

## IV-180 – ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO DO RESERVATÓRIO PEDRO BEICHT, NA RESERVA FLORESTAL DO MORRO GRANDE

### **Matheus Guilherme Ramin**

Engenheiro Ambiental e Urbano pelo Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC (UFABC). Engenheiro Ambiental na CH2M.

### **Ana Carolina Guimarães Antunes**

Engenheira Ambiental pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Engenheira Ambiental na CH2M.

### **Leandro de Alencar Sorrenti**

Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC. Graduando em Engenharia Ambiental e Urbana pela Universidade Federal do ABC.

### **Silvia Mari Azuma**

Química Ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

### **Camila da Veiga Coutinho**

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua do Rócio, 351, 1º Andar – Vila Olímpia – São Paulo – SP – CEP: 04552-000 – Brasil – Tel: (11) 3040-0800 – e-mail: matheus.ramin@ch2m.com

### **RESUMO**

O trecho ferroviário entre as estações de Caucaia do Alto e Aldeinha, da Malha Ferroviária Paulista, intercepta a Reserva Florestal do Morro Grande (RFMG), inserida entre os municípios de Cotia-SP e Ibiúna-SP, e os limites da Serra de Paranapiacaba. Reconhecida há muito tempo por sua importância de conservação, em particular por seus recursos hídricos, foi desapropriada já no Século XX para preservação. A Reserva abriga os reservatórios Pedro Beicht e Cachoeira das Graças, importantes represas do sistema de abastecimento de água do Alto Cotia e a ETA Alto Cotia faz a captação de água na represa Cachoeira das Graças, produzindo 1,2 mil litros de água por segundo para abastecer cerca de 400 mil habitantes.

Dada a relevância ambiental e de abastecimento para a população e cidades do entorno, este trabalho visa detalhar o desenvolvimento de alternativas para um sistema auxiliar de retenção visando a proteção do reservatório Pedro Beicht para o caso de acidentes com derramamento de produtos possivelmente contaminantes ao corpo hídrico ao longo do trecho da ferrovia.

Um total de oito alternativas de retenção foram elaboradas e analisadas em conjunto com outros estudos internacionais e nacionais para que a melhor solução de retenção fosse apresentada levando em consideração a viabilidade ambiental, econômica e eficácia de retenção. A instalação de barreiras *new jersey* associadas às barreiras móveis flutuantes apresentou-se como uma solução efetiva para proteção do Reservatório Pedro Beicht na Reserva Florestal do Morro Grande.

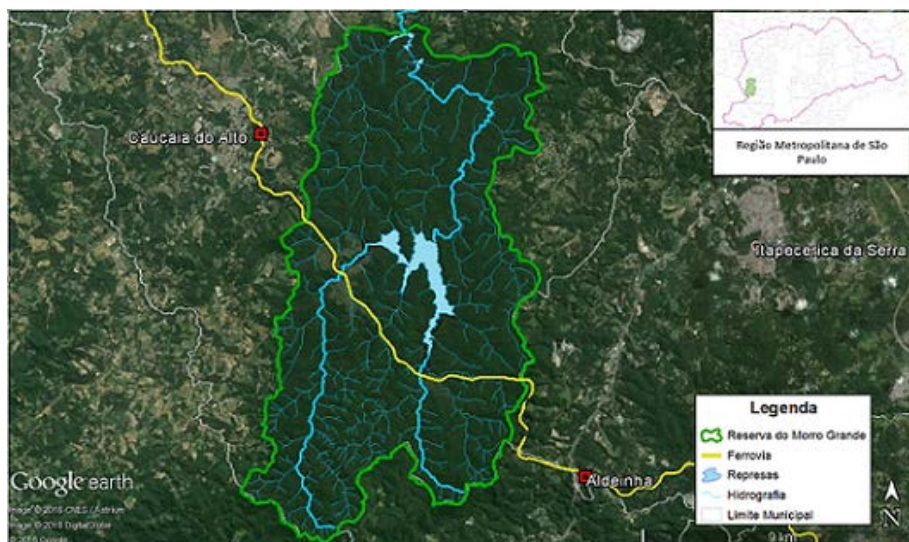
**PALAVRAS-CHAVE:** Reserva do Morro Grande, Reservatório Pedro Beicht, Ferrovia, Alternativas de Retenção, Contaminantes.

### **INTRODUÇÃO**

O trecho ferroviário entre as estações de Caucaia do Alto e Aldeinha, da Malha Ferroviária Paulista, intercepta a Reserva Florestal do Morro Grande, no município de Cotia-SP, conforme apresentado na Figura 1. A Reserva está inserida entre os municípios de Cotia e Ibiúna, e os limites da Serra de Paranapiacaba, na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (METZGER et al., 2006).

Desde há muito tempo, a RFGM já era reconhecida por seu valor para a conservação, em particular por seus recursos hídricos, tendo sido desapropriada no início do século XX, declarada Reserva Florestal em 1979, tombada pela Secretaria da Cultura do Governo do Estado de São Paulo em 1981, e incorporada à Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo em 1994 (METZGER et al., 2006). Hoje, a reserva está sob jurisdição da SABESP, em função dos mananciais que a região abriga.

Dentro da Reserva do Morro Grande estão inseridos os reservatórios Pedro Beicht e Cachoeira das Graças, importantes represas do sistema de abastecimento de água do Alto Cotia. A ETA Alto Cotia faz a captação de água na represa Cachoeira das Graças, produzindo 1,2 mil litros de água por segundo para abastecer cerca de 400 mil habitantes dos municípios de Cotia, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu e Vargem Grande (SABESP, 2016). A montante do reservatório das Graças está o reservatório Pedro Beicht. Construída na década de 1920, a barragem de Pedro Beicht foi instalada com o objetivo de regularizar a vazão do rio Cotia e garantir a adução de água da ETA Alto Cotia em períodos de estiagem (CUNHA, 1937). Seus principais afluentes são os rios Capivari e Cotia.



**Figura 1: Localização da Reserva Florestal do Morro Grande no município de Cotia/SP, entre as estações ferroviárias de Caucaia do Alto e Aldeinha.**

O trecho da ferrovia que corta a Reserva do Morro Grande possui uma extensão aproximada de 10 km e corta os principais afluentes do reservatório Pedro Beicht e diversos outros contribuintes, de menor porte, como pode ser visto na Figura 1. Galerias de passagem foram construídas em alguns trechos para permitir o fluxo natural dos rios por baixo da ferrovia. Assim, em alguns locais, os trens de carga que circulam pela via passam muito próximos ao reservatório. Desta maneira, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de alternativas para um sistema auxiliar de retenção visando a proteção do reservatório Pedro Beicht para o caso de ocorrência de acidentes com derramamento de produtos possivelmente contaminantes ao corpo hídrico.

## METODOLOGIA

As alternativas de retenção foram desenvolvidas com base em premissas e critérios de projeto pré-definidos. Primeiramente, estudos de caso nacionais e internacionais com uma problemática semelhante às inerentes à da Reserva do Morro Grande foram analisados. Em seguida, foram analisados planos e procedimentos de emergência da operação da ferrovia. Assumiu-se como premissa que estes procedimentos são seguidos plenamente. Analisando a hidrografia local, o trajeto da linha férrea atravessa diversos rios e córregos, uma vez que a reserva contempla uma quantidade significativa de nascentes e olhos d'água. Considerando que todos os corpos hídricos da Reserva drenam, eventualmente, para o reservatório Pedro Beicht, ficou estabelecido que toda a região próxima ao ponto em que a ferrovia corta um corpo hídrico seria considerada um trecho crítico. Logo, um total de 13 trechos críticos foram identificados.

Entretanto, a fim de viabilizar a instalação das medidas de retenção em trechos cujo impacto de um possível acidente não possa ser mitigado pelos Planos e Procedimentos de Emergência antes de atingir o reservatório, foram estabelecidos critérios, apresentados na Tabela 1, para classificar os trechos em três diferentes níveis de criticidade: alto, médio ou baixo. Com os critérios definidos, foi possível atribuir um sistema de pontuação para, assim, determinar os trechos mais críticos. Os critérios para a pontuação podem ser vistos na Tabela 2.

**Tabela 1: Critérios de criticidade**

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Proximidade com o Reservatório	Quanto mais próximo o trecho do reservatório, maior a criticidade atribuída a ele.
Largura do Corpo Hídrico	Quanto maior o porte do corpo d'água, maior a criticidade atribuída ao trecho.
Proteção Vegetal	A cobertura vegetal ao entorno dos trechos críticos pode acelerar ou retardar a chegada de um contaminante líquido/carga sólida ao corpo hídrico. Quanto mais densa a vegetação ao entorno da ferrovia, maior a resistência para o deslocamento do contaminante/carga, portanto, menor a criticidade atribuída ao trecho; quanto mais descampado/desmatado, menor a resistência para o deslocamento do contaminante/carga e maior a criticidade atribuída ao trecho.
Declividade Lateral	Quanto maior a declividade do terreno lateral à ferrovia, mais rápido um contaminante/carga pode atingir o corpo d'água. Assim, quanto maior a declividade, maior a criticidade atribuída ao trecho.

**Tabela 2: Critérios de pontuação para determinação de criticidade dos trechos**

CRITÉRIO	PONTUAÇÃO			
	Muito próximo ( $d < 500m$ )	Próximo ( $500 \leq d \leq 1000$ )	Distante ( $1000 < d \leq 1500$ )	Muito Distante ( $d > 1500$ )
Proximidade com o reservatório	4	3	2	1
Largura do Corpo Hídrico	Maior que 5 metros		Menor que 5 metros	
	4		1	
Proteção Vegetal	Sem proteção	Gramado com pouca mata	Mata com pouco gramado	Mata densa
	4	3	2	1
Declividade Lateral	Declividade muito alta	Declividade alta	Declividade baixa	Sem declividade
	4	3	2	1

Após a classificação de cada trecho, estabeleceu-se que os segmentos com pontuação entre 4 e 8 fossem considerados com criticidade baixa, entre 9 e 12 com criticidade média e entre 13 e 16 de criticidade alta, conforme mostrado na Tabela 3.

**Tabela 3: Escala de pontuação para cada criticidade**

CRITICIDADE	PONTUAÇÃO
Baixa	4-8
Média	9-12
Alta	13-16

Uma vez que não existe norma reguladora específica para um sistema de retenção para acidente ferroviário, a fim de se definir o volume de retenção sobre o qual seriam pré-dimensionadas as alternativas, buscou-se recomendações na norma brasileira NBR 17505-2:2015, que dispõe sobre armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis, em específico, armazenamento em tanques, vasos e recipientes portáteis com capacidade superior a 3.000 L, e em estudos de caso similares ao do presente estudo, como o do Rodoanel – Trecho Sul (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, s.d.), localizado sobre dois importantes reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, e o de uma Concessionária Ferroviária dos EUA, cujo pátio de manobras fica próximo a um rio.

Especial ênfase também foi dada ao conhecimento da relação dos produtos transportados na ferrovia. O conhecimento da relação dos produtos transportados é importante não só para a proteção do meio ambiente, mas também na escolha das alternativas de contenção. Como será visto mais adiante, é importante saber se há reagentes que possam comprometer de alguma forma as estruturas das alternativas propostas nesse estudo. Verificou-se que a maioria dos produtos transportados podem ser nocivos ao corpo hídrico em caso de

acidente. As cargas orgânicas, como os grãos, açúcar, fertilizantes, etc., podem levar a fermentação e putrefação no corpo hídrico, resultando no processo de eutrofização. Compostos oleosos e tóxicos, como diesel, enxofre, gasolina, etc., podem contaminar o reservatório a ponto de inviabilizar a vida aquática e, em casos mais severos e menos prováveis, a captação para abastecimento caso os contaminantes atinjam o Reservatório das Graças a jusante.

Apesar de alguns combustíveis estarem na relação das cargas, atualmente, nenhum deles é transportado no trecho estudado. Os únicos combustíveis que passam pela via são provenientes da locomotiva, sendo eles: 17.980 L do tanque combustível de óleo diesel e 1.552 L do óleo lubrificante do cárter. Considerando os aspectos levantados, foram levantadas 8 alternativas para um sistema de retenção em Morro Grande, sendo elas:

- Barreiras *new jersey*;
- Barreiras *new jersey* com válvulas de controle de drenagem;
- Diques de terra com válvulas de controle de drenagem;
- Barreiras *new jersey* com geomembranas e válvulas de controle de drenagem;
- Barragem com comporta;
- Poços de retenção;
- Caixas separadoras de água e óleo associadas com barreiras *new jersey*;
- Barreiras móveis flutuantes.

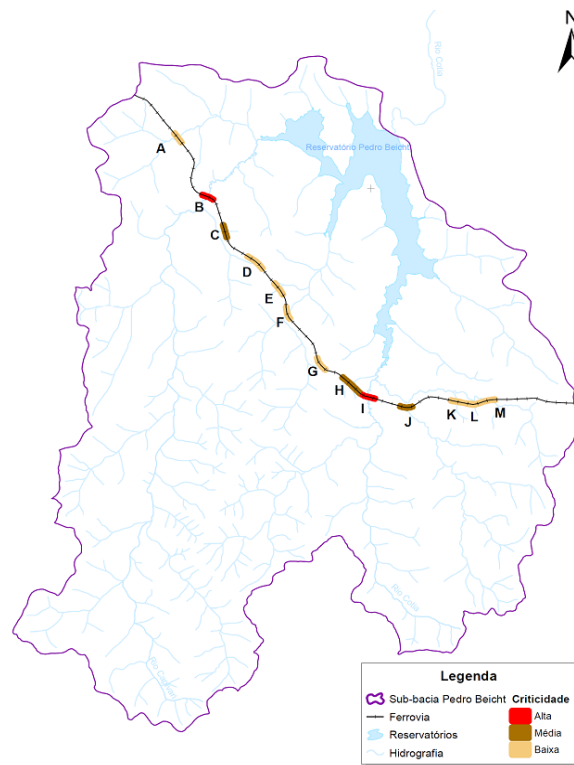
As alternativas foram dimensionadas em nível conceitual, considerando-se a retenção de líquidos (oleosos ou não) e sólidos; não retenção de água pluvial; facilidade de instalação; replicabilidade; demanda de energia elétrica; custos de investimento; impactos ambientais e risco de infiltração no solo.

## RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os 13 trechos críticos identificados na sub-bacia hidrográfica da represa Pedro Beicht e o resultado de sua classificação de acordo com a metodologia apresentada. Trechos com criticidade **alta** são aqueles onde o produto proveniente de vazamento chega ao reservatório, provavelmente, antes das ações do Plano de Emergência da operação da ferrovia. O impacto no corpo hídrico causado em trechos de criticidade alta pode ser difícil ou, muitas vezes, impossível de se reverter. Dessa maneira, as alternativas propostas neste estudo atendem apenas a esses trechos. O primeiro está localizado na região da ferrovia ao entorno do rio Capivari (Trecho B). Esta área possui vegetação rasteira e poucas árvores, além de estar em um dos pontos mais próximos do reservatório. Apesar da declividade nas laterais do corpo hídrico ser baixa, o rio Capivari é um dos principais afluentes do reservatório Pedro Beicht. O outro trecho com criticidade alta está localizado próximo ao braço do rio Cotia (trecho I), e é o trecho mais próximo da represa.

Considerando os estudos citados anteriormente, o volume mínimo para o dimensionamento da alternativa de retenção em Morro Grande considerado foi de **70.000 L** (70 m<sup>3</sup>). Este volume corresponde ao maior vagão tanque que circula na malha ferroviária da concessionária, embora não transite no trecho estudado.

A alternativa que se mostrou mais efetiva em relação aos aspectos estudados consistiu na instalação de barreiras *new jersey* dispostas paralelamente à ferrovia, associadas à instalação de barreiras móveis flutuantes em pontos estratégicos da represa. Quando seladas apropriadamente, os contaminantes serão retidos pelas barreiras *new jersey* e impedidos de atingir o reservatório. Esta disposição permitirá, também, que a medida de retenção proteja o reservatório em caso de descarrilamento e derramamento de carga fora do leito de cascalho da ferrovia, considerando que, dificilmente, um descarrilamento liberaria a carga do trem somente sobre a linha férrea para ser captadas pela rede de drenagem. Por serem estruturas pré-moldadas, a instalação das barreiras é facilitada, não exigindo a preparação de concreto no local e sendo necessário esforço apenas para transporte, alocação, fixação e selagem, o que é uma vantagem. A maior dificuldade encontra-se em posicionar as barreiras no local correto. O peso de cada uma e o terreno irregular podem dificultar esse procedimento, podendo ser necessários serviços de terraplanagem e supressão vegetal. Apesar das vantagens, alguns riscos também estão associados a esta alternativa: pode ocorrer a infiltração de contaminantes no solo; dependendo da dimensão do descarrilamento, no trecho crítico próximo ao rio Cotia, a locomotiva pode tombar diretamente no reservatório ou mesmo, em casos extremos, danificar a barreira.



**Figura 2: Trechos críticos na sub-bacia hidrográfica da represa Pedro Beicht**

Utilizando imagens de satélite e o Modelo Digital de Elevação do estado de São Paulo, buscou-se aproveitar da melhor maneira a inclinação natural do terreno para garantir a retenção mínima de 70 m<sup>3</sup>. Para tal, adotou-se uma lâmina líquida mínima de 5 cm, a ser retida pelas barreiras. Recomenda-se que trabalhos de topografia sejam realizados na região próxima à localização das barreiras, antes da instalação desta medida de retenção.

Adicionalmente às barreiras *new jersey*, propõe-se a instalação de barreiras móveis flutuantes em pontos estratégicos da represa para retenção de materiais flutuantes não miscíveis em água. Na Figura 3, pode-se observar a disposição das barreiras *new jersey* no trecho próximo ao rio Capivari e, em laranja, a representação das barreiras flutuantes. Na Figura 4 está apresentado a disposição das barreiras *new jersey* e flutuantes no trecho próximo ao rio Cotia.



**Figura 3: Disposição das alternativas de retenção no trecho crítico B, próximo ao rio Capivari**



Figura 4: Disposição das alternativas de retenção no trecho crítico I, próximo ao rio Cotia

A Tabela 4 apresenta uma estimativa prévia, em nível de concepção, da quantidade de materiais e serviços necessários para a instalação da solução.

Além das barreiras *new jersey* e das barreiras móveis flutuantes, foram estimados serviços para supressão vegetal, movimentação de terra e regularização do terreno necessários para a instalação das barreiras *new jersey*. Para estimativa da supressão vegetal e a regularização do terreno, considerou-se, além da área ocupada pela barreira (largura de 0,62 m), uma faixa de 2 metros de cada lado, que viabilizaria a movimentação de maquinário e trabalhadores. A movimentação de terra foi estimada para fixação da barreira *new jersey*, para tal, considerou-se uma remoção de 20 cm em toda a extensão da base das barreiras (0,62 m x 2.685 m). Todas estas estimativas foram realizadas com base na análise de imagens de satélite do Google Earth e do Modelo Digital de Elevação do estado de São Paulo.

Tabela 4: Estimativa em nível conceitual do quantitativo de materiais e serviços para instalação das alternativas

Classificação	Item	Trecho	Quantidade	Unidade
Material	Barreiras <i>new jersey</i>	Cotia	2.080	m
		Capivari	605	m
		<b>Total</b>	<b>2.685</b>	<b>m</b>
	Barreiras Móveis Flutuantes	Cotia	285	m
		Capivari	130	m
		<b>Total</b>	<b>415</b>	<b>m</b>
Serviço	Supressão Vegetal para instalação das barreiras <i>new jersey</i>	Cotia	5.450	m <sup>2</sup>
		Capivari	1.585	m <sup>2</sup>
		<b>Total</b>	<b>7.035</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
	Movimentação de terra para instalação das barreiras <i>new jersey</i>	Cotia	258	m <sup>3</sup>
		Capivari	75	m <sup>3</sup>
		<b>Total</b>	<b>333</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
	Regularização do Terreno para instalação das barreiras <i>new jersey</i>	Cotia	5.450	m <sup>2</sup>
		Capivari	1.585	m <sup>2</sup>
		<b>Total</b>	<b>7.035</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

## CONCLUSÕES

Considerando os pequenos impactos no regime hidrológico da sub-bacia da represa Pedro Beicht, a viabilidade de transporte e instalação e todos os critérios levantados, a instalação de barreiras *new jersey* associadas às barreiras móveis flutuantes apresentou-se como uma solução efetiva para proteção do Reservatório Pedro Beicht na Reserva Florestal do Morro Grande. As definições dos trechos críticos e do volume mínimo de retenção foram realizadas com uma análise criteriosa, o que aumenta a eficiência e viabilidade do projeto. Esta

solução, não diferente de outras, possui riscos de ineficiência ou falha, sendo necessárias manutenções periódicas para garantir o seu funcionamento pleno. Medidas não estruturais, as quais não foram consideradas no presente estudo, também devem ser estudadas e levadas em consideração a fim de garantir maior segurança ao reservatório e à reserva como um todo. Visto que trata-se de um estudo conceitual, como próximos passos recomenda-se a elaboração de topografia ao longo da ferrovia e nos braços da represa; definição da posição exata das barreiras *new jersey* e das barreiras móveis flutuantes e confirmação dos quantitativos de materiais e serviços.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CUNHA, Álvaro. Inauguração da nova instalação para o tratamento das águas do Cotia. In: *Revista DAE*, n. 3, 1937.
2. METZGER, Jean Paul; et al. Características ecológicas e implicações para a conservação da Reserva Florestal do Morro Grande. In: *Biota Neotropica*, v. 6, n. 2. 2006.
3. SABESP. Tratamento de Água – Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=36>>. Acesso em 15 junho de 2016.
4. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. O Licenciamento Ambiental do Rodoanel. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/rodoaneltrechosul/licenciamento/>>. Acesso em 10 Julho 2016.