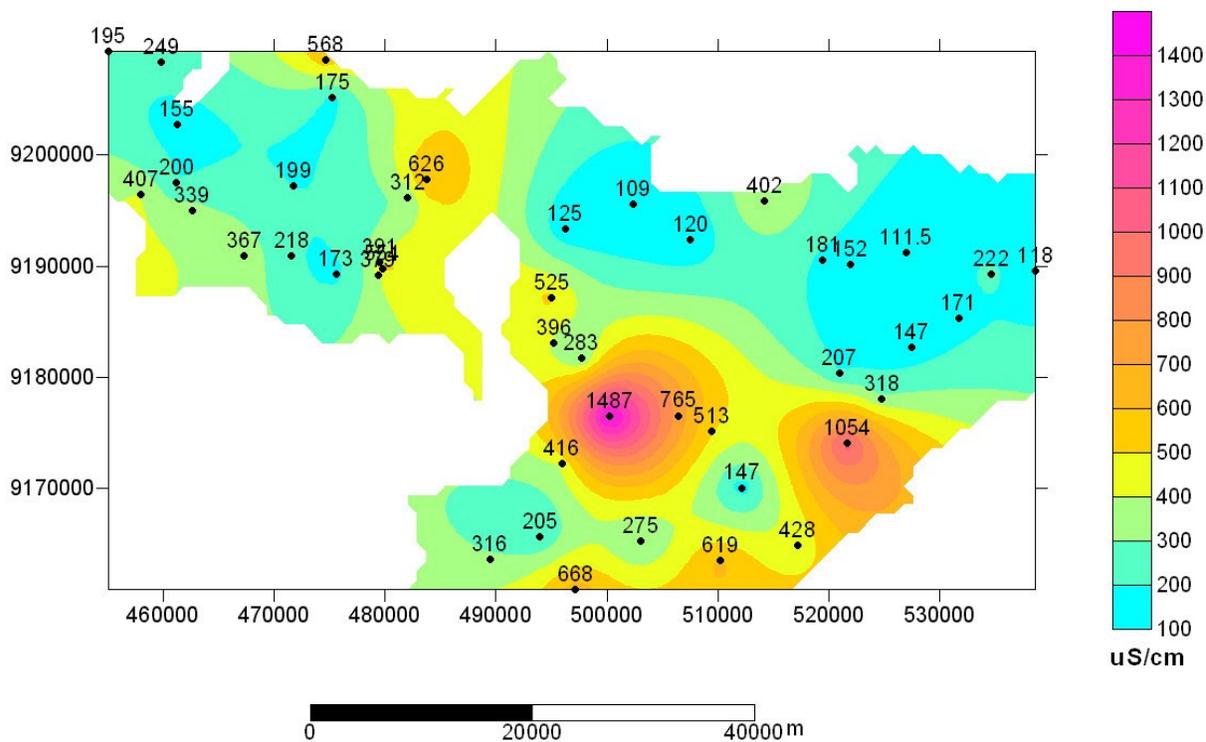
Cont. Figura 58. Distribuição da espacial condutividade da elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri em dezembro de 2005



Cont.Figura 58. Distribuição da espacial condutividade da elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri em abril de 2006



Cont. Figura 58. Distribuição da espacial condutividade da elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri em julho de 2006



Cont. Figura 58. Distribuição da espacial condutividade da elétrica na Bacia Sedimentar do Cariri em outubro de 2006

A Tabela 8 apresenta 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 e a Figura 59 mostra um histograma dessas medidas. Dos onze poços amostrados no Cariri Ocidental, somente no poço P95 não foi detectada a presença de coliformes totais; nos poços P388 e P718 os valores foram os mesmos nas duas coletas e em Fev./07 os valores foram mais altos do que em Jun./06 nos poços P178 e P1139 e mais baixos, nos poços P23, P389, P720 e P721.

Todos os oito poços do Cariri Oriental apresentaram coliformes totais (Figura 60); em Fev./07 não foram feitas coletas nos poços P357 e P1174; no poço P360 os valores das duas coletas foram iguais e em Fev./07 os valores foram maiores do que em Jun./06 em P355, P733 e P1178 e menores, em P738 e P941.

Medidas em amostras do Cariri Ocidental (Tabela 8, Figura 61) mostram que na coleta de Jun./06 somente o poço P95 não apresentou coliformes fecais (*E. Coli*) e na coleta de Fev./07 não foi detectada a presença nos poços P23, P95, P389, P718, P720 e P721. Os poços P12 e P467 não foram amostrados em Fev./07; no poço P1139 os valores foram iguais nas duas coletas; em Fev./07 o valor foi maior que o de Jun./06 no poço P388 e menor no poço P178.

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

Poço Nº	C.T. (MPN/100 mL)		E. Coli (MPN/100 mL)	
	07/2006	02/2007	07/2006	02/2007
P12	6,3	-	2,0	-
P23	920,8	17,5	143,9	< 1,0
P95	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
P178	49,6	201,4	2,0	1,0
P355	260,3	2419,6	7,2	48,7
P357	980,4	-	17,6	-
P360	> 2419,6	> 2419,6	240,0	85,7
P388	> 2419,6	> 2419,6	5,2	98,5
P389	31,3	4,1	1,0	< 1,0
P467	1299,7	-	185,8	-
P718	16,0	15,8	1,0	< 1,0
P720	1299,7	727,0	110,6	< 1,0
P721	> 2419,6	29,2	194,7	< 1,0
P733	1,0	135,4	1,0	1,0
P738	121,1	< 1,0	2,0	< 1,0
P941	> 2419,6	1,0	9,2	< 1,0
P1139	2,0	17,3	1,0	1,0
P1174	1,0	-	< 1,0	-
P1178	30,1	>2419,6	4,1	54,2

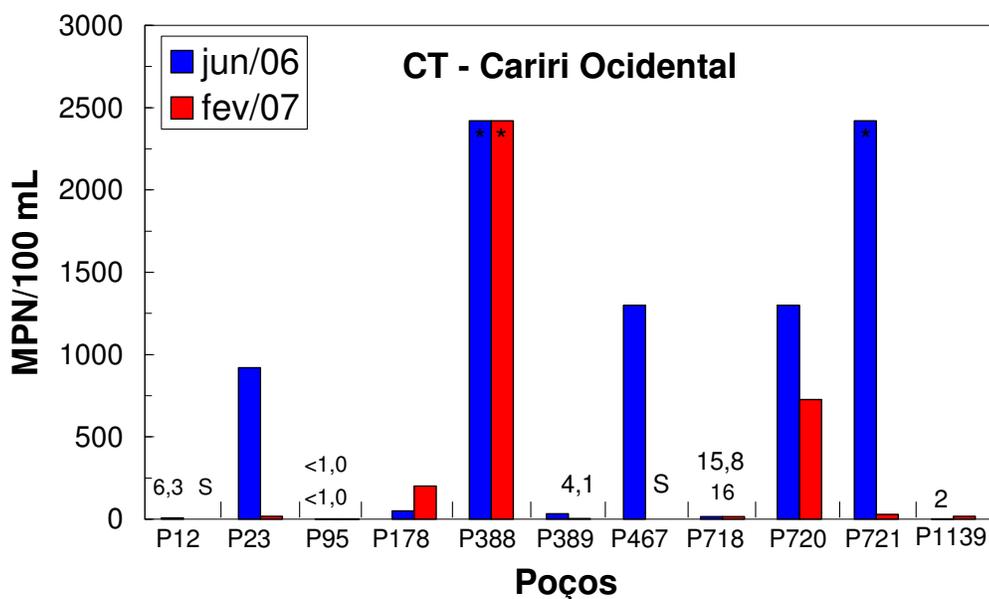


Figura 59. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007

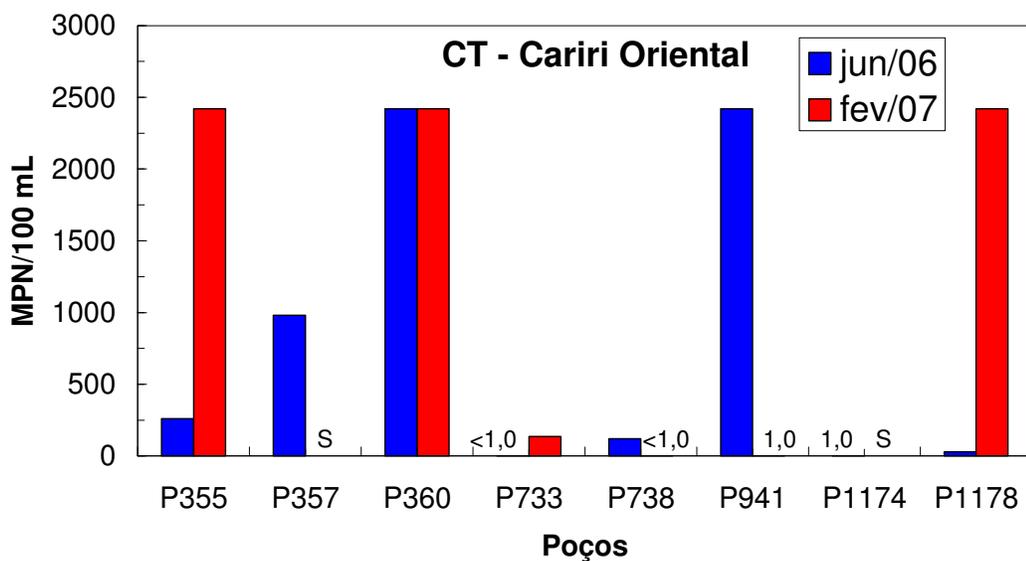


Figura 60. Coliformes totais nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Oriental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007

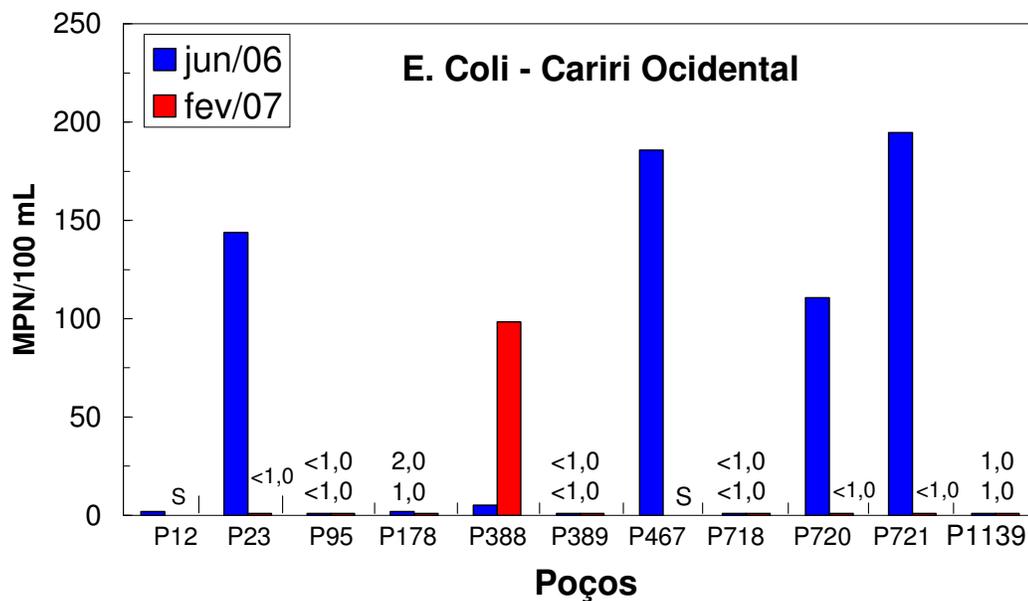


Figura 61. *E. Coli* nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007.

No Cariri Oriental (Figura 62), os *E. Coli* não foram detectados em Jun./06 no P1174 e em Fev./07 em P491 e em P738; os poços P357 e P1174 não foram amostrados em Fev./07. No poço P733 os valores foram iguais nas duas coletas; em Fev./07 os valores foram maiores que os de Jun./06 nos poços P355 e P1178 e menores, nos poços P360, P738 e P940.

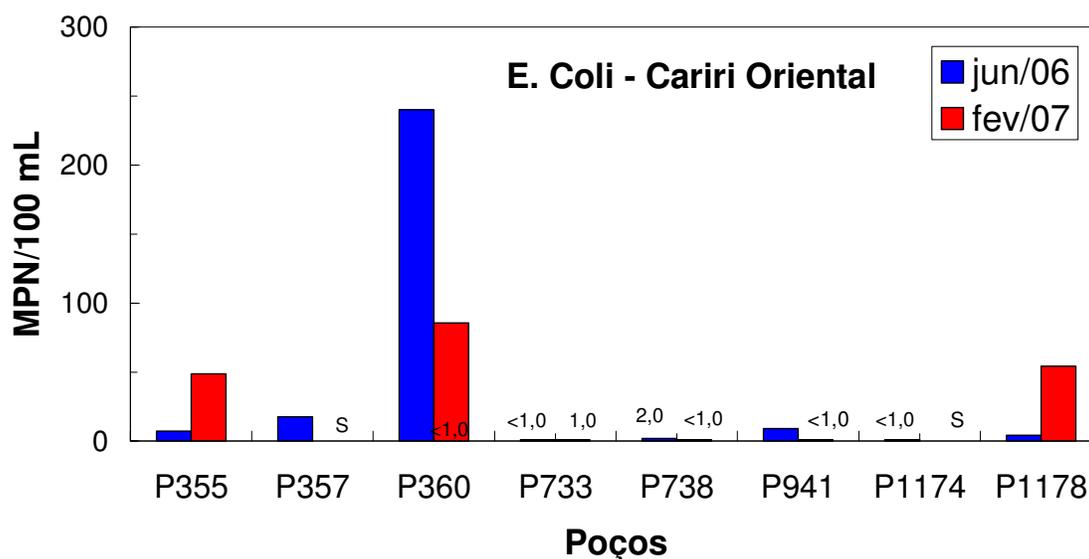


Figura 62. *E. coli* nas águas coletadas de onze poços localizados no Cariri Ocidental em junho de 2006 e em fevereiro de 2007.

6. Conclusões

As análises hidroquímicas de 252 amostras de águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Cariri, coletadas em 42 poços localizados em 09 municípios e 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 e com exceção dos nitratos (com 16 valores acima do limite para as águas potáveis, em 11 diferentes poços), todos os demais parâmetros tiveram valores para águas potáveis.

Quanto aos cátions, as águas eram mistas com tendência a alternar águas sódicas e águas magnesianas e quanto aos ânions, as águas sempre foram dos tipos, bicarbonatada e cloretada. Este comportamento também reflete a recarga do período úmido. Estas variações temporais nas concentrações iônicas estão relacionadas com a recarga no período chuvoso.

As amostragens foram feitas fora das sedes dos municípios o que diminui o efeito da ação antrópica sobre a qualidade das águas, freqüentemente influenciada pela falta de saneamento. Assim, estes resultados refletem as condições gerais da Bacia.

Estas águas são utilizadas intensivamente para a agricultura. Através da Razão de Adsorção de Sódio Corrigida usada no diagrama USDA modificado pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (UCCC) pode-se observar que as águas apresentam na sua grande maioria moderado risco de salinizar o solo.

As concentrações salinas apresentaram pequenas variações temporais para os poços de todas as faixas de salinidade (expressa aqui pela condutividade elétrica).

Sob o aspecto espacial, as águas apresentam um padrão geral que difere somente em alguns pontos localizados em Brejo Santo e Mauriti o que ressalta a importância de processos internos no aquífero para a qualidade das águas subterrâneas. A presença de horst e gráben pode levar à exploração de água de outro aquífero.

Dos 19 poços amostrados, em junho de 2006 e fevereiro de 2007, para análises bacteriológicas de 38 amostras, somente dois poços apresentaram água potável. Na maioria, os coliformes totais e *E.Coli* foram menores em fevereiro de 2007, com a chegada das chuvas, do que em junho de 2006, no período seco e em três poços os valores foram maiores, o que indica entrada de água não potável.

Conclui-se, portanto, que as águas naturais na Bacia Sedimentar do Cariri 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 pequena contribuição 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 procurar 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 N^o 1.469. Ministério da Saúde, Brasília.
- MS (Ministério da Saúde). 2004. Portaria N^o 518, de março de 2004. 15 p.
- OMS (Organização Mundial da Saúde). 1998. Guias para a Calidad Del Agua 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.