

Aproveitamento de Resíduos Sólidos de Estação de Tratamento de Efluente de Indústria de Revestimentos Cerâmico para a Alcalinização de Efluentes Gerados em Lavadores de Gases

Rodrigo da Silva Barchinski^a, Reginaldo Geremias^{b*}

^aDepartamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

^bUniversidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Curitibanos, Rod. Ulysses Gaboardi, Km 3, CEP 89520-000, Curitibanos, SC, Brasil

*e-mail: reginaldogeremias@gmail.com

Resumo: O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o emprego de resíduo sólido gerados em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de indústria de revestimentos cerâmico para a alcalinização de efluentes provenientes de lavadores de gases. Para tanto, amostras de resíduos sólidos foram coletadas e classificadas de acordo com a norma NBR 10004 da ABNT. Os resíduos foram submetidos à calcinação para posterior utilização em ensaios de alcalinização de efluentes de lavadores de gases. Efluentes provenientes de lavadores de gases foram tratados com o resíduo calcinado, sendo o pH monitorado para a avaliação do potencial de alcalinização. Os resultados obtidos permitem demonstrar que a concentração de alumínio ($2,28 \text{ mg.L}^{-1}$), ferro ($5,18 \text{ mg.L}^{-1}$), sódio (5680 mg.L^{-1}) e sulfato (1366 mg.L^{-1}) presentes nos resíduos sólidos estiveram acima do limite máximo permitido pela legislação ($\text{Al} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{Fe} = 0,3 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{Na} = 200 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{SO}_4^{2-} = 250 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo os mesmos classificados como Resíduo Classe II A – Não inerte. Os ensaios de alcalinização revelaram que os resíduos sólidos calcinados foram capazes de elevar o pH do efluente de lavadores de gases para valores adequados ao seu reaproveitamento no processo (pH = 7,6 para pH = 9,1). A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os resíduos gerados na ETE apresentam potencial contaminante e que estes resíduos submetidos à calcinação poderiam ser utilizados como material alternativo para o processo de alcalinização de efluentes de lavadores de gases, contribuindo para o seu reuso e conseqüente preservação do meio ambiente e redução dos custos de sua deposição em aterros sanitários controlados.

Palavras-chave: *resíduos sólidos de ETE, alcalinização de efluentes de lavadores de gás, preservação meio ambiente, redução de custos.*

1. Introdução

A indústria de revestimento cerâmico é uma das principais atividades econômicas da região sul do Estado de Santa Catarina^{1,2}. Entretanto, durante as etapas de produção são gerados resíduos sólidos, líquidos e gasosos, os quais podem contaminar o meio ambiente e promover efeitos tóxicos em sistemas biológicos^{3,4}.

Dentre estas etapas encontra-se a queima de carvão mineral usado como combustível na fornalha para a atomização da barbotina, na qual pode promover a geração de poluentes, tais como CO_2 , Cl, F, CO, SiO_2 , Al_2O_3 , SO_x e carbono fixo³⁻⁵.

Para minimizar as emissões destes contaminantes têm-se utilizado sistemas de lavadores de gases. Estes lavadores são equipamentos que utilizam a ação de lavagem por impactação inercial para remoção de particulados e de contaminantes gasosos. O material particulado e os gases gerados na emissão atmosférica são coletados pelo contato direto a um líquido lavador. Existem vários tipos de lavador de gases, entre os quais estão o lavador de ar convencional (*air washer*), lavador tipo torre com enchimento (*scrubber*), ciclone úmido, ciclone úmido com ventilador, separador úmido tipo orifício, precipitador dinâmico tipo úmido e lavador de gases venturidoro⁶⁻⁸.

Na lavagem por via úmida (*Jet Scrubber*), os gases e materiais particulados são captados por exaustor-ventilador e encaminhados até o lavador de gases que, através do contato com o líquido lavador alcalino, há a adsorção de material particulado e neutralização dos gases ácidos. Neste processo, são gerados efluentes que, posteriormente, são submetidos ao tratamento em Estação de

Tratamento de Efluentes (ETE). Em geral, o tratamento em ETE consiste na etapa de alcalinização dos efluentes para valores próximos a pH = 10 com conseqüente coagulação e processo de floculação promovida pelo uso de polímeros. Os flocos formados são drenados para o tanque de decantação e posteriormente o decantado é bombeado ao filtro prensa para serem filtrados, dando origem às placas de resíduos sólidos. Tanto a água descartada pelo filtro prensa, quanto à sobrenadante dos tanques de decantação são direcionadas ao tanque de água tratada para ser reutilizada no processo de origem. As placas de resíduos sólidos podem ser potencialmente tóxicas e, desta forma, faz-se necessário a caracterização das mesmas para conhecer suas propriedades químicas e seu possível potencial poluidor, com vistas a conferir um destino adequado às mesmas. Para este propósito, pode-se propor testes de solubilização e lixiviação das placas para a sua classificação conforme preconizado pelas normas da ABNT⁹⁻¹⁰.

A busca de alternativas de aproveitamento de resíduos industriais contribui significativamente para sua valorização e conseqüente minimização dos seus efeitos sobre o meio ambiente. Trabalhos na literatura têm descrito o uso de óxidos de metais obtidos por calcinação de resíduos industriais para a elevação do pH de efluentes ácidos¹¹. Neste contexto, um dos destinos alternativos das placas de resíduos sólidos gerados no processo cerâmico poderia ser a sua calcinação e posterior aproveitamento na etapa de alcalinização do efluente gerado no lavador de gases.

Partindo destes pressupostos é que o presente trabalho propôs o uso das placas de resíduo sólido gerados em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de indústria de revestimentos cerâmico submetidas à calcinação como material alternativo para a alcalinização de efluentes provenientes de lavadores de gases.

2. Materiais e Métodos

Amostras de efluentes (1 L) gerados no lavador de gases foram coletadas em empresa do setor de revestimento cerâmico localizada no município de Criciúma/SC, sendo resguardada em sigilo a razão social da empresa. Os efluentes foram acondicionados em frascos de polietileno e mantidos sob refrigeração (4 °C) até os ensaios.

Amostras de placas de resíduos sólidos geradas em ETE da empresa de revestimento cerâmico foram classificadas de acordo com a norma NBR 10004 da ABNT, cujos testes foram efetuados nos laboratórios da empresa Green Lab® Análises Químicas e Toxicológicas, localizada em Porto Alegre-RS.

As amostras placas de resíduos sólidos (100 g) foram calcinadas a 800 °C, por 1 hora, em forno mufla. Após a calcinação, o material obtido foi macerado para obtenção de partículas mais homogêneas e na forma de pó. Posteriormente, efluentes gerados no lavador de gás (50 mL) foi colocado em contato com 2 g de placa calcinada, em Erlenmeyer, sob agitação magnética (200 rpm), à temperatura ambiente, sendo o pH monitorado do início até o pH atingir o valor adequado (pH > 9) para o reuso do efluente no processo de lavagem de gases adotado pela empresa.

3. Resultados e Discussão

Segundo o Laudo Técnico de Classificação, as placas de resíduos sólidos gerados no processo de tratamento de efluente do lavador de gases apresentaram resultado negativo no teste de inflamabilidade, uma vez que as placas de resíduos não produziram fogo em condições normais de temperatura e pressão e nem sob fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas. Os valores de pH foram superiores a 2,0 e inferiores a 12,5 e as placas apresentaram resultado negativo para ação corrosiva.

No ensaio de reatividade, constatou-se que as placas de resíduos não reagiram de forma violenta com a água e também não apresentaram possibilidade de formar misturas potencialmente explosivas, apresentando em sua constituição, resultados inferiores de íons cianeto e sulfeto estabelecidos pela NBR 10004/2004 (Tabela 1).

A análise do extrato lixiviado para avaliação da toxicidade das placas de resíduos foi efetuada de acordo com NBR 10005/2004, sendo que todos os parâmetros se apresentaram dentro dos valores preconizados pela 10004/2004 e as mesmas caracterizadas como Não Tóxicas (Tabela 2).

Considerando que os resultados das avaliações anteriores caracterizaram as placas de resíduos como sendo Classe II – Não perigosos, não houve a necessidade de se realizar os testes de patogenicidade.

Por fim, o ensaio de solubilização executado segundo a NBR 10006/2004 revelaram que a concentração de alumínio, ferro, sódio e sulfato ultrapassaram o limite máximo permitido pela NBR 10004/2004, sendo as placas classificadas como Resíduo Classe II A – Não inerte (Tabela 3).

Tomando-se como referência os resultados obtidos nos ensaios de solubilização, pode-se sugerir que as placas de resíduos sólidos em estudo seriam capazes de promover efeitos tóxicos em sistemas biológicos, em decorrência da presença de alumínio, ferro, sódio e sulfato no solubilizado, cujos valores se apresentaram acima do preconizado pela legislação.

Trabalhos na literatura têm descrito efeitos tóxicos do alumínio, ferro, sódio e sulfato em sistemas biológicos. Domingo¹² descreve

Tabela 1. Parâmetros de avaliação da reatividade das placas de resíduos sólidos e valores de referência da NBR 10004/04.

Parâmetro	Placas	Valor de referência
Cianeto (mg CN ⁰ .kg ⁻¹)	<0,004	250
Sulfeto (mg.s ⁻² .kg ⁻¹)	<0,10	500
Umidade	14,6	-

Tabela 2. Parâmetros de avaliação da toxicidade das placas de resíduos sólidos e valores de referência previstos pela NBR 10004/2004.

Parâmetros	Placas	Valor de referência	Limite de detecção
Arsênio (mg.L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001
Bário (mg.L ⁻¹)	0,898	70,0	0,008
Cádmio (mg.L ⁻¹)	<0,0001	0,5	0,0001
Chumbo (mg.L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001
Cromo (mg.L ⁻¹)	0,065	5,0	0,001
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,18	150	0,05
Mercúrio (mg.L ⁻¹)	<0,0005	0,1	0,0005
pH	4,11	-	0,01
Prata (mg.L ⁻¹)	<0,0001	5,0	0,0001
Selênio (mg.L ⁻¹)	<0,001	1,0	0,001

Tabela 3. Parâmetros de solubilização das placas de resíduos sólidos valores de referência previstos pela NBR 10004/2004.

Parâmetros	Placas	Valor de referência	Limite de detecção
Alumínio (mg.L ⁻¹)	2,28	0,2	0,001
Arsênio (mg.L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Bário (mg.L ⁻¹)	0,517	0,7	0,008
Cádmio (mg.L ⁻¹)	<0,0001	0,005	0,0001
Chumbo (mg.L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Cianeto (mg.L ⁻¹)	<0,004	0,07	0,004
Cloreto (mg.L ⁻¹)	126	250	0,50
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,048	2,0	0,001
Cromo (mg.L ⁻¹)	0,045	0,05	0,001
Fenol (mg.L ⁻¹)	<0,005	0,01	0,005
Ferro (mg.L ⁻¹)	5,18	0,3	0,005
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,02	1,5	0,05
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,060	0,1	0,003
Mercúrio (mg.L ⁻¹)	<0,0005	0,001	0,0005
Nitrato (mg.L ⁻¹)	<0,20	10,0	0,20
pH final	9,23	-	0,01
Prata (mg.L ⁻¹)	<0,0001	0,05	0,0001
Selênio (mg.L ⁻¹)	<0,001	0,01	0,001
Sódio (mg.L ⁻¹)	5680	200	0,005
Sulfato (mg.L ⁻¹)	1366	250	2,0
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	<0,05	0,5	0,05
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,050	50	0,001

que o alumínio é potencialmente tóxico para humanos, sendo capaz de promover efeitos neurológicos e doença óssea. Segundo Corain¹³, provas convincentes demonstraram que níveis anormalmente elevados de alumínio estão ligados a patologias socialmente relevantes, tais como demência dialítica, anemia, osteomalácia e, possivelmente, a doença de Alzheimer. O alumínio solubilizado em meio ácido é tóxico a muitas plantas devido seus efeitos sobre a

superfície das raízes, os quais comprometem a absorção do cálcio, com conseqüente diminuição da disponibilidade deste nutriente para o vegetal¹⁴. Kloppel et al.¹⁵ sugerem que o alumínio é capaz promover efeitos tóxicos em peixes (ex: *Oncorhynchus mykiss* e *Micropterus salmoides*.), incluindo-se a sua ligação no epitélio branquial, com conseqüente produção excessiva de muco no epitélio, obstrução das membranas de brânquias, doenças respiratórias graves e até a morte, além de toxicidade em ovos e embriões. Este metal também é capaz de provocar expressiva toxicidade aguda (mortalidade) em microcrustáceos *Daphnia magna*, bem como, inibição de crescimento de algas (ex: *Selenastrum capricomutum*).

Em relação aos efeitos tóxicos do ferro, tem-se proposto que o seu excesso em nível biológico é capaz comprometer o balanço redox, com conseqüente promoção de estresse oxidativo, o que pode incorrer em danos a estruturas celulares. A acumulação do ferro ocorre, predominantemente, no fígado, pâncreas, hipófise, coração, articulações e pele, podendo ocasionar hiperpigmentação e complicações clínicas, tais como artrite, artralguas, hipogonadismo, diabetes mellitus, fibrose hepática, cirrose, hepatocarcinoma, câncer e insuficiência cardíaca¹⁶. Segundo Lima¹⁷, o ferro também é capaz de ocasionar alterações no parênquima pulmonar, pneumiconioses e carcinogênese.

Trabalhos na literatura têm demonstrado que o sódio é capaz de provocar danos em organismos vivos quando seus níveis se encontram em concentrações superiores às necessidades biológicas. No organismo humano o excesso de sódio pode provocar sintomas como, letargia, debilidade, irritabilidade, anormalidade na movimentação, convulsões e até a morte¹⁸. Zalesny et al.¹⁹ sugerem que lixiviados contendo elevados níveis de sais (ex: NaCl) pode provocar danos sobre tecidos vegetais, como clorose e necrose, decréscimo da biomassa, estresse osmótico, desequilíbrio de nutrientes e aumento da mortalidade em plantas. A exposição de níveis elevados de sais contendo sódio também pode provocar efeitos tóxicos sobre anfíbios, conforme proposto por Sanzo e Hecnar²⁰, que realizaram ensaios com girinos da espécie *Rana sylvatica* expostos a diferentes concentrações de NaCl, sendo observada elevada toxicidade aguda, além de efeitos crônicos, tais como aumento da mortalidade, diminuição do tempo de metamorfose, redução de peso e atividade, aumento de anormalidade físicas dos organismos.

Segundo Ljung²¹ a liberação de elevada carga de sulfato no meio ambiente pode promover a acidificação do solo, com conseqüente aumento da mobilidade dos elementos potencialmente tóxicos e limitação da biodisponibilidade de nutrientes. Como resultado da elevada concentração de sulfato, pode-se observar toxicidade em plantas, contaminação dos cursos de água, aumento da bioacumulação de elementos tóxicos ao longo da cadeia alimentar, com conseqüente toxicidade aos organismos. Os organismos aquáticos são prejudicados, muitas vezes, por asfixia e úlceras no tecido epitelial. Os sulfatos quando atingem o ambiente aquático pode promover o aumento do fluxo e acúmulo de enxofre, principalmente em mangues e pântanos. Como conseqüência, pode ocorrer o aumento da redução anaeróbica de sulfato em sedimentos, levando ao aumento da decomposição de matéria orgânica, da mobilização do fosfato e acumulação de sulfeto dissolvido. Tem-se proposto que o sulfeto dissolvido pode provocar efeitos tóxicos em vegetais, incluindo-se o comprometimento do crescimento e desenvolvimento, clorose e necrose folhear, supressão da floração, perda de rigidez e deteriorização das raízes e até mesmo a morte da planta, o que compromete a biodiversidade do ecossistema²².

Portanto, pode-se sugerir que as placas de resíduos sólidos se mostram potencialmente tóxicas, sendo necessário dar-se um destino adequado às mesmas de forma a minimizar os seus impactos sobre o meio ambiente.

Neste contexto, é que os ensaios de alcalinização dos efluentes gerados no processo de lavagem de gases, utilizando-se placas de

resíduos sólidos submetidas ao processo de calcinação teve como finalidade o aproveitamento das placas. Os resultados obtidos nestes ensaios permitiram demonstrar que o efluente não tratado apresentou pH = 7,6 havendo, portanto, a necessidade de sua alcalinização para valores de pH superiores a 9,0 antes do seu reuso no lavador de gases. Nossos resultados evidenciaram que após o tratamento do efluente com as placas calcinadas constatou-se a elevação do pH de 7,8 para 9,10 em um intervalo de tempo de 1 minuto e 30 segundos. Estes resultados são extremamente importantes, uma vez que o tratamento elevou o pH do efluente para valores superior a 9,0, apresentando, portanto, condições de ser novamente reutilizado no processo de lavagem de gases.

Geremias et al.¹¹ utilizaram rejeitos de mineração de carvão submetidos ao processo de calcinação para a elevação do pH de efluentes de mineração de elevada acidez, sendo constatado que o rejeito foi capaz de elevar o pH de 2,8 para 7,8. Os autores sugeriram que a capacidade do rejeito em promover a alcalinização do efluente estaria associada à presença de óxidos de metais SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ em sua composição. Estes óxidos seriam capazes de atuar como adsorvente de íons de H₃O⁺ por mecanismos de adsorção química e física através de interação por complexação, formação de par iônico, troca iônica, interação eletrostática, forças de *van der Waals* entre outras, com conseqüente elevação do pH.

Portanto, sugere-se que as placas de resíduos sólidos calcinadas poderiam apresentar óxidos de metais em sua composição, o que promoveria a elevação do pH observado em nossos estudos. Desta forma, pode-se sugerir o seu uso como material alternativo a ser empregado no tratamento de efluentes ácidos gerados no processo de lavagem de gases. No entanto, faz-se necessários maiores estudos para avaliação da sua capacidade de alcalinização, podendo-se, para tanto, sugerir a sua caracterização físico-química para evidenciar a presença de óxidos de metais.

Salienta-se que, por serem classificadas como resíduo Classe II A – não inerte e, portanto, potencialmente tóxicas, o reuso destas placas surge como uma importante ferramenta para sua valorização e conseqüente preservação do meio ambiente.

4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que as placas de resíduos sólidos gerados em ETE da empresa cerâmica em estudo foram classificadas como Resíduo Classe II A – Não inerte e, portanto, se mostram potencialmente tóxicas, sendo necessário dar-se um destino adequado às mesmas. Concluiu-se também que as placas de resíduos sólidos submetidas à calcinação promoveram a elevação do pH do efluente de lavadores de gases para valores adequados ao seu reuso, sugerindo que as mesmas poderiam ser utilizadas como material alternativo na etapa de alcalinização do efluente necessário ao seu reaproveitamento no processo de lavagem de gases. Portanto, o aproveitamento das placas para este fim é de extrema importância, uma vez que poderia ser um destino alternativo das mesmas, minimizando os seus impactos sobre o meio ambiente e os custos de sua deposição em aterros sanitários controlados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade do Extremo Sul Catarinense (Criciúma/SC) e à Universidade Federal de Santa Catarina (Campus Curitiba, Curitiba/SC) pelo aporte técnico e financeiro da pesquisa.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO - ANFACER. **História da Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anfacer.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

2. WAGNER, J. H. et al. **Indústria Catarinense de Cerâmica de Revestimento**. Florianópolis: BADESC, 1990. 77 p.
3. MACAGNAN, O. **Diagnóstico dos recursos hídricos e organização dos agentes da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar**. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Santa Catarina, 2002. 18 p.
4. BERNARDIN, A. M. et al. Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular. **Revista Cerâmica Industrial**, v.11, p. 31-34, 2006.
5. ALEXANDRE, N. J. Principais impactos ambientais gerados na indústria de revestimentos cerâmicos. **Revista de tecnologia e Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 73-84, 1996.
6. CLEZAR, C. A. et al. **Ventilação Industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999. 298 p.
7. GAMA, M. s. c. **Estudo de um Sistema de Limpeza de Gases usando um Lavador Venturi de Seção Circular**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
8. MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1990. 404 p.
9. FERNANDES, P. F. et al. Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, p. 26-34, 2003.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004: resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
11. GEREMIAS, R. et al. Use Of Coal Mining Waste For The Removal Of Acidity And Metal Ions Al (III), Fe (III) And Mn (II) In Acid Mine Drainage. **Environmental Technology**, v. 29, p. 863-869, 2008. PMID:18724641. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330802015409>
12. DOMINGO, J. L. Reproductive and Developmental Toxicity of Aluminum: A Review. **Neurotoxicology and Teratology**, v. 15, p. 515-521, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0892-0362\(95\)00002-9](http://dx.doi.org/10.1016/0892-0362(95)00002-9)
13. CORAIN, B. et al. Aluminium toxicity and metal speciation: established data and open questions. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 149, p. 11-22, 1996.
14. WILLIAMS, R. J. P. Aluminium and biological systems: an introduction coordination. **Chemistry Reviews**, v. 149, p. 1-9, 1996.
15. KLOPPEL, H. et al. Behaviour And Ecotoxicology Of Aluminium In Soil And Water - Review Of The Scientific Literature. **Chemosphere**, v. 35, p. 353-363, 1997.
16. PAPANIKOLAOU, G. Iron metabolism and toxicity. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 202, p. 767-773, 2005.
17. LIMA, I. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. Salvador: Cadernos de Referência Ambiental, 2001. 112 p.
18. VICENTE, G. et al. Sodium disorders. **Medicina Clínica (Barcelona)**, v. 134, p. 554-563, 2010.
19. ZALESNY, J. A. et al. Sodium and chloride accumulation in leaf, woody, and root tissue of Populus after irrigation with landfill leachate. **Environmental Pollution**, v. 155, p. 72-80, 2008. PMID:18069106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.10.032>
20. SANZO, D.; HECNAR, S. J. Effects of road de-icing salt (NaCl) on larval wood frogs (Rana sylvatica). **Environmental Pollution**, v. 5, p. 49- 55, 2006.
21. LJUNG, K. et al. Acid sulfate soils and human health- A Millennium Ecosystem Assessment. **Environment International**, v. 35, p. 1234-1242, 2009. PMID:19647876. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.002>
22. GEURTS, J. M. Interacting effects of sulphate pollution, sulphide toxicity and eutrophication on vegetation development in fens: A mesocosm experiment. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 2072-2081, 2009. PMID:19285368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.024>