cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

RESTAURAÇÃO DO ECOSSISTEMA AQUÁTICO DO RIO POMBA APLICANDO OS RESÍDUOS DA PEDRA PADUANA EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Engenheiro Químico, D.Sc., Pesquisador Titular do CETEM
E-mail rcarlos@cetem.gov.br

Cristiane Andrade de Lima
Engenheira Química, D.Sc., INEA
E-mail: cristianeal@gmail.com

Resumo

Santo Antônio de Pádua é um polo de produção de rochas ornamentais, inserida no APL de Rochas Ornamentais do Noroeste Fluminense, e até fim do Século XX havia lançamento de resíduos finos no Rio Pomba, acarretando o assoreamento do mesmo. Restaurar o ecossistema do rio e aproveitar os resíduos era imprescindível. Então, o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza 95% de agregados minerais foi uma solução viável para absorver o resíduo local. Os resultados indicaram o enquadramento do resíduo às normas DNIT, que pôde ser aplicado na construção da estrada que liga Pádua e Pirapitinga, com resistência mecânica de 180%. A água do Rio Pomba foi monitorada em um intervalo de 10 anos e com o fim do lançamento de resíduos de rochas, observou-se a restauração do ecossistema aquático.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento de rochas ornamentais representam perdas de matéria-prima que são da ordem de 70%. Para produzir 330 m^2 de chapas (média obtida de um bloco de 10 m^3), são extraídos, em média, 30 m^3 de rocha do maciço. Desses, 20 m^3 ficam na pedreira na forma de resíduos. A maioria deles são grossos, normalmente blocos fora de padrão, irregulares e com defeitos, pedaços de blocos, lascas de rochas e casqueiros do aparelhamento dos blocos que se constituem em estoques remanescentes, pois podem ter utilização direta na produção de chapas ou ladrilhos de menor valor ou decorativas (CAMPOS et al., 2014).

Com uma produção extremamente alta, segundo CHIODI FILHO (2018), em torno de 200.000 toneladas/ano, além do passivo estocado em aterros, tornam-se necessários métodos que utilizassem um volume em grande escala de uma só vez. Nesse contexto, surge o setor de pavimentação asfáltica, que utiliza em média 95% de agregados minerais em sua composição e com consumo de cerca de 10.000 toneladas de agregados a cada quilômetro de estrada pavimentada (ANEPAC, 2017). Tal aplicação seria a mais viável para gerir de forma sustentável o aproveitamento total dos resíduos (estocados nas serrarias, nos aterros e oriundos do fundo do Rio Pomba e seus afluentes) e restaurar os ecossistemas locais proporcionando o bem estar da sociedade com a construção de estradas tecnicamente adequadas, sustentáveis e com boa relação custo-benefício, acarretando simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos.

2. OBJETIVO

O objetivo da prática foi a aplicação integral dos resíduos oriundos das pedreiras e serrarias de Santo Antônio de Pádua como agregado de base e sub-base da pavimentação asfáltica do trecho Pádua-Pirapitinga com fins de recuperação do ecossistema do rio Pomba.

3. METODOLOGIA

Caracterizar os resíduos segundo às normas estabelecidas pelo DNIT para agregados para pavimentação (DNIT ME 035/98, DNITME 083/98, ME 081/94 e ME 084/94, DNIT 136/2010).

Avaliar a qualidade da água do Rio Pomba por meio da avaliação de risco à saúde humana e risco ecológico segundo padrões da CETESB, 2001- Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e US EPA. "*Guidelines for Ecological Risk Assessment*", 1998, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caraterização do resíduo e geração da rodovia

A avaliação preliminar do resíduo indicava valores adequados segundo o DNIT, com abrasão Los Angeles de 22%, forma cúbica e densidade de 2,65 $g.mL^{-1}$.Com relação aos resultados de resistência à compressão diametral a mistura asfáltica apresentou um valor de RRT de 180% indicando que o pavimento gerado apresenta altíssima resistência mecânica e a adequação do resíduo às normas exigidas pelo (> 80%).

Avaliação de Risco Ambiental

Os resultados análises das amostras de água do Rio Pomba, coletadas nos anos de 2004 (durante a intervenção) e de 2014 (após a intervenção), foram comparados inicialmente com os padrões de qualidade para águas doces, Classes I e II, estabelecidos na a Resolução Conama 357/2009, tal qual apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados analíticos da qualidade da água do Rio Pomba.

Substâncias Químicas Analisadas	Valor Máximo (Res. Conama 357/2005) ($mg.L^{-1}$)	Resultados analíticos ($mg.L^{-1}$)			
		2004		2014	
		P1	P2	P1	P2
Alumínio	0,1	408,3	15,6	2,4	3,2
Bário	0,7	0,15	0,84	0,011	0,03
Ferro	0,3	50,2	18,6	1,54	0,85

Foram realizadas também medições dos valores de pH da água e verificou-se o valor de 12 em 2004 e cerca de 7 em 2014. O valor extremamente alto em 2004 estava relacionado com o despejo da lama abrasiva das serrarias contendo sulfatos de cálcio, alumínio, etc.

Avaliação de Risco à Saúde Humana

Os valores de risco à saúde humana calculados encontram-se resumidos na Tabela 5, cujas contribuições de cada uma das vias de exposição podem ser observadas nas Figuras 1 a 4.

Como se pode observar na Tabela 2, após 10 anos os valores de risco foram reduzidos consideravelmente, tendo atingido níveis considerados aceitáveis após a intervenção na área.

Tabela 2: Sumário dos resultados do risco à saúde humana. Fonte: Própria

Parâmetros	HI Residentes (Risco Não carcinogênico)			
	Crianças 2004	Adultos 2004	Crianças 2014	Adultos 2014
Alumínio	3,8E+01	1,8E+01	3,0E-01	1,4E-01
Bário	1,6E-02	2,1E-02	2,0E-03	7,6E-04
Ferro	1,3E+00	5,8E-01	4,1E-02	1,8E-02

Avaliação de Risco Ecológico

Os valores da avaliação de risco ecológico calculados para os receptores aquáticos avaliados encontram-se resumidos na Tabela 3, onde se verifica que durante a intervenção na área os riscos para os receptores ecológicos eram bastante elevados, sendo que nestes níveis a estrutura e composição da comunidade aquática poderiam ser alteradas, essencialmente por meio de mudanças nas taxas de sobrevivência, crescimento e reprodução dos organismos aquáticos. No entanto, após a intervenção os níveis de risco foram reduzidos consideravelmente, permanecendo para todas as substâncias avaliadas abaixo de 10, ou seja, abaixo do nível considerado crítico para saúde desses receptores.

Risco para Peixes

Substâncias Químicas	VTR (mg/L) Peixes (1)	Concentração na água (mg/L)		Quociente de Perigo (HQ) - Peixes (2)	
		2004	2014	2004	2014
Alumínio	3,288	408,00	3,20	124,09	0,97
Bário	nd	0,84	0,03	nc	nc
Ferro	1,3	50,20	1,54	38,62	1,18

Risco para Invertebrados

Substâncias Químicas	VTR (mg/L) Invertebrados (1)	Concentração na água (mg/L)		Quociente de Perigo (HQ) - Invertebrados (2)	
		2004	2014	2004	2014
Alumínio	1,9	408,00	3,20	214,74	1,68
Bário	nd	0,84	0,03	nc	nc
Ferro	0,158	50,20	1,54	317,72	9,75

Risco para Algas

Substâncias Químicas	VTR (mg/L) Algas (1)	Concentração na água (mg/L)		Quociente de Perigo (HQ) - Algas (2)	
		2004	2014	2004	2014
Alumínio	0,46	408,00	3,20	886,96	6,96
Bário	nd	0,84	0,03	nc	nc
Ferro	nd	50,20	1,54	nc	nc

HQ entre 1 e 10
HQ > 10

(1) Suter (1996), padrões para efeito na biota aquática
(2) HQ = Concentração medida / Valor de Toxicidade de Referência
nd - não disponível
nc - não calculado (VTR não disponivel)

Atualmente, as serrarias da região, em geral, estão enquadradas às legislações ambientais, não havendo lançamentos de resíduos no Rio Pomba e seus afluentes, há recirculação de mais de 95% de água nas serrarias e os resíduos são direcionados a aterros regularizados.

O Rio Pomba não apresenta assoreamento devido às atividades de corte e beneficiamento das rochas ornamentais e as condições da água encontram-se adequadas em termos de pH e turbidez. Houve restauração do ecossistema aquático, constatando-se o reaparecimento de peixes.

A estrada que liga Pádua a Pirapitinga apresenta boas condições de uso, facilitando o tráfego de pessoas e mercadorias na região Noroeste do Estado.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que os resíduos gerados na lavra e no beneficiamento da Pedra Paduana podem ser utilizados como agregados minerais para a pavimentação asfáltica, gerando um pavimento contendo 95%, em massa de resíduos, e com resistência à compressão diametral de 180%, valor este muito acima do recomendado pelo DNIT (>80%). A pavimentação da estrada ligando as cidades de Pádua e Pirapitinga e das estradas vicinais de Pádua, utilizando resíduos das serrarias, não foi só responsável pela mitigação do impacto ambiental, mas proporcionou a melhoria na circulação das pessoas e mercadorias, principalmente mercadorias agrícolas que se estragavam pela falta de pavimentação nas estradas vicinais.

O monitoramento da qualidade da água do Rio Pomba realizado nos anos de 2004 e 2014 indicou que no ano em que ainda eram realizados lançamentos de lama abrasiva no curso d'água (2004), os teores de alumínio, bário e ferro ultrapassavam os valores aceitáveis de risco à saúde humana e ecológico, além do assoreamento do rio e seus afluentes ser extremamente grave. Posteriormente, após uma nova avaliação, em 2014, quando as serrarias já não lançavam mais a lama abrasiva, e os resíduos já tinham sido removidos do sedimento do rio e de seus afluentes, os valores de risco tanto a saúde humana quanto ecológicos encontravam-se dentro dos limites considerados aceitáveis. Tal fato, configura a restauração do ecossistema aquático da região, pois a água não apresentava mais o índice de turbidez tão elevado, o pH encontrado era de 7,3 e o índice de oxigenação da água aumentou, e os peixes e algas voltaram a aparecer substancialmente na região, permitindo a utilização do Rio Pomba novamente para pesca, agricultura e pecuária.

Vale ressaltar que o apoio da prefeitura local foi responsável pela criação de aterros controlados para deposição dos resíduos das serrarias e pedreiras, que já classificados tecnicamente, foram britados e moídos para a aplicação pelo DNIT nas pavimentações da região.

Por fim, é importante salientar que a ação conjunta de órgãos governamentais, centros de pesquisas e universidades, permitem estudos de aplicações viáveis que melhoram as condições ambientais, sociais e econômicas de uma comunidade, como é o caso de Santo Antônio de Pádua.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM, INEA , a Associação da Pedra Paduana e a Prefeitura de Santo Antônio de Pádua.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEPAC.- Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção (2017). Disponível em http://www.anepac.org.br/agregados/mercado.

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R.C.C.; CASTRO, N. F.; AZEVEDO, H. C.A. E CATABRIGA, L. (2014). Resíduos: tratamento e aplicações industriais, capítulo do livro tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Vidal, F.V.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N. F. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85– 8261-005-3. p 433 – 492.

CARVALHO, E. A., CAMPOS, A.R., PEITER, C.C. e ROCHA, J.C. (2004) APROVEITAMENTODOS RESÍDUOS FINOS DAS SERRARIAS DE S.ANTÔNIO DE PÁDUA/RJ, palestra SIMAGRAM 2004.

CEIVAP (2006) Plano de recursos hídricos da bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo. Caderno de Ações Bacia do Rio Pomba. Comitê de integração das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Brasil.

CETESB (Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo). (2013). Planilhas de Avaliação de Risco.

DNIT 136/2010 – ME Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, p. 6, 1998.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.

LIMA, C.A. (2004). Quantificação do decréscimo do risco associado à biorremediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo – Tese de Mestrado, Escola de Química/UFRJ, RJ.

LIMA, C.A. (2009). Avaliação de risco ambiental como ferramenta para o descomissionamento de uma indústria de metalurgia de zinco – Tese de Doutorado, Escola de Química/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.

PEITER, C. C.; CARRISSO, R. C. C.; PIRES, D. C. B. (2011). O Arranjo Produtivo Local de Santo Antônio de Pádua. In: FERNANDES, F. R.C.; ENRIQUEZ, M. A.. e ALAMINO, R. C. J. (Eds.). Recursos Minerais e Sustentabilidade Territorial: v. 2, p.177-198. Grandes Minas e Comunidades Locais, CETEM, Rio de Janeiro – RJ.

SEBRAE-RJ. (2010). APL de rochas ornamentais em Santo Antônio de Pádua. http://www.sebraerj.com.br/data/Pages/SEBRAEABRIE.htm. Acesso em: 25 set. 2010.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A. July 1989.

US EPA Exposure Factors Handbook. USEPA - Region III. August, 1997.

US EPA Guidelines for Ecological Risk Assessment.USEPA EPA/630/R095/002F. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, 175 pp. 1998.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part E, Supplemental guidance for dermal risk assessment. Julho 2004.