

## IX-026 - BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS IMPACTADAS POR GASOLINA E10 COM O USO DE SULFATO.

**Suhita Monteiro Ramos**<sup>(1)</sup>

Microbióloga pela Universidade da África-do-Sul. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Cristina Cardoso Nunes**<sup>(2)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC.

**Henry Xavier Corseuil**<sup>(3)</sup>

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Michigan. Professor - associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Campus Universitário, Bairro Trindade - Florianópolis – Santa Catarina - SC - CEP: 88040 - 970 - Brasil - Tel: (48) 3721 - 7569 - e-mail: [suhita@ens.ufsc.br](mailto:suhita@ens.ufsc.br)

### RESUMO

Apesar do avanço ambiental do uso do etanol no que diz respeito à qualidade da atmosfera mundial, a sua adição na gasolina torna a questão bem mais complexa em ambientes subterrâneos. O uso do etanol como aditivo nos combustíveis fósseis é uma das políticas mundiais que vem ao encontro das exigências ambientais para promover o desenvolvimento sustentável. No entanto, experimentos realizados mostraram os efeitos negativos dessa adição, sendo um deles o fato de o etanol agir como substrato preferencial dos microorganismos, retardando a biodegradação dos BTEX, e outro o seu efeito de co-solvência, que aumenta a solubilidade dos BTEX em águas subterrâneas. Este trabalho pretende avaliar a biodegradação do etanol presente numa concentração de 10% na gasolina, em condições sulfato-redutoras em relação a sua eficácia perante os estudos já realizados. Nos resultados do monitoramento da fonte aos 69 e 140 dias após a liberação controlada da gasolina E10, a sulfato-redução ainda não era o processo termodinamicamente mais favorecido na biodegradação do etanol. A tendência internacional de incremento do etanol nos combustíveis automotores torna relevante a continuidade deste estudo não só durante o processo da biodegradação do etanol, como também dos compostos BTEX.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biorremediação, gasolina E10, sulfato-redução.

### INTRODUÇÃO

Com a crescente conscientização sobre a necessidade do uso energias renováveis e limpas, o etanol vem ganhando cada vez mais espaço no mercado dos combustíveis como substituto parcial da gasolina. Vários países, entre eles Jamaica, Costa Rica, Índia, Austrália e Estados Unidos, já usam etanol na sua gasolina, com adição de álcool etílico anidro entre 5-10% volume/volume (E5 e E10 respectivamente). No Brasil, o etanol é usado como aditivo na gasolina comercial desde 1975, estando hoje vigente o percentual de 25% (v/v) de etanol anidro na mistura da gasolina nacional (BRASIL, 2007). A tendência mundial é aumentar o uso do etanol como aditivo e este fato gera conseqüências em relação às contaminações das misturas petróleo e etanol no meio subterrâneo. Só no Brasil, essas contaminações correspondem a 78% do total de áreas contaminadas no Estado de São Paulo (CETESB, 2009). Os compostos monoaromáticos (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) são os mais tóxicos e solúveis encontrados em ambientes subterrâneos quando ocorrem derramamentos de gasolina.

Além da toxicidade dos compostos monoaromáticos, a presença do etanol nos combustíveis acrescenta ainda duas preocupações; uma, em relação ao aumento da solubilidade causado pelo efeito co-solvência, e outra em relação à preferência dos microorganismos pelo etanol na biodegradação na gasolina (CORSEUIL et al., 1998).

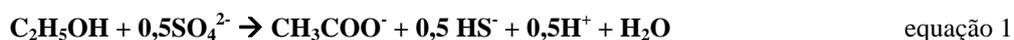
A biodegradação dos compostos tóxicos depende do esgotamento do etanol na área impactada, tornando-se relevante o estudo de tecnologias que acelerem a biodegradação do etanol a fim de evitar o efeito negativo do etanol em relação à degradação dos compostos monoaromáticos.

Diversas tecnologias ativas e passivas são utilizadas para recuperar áreas impactadas por derivados de petróleo. Dentre as tecnologias ativas, a bioestimulação anaeróbia baseia-se na utilização de receptores de elétrons alternativos (nitrito, ferro, sulfato) e consiste na introdução de nutrientes em forma de fertilizantes orgânicos ou inorgânicos num sistema contaminado, no qual se dá o aumento da população de microorganismos naturalmente presentes no solo contaminado. O uso de receptores de elétrons no meio impactado pode ser caracterizado pelo conceito de seqüência de potenciais de oxidação-redução, o qual auxilia a delimitação de zonas de oxidação-redução nas águas subterrâneas. Edmund et al.

(1984) propuseram uma seqüência de quatro intervalos: (1) oxigênio-nitrogênio, (2) ferro, (3) sulfato e (4) metanogênese. Os potenciais correspondentes a esses intervalos eram respectivamente: (+) 250 mV a (+) 100 mV, (+) 100 mV a zero mV, zero a (-) 200 mV e abaixo de (-) 200 mV.

Termodinamicamente, a energia livre de Gibbs identifica a ordem esperada para a ocorrência das reações, sendo que a reação que possui o  $\Delta G$  (W) mais negativo é a mais favorável. Assim, considerando o processo termodinâmico, a seqüência no consumo dos receptores de elétrons obedeceria à seguinte ordem:  $O_2 > NO_3^- > Fe^{3+} > SO_4^{2-} > CO_2$  (CHAPELLE, 2001).

Em caso de derramamento, o etanol é o substrato preferencial e sua transformação por meio da sulfato-redução ocorre com formação de sulfeto, acetato e gás carbônico, conforme as equações 1 e 2 para pH=7 (CHEN et al., 2008):



Após o esgotamento do etanol, terá lugar a biodegradação dos compostos monoaromáticos (**B**enzeno **T**olueno **E**tilbenzeno **X**ilenos), exemplificada na equação abaixo, pela oxidação do benzeno com formação de sulfeto e gás carbônico:



No trabalho de Mackay et al. (2006), num experimento controlado num posto de gasolina, o etanol foi injetado (200ml.min<sup>-1</sup>) juntamente com benzeno tolueno *o*-xileno (Bto-X) uma concentração média de 470 mg.L<sup>-1</sup>. O sulfato presente no aquífero foi utilizado para a biodegradação do etanol e a atenuação natural dos Bto-X em condições sulfato-redutoras foi influenciada negativamente.

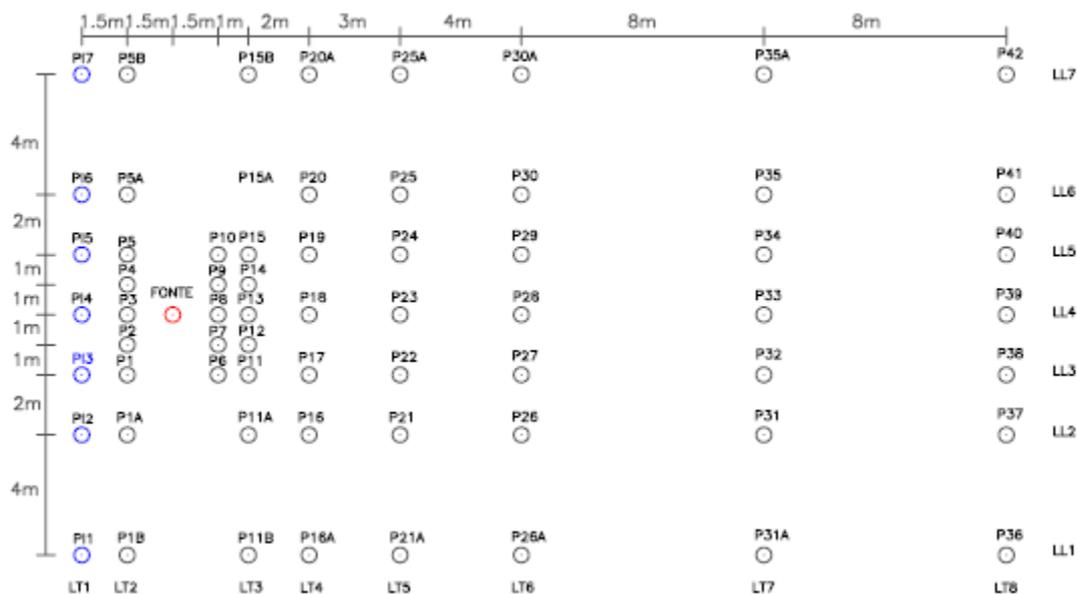
Dado o caráter inovador do combustível E10, ainda não existem pesquisas de campo sobre o processo de biodegradação deste combustível, em caso de derramamentos em águas subterrâneas. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a tecnologia de bioestimulação com uso de sulfato na biodegradação de áreas impactadas com a gasolina E10 (gasolina com 10% de etanol).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento da bioestimulação com sulfato é realizado em escala real, na Fazenda da Ressacada, propriedade da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis. A geologia regional é caracterizada por sedimentos arenosos, depositados num ambiente marinho costeiro. O clima do local é úmido mesotérmico, com precipitação média anual de 1530 mm. A temperatura média da água subterrânea é de 26°C no verão e 22°C no inverno. O solo subsuperficial é composto por areias quartzosas hidromórficas, intercalado por camadas pouco argilosas, com granulometria uniforme e teor de silte e argila menor que 5%. A profundidade média do lençol varia de 0,7 a 2,0 m e a velocidade da água subterrânea é aproximadamente 6 m.ano<sup>-1</sup>.

Para o experimento, foram instalados 64 poços multiníveis, dos quais sete são poços de injeção e um correspondente à fonte, numa área de 549 m<sup>2</sup> (30,5m de comprimento e 18m de largura). Os poços foram posicionados na direção do fluxo da água subterrânea e possuem profundidades de 2, 3, 4, 5 e 6 metros em relação à cota do terreno. A localização dos poços e as distâncias das linhas de monitoramento e de injeção em relação à fonte de contaminação estão apresentadas na Figura 1. A área experimental é caracterizada por baixas concentrações de sulfato e o sistema de injeção (Figura 2). de sulfato e hidróxido de sódio levou em consideração as características naturais dos aquíferos americanos, com concentração média de sulfato igual a 100 mg.L<sup>-1</sup> e pH em torno de 6. Considerando-se a vazão de 2,5m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> e a concentração de sulfato igual a 100 mg.L<sup>-1</sup>, a massa de sulfato necessária é da ordem de 250g por dia, perfazendo um total de 1750g semanais. Além disso, dado o pH ácido da área, variando entre 3,5 e 5, é necessária a correção constante do pH para um patamar que favoreça o processo microbiano.

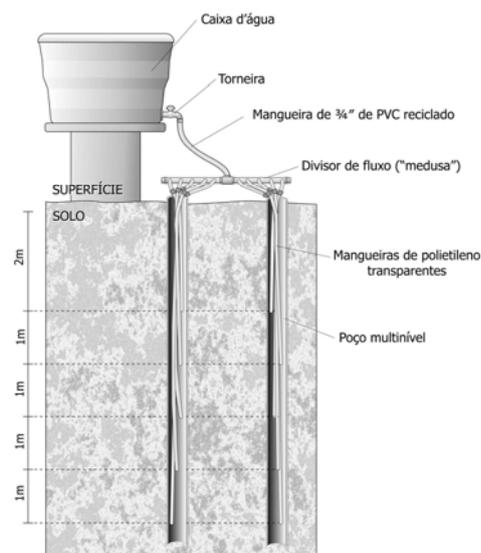
Assim, a partir da concentração molar (5,3x10<sup>-5</sup> mol.L<sup>-1</sup>) de hidróxido de sódio na água subterrânea, do volume (440m<sup>3</sup>) da área experimental e da porosidade efetiva da região (20%), calculou-se que a massa necessária de hidróxido de sódio para elevar o pH a 6 é de aproximadamente 940g. Essa quantidade foi dividida pelo número (8) de linhas verticais de poços da área (Figura 1) e obteve-se para a linha de injeção o valor aproximado de 120g de hidróxido de sódio. A injeção de sulfato (1750g) e hidróxido de sódio (120g) é realizada semanalmente na linha de injeção.



**Figura 1 – Mapa da área com linhas de poços de monitoramento, linha de injeção (○) e fonte (○).**

Os sete poços multiníveis da linha de injeção são injetados, simultaneamente, por gravidade através de um sistema de transporte que leva a solução do local da mistura (caixa d' água) até aos cinco níveis de cada poço, conforme exposto na Figura 2. O sistema de injeção contém quatro mangueiras que alimentam os sete poços com a solução de sulfato de sódio e hidróxido de sódio, sendo que a subdivisão das quatro mangueiras até aos cinco diferentes níveis de profundidade dá-se através de divisores de fluxo, denominados “medusas”.

Até a data da liberação controlada, foram realizadas três campanhas semanais de injeção com sulfato de sódio e hidróxido de sódio. Em maio de 2009 foram liberados, no nível do lençol freático, cerca de 100L de gasolina E10 (90L de gasolina e 10L de etanol) em uma área de 2m<sup>2</sup> e aproximadamente 1,60m de profundidade. Juntamente com o combustível, foi adicionada uma solução contendo 200g de sulfato de sódio, 18g de hidróxido de sódio e 3 kg de brometo de potássio utilizado como traçador. Como a liberação foi realizada na fonte, caracterizada como um poço, as quantidades de sulfato (1750g) e hidróxido de sódio (120g), as quais correspondem às injeções semanais, foram divididas pelo número de poços (7) da linha de injeção, perfazendo, para a fonte, um total de 250g e 18g de hidróxido de sódio.



**Figura 2 - Sistema de injeção**

Para a avaliação do processo de biorremediação, os seguintes parâmetros são analisados: etanol, metano, sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), brometo ( $\text{Br}^-$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), íon ferro (II), sulfeto, oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxidação-redução (POR), pH, e alcalinidade. As amostras dos compostos voláteis (BTEX, etanol e metano) são analisadas em um cromatógrafo a gás (HP modelo 6890 – série II) com Headspace Autosampler HP – estático (modelo 7694) equipado com detector por ionização em chama (FID). O método empregado para os compostos voláteis foram EPA 5021A combinado com o método EPA/8015D. Os limites de detecção para o etanol e metano foram 0,2 mg.L<sup>-1</sup> e 3µg.L<sup>-1</sup>.

Os ânions sulfato, brometo ( $\text{Br}^-$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) são analisados por cromatografia líquida (Dionex, modelo ICS – 1000), equipado com detector de condutividade iônica, e a coluna utilizada foi a AS22 (4x250 mm), empregando-se o método 300,0 - USEPA.

As análises de ferro (II) e sulfeto são conduzidas em espectrofotômetro HACH –DR/2500, seguindo o método 3500 - Fe D (método 1,10 fenantrolina) para o ferro (II) e o método 4500 – S2- D (método colorimétrico azul de metileno) para o sulfeto, conforme o Standard Methods - APHA. Para a determinação da alcalinidade utiliza-se o método titulométrico 2320B – APHA. Os demais parâmetros, oxigênio dissolvido, potencial de oxidação-redução e o pH na

água subterrânea são medidos em campo, através de um analisador de água Micropurge® Flow Cell, modelo MP20-1380.

As análises das amostras de água coletadas nas profundidades de 2, 3, 4, 5 e 6 metros, antes da liberação controlada, apresentaram os seguintes resultados (máximos – mínimos): temperatura entre 23 – 25°C, pH entre 3,64 – 5,17, POR entre 297 – 419 mV, oxigênio dissolvido entre 0,2 – 6,99 mg.L<sup>-1</sup>, nitrato entre 0,17 – 8,10 mg.L<sup>-1</sup>, sulfato entre 1,60 – 5,93 mg.L<sup>-1</sup>, sulfeto entre 0,04 – 36,00 µg.L<sup>-1</sup>, ferro (II) entre 0,01 – 1,00 mg.L<sup>-1</sup>, fosfato entre 0,05 -0,56 mg.L<sup>-1</sup>, metano menos de 0,01 mg.L<sup>-1</sup> e alcalinidade entre 0,00242 -0,08075 mg.CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS

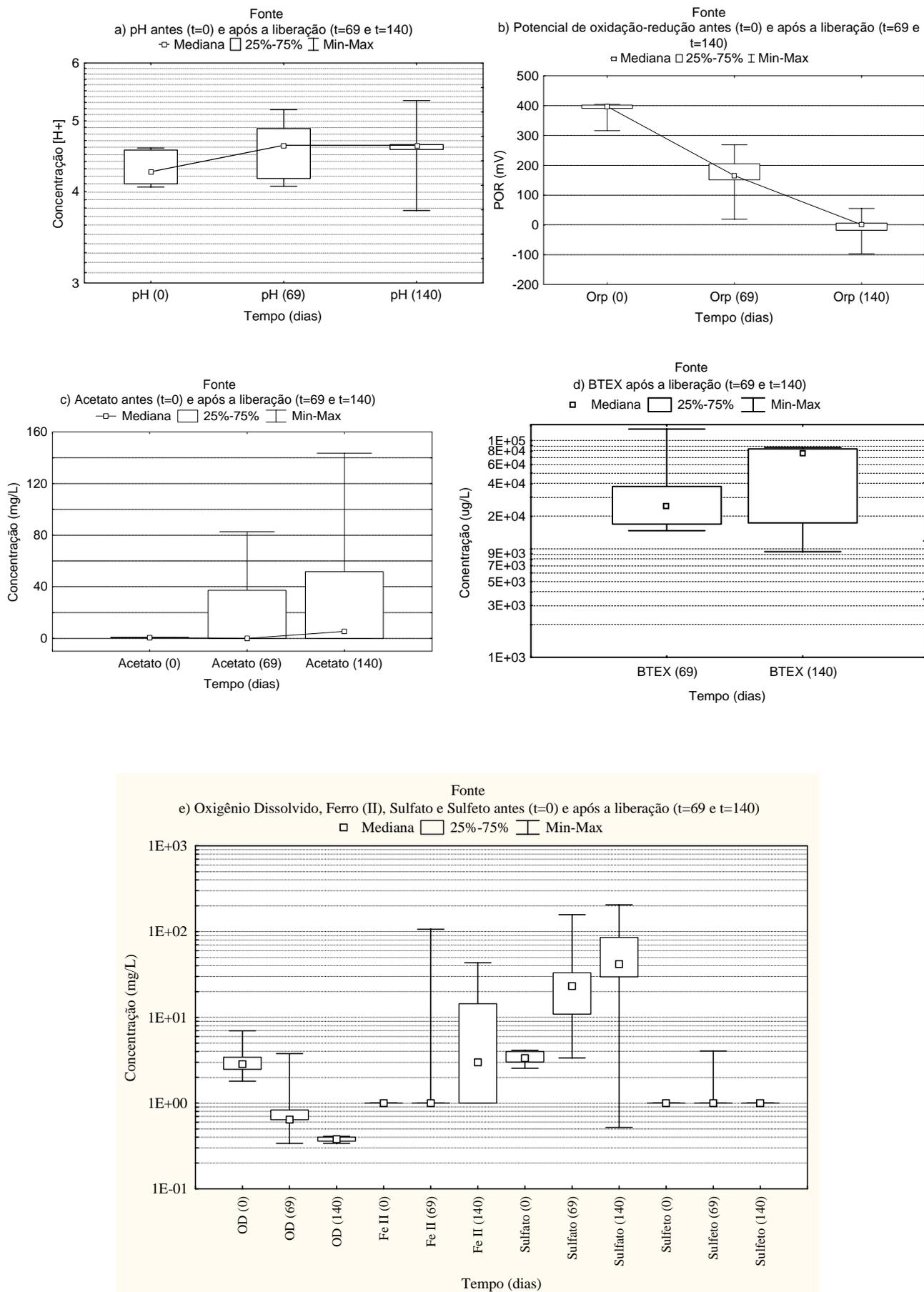
Aos 140 dias da liberação controlada da gasolina E10, após três campanhas de monitoramento (t=0, t=69 e t=140 dias) foi analisada a evolução da biodegradação do combustível E10 por sulfato-redução na fonte de contaminação, nos cinco diferentes níveis. Essa avaliação foi realizada por meio da comparação dos resultados dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea antes e após a liberação, como também pela variação na concentração dos compostos BTEX e etanol do combustível E10.

A variação da concentração do etanol e BTEX, assim como dos parâmetros físico-químicos se deu ao longo do tempo e por nível. Os diagramas de caixa (n=5) permitem a avaliação dos parâmetros ao longo do tempo (Figura 3) a partir da mediana (tendência central), sendo que a variação por nível é apresentada por meio dos gráficos expostos na Figura 4.

A Figura 3 apresenta diagramas de caixa dos cinco níveis da fonte para a variação do pH (Figura 3a), POR (Figura 3b), Acetato (Figura 3c), BTEX (Figura 3d) e receptores/subprodutos (OD, ferro II, sulfato, sulfeto – Figura 3e), etanol (Figura 3d) e BTEX (Figura 3e) para t=0, t=69 e t=140 dias. A injeção de hidróxido de sódio elevou o pH inicial (t=0), porém a transformação do etanol e a produção de ácidos orgânicos voláteis também teve influência sobre o pH aos 69 e 140 dias. A tendência central no período entre 69 e 140 dias se manteve (pH=4,5), porém constatou-se que o valor mínimo se reduziu de 4 para 3,8, possivelmente devido à formação dos ácidos no processo de biodegradação. (Figura 3a).

A redução constante do POR (Figura 3b) entre zero e 140 dias revela a passagem do processo aeróbio para o processo anaeróbio. Antes da liberação do combustível E10, o POR variava entre (+) 300 e (+) 400 mV, aos 69 dias, entre 19 e (+)269 mV e, aos (+) 140 dias, entre (-) 100 e (+) 50mV, sendo que a tendência central apresentou redução constante, atingindo o valor de (-) 97mV (t=140 dias). A presença do acetato (Figura 3c) é proveniente do processo de biodegradação do etanol, dado o caráter preferencial de sua biodegradação e a constatação que os compostos BTEX ainda se encontram em fase de liberação para o meio, conforme Figura 3d. A concentração máxima do acetato, entre 69 e 140 dias, se elevou de 83 para 144 mg.L<sup>-1</sup>, destacando a importância do processo em curso.

A biodegradação do etanol ocorreu devido à respiração aeróbia (redução da concentração de OD), à ferro-redução (aumento da concentração de ferro II) e a sulfato-redução (presença do sulfeto), conforme apresentado na Figura 3e. O processo aeróbio é curto, dado o rápido esgotamento do oxigênio no meio. Como o meio subterrâneo em estudo não contém significativa quantidade de nitrato (entre 0,17 – 8,10mg.L<sup>-1</sup>), a ferro-redução é o processo mais favorecido termodinamicamente após a exaustão do oxigênio. Devido ao excesso de sulfato no meio por meio da injeção, verifica-se a presença da sulfato-redução concomitantemente com a ferro-redução a partir dos 69 dias. A ocorrência da sulfato-redução pode ser constatada pelo acúmulo de sulfeto no meio. A presença de sulfeto no meio reduziu-se entre 69 e 140 dias, ainda que houvesse aumento na concentração de sulfato no mesmo período, sendo necessário, portanto, uma análise por nível a fim de verificar a biodisponibilidade do receptor de elétrons no meio. O potencial de oxidação-redução (Figura 3b) também apresentou redução entre 69 e 140 dias, tornando-se ainda mais redutor e podendo caracterizar o processo de sulfato-redução. É possível que o caráter instável do gás H<sub>2</sub>S tenha influenciado na sua detecção de forma significativa, com a formação e precipitação de sulfeto de ferro (ANDERSON e LOVLEY 2000).



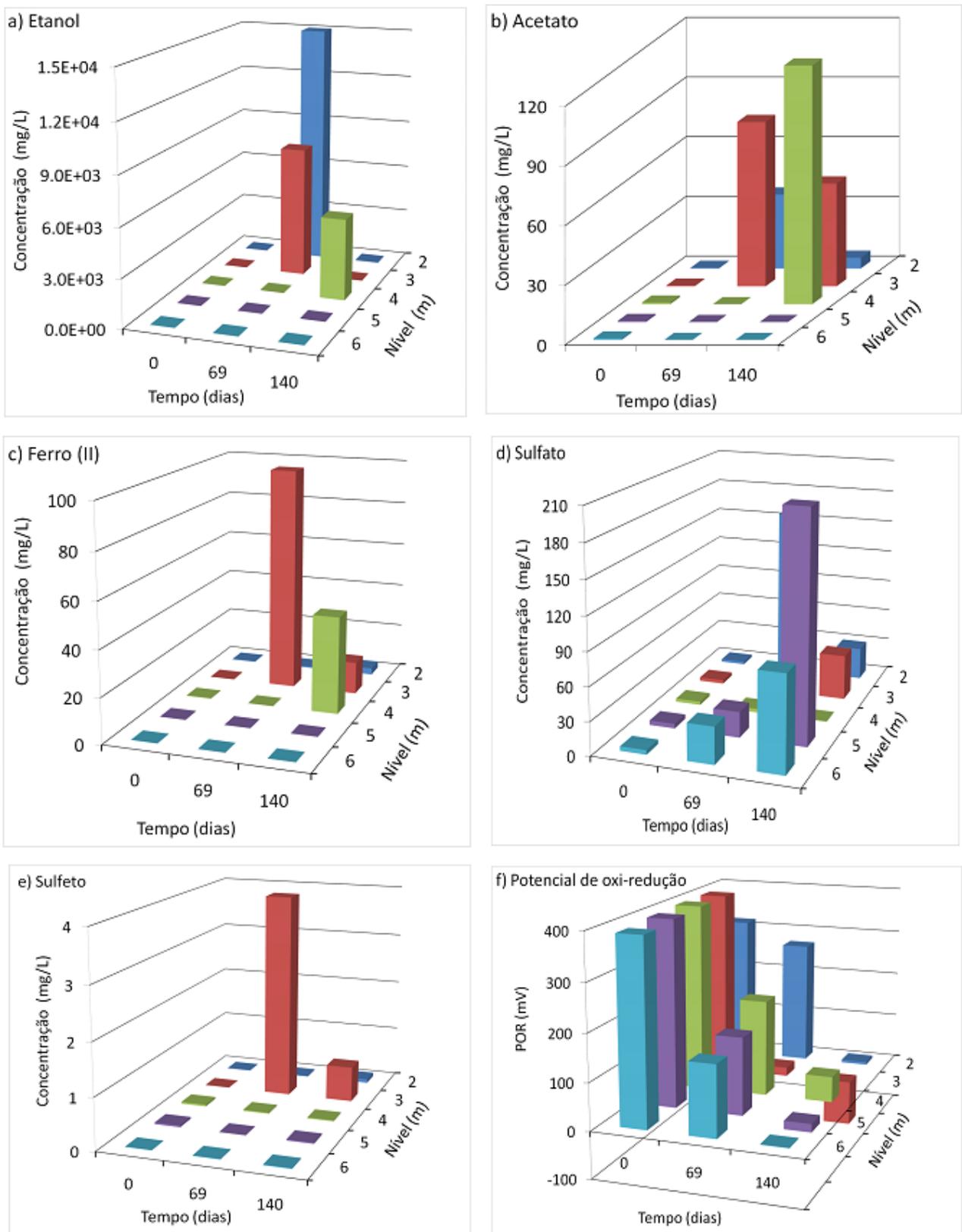
**Figura 3 - Variação dos receptores, subprodutos e parâmetros físico-químicos antes (t=0 dia) e após a liberação (t=69 e 140 dias) da gasolina E10: a) pH, b) POR, c) Acetato, d) BTEX e) receptores e subpodutos metabólicos.**

Para o entendimento do processo de transporte e transformação em relação às profundidades, a Figura 4 apresenta a evolução do etanol (a), os subprodutos da biodegradação (acetato (b), ferro II (c), sulfeto (e)), o receptor de elétrons (sulfato (d)) e POR (f). Os compostos BTEX não são apresentados dado que sua biodegradação ainda não teve início, conforme discutido anteriormente. Dos cinco níveis monitorados da fonte (2, 3, 4, 5 e 6), o etanol (a) e o subproduto acetato (b) se concentraram nos níveis 2, 3 e 4. Os subprodutos ferro II (c) e sulfeto (e) no nível 3, com concentrações significativas. A presença de sulfeto confirma a utilização do sulfato como receptor de elétrons na biodegradação do etanol com a produção de acetato, conforme a equação 1. A relação entre o POR e os processos anaeróbios, representados pela ferro- e sulfato-redução, por nível de profundidade, podem ser acompanhados nos gráficos 4c, 4e e 4f. Aos 69 e 140 dias, as maiores concentrações de ferro e sulfeto ocorreram no nível 3, onde o POR foi o mais baixo dos 5 níveis, reduzindo-se de (+) 19 mV para (-) 97mV neste período.

Em relação ao sulfato (Figura 4d), a avaliação de sua concentração deve considerar a constante injeção semanal de 250g na fonte. Isto significa que a concentração medida em um determinado tempo ( $t_n$ ) corresponde ao resultado do balanço de massa entre quantidade injetada e a quantidade consumida no período entre o tempo  $t_n$  e o imediatamente anterior ( $t_{n-1}$ ), podendo haver consumo de sulfato mesmo que a concentração medida no tempo ( $t_n$ ) seja superior à concentração medida no tempo antecedente ( $t_{n-1}$ ). Uma oscilação entre aumento e redução de concentração nos diversos níveis é esperada, pois reflete a alternância entre períodos com maior predominância do efeito da injeção (aumento de concentração) e períodos com maior predominância do efeito do consumo (redução). A identificação de consumo de sulfato pode ser verificada pela presença do sulfeto conforme equações 1 e 2, além do acetato, subproduto metabólico da biodegradação do etanol. Além disso, deve-se considerar que os resultados de experimentos de campo em meio subterrâneo são influenciados pela dinâmica do transporte advectivo e dispersivo do fluxo, pela hidrogeologia do meio e pelo efeito da pluviosidade.

Assim, os níveis 2 e 4 apresentaram no período entre 69 e 140 dias redução de concentração de sulfato, podendo significar naqueles níveis predominância do efeito do consumo sobre aquele da injeção, porém neste período não foi constatada a presença de sulfeto naqueles níveis (2 e 4) em concentrações significativas. Assim a variação na concentração de sulfato pode estar vinculada à dinâmica do transporte advectivo e dispersivo do fluxo subterrâneo, isto é, a sua migração à jusante da fonte e para os níveis inferiores. A presença predominante do sulfeto no nível 3 é um indicativo da utilização do sulfato presente naquele nível, ainda que a concentração de sulfato aos 69 dias ( $11 \text{ mg.L}^{-1}$ ) tenha sido inferior àquela dos 140 dias ( $42 \text{ mg.L}^{-1}$ ). As concentrações dos níveis 5 e 6 se elevaram entre 69 e 140 dias. O etanol, substrato preferencial, se situa nos níveis 2, 3 e 4, portanto, o aumento da concentração de sulfato nos níveis 5 e 6 se justificam pela ausência do processo de biodegradação nesses níveis, podendo-se considerar que nesses níveis só houve o efeito da injeção.

Sem a presença significativa de sulfeto ( $< 5 \text{ mg.L}^{-1}$ ) nos níveis monitorados da fonte até 140 dias e com a presença significativa de ferro II ( $> 40 \text{ mg.L}^{-1}$ ) ainda não é possível considerar a predominância da sulfato-redução no processo de biodegradação do etanol. Entre 69 e 140 dias, verificou-se redução na concentração máxima de ferro II nos níveis 2, 3 e 4 (Figura 4c). Caso essa tendência prevaleça nos próximos monitoramentos e a presença do acetato comprove a continuidade da biodegradação do etanol, é possível considerar a predominância da sulfato-redução no processo de biodegradação do etanol. Neste caso, prevalecendo concentrações reduzidas de sulfeto, seria importante investigar a possibilidade da precipitação de sulfeto de ferro (FeS).



**Figura 4 - Variação** da concentração do Etanol (a), Acetato (b), Ferro (c), Sulfato (d), Sulfeto (e), POR (f) por nível

■ Nível 2 ■ Nível 3 ■ Nível 4 ■ Nível 5 ■ Nível 6.

## CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a tecnologia de bioestimulação com uso de sulfato na biodegradação de áreas impactadas com a gasolina E10 (gasolina com 10% de etanol) foi realizada a liberação controlada de 100 L do combustível em meio subterrâneo com concomitância injeção semanal de sulfato e hidróxido de sódio.

A presença de acetato no meio, em concentrações elevadas, confirma o processo de biodegradação do etanol, substrato preferencial, do combustível E10. O processo anaeróbico de biodegradação (ferro-redução e sulfato-redução) iniciou-se 69 dias da liberação controlada, após rápido esgotamento do oxigênio dissolvido no meio. Aos 140 dias, na fonte de contaminação, ocorre a concomitância da ferro- e sulfato-redução, sendo que as concentrações de ferro II são elevadas e as concentrações de sulfeto baixas.

A utilização do sulfato como principal receptor de elétrons para o processo de biodegradação depende do processo termodinâmico e de sua biodisponibilidade nos locais onde se encontra o substrato preferencial. Ainda que haja excesso de sulfato na fonte, ele se encontra nos níveis mais profundos, distante da localização do substrato preferencial, que se situa nos níveis superiores. Alguns fatores como precipitação, heterogeneidade do solo, fluxo subterrâneo influenciam essa defasagem.

Devido ao incremento do etanol nos combustíveis automotores é fundamental a continuidade deste estudo para avaliação da tecnologia com uso do sulfato não só durante o processo da biodegradação do etanol, como também dos compostos BTEX.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18<sup>th</sup> edition. Washington D.C. 1992.
2. ANDERSON, R.T.;LOVLEY, D.R. Anaerobic bioremediation of benzene under sulfate-reducing conditions in a petroleum-contaminated aquifer. Environmental Science and Technology, v.34, n.11, p.2261-2266. 2000
3. BRASIL 2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria N° 143 de 27 de junho de 2007. Fixa em vinte e cinco por cento o percentual obrigatório da adição de álcool etílico anidro à gasolina e revoga a portaria N° 278, de 10 de novembro de 2006. **Lex: DOU** de 29.06.2007. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: dezembro 2009.
4. CETESB, COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.pdf>. Acesso em: junho de 2009
5. CHAPELLE, F.H. Groundwater microbiology and geochemistry. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 477p.
6. CHEN, Y. D.; BARKER, J. F.; GUI, L. A strategy for aromatic hydrocarbon bioremediation under anaerobic conditions and the impacts of ethanol: A microcosm study. Journal of Contaminant Hydrology, v.96, n.1-4, p.17-31, 2008.
7. CORSEUIL, H.X.; HUNT, G.S.; FERREIRA DOS SANTOS, R.C.F.; ALVAREZ, J.J. The influence of gasoline oxygenate ethanol on aerobic and BTX biodegradation. Water Research, v. 32, n. 7, p. 2065-2072, 1998.
8. EDMUNDS, W.M.; MILES, D.L.; COOK, J.M.A. Comparative study of sequential redox processes in the three British Aquifers, in: Eriksson, E. (ed.). Hydrochemical Balance of Freshwater Systems. Washington, D.C: IAHS – AISH International Association of Hydrogeological Sciences, 1984.Publ.150, 55-70.
9. UNITED STATES PROTECTION AGENCY (USEPA). National Quality Inventory. 1998 Report to Congress. Groundwater and Drinking Water Chapters. Groundwater Protection Program. Ref: EPA 816-R-00-013. Aug. 2000