

## BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO. UM NOVO SELANTE PARA AS JUNTAS

Rui T. Mori  
Engenheiro Consultor

**RESUMO:** O número crescente de barragens de enrocamento com face de concreto de grande altura, projetadas para construção em futuro próximo, incentiva o desenvolvimento de novos conceitos e novas tecnologias de vedação das suas juntas. No caso de juntas que tendem a se abrir, que são as juntas verticais de ombreira e a junta perimetral, a prática corrente é de se contar com sistemas de defesa múltiplas, compostos por vedajuntas de cobre, PVC, mastique coberto por manta impermeável. Além disso, a junta perimetral é coberta por um material não coesivo, suficientemente fino para entupir a junta aberta e controlar as infiltrações em níveis baixos. Um novo selante é proposto neste trabalho, que se aplica tanto às juntas verticais como à junta perimetral, consistindo em um vedajuntas de neoprene, com seção "cogumelo", cuja principal vantagem em termos práticos, além das vantagens técnicas, é a sua instalação após a concretagem do plinto e das placas. Ensaio de laboratório com pressões hidráulicas de até 250 m de coluna d'água mostraram o bom comportamento desse novo selante, o que abre perspectivas concretas para uma simplificação construtiva do detalhe das juntas e para uma maior confiabilidade no controle das infiltrações.

### 1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS VEDAJUNTAS NAS JUNTAS VERTICAIS

O movimento das placas de concreto sob a ação da pressão hidrostática devido ao enchimento do reservatório é comandado pela deformação plástica do enrocamento sobre o qual elas repousam. O carregamento hidrostático provoca deformação devido à compressão do maciço, que faz com que o deslocamento das placas de concreto seja essencialmente normal ao talude. Dessa forma, as juntas verticais centrais tendem a permanecer fechadas, enquanto que as de ombreira abrem, em função da maior área final do talude deformado.

Ao contrário da junta perimetral, as juntas verticais apresentam apenas movimento relativo de abertura. O movimento real contempla também a saída do off-set original.

A impermeabilização das juntas verticais é obtida por meio de colocação de vedajuntas de cobre ou de PVC, além do uso de mastique sobre a junta coberta com manta de borracha.

Menciona-se a seguir três obras que foram marcos no desenvolvimento dos detalhes de junta.

Na Barragem de Cethana, na Austrália, concluída em 1971, com altura máxima de 110 m as juntas verticais de ombreira, denominadas tipo A, tiveram dois vedajuntas conforme descrito por Fitzpatrick et al (1985): o de cobre em forma de W na base das placas, instaladas sobre uma base argamassada, e o de borracha natural na linha central das lajes. As juntas tipo B, centrais, tiveram apenas o vedajuntas de cobre, na base. A Figura nº 1 mostra os detalhes dos dois vedajuntas verticais de Cethana.

Em função das pequenas aberturas de juntas medidas, a prática corrente depois de Cethana passou a ser de se instalar apenas um vedajuntas. Na Austrália, o único vedajuntas empregado era o de cobre ou de aço inoxidável na base das lajes. Na Barragem de Alto Anchicaya, na Colômbia, concluída em 1974, com altura máxima de 140 m, segundo Materon (1985) o único vedajuntas utilizado foi o de PVC na linha central das lajes. Já em Foz do Areia, concluída em 1980, com altura máxima de 160 m, conforme Pinto et al (1985), o detalhe das juntas tipo B foi semelhante ao de Cethana, enquanto que as do tipo A dispensaram o vedajuntas de borracha em favor da colocação do mastique engaiolado sobre as juntas, e contando portanto com proteção dupla. Isto se deve às dificuldades executivas e má qualidade do concreto junto ao vedajuntas central de borracha, e ao sucesso atribuído ao mastique no reparo da vedação da junta perimetral em Alto Anchicaya. A Figura nº 2 mostra os detalhes das juntas de Alto Anchicaya e Foz do Areia.

As barragens mais recentes seguem a tendência de se utilizar apenas o vedajuntas de cobre nas juntas centrais e uma proteção dupla, constituída de vedajuntas de cobre na base e mastique no topo, nas juntas de ombreira.

## 2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS VEDAJUNTAS NA JUNTA PERIMETRAL

O ponto crítico das barragens de enrocamento com face de concreto é a junta perimetral, onde ocorrem os principais vazamentos de água. Os movimentos relativos da junta são tridimensionais, visto que o plinto é ancorado ao terreno de fundação e as placas de concreto repousam sobre o enrocamento compressível.

A Figura nº 3 mostra os três componentes do deslocamento: abertura da junta, saída do off-set e deslocamento tangencial. A Tabela I apresenta os deslocamentos máximos medidos em quatro barragens principais, e suas alturas e módulos de deformabilidade construtiva do enrocamento.

	SAÍDA DO OFF-SET (mm)	ABERTURA (mm)	TANGENCIAL (mm)	OBSERVAÇÕES
Foz do Areia H = 160 m E = 37 ~ 55 MPa	55	23	25	Tangencial estimado
Cethana H = 110 m E = 112 ~ 185 MPa	-	11	7	
Alto Anchicaya H = 140 m E = 98 ~ 167 MPa	106	125	15	junto à zona fraca na ombreira direita
Shiroro H = 125 m E = 76 MPa	50	30	21	

TABELA I. Deslocamentos da Junta Perimetral de Algumas Barragens

A Figura nº 4 mostra esquematicamente a evolução histórica do detalhe da junta perimetral.

Como primeira barragem do tipo com altura maior que 100 m, Cethana teve dois vedajuntas: o de cobre na base e o de borracha na linha central das lajes. Conforme mostrado na Tabela I seus deslocamentos com o enchimento foram pequenos e seu vazamento medido menor que 50 l/s.

Já Alto Anchicaya teve apenas o vedajuntas de borracha, apesar da sua altura de 140 m. Vazamento de 1800 l/s foi registrado e trabalhos de reparação foram realizados após esvaziamento do reservatório. O conserto da junta considerou a colocação de mastique no topo da junta perimetral, além de reparos no concreto vizinho à junta. O vazamento foi controlado em níveis baixos e o sucesso do reparo foi atribuído ao preenchimento de mastique no topo da junta.

Foz do Areia se beneficiou das experiências anteriores e devido à sua altura sem precedentes para a época, teve um sistema de defesa tripla: os vedajuntas de cobre e PVC, como em Cethana, e o depósito de mastique como em Alto Anchicaya. Em função do sucesso de Foz do Areia, que teve um vazamento de cerca de 200 l/s apesar da alta compressibilidade do enrocamento de basalto, as obras subsequentes geralmente adotaram esse sistema de defesa tripla.

Pinto e Mori (1988) apresentaram uma solução simplificadora e mais efetiva no combate aos vazamentos. Sua proposta alia um vedajuntas convencional de estruturas de concreto, no caso o de cobre na base da junta, com o conceito de autocolmatação de fissuras de núcleo de barragens de enrocamento com núcleo de argila. A utilização de areia fina siltosa de baixa permeabilidade controlaria as infiltrações em baixos valores, desde que fosse carregada e entupisse a junta a medida que ela for se abrindo. Para tanto é fundamental que o material à jusante da junta seja filtro para a areia fina siltosa e que não haja cascalho ou qualquer fração grossa à montante que impeça o carreamento da areia para a junta aberta.

Praticamente todas as barragens subsequentes incorporaram no seu projeto esse detalhe da junta. A Figura nº 5 mostra a proposição de Pinto e Mori (1988) e um exemplo de utilização que é Aguamilpa, com 190 m de altura, onde se utilizou a cinza vulcânica como o entupidor de juntas, segundo Cartaxo e Abonce (1991).

### 3. UM NOVO VEDAJUNTAS

#### 3.1 Descrição

O novo vedajuntas, denominado JEENE Série TB é constituído de um perfil de policloropreno extrudado e vulcanizado na sua forma definitiva para facilitar a aplicação nas juntas de barragens de enrocamento com face de concreto. É aderido ao substrato com adesivo epoxídico que garante a completa vedação nos diversos movimentos impostos pela estrutura. A Figura nº 6 apresenta o perfil e as características geométricas do novo vedajuntas.

O sistema JEENE foi desenvolvido com tecnologia nacional para solucionar inicialmente problemas de vazamentos de juntas de tubulações de adutoras, de edificações e de obras de arte. O sistema tem sido eficaz e de alta durabilidade, comprovada por obras realizadas nos últimos 20 anos, suportando pressões hidrostáticas de até 80 metros de coluna d'água. Nos últimos 3 anos a pesquisa foi dirigida para desenvolver um perfil de vedajuntas com geometria e características próprias para suportar altas pressões hidráulicas.

A Figura nº 7 mostra os vedajuntas série TB aplicados em juntas perimetrais e verticais de barragens de enrocamento.

#### 3.2 Testes Realizados

Para verificar o desempenho dos vedajuntas TB foram realizados diversos ensaios no Laboratório Falcão Bauer, utilizando um corpo de provas de chapas de aço de 50 x 29 x 22 cm, conforme apresentado na Figura nº 8.

O perfil TB foi aderido às cantoneiras de aço de  $\frac{3}{4}$ " de espessura, na base do corpo de provas, simulando as aberturas das juntas. Para vedá-lo hermeticamente, utilizou-se ourela elastomérica entre as chapas de aço.

O corpo de provas foi reforçado com parafusos passantes e porcas para suportar as elevadas pressões impostas e na tampa superior, foram criados dois tubos de acesso para permitir a entrada de água pressurizada e a instalação do manômetro.

A Tabela II apresenta a sequência de ensaios realizados, com os respectivos resultados:

ENSAIO N°	ABERTURA DA JUNTA	ADERIDO AO SUBSTRATO	PRESSÃO ALCANÇADA
1	5 cm	aço	18 kgf/cm <sup>2</sup>
2	5 cm	aço	20 kgf/cm <sup>2</sup>
3	5 cm	aço	25 kgf/cm <sup>2</sup>
4	6 cm	aço	24 kgf/cm <sup>2</sup>
5	5 cm	concreto	24 kgf/cm <sup>2</sup>

TABELA II. Resultados de Ensaios com o Vedajuntas TB

São feitas as seguintes observações sobre os ensaios realizados:

- Existem diversos tamanhos de vedajuntas da Série TB para atender diferentes magnitudes de movimentações da junta. O perfil ensaiado, JJ 1350 TB, foi projetado para absorver movimentações estruturais (abertura de junta) de 30 a 60 mm;
- Nestes ensaios a pressão hidrostática foi aumentada gradualmente 1 kgf/cm<sup>2</sup> a cada 30 minutos. Para se observar o seu comportamento sob pressão constante, o sistema foi deixado com pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> aplicado durante 17 horas;
- Todos os ensaios foram interrompidos no momento em que o corpo de provas apresentou vazamento. Nos quatro primeiros os vazamentos ocorreram na vedação da tampa superior (ourela elastomérica). O último ensaio apresentou percolação de água no ponto de transição entre chapa de aço e concreto;

- Após cada ensaio o corpo de provas foi desmontado para análises. Observou-se que em nenhum deles houve dano nos materiais ou falha de aderência entre o perfil e o substrato;
- A limitação do corpo de prova, que apresentou vazamento através da vedação entre as chapas de aço ao nível de  $24 \text{ kgf/cm}^2$ , não permitiu determinar a resistência real limite do vedajuntas propriamente dito.

### 3.3 Vantagens

O sistema apresenta as seguintes vantagens em função de suas características técnicas:

- Os ensaios efetuados comprovaram estanqueidade completa da junta até 240 metros de coluna d'água;
- Os materiais (policloropreno e adesivo a base epóxi), são de alta resistência mecânica, química e às intempéries;
- Não é previamente engastado na laje durante o lançamento do concreto. É instalado após o término da concretagem e cura das lajes, proporcionando melhor qualidade do concreto na região das juntas;
- Pelo fato de ser instalado a posteriori, dispensa qualquer tipo de proteção na fase construtiva;
- Desempenho mecânico apropriado, que absorve as movimentações estruturais em função da sua geometria e da aderência efetiva do adesivo epóxi ao perfil e ao concreto;
- O controle visual é fácil e possibilita reparar eventuais defeitos de construção ou de aplicação, sem interferir na estrutura.

### 4. CONCLUSÕES

O novo vedajuntas trouxe inovações muito vantajosas em relação aos existentes e comumente empregados para a impermeabilização de juntas em barragens de enrocamento com face de concreto. A durabilidade, a facilidade de instalação, a qualidade de vedação do próprio selante e do concreto do entorno fazem com que este vedajuntas seja uma solução confiável não só para as juntas verticais, entre placas, como para a junta perimetral. A combinação do novo vedajuntas com o depósito de areia fina siltosa parece ser a solução simples, prática e apropriada para a junta perimetral.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cartaxo, L.E.M. e Abonce, J.C. (1991): "Design Features of Aguamilpa Dam". Anais do XVII Congresso Internacional de Grandes Barragens, Viena.
- Fitzpatrick, M.D., Cole, B.A., Kistler, F.L. e Knoop, B.P. (1985): "Design of Concrete-Faced Rockfill Dams". Anais do Simpósio Concrete Face Rockfill Dams - Design. Construction and Performance, ASCE, Detroit.
- Materon, B. (1985): "Alto Anchicaya Dam - Ten Years Performance". Anais do Simpósio Concrete Face Rockfill Dams - Design. Construction and Performance, ASCE, Detroit.
- Pinto, N.L.S., Marques F<sup>o</sup>., P.L. e Maurer, E. (1985): "Foz do Areia Dam - Design, Construction and Behaviour". Anais do Simpósio Concrete Face Rockfill Dams - Design. Construction and Performance, ASCE, Detroit.
- Pinto, N.L.S., Mori, R.T. (1988): "A New Concept of a Perimetric Joint for Concrete Face Rockfill Dams". Anais do XVI Congresso Internacional de Grandes Barragens, San Francisco.

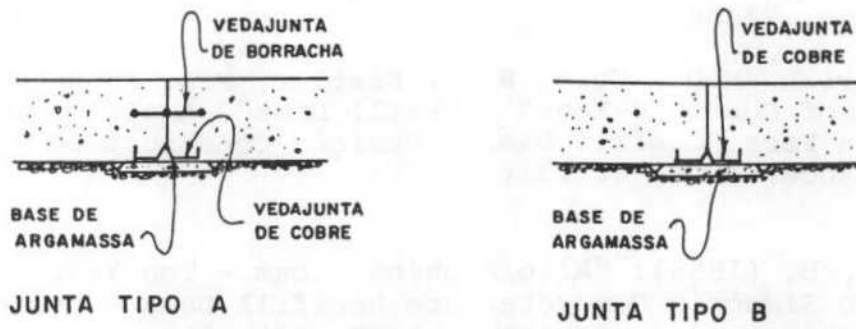


FIG. 1 : Detalhes das Juntas Verticais de CETHANA



FIG. 2 : Detalhes das Juntas Verticais de ALTO ANCHICAYA E FOZ DO AREIA

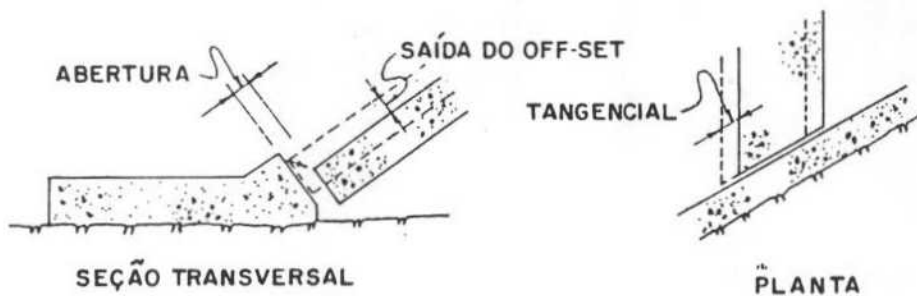
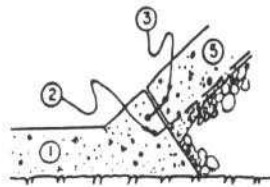
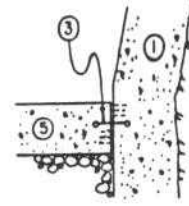


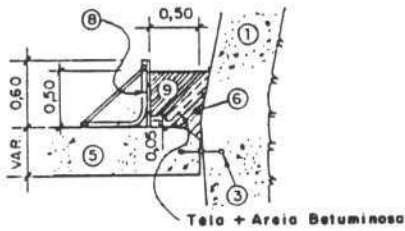
FIG. 3: Deslocamentos da Junta Perimetral



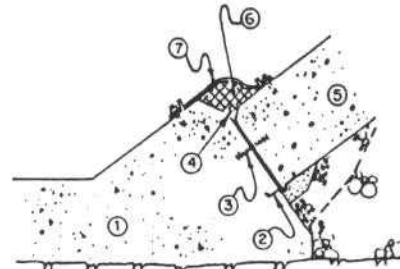
CETHANA (H=110m)1970



ALTO ANCHICAYA (H=140m) 1974  
Detalhe original



ALTO ANCHICAYA  
Detalhe Modificado



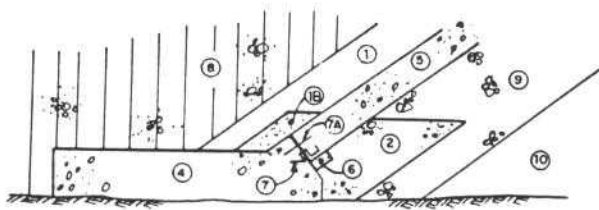
FOZ DO AREIA (H=160m) 1980

LEGENDA:

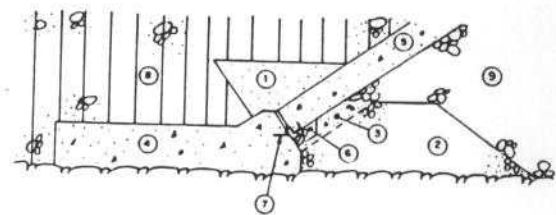
- ① Plinto
- ② Vedajuntas de Cobre
- ③ Vedajuntas de PVC ou Borracha
- ④ Tubo de Neoprene

- ⑤ Laje da Face
- ⑥ Mastique
- ⑦ Capa de PVC
- ⑧ Suporte Metálico
- ⑨ Argila

FIG. 4: Evolução da Junta Perimetral



BARRAGEM DE AGUAMILPA (H=190m)1993



PROPOSIÇÃO DE PINTO E MORI (1988)

LEGENDA:

- ① Areia Fina Siltsosa ou ⑬ Cinza Vulcânica
- ② Material de Filtro
- ③ Material de Filtro + 5% Cimento
- ④ Plinto
- ⑤ Laje
- ⑥ Areia Betuminosa

- ⑦ Vedajuntas de Cobre
- ⑦A Vedajuntas de PVC
- ⑧ Aterro de bota-fora
- ⑨ Material de Transição Normal
- ⑩ Cascalho Aluvionar

FIG. 5: Detalhes Recentes da Junta Perimetral

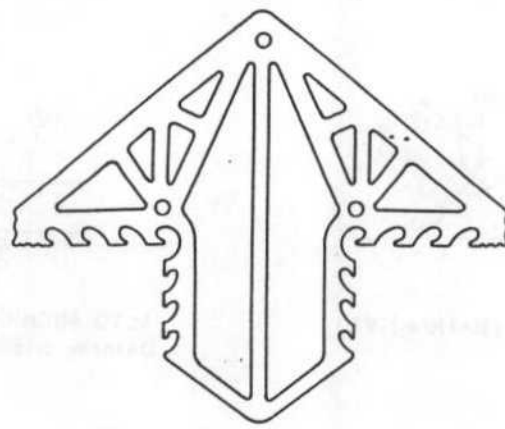


FIG. 6: Perfil Típico do Novo Vedajuntas JEENE Tipo TB

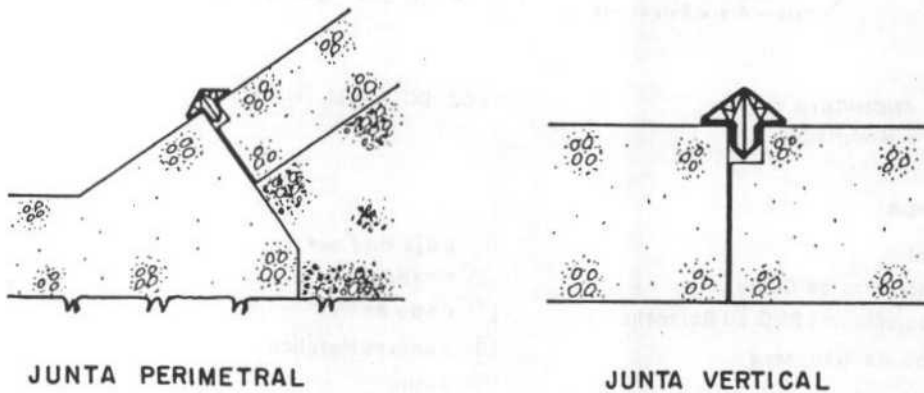


FIG. 7 : Detalhe de Colocação do Vedajuntas TB

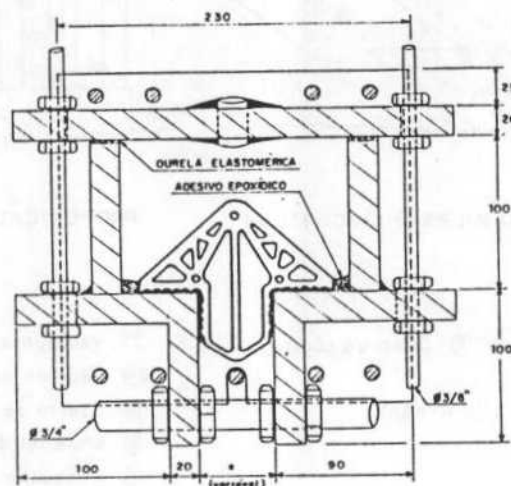


FIG. 8: Esquema de Montagem do Campo de Provas