

## VI-019 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS NÍVEIS DE ESTIRENO ORIUNDO DAS ATIVIDADES DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NOS MUNICÍPIOS DE JACOBINA E OUROLÂNDIA – BAHIA

**Michelle Cruz Costa Calhau<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Engenharia Ambiental Urbana pela Escola Politécnica (UFBA). Analista de Processos Tecnológicos do SENAI-Bahia.

**Lucas Neiva Lemos Vidal<sup>(2)</sup>**

Engenheiro de Segurança pela Escola de Engenharia Eletro-Mecânica da Bahia e Engenheiro Ambiental pela FTC – Faculdade de Tecnologia e Ciências. Coordenador de SSMA da FERBASA – Cia de Ferro Ligas da Bahia.

**Magda Beretta<sup>(3)</sup>**

Química e Mestre em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutora em Química Analítica Ambiental pela Universidade Federal da Bahia. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rodolfo B. Barros, Loteamento Parque Jockey Clube, 507 casa 01 - Aracuí – Lauro de Freitas - BA - CEP: 42700-000 - Brasil - Tel: (71) 3379-0830 - e-mail: mcalhau@gmail.com

<sup>(2)</sup> Rua Emília Couto, 274 B, Brotas. CEP: 40285-030 – Brasil – Tel: (71) 3645-8922 – email: lucas\_vidal82@yahoo.com.br.

<sup>(3)</sup>: Rua Aristides Novis, 2 – Federação – Salvador/Bahia

### RESUMO

O mármore Bege Bahia é uma rocha ornamental de formação calcária amplamente comercializada no Brasil, principalmente na construção civil, movelaria e decoração interna. Nos municípios de Ouro-lândia e Jacobina, localizados no semi-árido nordestino, estão presentes as maiores jazidas dessa rocha, sendo parte da produção beneficiada nos próprios municípios e imediações. Este estudo teve como objetivo avaliar a contaminação ambiental por monômeros de estireno, oriundo de resinas poliésteres utilizadas na atividade de beneficiamento do mármore Bege Bahia. As amostras pesquisadas foram os resíduos industriais, águas superficiais, sedimento, solo, organismos aquáticos e material particulado atmosférico. Os procedimentos de amostragem seguiram critérios definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e referências adotadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Para determinação das concentrações de estireno nas amostras coletadas, foi utilizando a técnica Cromatografia Gasosa Capilar acoplada a Espectrometria de Massas. Os resultados encontrados dos níveis de estireno em sua forma monomérica evidenciam a contaminação dos resíduos industriais em concentrações elevadas, bem como de águas superficiais. O estireno na forma monomérica não foi detectado nas amostras de solo, sedimento e biota, estando esse fato associado à sua natureza físico-química e as características ambientais da área de estudo. A contaminação das águas superficiais por estireno ocorre principalmente em função da inadequada disposição dos resíduos industriais gerados no processo de beneficiamento de mármore Bege Bahia, sendo estes depositados diretamente no ambiente, sem o devido tratamento prévio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rochas Ornamentais, Estireno, Bege Bahia, Avaliação Ambiental.

### INTRODUÇÃO

A Bahia é o terceiro maior produtor brasileiro de rochas ornamentais e único produtor do Mármore Bege Bahia, uma das rochas mais consumidas no Brasil, com vendas orientadas para o mercado interno, que representam cerca de 30% da produção baiana (Spínola *et al*, 2004). O mármore Bege Bahia é uma rocha ornamental calcária com ampla aceitação no mercado nacional, principalmente na construção civil.

A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais é subdividida em três grandes áreas ou segmentos: a mineração, responsável pela extração e lavra; o desdobramento, envolvendo serrarias de blocos e transformação de chapas (polimento e corte de ladrilhos), e o beneficiamento, representado pelas marmorarias, que realizam o acabamento e produção final (Bahia, 2004).

O município de Ourolândia, localizado no semi-árido nordestino, em uma região denominada “Piemonte da Chapada Diamantina”, tem como principal atividade econômica a extração do mármore Bege Bahia, sendo que algumas empresas também desenvolvem o beneficiamento nas proximidades da área de lavra. Em 2002, a Geoexplore cadastrou dez unidades beneficiadoras do Bege Bahia, sendo a atividade dominante a serragem e o polimento para a produção de placas brutas e/ou polidas e ladrilhos. Já no município de Jacobina, concentram-se empresas de beneficiamento do mármore, envolvendo a serragem, polimento e acabamento, bem como, a comercialização interna e escoamento dos produtos originados do Bege Bahia.

As serrarias têm no seu processo industrial o corte dos blocos de mármore feito em teares convencionais e diamantados, seguido da etapa de polimento realizado através de um equipamento que utiliza abrasivos à base de magnésio e resinoídes (Politriz) com a função de dar brilho e lustre ao material. Na etapa de polimento, devido à superfície irregular comum a esse tipo de minério, é utilizada uma resina à base de estireno com a função de fechar as imperfeições e os “poros” da rocha. A resina Poliéster Orto-Tereftálica Insaturada diluída em monômero de estireno, utilizada para o recobrimento das imperfeições, apresenta em sua composição entre 25 e 45% de monômeros de estireno que serve como um solvente e um reagente (Rueff, 2009).

A Ficha de Segurança (FISPQ) da resina poliéster utilizada alerta que além de ser um contaminante atmosférico, o estireno pode, em baixas concentrações, ser considerado perigoso para o biota aquática, embora existam controvérsias nos estudos realizados sob a ótica da saúde ocupacional em relação ao potencial toxicológico do estireno. Já no trabalho de Ghiselli e Jardim (2007) a resina de estireno é classificada como interferente endócrino<sup>1</sup>. A Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) caracteriza o estireno como sendo um líquido incolor, com um cheiro doce que evapora facilmente, podendo ser encontrado no ar, na água e no solo logo após sua liberação no ambiente. No ar, é rapidamente degradado, geralmente em um ou dois dias, evapora em solos rasos e águas superficiais e, em caso de permanência no solo ou na água podem ser degradados por bactérias ou outros microorganismos, não sendo para tanto, acumulado em animais (ATSDR).

Ao longo de toda a cadeia produtiva são gerados resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, que caracterizam processos industriais com infra-estrutura tecnológica ainda rudimentar. O rejeito gerado no processo de corte e beneficiamento de rochas ornamentais, em particular, do mármore Bege Bahia, são essencialmente os restos de blocos e chapas danificadas e, a lama residual gerada na operação dos equipamentos de corte e polimento. Nas etapas de desbaste e lixamento, correspondendo a fase a seco, são geradas partículas totais em suspensão, e emitidas à atmosfera em diferentes diâmetros (Costa-Calhau, 2010).

Os impactos associados às atividades desenvolvidas pelo segmento de rochas ornamentais em Ourolândia e Jacobina podem ter sua origem vinculada à disposição inadequada de rejeitos do beneficiamento. Os resíduos gerados pelo processo industrial das serrarias, quando em contato direto com os corpos hídricos, podem conferir ao mesmo, dureza elevada e contaminação por substâncias e compostos químicos presentes nos insumos utilizados, a exemplo das resinas e catalisadores.

A maioria das serrarias e marmorarias presentes na região dispõe seus resíduos, em particular a lama residual, diretamente no ambiente, sem qualquer tipo de proteção. A lama residual, sendo um resíduo oriundo do processo de polimento do mármore, apresenta contaminação por estireno, devido à utilização nessa etapa de resinas à base de poliéster (Costa-Calhau, 2007).

Além da emissão do material particulado (MP) dentro da área de produção, existe a dispersão deste MP para as áreas adjacentes à indústria, atingindo a população circunvizinha, com possíveis danos à saúde dos moradores. Os particulados gerados podem também ser dispersos a grandes distâncias atingindo cursos de água que abastecem os municípios próximos.

Esse estudo teve como foco avaliar os níveis de contaminação por estireno nos resíduos sólidos industriais gerados no processo de beneficiamento de mármore Bege Bahia, compartimentos ambientais e nos organismos aquáticos (peixes), tendo como área de estudo o arranjo produtivo de rochas ornamentais localizado nos municípios de Jacobina e Ourolândia.

<sup>1</sup> Interferente endócrino: trata-se de uma substância química que, mesmo presente em concentração extremamente baixa, é capaz de interferir no funcionamento natural do sistema endócrino causando câncer, prejudicando os sistemas reprodutivos e causando outros efeitos adversos (Ghiselli, 2007)

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a contaminação ambiental por monômeros de estireno adotou-se o método de pesquisa descritiva investigativa, através da caracterização de aspectos do processo industrial, quantificação das concentrações nas diferentes amostras e investigação dos possíveis impactos associados à presença do estireno no ambiente.

A rede amostral definida para avaliar a contaminação por estireno no ambiente levou em consideração os resíduos industriais gerados: lama e efluente líquido oriundo do processo, além de amostras de solo, água superficial, peixe e material particulado atmosférico.

Amostras de resíduos sólidos foram coletadas nas áreas industriais destinadas à disposição denominada de “bota-fora” de duas empresas do segmento de rochas ornamentais, localizadas nos municípios de Jacobina e Ouro-lândia. Os procedimentos de amostragem e condicionamento adotados para a coleta de resíduos sólidos seguiram os critérios especificados na Norma Brasileira para Amostragem de Resíduos Sólidos ABNT NBR 10.007:2004. No que se refere à amostragem de efluente líquido industrial, foram coletadas amostras nos tanques de decantação localizados das referidas empresas. As amostras obtidas foram coletadas e acondicionadas conforme especificado por CETESB (1988), que trata das técnicas de amostragem de amostras líquidas.

Foram coletados amostras de água superficial e sedimento em 10 (dez) pontos situados à montante e jusante das empresas de beneficiamento de mármore, envolvendo os municípios de Jacobina e Ouro-lândia. A escolha dos pontos de amostragem considerou as distâncias requeridas para a mistura adequada dos lançamentos industriais no corpo receptor e o grau de assimilação e dispersão ao longo do trecho em estudo. Foram realizadas três campanhas de amostragem, sendo uma na estação seca (fevereiro de 2009) e duas na estação chuvosa (junho e agosto de 2009). As amostras obtidas foram coletadas e acondicionadas de acordo especificação da Norma Brasileira de Preservação e amostragem de corpos receptores ABNT NBR 9.898:1987 CETESB (2008).

As amostras de peixes quatro espécies de peixe com importância comercial foram coletadas na Barragem de Ouro-lândia, utilizando uma rede de pesca. Após a captura os peixes separados em função da espécie e mantidos sob refrigeração a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  e utilizando isopor e gelo para conservação até a chegada no laboratório.

Foram coletadas amostras de material particulado emitidos nas etapas de acabamento, no processo industrial de uma marmoraria, localizada no município de Jacobina. Para a amostragem foi utilizado o Amostrador de Grandes Volumes – AGV (Hi-Vol), cujo princípio se baseia na aspiração de determinada quantidade de ar ambiente através de um filtro, durante o período de 24h.

Foram realizadas seis campanhas para amostragem de resíduos industriais sólidos e líquidos, águas superficiais e sedimento nos rios Itapicuru e Salitre, solo e biota aquática. As campanhas foram realizadas nos meses de junho e setembro de 2008 e, fevereiro, março, junho e agosto de 2009. O programa de amostragem do material particulado em março de 2009, teve duração de quatro dias, sendo extraído dois filtros por dia, um pela manhã e outro pela noite.

Todas as análises foram realizadas nos laboratório do SENAI/CETIND, utilizando a técnica Cromatografia Gasosa Capilar acoplada a Espectrometria de Massas (CG/MS), tendo como documentos de referencia EPA METHOD 524.2 (1995) e 8260C (1996).

Os pontos de coleta e as matrizes definidas para a amostragem estão apresentados no quadro 1 a seguir.

**Quadro 1: Rede amostral**

| MATRIZ  | CÓDIGO DO PONTO AMOSTRAL        | DESCRIÇÃO DO PONTO AMOSTRAL  | COORDENADAS GEOGRÁFICAS            | PERÍODO DE COLETA                              |
|---|---------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Resíduo Industrial Sólido (lama abrasiva/pó de mármore) | Empresa 01 - Serraria           | Área destinada a serragem dos blocos de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.                      |                                    | Junho/2008                                     |
|   | Empresa 01 Polimento            | Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.                    |                                    | Junho/2008                                     |
|   | Empresa 02 Polimento            | Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ourulândia. |                                    | Junho/2008 e Setembro/2008                     |
|   | Empresa 03 Polimento            | Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área rural do município de Ourulândia.                   |                                    | Junho/2008                                     |
|   | Empresa 04 Extração             | Área destinada a extração de blocos de mármore da empresa (pedreira), localizada na área rural do município de Ourulândia.           |                                    | Setembro/2008                                  |
|   | Empresa 01 - R1, R2 e R3        | Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área urbana do município de Jacobina.                                  | 11° 17' 15.9"S<br>40° 53' 92.9"W   | Março/2009                                     |
|   | Empresa 02 - R1, R2 e R3        | Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ourulândia.               |                                    | Agosto/2009                                    |
| Efluente Líquido  | Empresa 01                      | Empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada na área urbana do município de Jacobina.                                  | 11° 17' 15.9" S<br>40° 53' 92.9" W | Junho/2008;<br>Junho/2009 e<br>Agosto/2009     |
|   | Empresa 02                      | Empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ourulândia.               |                                    | Junho/2008;<br>Junho/2009 e<br>Agosto/2009     |
| Material Particulado                                    | PT 01 Empresa                   | Área destinada ao polimento das chapas de mármore da empresa, localizada na área urbana do município de Jacobina.                    | 11,17164S<br>40,53920W             | Março/2009                                     |
|   | PT 02 Montante Empresa          | À montante da empresa - Hotel Serra do Ouro  | 11,17669S<br>40,51189W             |  |
|   | PT 03 Jusante Empresa           | À jusante da empresa - Hotel Serra do Ouro   | 11,16936S<br>40,53896W             |  |
| Água Superficial e sedimento                            | PT 01 - Empresa 1               | Afluente do rio Itapicuru - Captação de água localizada na área industrial da empresa 01, localizada em Jacobina                     | 11° 17' 15.9"S<br>40° 53' 92.9"W   | Fevereiro/2009;<br>Junho/2009 e<br>agosto/2009 |
|   | PT 02 Montante empresa 1 (100m) | Afluente do rio Itapicuru - 100 m à montante da empresa 01   | 11° 16' 99.2" S<br>40° 54' 10.8" W |  |
|   | PT 03 Montante empresa 1 (200m) | Afluente do rio Itapicuru - 200 m à montante da empresa 01   | 11° 16' 35.0" S<br>40° 53' 86.9" W |  |
|   | PT 04 Jusante empresa 1 (100m)  | Afluente do rio Itapicuru - 100 m à jusante da empresa 01  | 11° 17' 58.4" S<br>40° 48' 18.7" W |  |
|   | PT 05 Jusante empresa 1 (200m)  | Afluente do rio Itapicuru - 200 m à jusante da empresa 01  | 11° 17' 59.4" S<br>40° 48' 19.3" W |  |
|   | PT 06 Barragem Ourulândia       | Rio Salitre - Barragem de Ourulândia (ponte)   | 10° 97598 S<br>41° 08604 W         |  |
|   | PT 07 Montante à Barragem       | Rio Salitre - 200 m à montante da Barragem de Ourulândia   | 10° 98083 S<br>41° 08833 W         |  |
|   | PT 08 Poço Verde                | Rio Salitre - Poço Verde   | 11° 00243 S<br>41° 07595 W         |  |
| Solo  | Empresa 01                      | Área industrial da empresa 01, localizada na área urbana do município de Jacobina.   |                                    | Junho/2008                                     |
|   | Empresa 01 - S1, S2 e S3        | Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área urbana do município de Jacobina.                                  | 11° 17' 15.9"S<br>40° 53' 92.9"W   | Março/2009 e<br>Agosto/2009                    |
|   | Empresa 02                      | Área industrial da empresa 02, localizada na zona rural entre os municípios de Jacobina e Ourulândia.                                |                                    | Junho/2008 e<br>Junho/2009                     |
|   | Empresa 02 - S1, S2 e S3        | Área de bota fora da empresa de beneficiamento, localizada na área rural entre os municípios de Jacobina e Ourulândia.               |                                    | Março/2009 e<br>Agosto/2009                    |
| Biota   | PT 01                           | Rio Salitre - Barragem de Ourulândia (ponte)   | 10° 97598 S<br>41° 08604 W         | Junho/2009                                     |

## RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir das análises para determinação dos níveis de estireno em sua forma monomérica, apontam para a contaminação dos resíduos industriais em concentrações elevadas, bem como a contaminação das águas superficiais. A tabela 1 abaixo apresenta os limites mínimos e máximos nos diversos compartimentos ambientais analisados.

**Tabela 1: Concentrações de estireno nos diversos compartimentos ambientais analisados.**

| MATRIZ  | PONTO AMOSTRAL                       | LIMITE INFERIOR / LIMITE SUPERIOR |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Lama abrasiva e pó de mármore das atividades de polimento, serraria, extração | Empresas 1, 2, 3, 4                  | 13 – 5470 $\mu\text{g.kg}^{-1}$   |
| Resíduo sólido do bota fora   | Empresas 1 e 2                       | 12 – 485 $\mu\text{g.kg}^{-1}$    |
| Efluente líquido  | Empresas 1 e 2                       | 6,1 – 2080 $\mu\text{g.L}^{-1}$   |
| Material Particulado Atmosférico  | Empresa 1                            | 0,8 – 9,2 $\text{ngm}^{-3}$       |
| Água superficial  | Afluente Rio Itapicuru e Rio Salitre | 0,1 – 4,8 $\mu\text{g.L}^{-1}$    |
| Sedimento   | Afluente Rio Itapicuru e Rio Salitre | < 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$       |
| Biota   | Afluente Rio Itapicuru e Rio Salitre | < 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$       |
| Solo  | Proximidade das empresas             | < 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$       |

A partir dos resultados apresentados, verificou-se alta concentração de estireno na massa bruta e no lixiviado. Embora a NBR 10004 não especifique limites para estireno e, considerando os resultados obtidos, podemos inferir que as altas concentrações de estireno podem lixiviar para o ambiente em uma eventual disposição inadequada.

Os resultados obtidos apontam para a contaminação do efluente líquido por monômeros de estireno, em concentrações que variam de acordo volume de resina utilizada no processo de beneficiamento. No que se refere às condições e padrões de lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece que o valor máximo de estireno permitido na composição de efluentes líquidos e corpos receptores é de 20  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , sendo que das 6 amostras analisadas 3 estavam acima desta limite.

Das amostras avaliadas, a presença de monômeros de estireno foi detectada apenas nas amostras de material particulado obtidas dos filtros coletados na área industrial. Os pontos à montante e jusante da empresa tiveram valores abaixo do limite de detecção do método. As maiores concentrações de estireno foram detectadas nos filtros correspondentes a amostragem durante o dia, traduzindo a maior geração nesse período de material particulado contaminado por esse químico. Quando na atmosfera, o estireno reage rapidamente com vários compostos, incluindo o ozônio, podendo ainda ser degradado na presença de NOx ou da luz solar (U.S. EPA, 2010) e durante as etapas do beneficiamento de mármore onde ocorre a laminação (polimento) e a cura (secagem), cerca de 10% do estireno pode evaporar para o ar, no local de trabalho (IARC, 1994).

Apesar da contaminação dos resíduos industriais, principalmente a lama residual e pó de mármore, o composto estireno não foi detectado, acima da concentração de 0,1  $\mu\text{g/kg}$ , nas amostras de solo coletadas até a profundidade de 50 cm, nas áreas de “bota-fora” das empresas de beneficiamento do mármore Bege Bahia.

Apesar da contaminação de resíduos industriais e, considerando a disposição direta desses no solo, a não detecção do estireno nesse compartimento pode também estar associado ao baixo teor de matéria orgânica. Segundo Mendonça et al. (2009) quanto maior o conteúdo de matéria orgânica, maior a capacidade de infiltração do solo, no caso da área de estudo a compactação na superfície e o baixo teor de material orgânico, favorecem a redução da aeração e capacidade de infiltração, dificultando a movimentação da água no perfil do solo e a exposição desse compartimento ao contaminante. Com a redução da infiltração, aumenta o escoamento superficial e o tempo de permanência da água na camada superficial do solo, no qual a evaporação é mais intensa devido à incidência direta dos raios solares na superfície do solo desnudado (Mendonça et al 2009).

Um outro fator relevante para justificar a ausência de estireno em concentrações detectáveis é a eliminação desse contaminante através de biodegradação (U. S. EPA, 2010). Micróbios isolados de solo do aterro 95%



degradam o estireno presente em 16 semanas (Howard 1989 apud U. S. EPA, 1984). Os pesquisadores também detectaram a rápida mineralização do estireno no esgoto, na porção mineral e orgânica do solo neutro (pH 7,23) e, em menores taxas nas águas subterrâneas e de lagos, sendo as taxas mais baixas registradas no sedimento de aquíferos, solos encharcados e porções minerais ácidas do solo (pH 4,87). Não houve mineralização no solo estéril e, embora uma alta porcentagem de estireno tenha sido absorvida, isso não teve efeito sobre a degradação do estireno. A porcentagem de estireno mineralizado por hora diminuiu com a redução da concentração de químico na água do lago e areia do aquífero, sugerindo que um limiar de concentração para mineralização pode existir nesses ambientes. Nos outros solos, a taxa de mineralização foi diretamente proporcional à concentração nas concentrações de estireno abaixo de  $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , embora tenha sido não-linear em concentrações acima deste, sugerindo que pode não haver limiar de concentração nestas condições. A falta de qualquer mineralização em solo estéril mostrou que a repartição de estireno foi realizada por micro-organismos.

O estireno foi detectado, apenas no período seco (fevereiro) nas amostras de água superficial dos corpos hídricos presentes na área de estudo, pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Itapicuru e Salitre, respectivamente localizados nos municípios de Jacobina e Ouro-lândia. As concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pelo padrão de qualidade para águas superficiais, definido pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005. No que se refere aos efeitos ecotoxicológicos, as concentrações de estireno encontrado nas amostras de água superficial estão abaixo dos níveis de tolerância que conferem toxicidade aos organismos aquáticos. O destino do estireno no ambiente tem sido estudado por Fu e Alexander (1992), que descobriram uma variação do grau de volatilização nos diferentes ambientes, com 50% sendo perdido dentro de três horas em camadas superficiais da água de lagos. Na água, o estireno volatiliza rapidamente da superfície da água com meia-vida estimada de um rio ou lagoa de 0,6 dias e 13 dias, respectivamente (U. S. EPA, 2010). O meio tempo de evaporação do estireno na água, à profundidade de 1 metro, é estimada que ocorra em aproximadamente 6 horas (WHO, 2000).

Mesmo estando presente nas amostras de águas superficiais dos corpos hídricos estudados e, podendo ser removido das águas por adsorção solos e sedimentos (EPA, 2010), o composto estireno não foi detectado, acima da concentração de  $0,1 \text{ } \mu\text{g.kg}$ , nas amostras de sedimento obtidas nos mesmos pontos de amostragem de água nos rios Itapicuru e Salitre.

O composto estireno não foi detectado nas vísceras e músculos das amostras de peixes de 04 espécies coletadas na Barragem de Ouro-lândia. Com base no fator de bioconcentração do estireno no peixe de 13,5 e do índice de solubilidade desse químico em água (EPA, 2010), não é provável que o mesmo acumule-se nos organismos aquáticos (Howard 1989).

## CONCLUSÕES

Os monômeros de estireno presentes na resina utilizada com a finalidade de preencher as imperfeições da rocha e dar brilho são incorporados aos resíduos gerados no processo industrial e à água superficial em função da inadequada disposição no ambiente. Nos resíduos a contaminação por monômeros de estireno se dá em elevadas concentrações, enquanto que nas águas superficiais, a permanência é regida pela rápida volatilização característica desse químico. A curta permanência do estireno nas águas superficiais associada às propriedades físico-química do contaminante e a dinâmica dos compartimentos ambientais pode estar correlacionada à ausência desse químico no sedimento e em peixes, confirmando assim seu caráter de improvável bioacumulativo em organismos aquático.

No que se refere à contaminação atmosférica, foi detectado concentrações de estireno na forma monomérica, configurando a contaminação desse compartimento ambiental, com possibilidade de dissipação deste composto através da ação dos ventos, incluindo contaminação do solo e águas superficiais, e ainda trazendo riscos à saúde dos trabalhadores a partir da inalação e assimilação do material contaminado.

Conclui-se nesse estudo que o estireno, quando em contato com ambiente, tem seu grau de dispersão e incorporação associado à sua concentração, as propriedades físico-químicas e as características dos diferentes compartimentos ambientais.

Considerando as altas concentrações do estireno nos resíduos sólidos industriais faz-se necessário a implantação de um Programa de Produção mais Limpa no segmento, visando a princípio a redução do volume de resíduo gerado, bem como a reciclagem e aproveitamento, e, em longo prazo, estudos para identificação ou desenvolvimento de resinas que possam substituir a resina poliéster garantindo assim a eliminação na fonte de contaminação, com foco na prevenção da poluição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
\_\_\_\_\_. NBR 9898: Preservação e amostragem de corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.  
\_\_\_\_\_. NBR 10005: Lixiviação de resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.  
\_\_\_\_\_. NBR 9547: Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente - Determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador de Grande Volume. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.  
\_\_\_\_\_. NBR 10007: Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.  
\_\_\_\_\_. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
2. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Estireno (*Styrene*). Disponível em: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts53.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts53.html). Acesso em: maio de 2011
3. BAHIA. Secretaria da Indústria Comércio e Mineração do Estado da Bahia – SICM. Superintendência de Indústria e Mineração – SIM. Coordenação de Mineração – COMIN. Marmorarias do Estado da Bahia: caracterização técnica, diagnóstico operacional e cadastro. Série Estudos Técnicos de Geologia Mineração e Tecnologia Mineral, n.1. Salvador: SICM/COMIN, 2004. 72 p.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília. Diário Oficial da União de 18 de março de 2005.
5. [CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo: CETESB, 1988. 150p.
6. [CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Capítulo VI - Investigação confirmatória, procedimentos de amostragem do solo. Atualizado em Outubro de 2001. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/manual.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp). Acessado em: fevereiro de 2008.
7. [CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Informação de Produto Químico: Estireno. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=ESTIRENO](http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=ESTIRENO). Acesso em: fevereiro de 2008
8. COSTA-CALHAU, M.C. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – Empresa: Travertinos da Bahia. Lauro de Freitas: SENAI-CETIND, 2007. 64p.
9. COSTA-CALHAU, M.C. Avaliação da contaminação ambiental por estireno oriundo de resinas utilizadas nas atividades de beneficiamento de rochas ornamentais nos municípios de Jacobina e Ouro-lândia – Bahia. Dissertação de Mestrado. MEAU/UFBA, 2010.
10. FU, M.H.; ALEXANDER, M. Biodegradation of styrene in samples of natural environments. Environmental Science and Technology, n.26, p.1540-1544, 1992.
11. GEOEXPLORE Consultoria e Serviços LTDA. Investigação geológica e ambiental dos depósitos de áreas de ocorrências do mármore Bege Bahia, na região situada entre os municípios de Ouro-lândia, Jacobina, e Campo Formoso. Salvador: CBPM/COMIN, 2002. 135p.
12. GHISELLI, G. & JARDIM, W.F. Interferentes endócrinos no ambiente. Química Nova, vol.30, nº.3. São Paulo, 2007
13. HOWARD, P.H. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Vol. I, Large Production and Priority Pollutants. Lewis Publishers, p. 490–498, 1989.
14. [IARC] International Agency for Research on Cancer. Some industrial chemicals. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, vol. 60. Lyon: 1994.
15. MENDONÇA, L.A.R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. Eng. Sanit. Ambient., v.14, n.1, p.89-98, 2009.
16. RUEFF, J. et al. Genetic effects and biotoxicity monitoring of occupational styrene exposure. Clinica Chimica Acta, n.399, p.8–23, 2009.
17. SPÍNOLA, V. et al. A indústria de rochas ornamentais. Desenharia – Agência de Fomento do estado da Bahia: Estudo de Mercado 02/04, 2004.

18. [U. S. EPA] United States Environmental Protection Agency. Pollution Prevention and Toxics: OPPT Chemical Fact Sheets. (Styrene). Fact Sheet: Support Document (CAS No. 100-42-5). Disponível em: <http://www.epa.gov/chemfact/styre-sd.txt>. Acesso em: fevereiro de 2010.
19. [WHO] World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. Regional Office for Europe second edition. WHO regional publications. European series, n. 91. Copenhagen: 2000. Disponível: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>. Acesso em: dezembro de 2009.