



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO GGH**

**ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**VANTAGENS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS NO USO DO MXD-100 PARA CONTROLE DA  
BIOINCRUSTAÇÃO NO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DA UHE GOVERNADOR JOSÉ RICHIA (SALTO  
CAXIAS).**

Frederico Augusto R. da Mata  
MaxClean Ambiental & Química S/A

Carlos Alberto Dias  
MaxClean Ambiental & Química S/A

Josué Gonçalves Oliveira  
MaxClean Ambiental & Química S/A

Edson J. Marcolin  
Companhia Paranaense de Energia

Marcelo Zan  
Companhia Paranaense de Energia

Cláudio R. Rampim  
Companhia Paranaense de Energia

**RESUMO:** A Companhia Paranaense de Energia (Copel) sempre visando buscar soluções mais eficientes e seguras para seus processos realizou em junho de 2010 a substituição do sistema de controle de bioincrustação que injetava Hidróxido de Sódio pela injeção do produto MXD-100. Os resultados demonstraram que o MXD-100 protegeu o sistema de resfriamento da bioincrustação de briozoários, hidrozoários, mexilhão dourado e lama ferruginosa, removendo as incrustações. Eliminando o mau cheiro causado por mexilhões mortos. Proporcionando maior segurança na manipulação e aplicação para os funcionários, segurança ambiental e proteção do sistema sem acarretar corrosão. Além de apresentar varias vantagens econômicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** MXD-100, Bioincrustação, Mexilhão Dourado, Hidrozoários, UHE Salto Caxias.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

O início do problema da UHE Gov. Jose Richa foi a bioincrustação por Hidrozoário (*Cordylophora caspia*) (1), seja nas grades da tomada d'água seja nos filtros e trocadores de calor do sistema de resfriamento das unidades geradoras. Posteriormente e, de forma gradativa, observamos o crescimento da colônia de Mexilhão Dourado (*Limnoperma fortunei*) (2), a qual de forma incipiente até 2006 se desenvolveu exponencialmente em todo o reservatório em razão da ausência de predadores naturais além de encontrar substrato para fixação nas colônias nos hidrozoários já existentes. Esta simbiose desenvolveu-se de tal forma que ocasionou obstrução de grades da tomada d'água, dos filtros e trocadores de calor do sistema de resfriamento das unidades geradoras.

Assim, a Engenharia de Operação e Manutenção da Copel Geração e Transmissão buscaram meios para controlar/erradicar estes invasores nos sistemas. Várias alternativas foram estudadas considerando os benefícios e impactos que poderiam causar nas instalações e ao meio ambiente. Por fim, decidiu-se pela utilização de Hidróxido de Sódio a 50%, em razão de que a alcalinidade apresentada pela solução, alteraria o pH da água de forma a eliminar as larvas e indivíduos adultos, impedindo o desenvolvimento de novas colônias. Inicialmente, foi determinado que a injeção de hidróxido de sódio mantivesse o pH no sistema de resfriamento em torno de 9,0 em cada unidade geradora, sempre efetuando monitoramento da grandeza no ponto de aplicação do produto e na saída do sistema de resfriamento. Vale ressaltar que a vazão do sistema de resfriamento representa muito pouco frente a vazão turbinada em cada unidade. Desta forma, garantimos que os efeitos da adição do hidróxido de sódio ao sistema de resfriamento não representasse perigo para o meio ambiente em razão da diluição da solução na saída do tubo de sucção, conforme constatamos através do monitoramento do pH da água logo a jusante da Usina.

\* Rua Desembargador Jorge Fontana, nº80 – Sala 1007/1008 - CEP 30320-670 – Belo Horizonte - MG - BRASIL  
Tel.: (31) 3623-9100/3287-8079 - Fax: (31) 3623-9100 - E-MAIL: frederico.mata@maxcleanambiental.com.br

Com esta orientação e o uso contínuo do produto por aproximadamente 30 meses, com poucas interrupções, o sistema de resfriamento das unidades foi sendo gradativamente limpo, muito embora não totalmente isento das espécies invasoras, devido à sazonalidade no desenvolvimento das larvas e indivíduos adultos (no verão a reprodução das larvas e o desenvolvimento dos adultos do mexilhão são mais intensos).

Apesar dos resultados promissores, o produto utilizado apresentava certa restrição ambiental, devido às incertezas nas consequências ao meio ambiente (fauna e flora) em razão do uso contínuo do produto. Também consideramos os elevados riscos envolvidos no manuseio do produto durante o transporte, armazenagem e utilização, bem como no processo de transferência da carga de hidróxido do fornecedor para os reservatórios na Usina - a granel, dado o registro de pequenos incidentes que resultaram irritações causadas pelo produto em alguns colaboradores, mesmo com a utilização de equipamentos de segurança adequados ao manuseio de produtos químicos.

A utilização de produto alcalino, possíveis vazamentos e as medidas necessárias e contínuas para contenção e utilização de forma segura da solução, requisitaram a adequação e montagem de sistema independente e contido para armazenar o hidróxido e possibilitar a distribuição do produto em linha específica para injeção nas unidades geradoras.

Durante o período de utilização do hidróxido de sódio (aproximadamente 30 meses), observamos que o sistema de resfriamento manteve-se em processo constante de limpeza, mesmo considerando a sazonalidade do período reprodutivo do mexilhão.

Desta forma, tendo tomado conhecimento do produto da Maxclean em seminários do setor elétrico, consideramos a utilização do produto que apresentava as características atrativas de economicidade e fácil manuseio, sem comprometimento do meio ambiente dadas as garantias de que o produto, à base de extrato de taninos e quaternários de amônio, é biodegradável e não poluente.

## **2.0 - ANTIINCRUSTANTE MXD-100**

### **2.1 - Características técnicas do Antiincrustante MXD -100**

O antiincrustante tem o nome comercial de MXD -100 sendo um composto à base de extratos de taninos e quaternário de amônio. Seu estado físico é líquido, sendo uma solução completamente solúvel em água com o pH variando de 4 a 6, têm caráter catiônico, com tendência a não iônico e densidade de 1,020 à 1,060g/cm<sup>3</sup>.

O produto indicado pelo estudo coordenado pelo IEAPM – Marinha do Brasil, PROGRAMA DE PESQUISA PARA CONTROLE DO MEXILHÃO DOURADO (*L. fortunei*) NAS ÁGUAS JURISDICIONAIS BRASILEIRAS, como a melhor substância para controle do mexilhão dourado. Os trabalhos de campo realizados demonstram uma eficiência de 97% na redução da incrustação em sistema de resfriamento (3).

Nas análises toxicológicas (risco à saúde), ecotoxicológicas e dos parâmetros exigidos pela legislação (CONAMA/MINISTÉRIO DA SAÚDE) o antiincrustante MXD-100 atendeu a todos os parâmetros analisados. Quanto à biodegradabilidade apresentou um grau de 71,5% em 28 dias, sendo considerado biodegradável (4).

## **3.0 - APLICAÇÃO MXD-100 NA UHE SALTO CAXIAS (COPEL)**

### **3.1 – Sistema de dosagem**

O Sistema para aplicação do produto MXD-100 foi montado no piso 03 da usina, ao lado de cada filtro principal do sistema de resfriamento. Os equipamentos utilizados para a montagem do sistema foram: reservatórios casco duplo, modelo UNITAINER 1000, mangueiras de polietileno e bomba dosadora microprocessadas, modelo Etatron DLXMF-M 08/10. O ponto de aplicação definido foi antes do filtro principal do sistema de resfriamento de cada unidade geradora, visando a que toda a linha e equipamentos estejam protegidos. E para proteção foi instalado um pressostato na tubulação de água bruta com o intuito de se houver redução de pressão na linha, devido a manutenção ou parada da UG será cessado a dosagem do MXD-100.

### **3.2 – Dosagem do MXD –100**

A dosagem do produto foi realizada em duas etapas. Nos primeiros 90 dias por dosagem foi aplicado 2 ppm (1,7l por aplicação) de MXD-100, para realização de um tratamento de choque visando a remoção das colônias de organismos que estavam aderidas as tubulações e equipamentos. Decorridos este período a dosagem foi reduzida para 1 ppm (0,85l por aplicação), concentração utilizada para prevenção e proteção contra novas incrustações no sistema de resfriamento. A descrição detalhada do processo de dosagem e do consumo segue na tabela 1. O início da dosagem ocorreu no dia 30 de junho de 2010.

Tabela1: Processo de dosagem e volumes consumidos do produto MXD-100 durante o primeiro ano de aplicação.

Unidade	Sistema de Resfriamento (m <sup>3</sup> /h)	Aplicação (90 dias)	Quantidade MXD (l/dia)	Aplicação (275 dias)	Quantidade MXD (l/dia)
UG 01	850	3x13min	5.10	3x11min	2.55
UG 02	850	3x13min	5.10	3x11min	2.55
UG 03	850	3x13min	5.10	3x11min	2.55
UG 04	850	3x13min	5.10	3x11min	2.55
Total	-	-	20.40	-	10.20

### 3.3 - Áreas de aplicação

O produto foi injetado nos seguintes sistemas da UHE GJR: sistema de resfriamento das unidades geradoras; sistema de drenagem; sistema de esgotamento e linhas de alimentação do sistema de combate a incêndio dos transformadores elevadores.

## 4.0 - MONITORAMENTO

### 4.1 – Inspeção

Visando avaliar a eficiência e qualidade do produto MXD-100 foram definidos pontos de vistoria, sendo utilizados os equipamentos na UG-04 para inspeção: tubulações de água bruta antes do filtro principal, filtro de água principal e o trocador de calor 02 do mancal de guia do gerador.

Antes do início do processo de injeção foi realizada a abertura dos equipamentos definidos para verificação do seu estado inicial e realização de fotodocumentação para comparações futuras. Posteriormente foram definidos os prazos de 90 dias e 275 após início da injeção, onde seriam reabertos os mesmos equipamentos para verificação do nível de limpeza e comparação com os períodos iniciais.

### 4.2 – Monitoramento ambiental do efluente

Foi realizada mensalmente coleta de água no sistema de resfriamento da Unidade 04, os pontos de amostragem foram na porta de acesso à caixa espiral UG-04 e na saída do sistema de resfriamento dos trocadores do estator UG-04. Monitorou-se ao todo 38 parâmetros (tabela 2). Posteriormente as análises laboratoriais os valores obtidos foram comparados com os exigidos pela Resolução 357/05 - 397/08 do CONAMA e Portaria IAP 019/06 para lançamento de efluentes.

Tabela 2: Parâmetros monitorados para verificação dos padrões de lançamento do efluente no rio Iguaçu.

PARÂMETROS MONITORADOS		
Arsênio total	Fluoreto	pH
Boro Total	Manganês dissolvido	Clorofórmio
Bário total	Materiais flutuantes	Dicloroeteno
Chumbo total	Mercúrio total	Tricloroeteno
Cianeto livre	Níquel total	Tetracloroeto de carbono
Cianeto total	Nitrogênio Amoniacal	Óleos e graxas mineral
Cobre dissolvido	Prata total	Óleos e graxas vegetal/gordura animal
Cádmio total	Selênio total	Óleos e graxas total
DBO	Sulfeto	Cromo hexavalente
DQO	Surfactantes (tensoativos)	Cromo trivalente
Estanho total	Sólidos sedimentáveis	Cromo total
Fenol total	Sólidos suspensos totais	Ecotoxicidade aguda ( <i>Daphnia magna</i> )
Ferro Dissolvido	Zinco total	

### 4.3 – Nível de infestação







Para acompanhamento das densidades larvais de mexilhão dourado durante o período de dosagem do MXD-100 e verificação dos níveis históricos foi utilizado o programa de monitoramento já realizado pela UHE Salto Caxias desde 2004.

São realizadas amostragens em três pontos da Unidade 01: porta de acesso da caixa espiral, tubulação de água bruta antes do filtro principal do sistema de resfriamento e saída do sistema de resfriamento dos trocadores do estator. O procedimento de coleta mensalmente realizado é feito através da filtragem da água bruta em ambos os pontos, utilizando rede plâncton de 60  $\mu\text{m}$ , sendo filtrado em média o volume de 1000 litros. O material coletado é acondicionado em frascos plásticos, fixados com álcool a 96% e encaminhado para análise laboratorial.

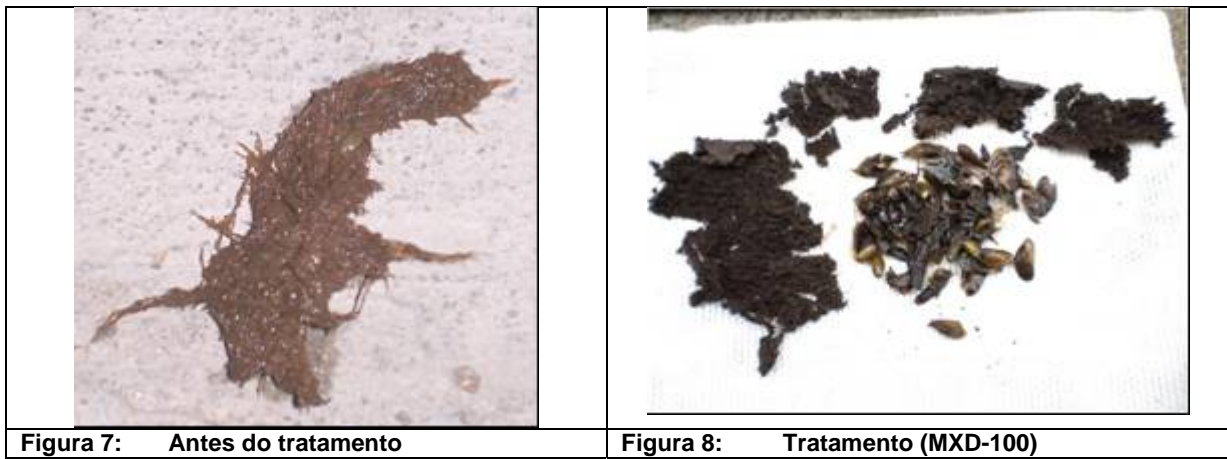
## 5.0 - RESULTADOS

### 5.1 – Inspeção

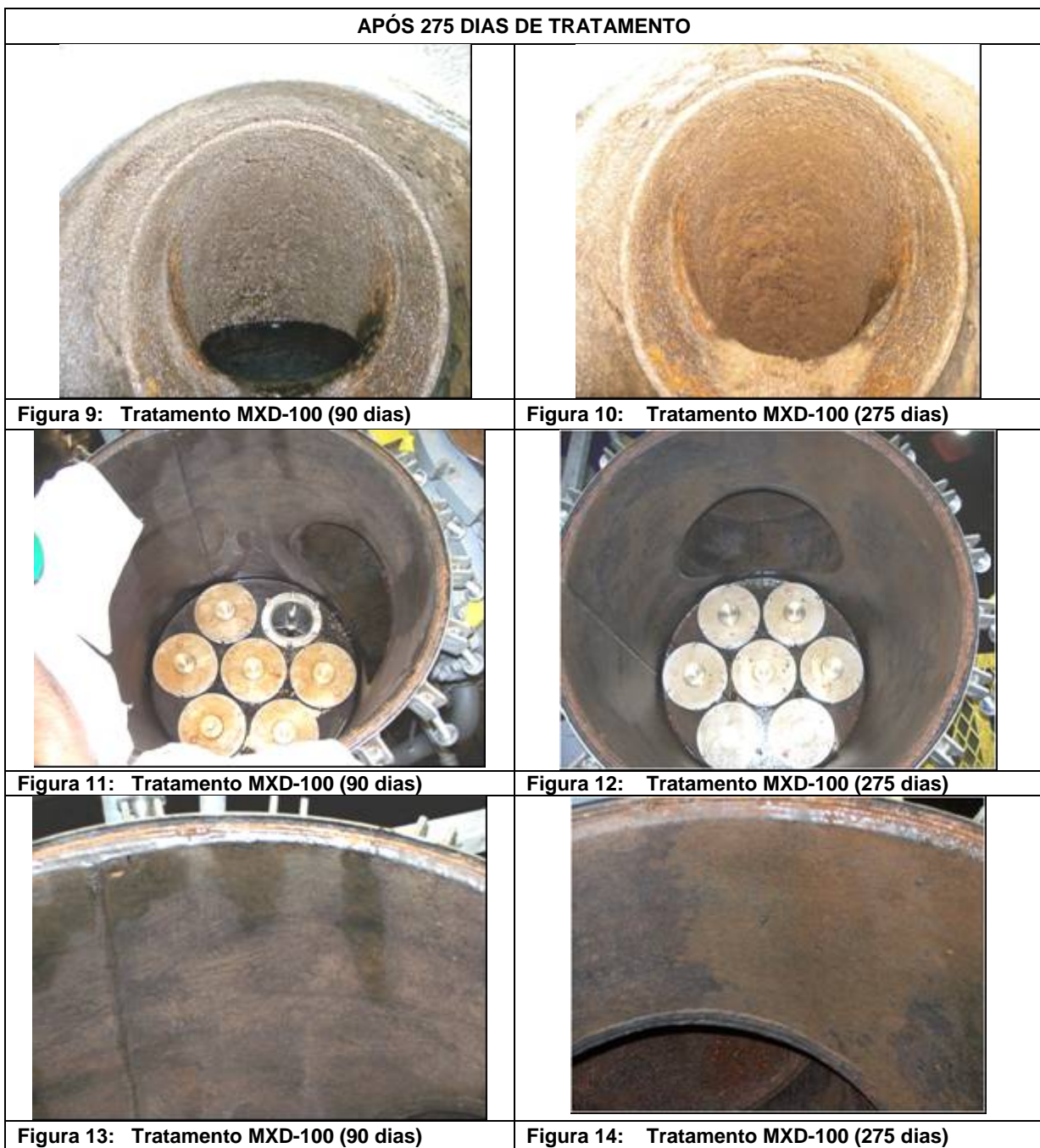
Comparando as vistorias realizadas antes do início do tratamento com a realizada após 90 dias ficou evidenciado que o processo de tratamento utilizando o MXD-100 estava apresentando resultados positivos. Ocorreu a remoção das colônias existentes, principalmente de mexilhão dourado, no interior da tubulação anterior ao filtro principal, onde não era possível realizar a limpeza (Figuras 1 e 2). O filtro principal permaneceu limpo e na sua borda que apresentava uma incrustação por hidrozoários, esta foi removida (Figuras 3,4,5,e 6). No trocador de calor 02 do mancal de guia do gerador as placas apresentavam material aderido e nas tubulações de entrada mexilhões vivos fixados (Figura 7), após o período de dosagem o mesmo apresentava limpo e contendo hidrozoários e conchas vazias de mexilhão soltas sobre as placas (Figura 8), por ser um local de redução de velocidade e vazão o material removido dos outros equipamentos ficam presos entre as placas, mas sem interferir na troca térmica.

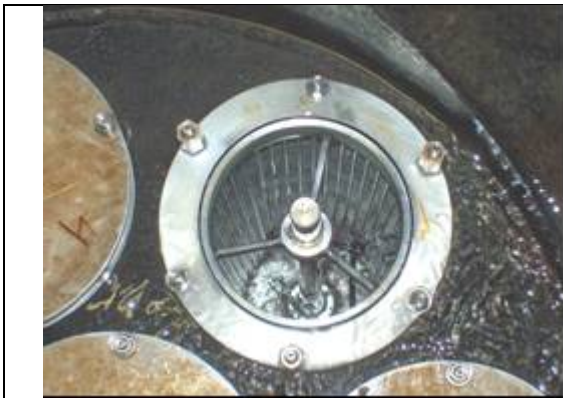
APÓS 90 DIAS DE TRATAMENTO	
	
<b>Figura 1: Antes do tratamento</b>	<b>Figura 2: Tratamento (MXD-100)</b>
	
<b>Figura 3: Antes do tratamento</b>	<b>Figura 4: Tratamento (MXD-100)</b>
	
<b>Figura 5: Antes do tratamento</b>	<b>Figura 6: Tratamento (MXD-100)</b>



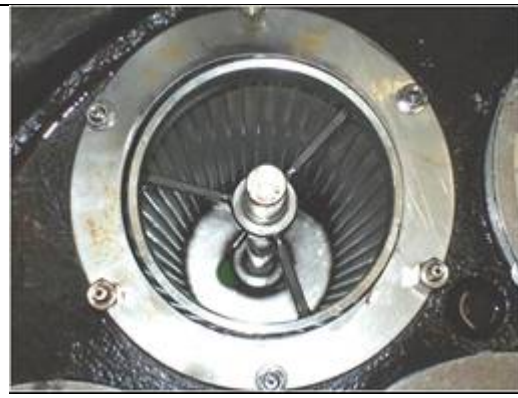


Na terceira vistoria realizada após 275 dias do início da injeção verificou-se que os equipamentos utilizados como controle se mantiveram limpos. Após os 90 dias houve a redução da dosagem para 1 ppm, demonstrando que esta concentração foi eficiente no controle e prevenção de novas incrustações. Como pode ser observado nas figuras 9 a 16, o sistema manteve o mesmo grau de limpeza.





**Figura 15: Tratamento MXD-100 (90 dias)**



**Figura 16: Tratamento MXD-100 (275 dias)**

## 5.2 – Monitoramento ambiental

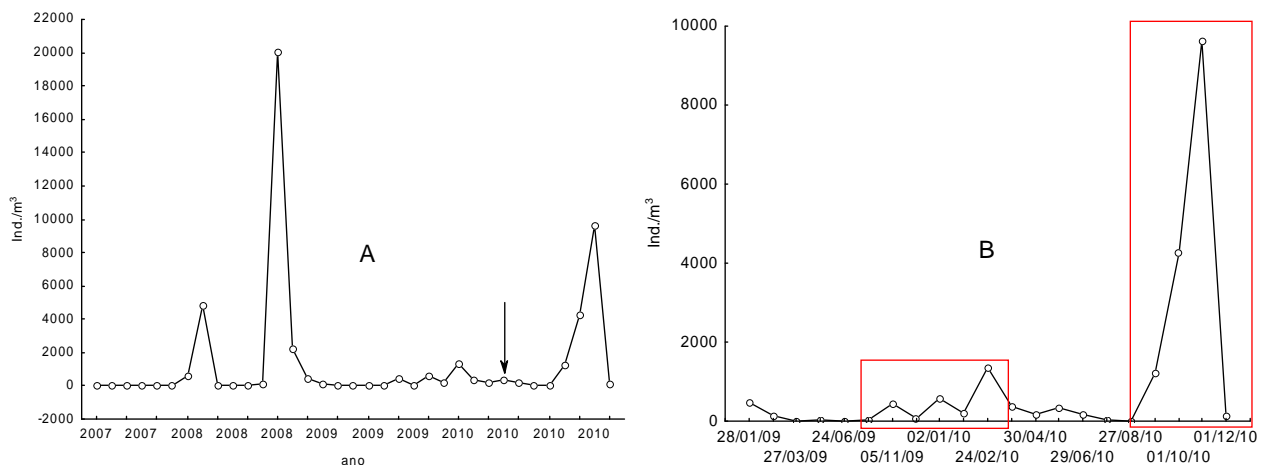
Todos os parâmetros medidos para lançamento do efluente, conforme o Art. 34 da Resolução 357/05 e resolução 397/08 do CONAMA e Portaria IAP 019/06, da água do sistema de resfriamento tratado com o produto MXD-100 atenderam a legislação ambiental, podendo ser lançado no rio Iguaçu sem alteração da qualidade ambiental.

## 5.3 – Nível de infestação

No monitoramento realizado na tubulação de água bruta antes do filtro principal do sistema de resfriamento UG-01, de março de 2007 a dezembro de 2010, o valor médio mensal da densidade de larvas de mexilhão dourado foi de 1.365 ind./m<sup>3</sup>. Ocorreram três picos bastante acentuados dentro desse período, sendo 4.832 ind./m<sup>3</sup> em junho de 2008, 20.036 ind./m<sup>3</sup> novembro de 2008 e 9.615 ind./m<sup>3</sup> novembro de 2010. O período de dosagem do MXD-100 compreendeu o segundo maior pico do histórico (Figura 17 A).

Em todos os meses amostrados não se encontrou o resultado igual a zero, demonstrando que neste sistema pode estar ocorrendo atividade reprodutiva durante todo o ano.

Nos anos de 2009 e 2010 observa-se que no período entre os meses de setembro a março são encontrados os maiores densidades de larvas, ocorrendo à queda dos valores entre os meses abril a agosto (Figura 17 B).



**Figura 17 – A: Histórico das densidades de larvas de mexilhão dourado que entram no sistema de resfriamento (2007 a 2010) B: Períodos de maior densidade de larvas de mexilhão dourado na água de entrada do sistema de resfriamento.**

## 6.0 - AVALIACAO TÉCNICA

- ❖ Não ocorreram intervenções nas unidades geradoras para manutenção dos equipamentos do sistema de resfriamento, excluindo as já programadas;
- ❖ Eliminação da abertura dos trocadores de calor para limpeza devido à incrustação, necessidade que ocorria durante a utilização do hidróxido de sódio;
- ❖ Não se utilizou mais o profissional especializado em tempo integral, para o acompanhamento do sistema e ajustes de dosagens, o liberando para realização de outras atividades;
- ❖ Redução dos custos dos equipamentos utilizados na injeção e maior durabilidade;
- ❖ Redução dos custos de manutenção das bombas dosadoras.

- ❖ Redução dos riscos de vazamentos, protegendo o meio ambiente e as equipes de manutenção, operação e conservação;
- ❖ Dispensa de uniformes especiais e equipamentos de segurança especiais para o manuseio do produto;
- ❖ Eliminação de possíveis acidentes por contato do hidróxido de sódio com a pele e olhos;
- ❖ Eliminação da logística de abastecimento, uma carga anual do produto atende à demanda necessária de toda a planta, sendo necessária nove de Hidróxido de Sódio, liberando a equipe para outros trabalhos da planta;
- ❖ Redução dos volumes armazenados, em torno de 4.600 litros de produto MXD-100 por ano, contra 90.000 litros de Hidróxido de Sódio por ano
- ❖ Redução do envolvimento da equipe de compras, supervisão mínima na logística de abastecimento do produto;
- ❖ Eliminação do mau cheiro ocasionado pelos mexilhões mortos;
- ❖ Verificação da possibilidade de redução das dosagens utilizadas, devido à qualidade dos resultados apresentados e a variação anual da dinâmica reprodutiva dos organismos;
- ❖ Eliminação da ação corrosiva do hidróxido de sódio nos equipamentos.
- ❖ O produto MXD-100 se mostrou eficiente no controle dos organismos propostos, mesmo quando ocorreu elevação brusca da densidade, como houve com mexilhão dourado no mês de novembro de 2010.
- ❖ Facilidade de montagem e aplicação do produto MXD-100.
- ❖ Segurança ambiental para lançamento do efluente, não alterando a qualidade da água do rio Iguaçu.

## 7.0 - CONCLUSÃO

O MXD-100 protegeu todo sistema de resfriamento da incrustação de briozoários, hidrozoários, mexilhão dourado e lama ferruginosa, removendo as incrustações existentes no sistema. Eliminou do mau cheiro causado por mexilhões mortos. Proporcionou maior segurança na manipulação e aplicação para os funcionários, segurança ambiental e proteção do sistema sem acarretar corrosão. Além de apresentar varias vantagens econômicas quando comparado com outros produtos.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BORGES, P. D., NETTO, O. S. M., BELZ, C. E., SILVA, A. S., HADDAD, M. A. Crescimento e recrutamento da espécie invasora *Cordylophora caspia* (Cnidária) no reservatório da usina hidrelétrica Iguaçu, Paraná. XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 17 a 21 de fevereiro. Curitiba - Paraná.
- (2) NETTO, O. S. M., BELZ, C. E. BORGES, P. D., SILVA, A. S., FREITAS, L., F. OCORRÊNCIA DE MOLUSCOS BIVALVES INVASORES NO RIO IGUAÇU, PARANÁ. XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia, 17 a 21 de fevereiro. Curitiba - Paraná.
- (3) DIAS, C. A., MATA, F. A. R., CAMPOS, M. C. S., PATRÍCIO, F. C. Assessing the efficiency and safety of the antifouling MXD-100 for control of invasive species *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) in Power Plants. XVII International Conference on Aquatic Invasive Species, 29 de agosto a 2 de setembro de 2010. San Diego, CA, USA.
- (4) BONAFÉ, R. A., MATA, F. A. R, DIAS, C. A., CAMPOS, M. C. S. Uso do antiincrustante MXD-100 para controle do mexilhão dourado. IV Seminário Brasileiro de Meio Ambiente e Responsabilidade Social no Setor Elétrico – SMARS. 20 a 22 de junho de 2010. Curitiba – Paraná.

## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Frederico Augusto Ribeiro da Mata (frederico.mata@maxcleanambiental.com.br): Biólogo atua como pesquisador e Gerente de Meio Ambiente da empresa Maxclean Ambiental & Química S.A;

Carlos Alberto Dias (carlos@maxcleanambiental.com.br): Químico, atua como Diretor Geral da empresa Maxclean Ambiental & Química S.A;

Josué Gonçalves de Oliveira (josue.oliveira@maxcleanambiental.com.br): Eletromecânico, atua como técnico de eletromecânica da empresa Maxclean Ambiental & Química S.A;

Cláudio R. Rampim (rampim@copel.com): Gerente de Departamento da Unidade de Produção de Mauá da Companhia Paranaense de Energia (COPEL);

Edson J. Marcolin (marcolin@copel.com): Superintendente de Operação e Manutenção da Geração da Companhia Paranaense de Energia (COPEL);

Marcelo Zan (marcelo.zan@copel.com): Gerente da Divisão de Manutenção Mecânica da Companhia Paranaense de Energia (COPEL);