

Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência

**LAUDO TÉCNICO DAS CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE DO
TRECHO DE MONTANTE DA ILHA DAS CABRAS NO RIO JACUÍ**

DEZEMBRO DE 2006

M.Sc. Eng. Civil Talles Augusto Araújo

SUMÁRIO

1 – APRESENTAÇÃO	3
2 – REFERÊNCIAS	3
3 – HISTÓRICO	3
4 – OBJETIVOS DO LAUDO TÉCNICO	8
5 – DESCRIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS DE ESTABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DAS MARGENS DO PONTAL DA ILHA DAS CABRAS.....	9
6 – ASPECTOS DA ESTABILIDADE DO PONTAL DA ILHA	31
7 – ASPECTOS DA ESTABILIDADE DAS ESTRUTURAS IMPLANTADAS NAS MARGENS DO PONTAL DA ILHA	39
8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60
9 – ANEXOS.....	Erro! Indicador não definido.

ANEXO I – PLANTA DEPRC (1942), AEROFOTOS, IMAGEM DE SATÉLITE E
CONTORNOS DAS MARGENS DA ILHA DAS CABRAS DE 1965 A
2006

ANEXO II – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA (ART)

–FATEC – FUNDAÇÃO DE APOIO À TECNOLOGIA E CIÊNCIA

–CURRICULUM VITAE – M.Sc.Eng.Civil TALLEs AUGUSTO ARAUJO

1 – APRESENTAÇÃO

O presente laudo técnico tem como objetivo principal descrever e analisar as condições de estabilidade dos taludes das margens da Ilha das Cabras do Rio Jacuí, onde se encontram instaladas três torres de alta tensão da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica), em um trecho onde a empresa SOMAR- Sociedade Mineradora Ltda. é detentora de concessão para minerar areia no leito deste rio.

Além disso, o presente laudo técnico tem, também, como objetivo, dar subsídios técnicos à Ação Civil Pública Nº 2006.71.00.028285-1/RS, que tramita na Justiça Federal na Vara Federal Ambiental, Agrária e Residual de Porto Alegre, RS.

2 – REFERÊNCIAS

Para a realização do presente laudo técnico foram consultadas as seguintes documentações fornecidas pela empresa mineradora:

- Cópia de partes autos do processo acima referido;
- Licença de Operação LO Nº 3.341/01-DL, expedida pela FEPAM ;
- Partes do PAE – Plano de Aproveitamento Econômico – relativo aos estudos geológicos apresentado ao DNPM;
- Partes do Estudo Ambiental atinentes a geologia apresentado à FEPAM;
- Aerofotos;
- Detalhe da Planta do DEPRC (Departamento Estadual de Portos Rios e Canais) de 1942;
- Figura 6;
- Planta de **sobreposição de margens do Anexo I.**

3 – HISTÓRICO

Conforme mostram as aerofotos do **Anexo I**, fotos do presente laudo, na porção de montante e margem direita da Ilha das Cabras, foram implantadas estruturas de estabilização e proteção de taludes, no entorno das três torres de alta tensão da CEEE

(Companhia Estadual de Energia Elétrica). Estas estruturas e suas áreas adjacentes são o objeto do presente laudo.

As condições geomorfológicas do local (ilha no centro da calha do rio, natureza dos terrenos do local e outros) e as condições hidráulicas do rio Jacuí permitem inferir que as obras de estabilização dos taludes da ilha foram concebidas e implantadas com a finalidade primordial de estabilizar processos erosivos fluviais intensos na sua porção de montante. Com estas obras, foi garantida a estabilidade das fundações das três torres de alta tensão.

Estas torres mencionadas fazem parte do sistema de distribuição de energia elétrica produzida pela Usina Termoelétrica de Charqueadas.

É de se supor, em razão das condições acima referidas, que a proprietária da rede de alta tensão, a CEEE, percebeu, o que é confirmado pela análise da evolução das margens da ilha com aerofotos e imagens de satélites, que os terrenos no entorno das torres estavam submetidos a processos erosivos fluviais, por efeito das correntezas (forças de arraste) do rio em razão das obras hidráulicas (represas, barragens, eclusas) construídas a montante da Ilha.

Segundo o Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) apresentado ao DNPM e o Estudo Ambiental apresentado a FEPAM pela SOMAR, a Ilha das Cabras é classificada como uma ilha do tipo Barra de Canal.

A proprietária das torres, percebendo e prevendo avanços de processos erosivos em direção destas grandes estruturas, optou pela implantação de obras de estabilização e proteção dos taludes das margens da ilha, no local mais crítico, sob os aspectos geomorfológicos e da hidrodinâmica do rio, que é o Pontal da Ilha¹. Com estas soluções foram minimizados os efeitos dos processos erosivos fluviais, no

¹ Para facilitar o entendimento, no presente laudo, sempre que forem feitas referências à área de implantação das estruturas de estabilização e proteção das margens da Ilha das Cabras e das torres de alta tensão, esta será identificada como Pontal da Ilha das Cabras ou, simplesmente, Pontal da Ilha.

entorno das torres de alta tensão, por longos anos.

Conforme consultas feitas com pessoas que trabalharam na construção das obras de estabilização das margens da Ilha das Cabras, as estruturas de estabilização e proteção da margem direita da ilha foram implantadas em 1981. Portanto, estas estruturas estão ali implantadas e em serviço há 25 anos.

A SOMAR, segundo observações de seu responsável técnico, Engenheiro de Minas René de Matos Caraméz, iniciou a sua atividade de mineração ao longo de vinte (20) quilômetros contínuos no rio Jacuí, em agosto de 1984, através de um Contrato de Arrendamento.

Em 1986 a SOMAR adquiriu as áreas objeto do arrendamento e obteve quatorze (14) Concessões de Lavra Mineral, expedidas pelo Ministério das Minas e Energia, as quais foram posteriormente agrupadas em três Grupamentos Mineiros, denominados GM N° 185 (DNPM N° 910679/98), GM N° 186 (DNPM N° 910680/98) e GM N° 187 (DNPM N° 910681/98).

O Grupamento Mineiro N° 187 é o que abrange a Ilha das Cabras, em uma das sete (7) Concessões nele agrupadas.

No ano de 1994 a SOMAR apresentou à FEPAM o Plano de Controle Ambiental (PCA), obtendo, assim, a Licença de Operação (LO) sob N° 3.341/01-DL, a qual vem sendo regularmente renovada no respectivo órgão ambiental.

Várias interferências no regime das águas do rio Jacuí devem ter influenciado nas decisões dos proprietários das torres de alta tensão de investir em estruturas de estabilização de alto custo e eficiência técnica, no Pontal da Ilha. Estas foram e ainda são as conseqüências das descargas d'água, à montante deste local, por motivo da operação, sistemática, dos reservatórios, das hidrelétricas do rio Jacuí e abertura de suas eclusas.

Outra estrutura que deve estar influenciando as condições de fluxos no Pontal da Ilha, especialmente na elevação dos níveis na margem direita, é a barragem de enrocamento construída na calha esquerda da Ilha pelo DEPRC na década de 40.

No Anexo I, é mostrado o eixo de locação desta barragem e o levantamento batimétrico da calha do rio, de 1942. De acordo com a Planta EH587 do DEPRC, nesta época a ilha era chamada de Ilha das Cobras.

A Foto 1, mostra uma linha de aterro de enrocamento no leito da calha esquerda da Ilha das Cabras. Esta imagem está mostrando o coroamento da barragem de enrocamento (pedra) do DEPRC.



Foto 1 – Vista geral do dique de enrocamento (pedra seca) construído na década de 40. Sua localização está definida no detalhe da planta do DEPRC do Anexo I.

Sabe-se que em vários locais do rio Jacuí foram construídas barragens deste tipo, como uma forma de elevar os níveis d'água da calha principal do rio e, assim, tornar possível a navegação em épocas de longas estiagens.

Como a barragem de enrocamento eleva o nível de água da calha da margem esquerda da ilha, é lógico que isto interfere no aumento do nível e na velocidade das correntezas da calha principal da margem direita da Ilha das Cabras, onde estão implantadas as principais soluções de estabilização em foco.

É fato indiscutível, no meio técnico, e visível pela população leiga (pescadores, população ribeirinha, fluvial, operadores das dragas, etc.) que os sistemas de barramentos (barragens) d'água do rio Jacuí e suas operações freqüentes alteraram a hidrodinâmica do rio, com aumento da velocidade dos fluxos (correntezas) e suas cotas (vazões) de enchentes.

Dos vários barramentos do rio Jacuí, destacam-se as eclusas construídas nas décadas de 1960 e 1970 (Amarópolis – PK 74, Dom Marco- PK167 e Fandango- PK 229), hidrelétricas de Passo Real, Maia Filho e Itaúba e a eclusa de Bom Retiro – PK 121, no rio Taquari. E, finalmente, a já destacada barragem de enrocamento do DEPRC da década de 1940 na Ilha das Cabras (Foto 1).

A alteração do regime de fluxos de um rio, com aumento da velocidade das correntezas deste em presença de margens arenosas, são sempre causa determinante na incidência de processos erosivos superficiais, que instabilizam suas margens. Estas condicionantes se tornam mais importantes em rios de planícies aluvionares, os quais, estão, naturalmente, em franca evolução geomorfológica, como é o caso do rio Jacuí neste local, denominado Baixo Jacuí.

Voltando ao passado, isto há mais de 25 anos, é possível verificar que o Pontal da Ilha das Cabras sofreu, em poucos anos, algumas alterações antrópicas significativas, as quais devem ter interferido decisivamente na estabilidade das margens desta pequena ilha, formada de sedimentos arenosos, sensíveis às alterações das condições da hidrodinâmica do rio.

A planta batimétrica do DEPRC de 1942 mostra claramente a existência de uma coroa de areia a montante da Ilha das Cabras. Após a implantação do enrocamento de

pedra, barragens e hidrelétricas a montante da ilha ocorreram alterações significativas e de porte. Uma vez que as estruturas de estabilização inspecionadas e objeto de análises deste laudo são todas estruturas adotadas na Engenharia para solucionar problemas complexos e de alto custo, é de se supor que os problemas vivenciados pelos técnicos eram, da mesma forma, de grandes proporções. Por exemplo, a erosão fluvial contundente da margem direita da ilha, conforme indícios que serão a seguir apresentados.

Neste contexto, foi necessário decidir pela concepção e implantação em 1981 de estruturas, estabilização e proteção das margens do rio, capazes de dar a necessária garantia de segurança às torres de alta tensão, onde, facilmente, percebe-se a incidência de maiores velocidades das correntezas do rio.

De pronto, constata-se que as obras de estabilização e proteção dos taludes do Pontal da Ilha das Cabras foram executadas, no mínimo, 3 anos antes do início das operações de mineração de areia no trecho licenciado pela SOMAR.

4 – OBJETIVOS DO LAUDO TÉCNICO

No Anexo I e no próprio laudo, são mostrados muitos detalhes das estruturas de estabilização e proteção dos taludes do Pontal da Ilha das Cabras.

As inspeções locais e os dados dos anexos, mostram que vários trechos destas estruturas, instaladas no Pontal da Ilha, se encontram em avançado estado de deterioração estrutural e com instabilizações localizadas nas margens do rio.

O presente laudo técnico foi contratado pela SOMAR junto a FATEC (Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência) para o qual foi designado como coordenador e autor o Prof. M. Sc. Eng. Civil Talles Augusto Araújo, com os objetivos de tratar das condições gerais deste trecho da ilha, mais especificamente com vistas a:

- verificar a procedência de algumas citações e ou questões de engenharia que fazem alusão a que as operações de dragagem de areia, estão instabilizando trechos das margens do rio e colocando em risco as três torres de alta tensão;

- constatar ou não a ligação das atividades de mineração com as instabilizações registradas no memorial fotográfico e na evolução da geometria das margens da ilha, ao longo de mais de quatro décadas (1965 até 2006);

- por fim, elaborar e apresentar estudos e conclusões técnicas para demonstrar, ao Poder Judiciário, ao Ministério Público, aos órgãos de fiscalização ambiental e mineral as condições geotécnicas e hidráulicas dos locais objeto da ação judicial antes referida.

As seguintes citações e ou questões de engenharia se destacam às Folhas 000283 e 000284 do referido processo judicial DAT 1574/2006, elaborado pelo Geól. M. Sc. André W. Borba (CREA nº 108.230-D) da Divisão de Assessoramento Técnico do MPE e são objeto de análises e considerações no presente laudo:

“....Outra situação preocupante pode ser observada no trecho do rio Jacuí em frente à cidade de Charqueadas. Neste local, três torres de sustentação das linhas de transmissão de energia elétrica produzida pela Usina Termelétrica de Charqueadas, estão situadas em uma pequena ilha a sul da ilha da Paciência. Esta pequena ilha, como pode ser verificado na figura 10, com detalhe na figura 11, em 1947 estava sujeita a acumulação de areia em sua ponta oeste, especialmente na margem sul. Nas imagens recentes, não há acumulação de areia, mas erosão das margens, trazendo riscos à estabilidade das fundações das torres de sustentação dos cabos de alta tensão. Além disso, pode-se perceber uma draga de rosário e uma chata graneleira operando a norte da ilha, na metade leste(..) da mesma. A continuar a extração mineral nas proximidades deste ponto, e se não houver medidas de prevenção e mitigação dos processos erosivos, que já ocorrem a taxas muito elevadas, há sério risco de queda das torres referidas, e conseqüentemente de desabastecimento de energia para algumas regiões do Estado...”

5 – DESCRIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS DE ESTABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DAS MARGENS DO PONTAL DA ILHA DAS CABRAS

Várias pesquisas foram feitas para reunir materiais e dados a respeito das condições e ocupação da Ilha das Cabras, sendo que desta resultou a obtenção das quatro aerofotos, uma imagem de satélite e um detalhe de uma Planta Batimétrica do DEPRC da Ilha das Cabras, de 1942, representadas no Anexo I.

Estas imagens da Ilha são o registro de 41 anos de evolução morfológica da Ilha das Cabras.

A aerofoto de 1991 mostra o primeiro registro fotográfico em que aparecem as estruturas de proteção do Pontal da Ilha, com seus contornos bem definidos e a sua extensão original.

A partir da interpretação das aerofotos apresentadas e dos levantamentos de dados obtidos por ocasião de várias inspeções de campo, foram elaboradas as Figuras 1 a 4 e os Croquis 1 e 2.

Os Croquis 1 e 2 mostram detalhes das estruturas de proteção do Pontal da Ilha e a localização de trechos instáveis e pontos notáveis (6 pontos), que são objeto de análises, no presente laudo.

O Croqui 2 foi elaborado sobre uma imagem de satélite disponível no programa *Google Earth* 2006, que mostra, com boas condições, os contornos do Pontal da Ilha, que estão se alterando ao longo do tempo por erosões fluviais.

Assim, o conjunto de aerofotos, a imagem de satélite e os detalhes da Planta do DEPRC, apresentadas no Anexos I, o Croqui 1 e 2 e as Figuras 1 a 4 e 6, registram as principais características e condições das estruturas de proteção e estabilização do Pontal da Ilha das Cabras e das três torres de alta tensão.

Estes conjuntos de elementos técnicos dão uma visão geral e facilitam o entendimento da concepção e dos detalhes das estruturas de Engenharia implantadas na área de montante da ilha, onde estão as três torres de alta tensão.

A partir das inspeções e considerando às condições de contorno do Pontal da Ilha das Cabras (geomorfológicas, dinâmica do rio Jacuí, etc.) e análise da evolução de suas margens em 41 anos, pode-se concluir, com absoluta clareza técnica, que as estruturas de proteção implantadas, há 25 anos, tiveram como objetivo original e principal a proteção das fundações das torres de alta tensão contra o avanço de

processos erosivos fluviais intensos que já estavam incidindo nesta margem da ilha, à época de sua concepção e construção.

De acordo com as inspeções visuais e tácteis de campo e registros fotográficos (aerofotos e fotos digitais), o Pontal da Ilha das Cabras foi protegido por no mínimo quatro tipos de soluções de estabilização, identificadas no Croqui 1 e detalhes esquemáticos das Figuras 1 a 4, quais sejam:

- A estrutura principal da margem direita da Ilha com placas de argamassa conforme seções esquemáticas das Figuras 1 e 2 e registros fotográficos diversos;

- No Pontal da ilha e na Posição 1 do Croqui 2, na porção extrema da divisão das águas do rio Jacuí (Fotos 2 e 3), foram implantadas duas soluções estratégicas e complementares de estabilização. Uma com aterro de enrocamento² e uma parede diafragma rígida;

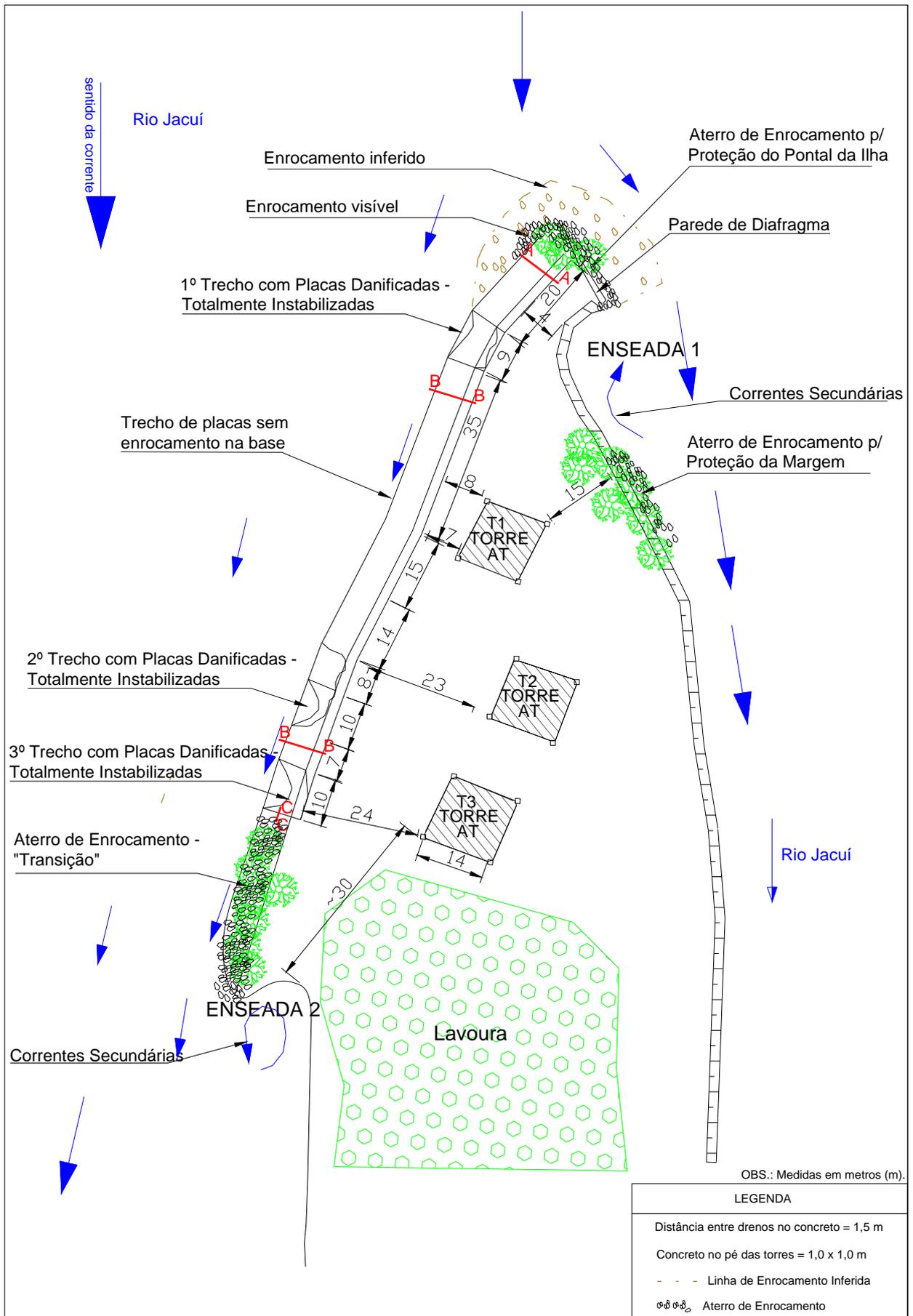
- Utilização de aterro de enrocamento sobre o talude da margem direita da Ilha, no trecho final do revestimento com placas de argamassa, conforme demonstrado nas Figuras 1 a 4 e Croquis 1 e 2;

- E, finalmente, aterro de enrocamento no trecho inicial da margem esquerda da ilha, no final da Enseada 1, conforme demonstrado nos Croquis 1 e 2.

A utilização de um lastro de proteção com aterro de enrocamento, posicionado ao pé do talude das placas de argamassa, conforme mostrado na seção esquemática da Figura 1 e Croqui 1, somente foi possível ser visualizado, parcialmente, na porção extrema de montante, no pontal.

No entanto, a partir da segunda placa, os níveis do rio, nos dias das visitas de inspeção, não permitiram a visualização da aplicação de aterros de enrocamento no restante dos taludes, nos níveis abaixo do pé das placas de argamassa, conforme mostra a Figura 2.

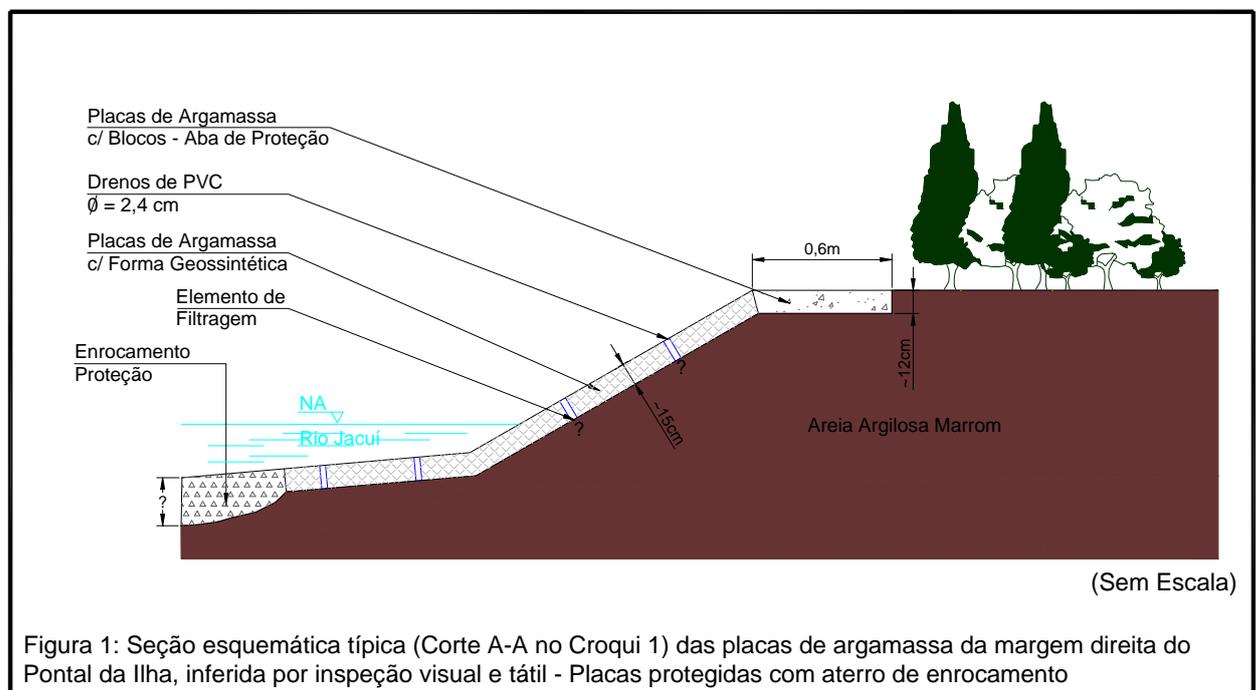
² São aterros de blocos irregulares de rocha sã lançados sobre o leito e taludes das margens do rio

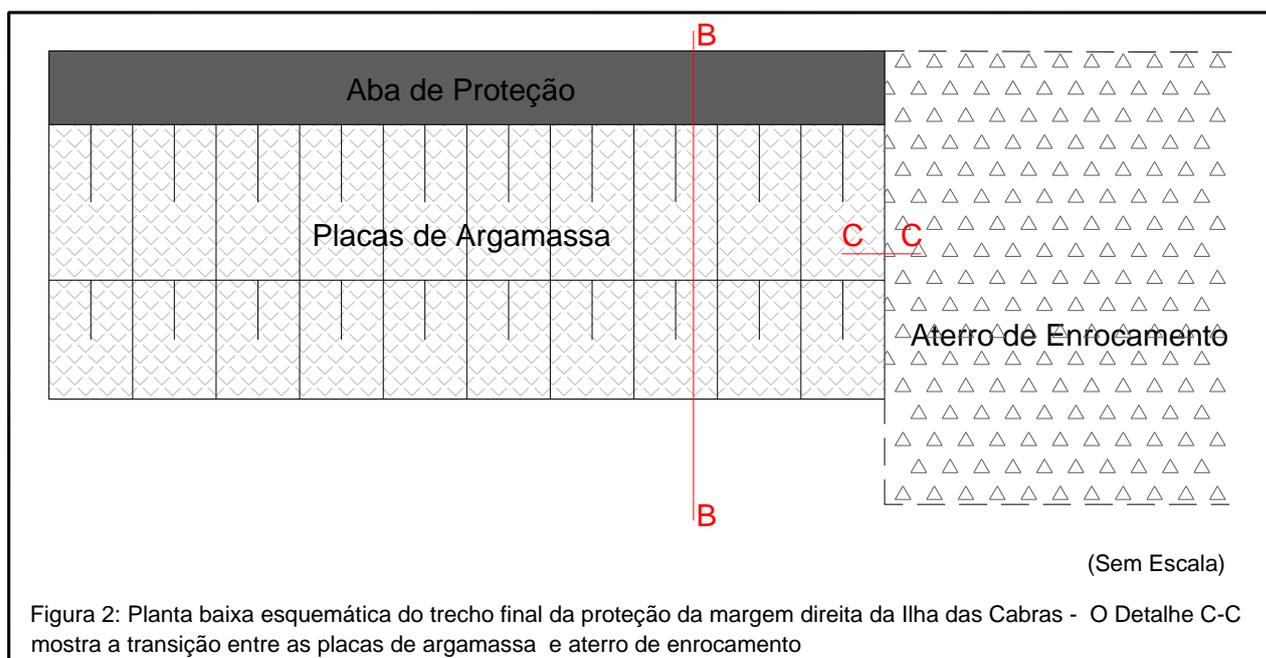


Croqui 1 - Localização e dados geométricos das estruturas de estabilização e proteção de taludes e pontos notáveis.



Croqui 2 - Localização das estruturas de estabilização e proteção de taludes e pontos notáveis.





Estas várias soluções foram concebidas como uma forma efetiva de estabilizar e proteger o Pontal da Ilha e os seus trechos iniciais das margens direita e esquerda na zona de influência das três torres de alta tensão, conforme justificativas apresentadas anteriormente.

As várias soluções de estabilização e proteção de taludes, adotadas na Ilha das Cabras, podem ser divididas em dois grupos de soluções, sendo as soluções rígidas, constituídas das placas de argamassa e o pequeno trecho de parede diafragma de argamassa ciclópica e, por último, as várias aplicações de aterro de enrocamento (material granular – Fotos 2 e 4), como soluções flexíveis.

Ainda, sobre estes dois grupos de estruturas de estabilização ou proteção pode-se destacar as seguintes características técnicas e condições construtivas:

a) Trecho de proteção da margem direita da Ilha das Cabras com placas³ de argamassa - solução rígida

- Conforme figuras, croquis e registros fotográficos citados, as placas de argamassa foram implantadas sobre um trecho do talude da margem direita da ilha

³ Foi adotado o termo placas, admitindo-se que as emendas de geoformas, costuradas entre si, dão para todo o revestimento de argamassa rígida alguma flexibilidade ou facilidade de absorver esforços da cura ou contração desta.

com extensão de ~130m e posicionadas na direção, aproximadamente, perpendicular aos cabos de alta tensão, opondo-se ao avanço das erosões fluviais, que incidiam, de forma geral e a mais de 25 anos, nos taludes desta margem da ilha (ver Foto 5);



Foto 2 – Vista geral do Pontal da Ilha, mostrando as primeiras placas de argamassa de estabilização e proteção da margem direita da Ilha das Cabras – Notar o aterro de enrocamento para a proteção das primeiras placas.

- As placas apresentam juntas de contração ou ligações de geoformas com espaçamentos muito variáveis, mas com predominância de valores de ~45,0m (Fotos 6 e 9) e algumas muito largas com até 9,0m – o que está sendo identificado como juntas, na verdade, são as emendas de geoformas. As placas possuem, drenos (tipo barbacãs de muros de arrimo) de 2,4 cm de diâmetro (Fotos 7 e 9), espaçados a cada ~2,0m x ~1,4m e placas com espessura de argamassa de ~15 cm (Fotos 5 e 8);

- As inspeções visuais e táteis demonstram que as placas de proteção dos taludes foram moldadas *in situ* através da injeção de argamassa fluida dentro de uma “geoforma” de material sintético do tipo tecido (Fotos 7 e 8). **Este material sintético é similar aos atuais filtros geossintéticos tecidos, de fibras e fios (de reforço e**

⁴ ~ significa medida aproximada

estruturação) de poliéster e outros tipos de materiais sintéticos para a conformação de geofornas em obras geotécnicas;



Foto 3 – Detalhes do coroamento da primeira placa de argamassa e do diafragma de argamassa ciclópica – este local está em excelentes condições de estabilidade.

- As placas executadas apresentam semelhança, sem ser similares, com o que está disponível, na atualidade, na Engenharia, com as técnicas de moldagem, *in situ*, de Colchãoconcreto e Bolsacreto⁵;

Através destas técnicas os “colchões” ou as geofornas de geossintético tecido são instaladas em unidades sobre os taludes regularizados, amarradas umas às outras e, após, recebem injeção de argamassa fluida sob pressão, de cima para baixo.

Desta forma, foram moldadas cada uma das placas de argamassa, mostradas nos registros fotográficos.

Antes das concretagens, foram instalados os drenos com tubos de PVC, conforme mostram as Fotos 7 e 10.

⁵ www.bolsacreto.com.br

Os drenos se constituem em elementos de drenagem interna, sempre, vitais para o bom desempenho de estruturas de estabilização e proteção de taludes submetidos a constantes oscilações dos níveis d'água do rio ou a períodos freqüentes de rebaixamento rápidos dos fluxos internos, conforme será descrito a seguir;

- As inspeções locais e as Fotos 7 e 10 permitem afirmar que a quase totalidade dos drenos das placas de argamassa estão entupidos, portanto, inoperantes;



Foto 4 – Detalhes do aterro de enrocamento do trecho final das soluções de estabilização da margem direita da Ilha das Cabras – observar que a vegetação ribeirinha está fixando o seu sistema radicular nos vazios dos blocos rochosos

Um detalhe importante dos drenos é o fato de que o tubo inspecionado e mostrado na Foto 11 não apresenta nenhum elemento de filtragem no contato com o solo da base das placas. Este é um detalhe importante, pois este sendo um caminho preferencial dos fluxos internos necessita de proteção (elemento filtrante), para evitar a formação de erosão interna.

Neste sentido, foram inspecionadas as fundações das placas para verificar as condições do contato placa/solo de fundação. A Foto 8, mostra detalhes do tipo de solo da fundação das placas e o fato das mesmas terem sido assentadas diretamente sobre a areia argilosa marrom e avermelhada, portanto, sem lastro de brita graduada, como elemento de transição ou de proteção dos drenos – esta é uma condição vital para o bom desempenho de uma estrutura que deve aliviar subpressões de rebaixamentos rápidos e drenar fluxos internos de diversas origens, por exemplo, infiltrações de águas pluviais por baixo das placas;



Foto 5 – Detalhes da “aba” das placas de argamassa – nesta posição, com um trecho de placa destruído, a estabilização está se dando por erosão por baixo da mesma



Foto 6 – Vista geral das placas de estabilização e proteção da margem direita do Pontal da Ilha, adjacentes as torres de alta tensão – ao fundo, observa-se as juntas das placas, trincas e rupturas nas suas bases.



Foto 7 – Detalhes de um dos drenos das placas de argamassa – este e praticamente todos estão entupidos com solo argiloso.



Foto 8 – Detalhes de uma placa de argamassa, do geossintético tecido e dos fios na direção perpendicular ao plano do talude, que deram a conformação das geoforamas



Foto 9 – Vista geral das placas de estabilização e proteção do talude da margem direita do Pontal da Ilha – ao fundo vê-se as torres de alta tensão. Este trecho se mostra com razoáveis a boas condições de estabilidade, o que está favorecendo a manutenção da estabilidade das fundações da Torre T2 (Foto 6).

- As placas de argamassa, percebe-se, são ricas em cimento e, assim, apresentam alta resistência aos esforços das correntezas do rio (forças trativas);

- As juntas de dilatação têm espaçamento muito variável e são formadas através da união de duas geoformas. Nesta posição das placas, o elemento de filtragem é a própria estrutura de geossintético tecido e fios trançados de reforço e de amarração, mostrado na Foto 12;

- As Fotos 7 e 12 registram que as superfícies superiores das placas de proteção apresentam uma feição quadriculada, ainda com a forma remanescente dos “colchões” de geossintético tecido e a malha de reforço de fios de poliéster trançados. A feição quadriculada e convexa da superfície superior das placas é uma comprovação de que as concretagens foram feitas “*in situ*” (moldadas no local) e sob pressão.



Foto 10 – Detalhes de um dreno das placas de argamassa entupido e os fios remanescentes das geoformas – a forma quadriculada e côncava comprovam que a argamassa foi injetada com pressão

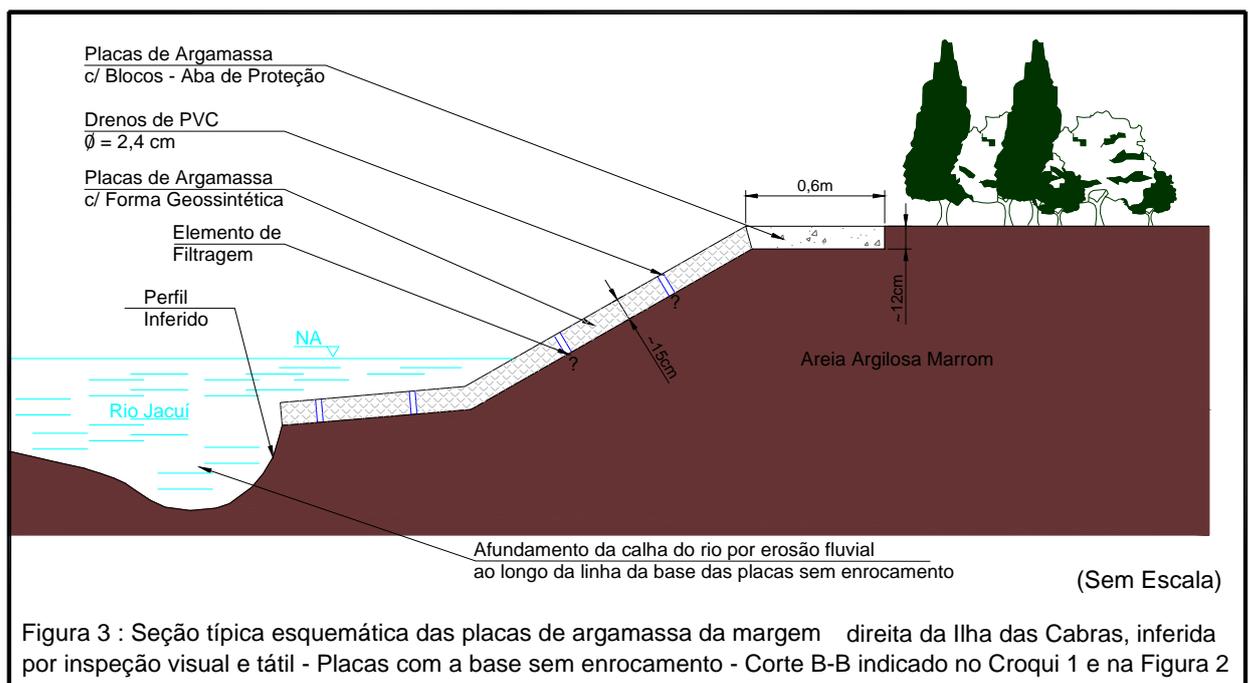
Devido às pressões de injeção, ocorreu vazamento, generalizado, de calda de cimento, através da malha de geossintético semipermeável, e, assim, foi formada uma película de “nata” acima deste elemento tecido. As inspeções de campo demonstram

que, no geral, esta película está muito desgastada pelo efeito erosivo da correnteza do rio e ação dos agentes de intemperismo;

- Depois das concretagens das placas nos taludes, foi feita uma concretagem de segundo estágio, no topo das placas e conformada uma “aba” protetora do flanco superior, a qual é mostrada na Foto 5 e Figuras 1 e 3.

A “aba” tem a finalidade principal de impedir ou minimizar as infiltrações das águas superficiais para baixo das placas de argamassa. Desta maneira, é possível controlar as infiltrações e evitar a formação de processos erosivos internos ou subterrâneos (piping), através do contato da placa rígida com o terreno de fundação. Este tipo de procedimento é uma boa técnica de proteção de placas de canais (para a irrigação e adução d’água em geral) trapezoidais revestidos com placas de concreto simples ou argamassa;

- As inspeções locais, as Fotos 2 e 25 e a Figura 1, indicam que as duas primeiras placas de argamassa, localizadas no Pontal da Ilha, estão protegidas com aterro de enrocamento e apresentam-se em boas condições de estabilidade e integridade estrutural. Esta observação se torna importante pois é nesta zona, Ponto 1 do Croqui 2, onde ocorrem as maiores velocidades dos fluxos do rio;



- A Foto 13 e as seções transversais esquemáticas apresentadas nas Figuras 1 e 2 demonstram que as placas têm uma forma de “S”, mais alongado e levemente inclinada na base. Esta forma dá ao revestimento de argamassa uma configuração de proteção total do talude da margem, do topo à sua base (pé do talude e placas);

- O fato da estrutura de argamassa ser considerada uma solução rígida, assente sobre uma fundação arenosa e submetida a condições severas de fluxos do rio exigiu dos projetistas a utilização de aterro de enrocamento como estruturas de transição em seus extremos.

Esta estrutura granular de rocha foi utilizada abaixo da linha da base ou pé das primeiras placas de argamassa e se constitui em uma zona de ligação ou transição, muito eficiente, entre as placas rígidas e o leito arenoso do rio, conforme ilustra a seção típica esquemática da Figura1.

Através de inspeções locais não foi possível serem detectados aterros de enrocamento na base das duas primeiras placas de argamassa. Por isso, a seção transversal típica da Figura 3, a qual estima-se que representa o trecho sem transição e enrocamento.

- Nos Croquis 1 e 2 e nas Fotos 14 (Ponto 2), 15 (Ponto 4) e 16 (Ponto 5) são destacados três trechos de placas de proteção seriamente danificadas por processos erosivos internos e superficiais, os quais são descritos a seguir;

- Através das inspeções de campo e registros fotográficos pode-se afirmar, que apesar dos trechos instáveis, as placas de argamassa de proteção atingiram seus objetivos, pois estão mantendo em boas condições de estabilidade o Pontal da Ilha e parte significativa da margem direita, adjacente às torres de alta tensão (Foto 9);

Assim, ressalvado que as placas de argamassa foram concebidas e implantadas há pouco mais de 25 anos (*é possível até que o geossintético tecido utilizado tenha sido importado, o que, para a época, lhe dava um caráter inovador, arrojado e sofisticado*) pode-se admitir, com base na tradição na avaliação da vida útil de obras hidráulicas complexas, com vários fatores imponderáveis (hidrodinâmica do rio,

mobilidade de margens de rios meandrantos em planícies aluvionares e outras) e a falta de manutenção corretiva e preventiva, que as mesmas já cumpriram sua função primordial, de estabilização e proteção do trecho da margem direita da Ilha das Cabras.



Foto 11 – Detalhes de um dreno de PVC das placas de argamassa e os fios remanescentes das geofibras



Foto 12 – Detalhes de uma emenda de geoformas que funcionam como juntas de contração.



Foto 13– Vista geral de um trecho de placas de argamassa que mostra a sua geométrica em forma de “S” – ao fundo e na curva as placas estão com sua base se instabilizando, principalmente, por consequência da progressão das erosões fluviais a partir do primeiro trecho instabilizado (ver Foto 13 e Croquis 1 e 2).

b) Diafragma Rígido

Conforme mostram as Fotos 3 e 17 e Croqui 1, no início das placas de argamassa, no Pontal da Ilha, foi implantada uma parede diafragma rígida confeccionada com argamassa e pedras (semelhante ao concreto ciclópico), com largura de 0,6m e profundidade de 0,9m. Esta estrutura tem a direção aproximada da margem esquerda da ilha e funciona como uma barreira protetora da retaguarda das “ abas” das primeiras placas de argamassa.

De acordo com as condições locais, dá para ser percebido que a parede diafragma rígida foi projetada como um reforço estrutural ou como uma linha de defesa contra os fluxos frontais, laterais e de retorno (secundários e turbilhonamentos em geral), que incidem sobre a margem esquerda da ilha.

Enfim, a parede diafragma tem a função primordial de evitar a erosão fluvial das primeiras placas de argamassa. Esta solução é uma linha de defesa ou uma estratégia do projetista para a manutenção da integridade de todo o conjunto de placas, ou seja, mantida a primeira placa estável (sem erosão), todas as demais teriam o mesmo destino.

As Fotos 3 e 17 mostram detalhes atuais da parede diafragma. Com estes registros fica demonstrado que os projetistas das obras tinham consciência e um bom entendimento das condições da hidrodinâmica do rio neste local. Somente após ~25 anos, a mesma está sendo atingida pelos processos erosivos de fluxos secundários da correnteza principal, que turbilhonam na Enseada 1.

A Foto 17 mostra que o avanço da erosão na Enseada 1, passados ~25 anos, está atingindo e expondo parte da parede diafragma. Para as correntes secundárias do rio que circulam e estão erodindo a Enseada 1, a parede diafragma não tem, praticamente, função nenhuma na atualidade.

No entanto, há que se considerar que, na direção dos fluxos principais do rio e frontal ao Pontal da Ilha, esta estrutura permanece íntegra e integrada às primeiras placas de argamassa do talude da sua margem direita (Foto 3), cumprindo a sua

função original de contribuir com a fixação da cabeceira das placas de argamassa e, assim, certamente, permanecerá por muitos anos.

c) Enrocamentos de Proteção

Através das inspeções locais, foi possível verificar que os contornos das margens do Pontal da Ilha das Cabras, na sua quase totalidade, estão protegidos com aterros de enrocamento. Este tipo de técnica foi utilizado na zona de influência das três torres de alta tensão, conforme mostram os Croquis 1 e 2 e a Figura 1.

No Croqui 1 e em várias fotos são mostrados os aterros de enrocamento, constituídos de blocos irregulares de rocha, provenientes de desmonte de maciços rochosos.



Foto 14 – Vista geral do 1º trecho de placas de argamassa completamente destruídas – neste local a vegetação ribeirinha se fixou nas fraturas das placas, o que demonstra um período prolongado de tempo sem manutenção das estruturas de estabilizadas.



Foto 15 – Vista geral do 2º trecho de placas de argamassa completamente destruídas – neste local a posição das placas e as condições de contorno dão a indicação de que as instabilizações estão ocorrendo de cima para baixo e avanço para montante e jusante.

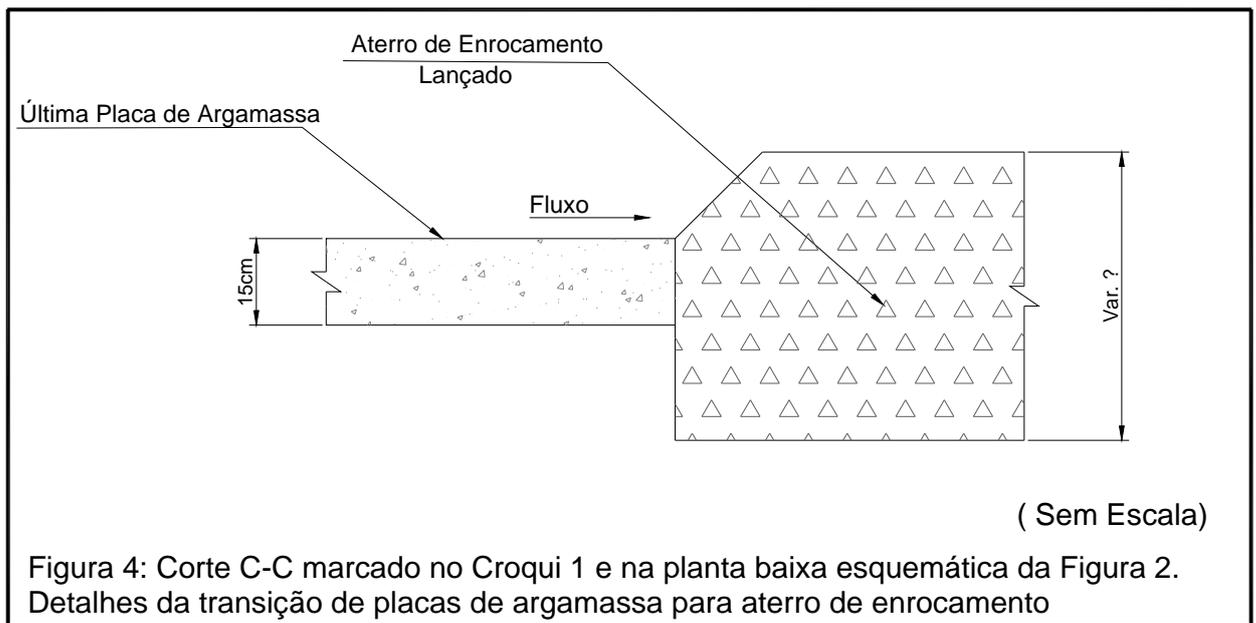
Dá para ser percebido e entendido que os aterros de enrocamento foram utilizados, estrategicamente, como revestimentos de proteção dos taludes das margens do rio e como elementos de transição entre as placas de argamassa rígidas e os terrenos arenosos de sua fundação e adjacentes.

Sem os aterros de enrocamentos, extremos, as placas de argamassa teriam vida útil muito reduzida, pois seriam gerados ressaltos hidráulicos e erosões fluviais generalizadas nos terrenos arenosos, do contorno (laterais e bases) das placas rígidas de argamassa.

O aterro de enrocamento combinado com a parede diafragma, localizados na parte mais extrema da ilha, à montante, está há mais de 25 anos sofrendo fluxos com altas velocidades e mantendo o Pontal da Ilha, praticamente, íntegro, sem erosão fluvial.

A Figura 5 dá uma idéia do que ocorre quando da incidência de fluxos com altas velocidades no entorno de pilares – material rígido adjacente a sedimentos arenosos e de baixa resistência ao arraste/erosão.

Por analogia, os efeitos erosivos (afundamento e deposição de sedimentos) mostrados na Figura 5 podem estar ocorrendo na margem direita do Pontal da Ilha, devido à forma e alta resistência das placas de argamassa.



No Ponto 1 ou início da ilha, os efeitos de afundamento da calha do rio até podem estar ocorrendo, mas a mobilidade do enrocamento (ou a flexibilidade) e a capacidade de resistir às forças trativas da água estão garantindo a estabilidade do Pontal da Ilha das primeiras placas de argamassa.

No trecho final da proteção com placas de argamassa, o aterro de enrocamento impediu a formação de um ressalto hidráulico, e, por consequência, a formação de erosão regressiva (solapamento da fundação das placas), conforme será mais bem descrito no próximo item.

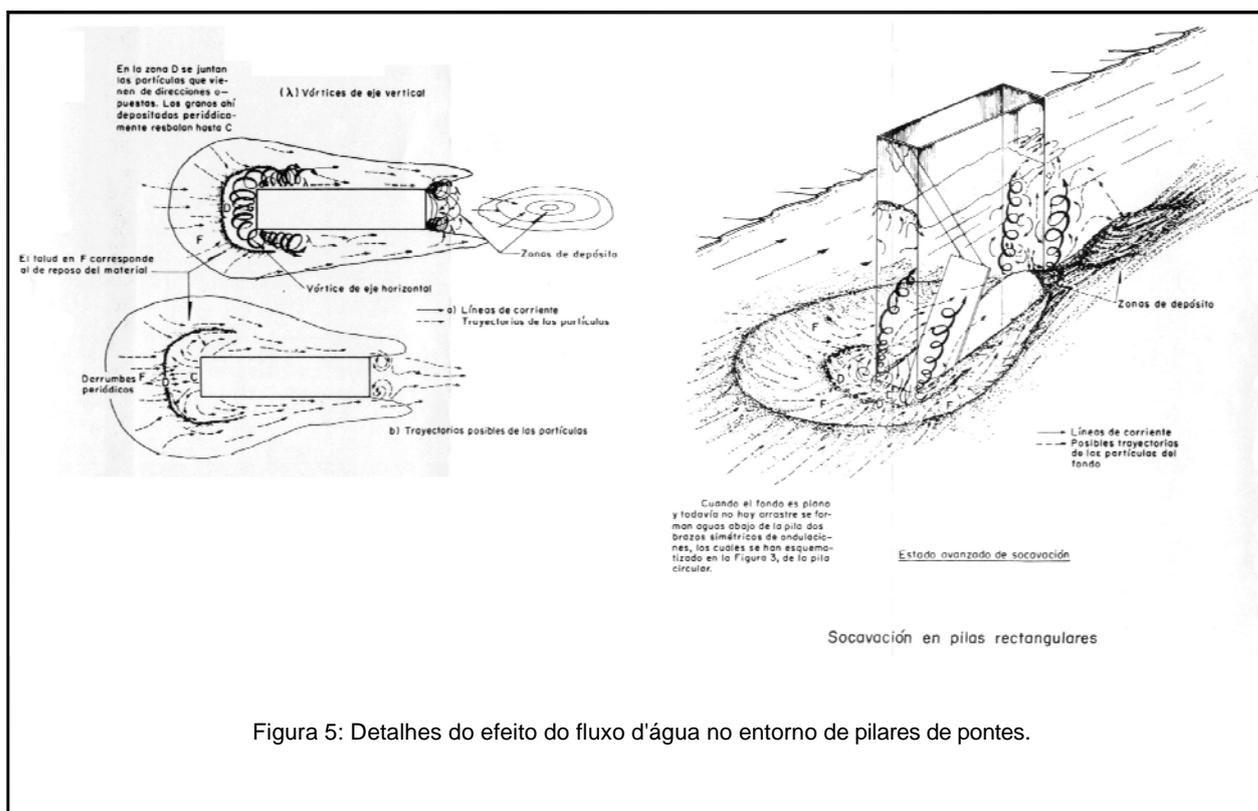


Figura 5: Detalhes do efeito do fluxo d'água no entorno de pilares de pontes.

A aplicação ou não de enrocamento na base das placas, além das primeiras placas, é uma questão que não foi possível de ser visualizada integralmente durante as duas visitas de inspeção realizadas para a elaboração do presente laudo. Desta maneira, não se pode precisar qual a extensão da aplicação desta eficiente solução para a estabilização da base das placas rígidas.

A Figura 2 mostra o que foi percebido em alguns locais, à jusante do primeiro trecho de placas de argamassa instabilizadas. Esta figura expõe um afundamento do terreno junto à linha da base rígida das placas e uma deposição lateral, semelhante ao que é mostrado na Figura 5.

O Croqui 1 e a Foto 19 , mostram o local e detalhes de uma aplicação de aterro de enrocamento no final do meio-círculo da Enseada 1, isto na margem esquerda da ilha. Neste trecho, o enrocamento aparenta ter pouco volume. Se o aterro de enrocamento foi utilizado em todo o trecho desta enseada, o mesmo foi subdimensionado e não resistiu às forças de arraste do rio.

Ao contrário, se foi utilizado somente à jusante da Enseada 1, o mesmo está tendo efeito positivo, pois este trecho enrocado está estável e com cobertura vegetal ribeirinha, conforme mostra a Foto 21 – este é um trecho vital para a manutenção da estabilidade da fundação da torre de alta tensão T1.

Os aterros de enrocamentos, tradicionalmente, são uma solução das mais utilizadas para a estabilização e proteção de taludes submetidos a fluxos com altas velocidades, a batidas de ondas (marola) e fluxos internos devido ao rebaixamento dos níveis d' água de um rio ou de uma barragem. Somente não funcionam quando subdimensionados (tamanho reduzido dos blocos e/ou pouca espessura da camada) ou quando não é utilizada uma camada de transição (brita graduada, etc.) no contato com o terreno arenoso da fundação.

6 – ASPECTOS DA ESTABILIDADE DO PONTAL DA ILHA

Descritas as soluções de estabilização das margens do Pontal da Ilha, passa-se à análise mais ampla das condições de estabilidade, estas com enfoque nas questões geomorfológicas, hidráulicas e geotécnicas.

Com base em análises e na sobreposição de quatro Aerofotos e uma imagem de satélite, que perfazem um período de 41 anos, foram elaboradas e apresentadas a Figura 6 e uma planta, no Anexo I, que mostra a evolução, por data, dos limites da ilha até o ano de 2006, em função da hidrodinâmica do rio e características físicas locais (vegetação, solos, estruturas de estabilização e proteção das margens, etc.).

A Figura 6 apresenta os contornos individuais das margens da Ilha das Cabras de 1965 a 2006, onde são salientadas as suas principais alterações morfológicas.

Para facilitar o entendimento das condições, especialmente, da Aerofoto de 1965 foi incorporar ao presente laudo uma parcela de uma planta batimétrica de 1942 do DEPRC. Esta planta mostra os aspectos da conformação e profundidades das calhas do rio, no entorno da Ilha das Cabras. Dá para inferir que naquela época e,

principalmente, e pelo menos até 1965 existia no Pontal da Ilha uma espécie de praia. Este indício é salientado no contorno da ilha da Aerofoto de 1965 e na Figura 6.

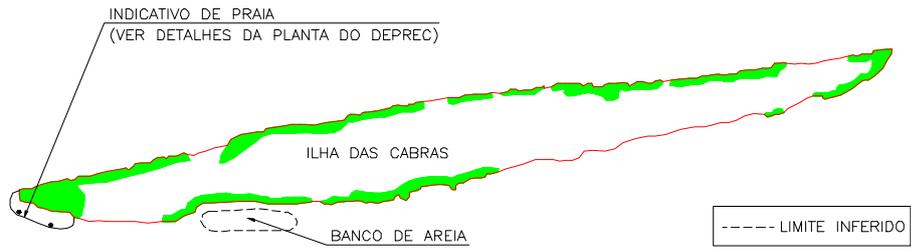
Estes dados, mais os croquis e registros fotográficos, se constituem nos principais elementos das análises do presente item.

Muitas questões de engenharia (hidráulica e geotécnica) e geomorfologia poderiam ser analisadas com base nas plantas com a evolução dos contornos ou margens da Ilha das Cabras. No entanto, por questão de objetividade serão analisados os aspectos relativos aos indicativos de ocorrências de erosão fluvial no Pontal da Ilha, antes de 1981, e à formação das Enseadas 1 e 2, as quais estão em franca evolução por razões complexas relativas à hidrodinâmica do rio e às soluções de estabilização implantadas nestes locais. E, também, e mais importante para os objetivos do presente laudo, estão na área de influência das três torres de alta tensão.

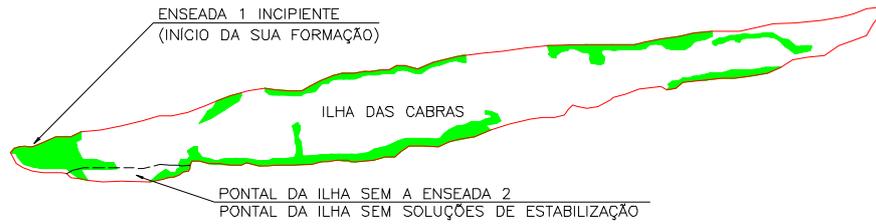
À montante da ilha na forma de Barra de Canal, no entorno das torres, se dá a divisão dos fluxos do rio, conforme esquema mostrado no Croqui 1.

A análise da Figura 1 e planta com a sobreposição das margens da Ilha, do Anexo I, dá para se perceber que de 1965 até 1971 o Pontal da Ilha sofreu uma significativa alteração da sua margem direita, por erosão fluvial e outras interferências, tais como a dragagem da calha principal de navegação do rio Jacuí. **Pode-se destacar nesta planta que de 1965 até 1971 quase que a totalidade da antiga praia da margem direita, também, registrada na planta do DEPRC (1942), foi erodida pela ação das correntezas do rio ou por erosão fluvial.**

Os limites da Aerofoto de 1971 (limite azul) dão indicação de que a erosão fluvial, até este ano, já havia avançado, em parte, para além dos limites atuais do coroamento das placas de argamassa, conforme assinalado na planta de sobreposição de margens do Anexo I.



AEROFOTO – 1965 – DSGE



AEROFOTO – 1971 – METROPLAN



AEROFOTO – 1990 – METROPLAN



AEROFOTO – 2003 – FURG



IMAGEM SATÉLITE – 2006 – GOOGLE

QUADRO DE ÁREAS	
ANO	VEGETAÇÃO (%)
1965	19,29%
1971	17,32%
1990	27,77%
2003	54,88%
2006	55,09%



LOCAL: CHARQUEADAS - RS
RIO JACUI

OBRA: ILHA DAS CABRAS

ESC.: 1:15.000

PROJETO: TÍTULO: EVOLUÇÃO DOS LIMITES DAS MARGENS

DATA: NOV/2006

ILUSTRAÇÃO: Figura 6

As análises da evolução cronológica das margens da Ilha das Cabras não deixam dúvidas de que, antes da implantação das soluções de estabilização de 1981, a sua porção de montante ou o Pontal da Ilha (ver Croqui 2) estava com a margem direita submetida à erosão fluvial intensa.

Nesta margem e na aerofoto de 1971, se salienta uma reentrância (pequena enseada) que, na atualidade, coincide com o local do 3º trecho de placas de argamassa instabilizadas. Provavelmente, o avanço das erosões fluviais, a partir da década de 70, em direção as torres de alta tensão, tornaram o problema relevante e uma ameaça à estabilidade das fundações destas estruturas, vitais para o sistema de fornecimento de energia elétrica da região.

Entende-se que os limites das margens da Ilha das Cabras definidos pela Aerofoto de 1971, comparados com os demais, dão a certeza de que as erosões fluviais dos taludes arenosos da margem direita estavam ameaçando a estabilidade das torres de alta tensão. Esta ameaça exigiu estudos, projetos e a implantação das soluções de estabilização em questão.

Com a implantação das soluções de estabilização e proteção das margens do Pontal da Ilha em 1981, os taludes arenosos e as fundações das torres de alta tensão passaram a uma condição estável.

No entanto, com a fixação das margens do Pontal da Ilha, e com o tempo, surgiram novas situações de instabilidade potencial, isto, devido à alteração da hidrodinâmica do rio neste local e alguns detalhes das soluções implantadas, que serão a seguir abordados.

De forma simplificada, a partir da divisão das águas no Pontal da Ilha e, por interferência das estruturas de estabilização, estão sendo geradas concentrações de fluxos e correntes secundárias (com turbilhonamento e geração de vórtices, etc.), as quais vêm provocando erosões fluviais nos taludes das margens do rio. Atualmente, estas ocorrências estão atuando com maior intensidade e importância nos locais

identificados como Enseadas 1 e 2, as quais são os trechos finais das proteções com aterros de enrocamentos.

Conforme antes referido, os processos erosivos fluviais iniciais foram percebidos pelos responsáveis técnicos pelas torres de alta tensão e estes decidiram implantar as soluções de estabilização e proteção descritas, as quais podem ser consideradas de complexidade relativamente alta e foram, certamente, de elevado custo financeiro. O que, seguramente, reflete a grandeza dos problemas que foram vivenciados à época da concepção e implantação das soluções de estabilização.

Reportando-se ao passado, é oportuno observar que grandes problemas (erosões fluviais intensas nas margens da ilha em direção das torres) exigem grandes soluções, criativas, eficientes e arrojadas, o que foi feito em 1981 na Ilha das Cabras.

Nas plantas de contornos das margens da Ilha das Cabras do Anexo I, são destacadas as alterações geométricas das margens da ilha, no intervalo de 41 anos. Estas, com e sem as estruturas de proteção dos taludes e também salientadas as curvas e reentrância das margens em função das condições dos fluxos superficiais das águas e processos erosivos fluviais decorrentes.

As aerofotos mostram que o Pontal da Ilha é uma área em que, sabidamente, no meio técnico, as águas do rio atingem as maiores velocidades, apresentam fluxos secundários, que geram turbilhonamento das águas, redemoinhos e que dentro da sua dinâmica natural e associadas às soluções de engenharia implantadas, são locais com alto potencial ao arraste das partículas sólidas das margens, conforme analogia, preliminar, que pode ser feita através da Figura 5⁶.

Comparando-se as aerofotos de 1965, 1971 com a de 1991 (primeira após a construção das placas) pode-se constatar a incidência, persistente, de processos erosivos fluviais nas margens esquerda e direita da Ilha das Cabras. Estas incidências

⁶ Badillo, E. J. & Rodrigues, (1980) – “Mecánica de Suelos”, Tomo III, Flujo de Agua en Suelos, Editorial Limusa, Mexico

estão assinaladas nos Croquis 1 e 2, onde são destacadas as Enseadas 1 e 2 e sua situação mais recente, com a imagem de satélite (2006).

A aerofoto de 1971 mostra o começo da formação da Enseada 1. **Então, já no início da década de 70 estaria ocorrendo erosão fluvial no Pontal da Ilha, provocadas pela hidrodinâmica do rio e detalhes morfológicos, a exemplo do que ocorre em leitos de rios meandantes de planícies aluvionares, onde seu curso está em permanente evolução.**

A aerofoto de 1990 mostra a Enseada 1 bem nítida, parecendo uma praia, isto à jusante do aterro de enrocamento (Foto 2) e da parede diafragma do Pontal da Ilha.

A erosão fluvial na Enseada 1 está evoluindo e avançando em direção às primeiras placas e poderá, com o tempo, atingi-las, por trás, e erodir (solapar) as suas fundações.

De acordo com os dados levantados no campo, registrados no Croqui 1, faltam aproximadamente 4,0m para as primeiras placas de argamassa serem atingidas e erodidas (solapadas) por trás, devido à evolução das erosões fluviais na Enseada 1 (Foto 18).

No caso da primeira torre ou T1, localizada no Croqui 1, a sua situação, comparada com as primeiras placas é muito mais favorável, uma vez que seu bloco (Foto 20) de fundação está distante, aproximadamente, 15,0 m da margem do semicírculo da Enseada 1.

A Foto 19, demonstra que a margem mais próxima desta torre de alta tensão está revestida com aterro de enrocamento e coberta por vegetação ribeirinha com boa cobertura. Estas condições são indicativas de uma redução da intensidade das erosões fluviais nesta porção de jusante da Enseada 1.

Apesar das condições atuais da Enseada 1, descritas e mostradas com os registros fotográficos, **é possível admitir, com muita segurança, que as torres de alta tensão, especialmente a T1 estão em boas condições de estabilidade sob os aspectos**

geotécnicos, por exemplo, com relação ao solapamento de suas fundações por erosão fluvial ou para a hipótese de ocorrência de um escorregamento de grandes proporções que viesse a atingir bruscamente um de seus apoios.

Dá para admitir que as erosões incidentes na Enseada 1 estão se dando com relativa lentidão, uma vez que, em 41 anos, foi observado um avanço de ~14,0 m (0,34 cm/ano), do centro do semicírculo até a linha da margem antiga de 1965. Neste ritmo, é possível se admitir que existe uma folga de tempo para que sejam tomadas decisões, no sentido da elaboração de estudos e projetos, que visem à recuperação desta margem e das demais do Pontal da Ilha.

A aerofoto de 1965 mostra um grande depósito (banco) de sedimentos à Jusante do local da Enseada 2, o que é típico deste tipo de ilha.

A aerofoto de 1990, passados 25 anos da anterior, já mostra alterações significativas da margem direita da ilha, mais especificamente, à jusante das torres e das estruturas de estabilização e proteção antes descritas. Estas alterações envolveram uma movimentação relativamente grande de sedimentos, por erosão e deposição, com ampliação desta margem à jusante da atual posição da Enseada 2.

No período de tempo entre as duas aerofotos citadas, mais especificamente, em 1981, foram implantadas as soluções de estabilização do Pontal da Ilha. Pela descrição das mesmas, um trecho de ~130 m da margem direita da ilha foi “ enrijecido” ou protegido através de estruturas com alta resistência à ação das forças trativas das correntezas. Nestas condições, a correnteza ficou direcionada pelos limites (contornos) das estruturas de estabilização, constituídas de placas de argamassa, seguidas de aterro de enrocamento.

É do conhecimento, no meio técnico, que correntes frontais a um obstáculo (pontal da ilha) e ao longo de estruturas rígidas, isoladas ou em contato com meios porosos (solos), geram concentração de fluxo e aumento da sua velocidade, correntezas secundárias ou de retorno, vórtices, escoamento rotacional (redemoinhos), turbilhonamentos das correntes e outros efeitos complexos relativos à hidrodinâmica do escoamento d’ água em rios, canais, etc.

A Figura 5 representa muito bem alguns aspectos destes efeitos hidrodinâmicos complexos em um pilar posicionado no leito de um rio, constituído de solos (meio porosos) arenosos.

Fazendo uma analogia com os efeitos erosivos e de deposição mostrados na Figura 5 dá para, de forma simplificada, no contexto de uma questão tão complexa, inferir que, na área da Enseada 2, estão ocorrendo as seguintes situações:

*** as placas rígidas e o trecho final de aterro de enrocamento alteraram significativamente as condições hidrodinâmicas do rio neste local, com a formação de correntes secundárias ou de retorno, concentração da correnteza na linha da base destas técnicas, gerando esforços hidrodinâmicos com alta capacidade de arraste de sedimentos;**

*** a partir de 1981, as novas condições de fluxos provocaram erosão fluvial intensa na margem direita, à jusante do final do aterro de enrocamento, com a formação da Enseada 2;**

* é possível que uma parte dos sedimentos erodidos junto à Enseada 2 tenham sido incorporados ao depósito que aparece na Aerofoto de 1965, com a ampliação da margem direita da ilha;

*** as condições hidrodinâmicas geradas pela eficiência das placas de argamassa, por muitos anos e, principalmente, do aterro de enrocamento final estão fazendo com que o avanço da Enseada 2 esteja, agora, se dando por trás da margem protegida. A Foto 22 e o Croqui II mostram este fato.**

O semicírculo da Enseada 2 está avançando para montante, num processo erosivo fluvial regressivo, por trás do talude enrocado e em direção da Torre T3 .

Dá para ser percebido que o trecho final de enrocamento foi bem sucedido para fazer a transição do trecho de placas rígidas. No entanto, a transição deste aterro para a margem constituída de sedimentos arenosos está se mostrando ineficiente, pela formação e evolução da Enseada 2.

Assim, neste contexto de relativa complexidade hidráulica e geomorfológica do que está ocorrendo ao final das estruturas de estabilização da margem direita, se resume o assunto, afirmando que, em síntese: as soluções adotadas há 25 anos

estabilizaram e protegeram, muito bem e por longos anos, o trecho onde estão localizadas as torres de alta tensão. No entanto, com o passar dos anos e atualmente, estão provocando a instabilização do seu trecho de jusante desprotegido.

As instabilizações que estão ocorrendo na Enseada 2 vêm progredindo de forma lenta, regressiva e avançando por trás do enrocamento e em direção da última torre de alta tensão T3.

No entanto, do semicírculo da Enseada 2 até a torre T3 tem-se uma distância de, aproximadamente, 30m. Este afastamento, entre a margem com incidência de erosão fluvial e as fundações da torre T3, permitem que se afirme que esta estrutura está com absoluta segurança, sob os aspectos geotécnicos, semelhante ao que foi definido para a torre T1.

7 – ASPECTOS DA ESTABILIDADE DAS ESTRUTURAS IMPLANTADAS NAS MARGENS DO PONTAL DA ILHA

Os dados coletados e apresentados e as inspeções visuais e táteis das margens do rio permitem considerar que as margens do Pontal da Ilha, onde estão implantadas as estruturas de estabilização, são constituídas, predominantemente, de areia média e fina argilosa de cor marrom e compacidade média. Este tipo de material, apresenta, normalmente, baixa plasticidade e coesão e alta potencialidade ou susceptibilidade à erosão superficial e interna. As Fotos 8 e 23 mostram detalhes dos solos areno-argilosos dos taludes das margens da Ilha das Cabras.

A susceptibilidade dos solos locais à erosão fluvial e/ou superficial está relacionada à sua falta de capacidade de resistir à ação das forças trativas das correntezas do rio. Já, a susceptibilidade à erosão interna, se deve à baixa capacidade da estrutura porosa dos solos de resistirem à ação das forças de percolação, provocadas por infiltrações d' água superficiais e por percolação d' água quando do rebaixamento rápido dos níveis do rio, conforme será abordado a seguir.

Ainda, com relação às condições geotécnicas e hidráulicas dos locais em questão, pode-se destacar as seguintes características e condições de estabilidade das estruturas de estabilização e proteção das margens do Pontal da Ilha e das torres de alta tensão:

- As soluções combinadas de placas de argamassa, parede diafragma e aterros de enrocamentos, estão, por longos anos, mantendo estável o Pontal da ilha, mais especificamente, as adjacências das duas primeiras placas de argamassa (Foto 2) e o trecho de margem mais próximo da torre de alta tensão T1, localizada no Croqui 1 e através da Foto 6. Esta é uma afirmação que não diz respeito ao que foi afirmado com relação às Enseadas 1 e 2 e sim às condições estruturais e dos fluxos frontais e pela margem direita da ilha.

Estas condições, se verificam nos locais com a incidência das maiores velocidades do rio sobre a ilha, e demonstram e trazem à luz do problema jurídico gerado, uma questão de extrema relevância que é o fato desta área mais à montante (início da ilha), e o trecho inicial da margem direita da ilha não apresentarem nenhum problema significativo, de estabilidade superficial ou geral, por exemplo, ruptura dos taludes por escorregamento.

Nestes locais, as soluções de estabilização foram completas, ou seja, as placas de argamassa rígidas, estão muito bem protegidas em todas as direções, no topo, nas laterais e na sua base. Na base, há que se salientar a função excepcional e vital do aterro de enrocamento, mostrado na Foto 2 e Figura 1.

A transição das placas rígidas para o solo do leito do rio ou suas margens, com aterros de enrocamento, é que fazem uma grande diferença, para a manutenção da estabilidade das soluções implantadas no Pontal da Ilha.

Se a calha do rio estivesse sofrendo aprofundamento ilegal, por interferências da mineração de areia, fora da faixa licenciada, estes locais seriam os mais atingidos, por

conta de erosões fluviais profundas e ocorrências de escorregamentos, a exemplo da margem do rio Juruá (Foto 24) no Acre.

No caso em análise, como consequência de escorregamentos, além dos solos das margens, seriam movimentadas as placas rígidas e/ou os aterros de enrocamento. No entanto, apesar das altas velocidades do rio, com o enrocamento e as placas funcionando como estruturas deflectoras (que desviam a direção da correnteza – Foto 25), nada disso está ocorrendo no Pontal da Ilha.

De acordo com os estudos geológicos, citado nas referências, o leito e as margens do rio Jacuí são constituídas de solos areno-argilosos e areias, como antes referido com alta susceptibilidade à erosão e à instabilização por escorregamentos rotacionais de pequeno e até grande porte, se houver diferença de nível para isso (ver Foto 24).

Nesta situação, de um rio que se desenvolve em uma planície aluvionar, se a mineração de areia estivesse sendo feita próximo das margens, a dragagem teria uma forte influência na estabilidade das margens do rio e, principalmente, na sua porção extrema de montante, onde incidem as mais altas velocidades do rio e parte dos efeitos mostrados na Figura 5.

Nestas condições severas, com relação à resistência ao cisalhamento e rebaixamento rápido dos níveis do rio, os taludes das margens não resistiriam e se instabilizariam por escorregamento, envolvendo pequenos, médios e grandes volumes das margens, conforme exemplo apresentado na Foto 24, das margens do Rio Juruá (rio de planície aluvionar) no Acre. Na margem do rio Juruá isto está ocorrendo de forma intensa e danosa para o meio ambiente;

Assim, as boas condições de estabilidade das primeiras placas de argamassa (Fotos 2 e 25) e do trecho de aterro de enrocamento final (Fotos 26 e 33) e parte das placas de argamassa (Fotos 10 e 32), frontais à torre T2, são um atestado do sucesso

das estabilizações implantadas há 25 anos e de que a mineração não está interferindo nas questões hidráulicas e geotécnicas do Pontal da Ilha das Cabras;



Foto 16 - Vista geral do 3º trecho de placas de argamassa completamente destruídas – neste local as condições dos terrenos dão a indicação de que as estabilizações ocorreram de cima para baixo e observa-se a formação de um pequeno trecho de “praia” e a erosão fluvial avançando acima da cota de coroamento das placas estabilizadas.



Foto 17– Detalhes da porção de jusante (final) da Parede Diafragma de Argamassa Ciclópica – nesta porção a estrutura enterrada esta desconfinaada pela erosão incidente na Enseada 1.



Foto 18 – Vista geral da Enseada 1 na porção do semicírculo de montante – ao fundo da foto vê-se o terreno sendo erodido lentamente em direção das primeiras placas de argamassa da margem direita da ilha.



Foto 19 – Detalhes do aterro de enrocamento utilizado à jusante do semicírculo da Enseada 1, indicado nos Croquis 1 e 2 – o enrocamento aparenta ter pouca espessura e volume em meio a vegetação ribeirinha.



Foto 20 – Detalhes do bloco de fundação da torre T1 – conforme detalhes do Croqui 1 este bloco está distante, no mínimo, 15,0m da borda do talude de jusante do semicírculo da Enseada 1.



Foto 21 – Vista geral do trecho à jusante da Enseada 1, onde a margem esquerda do Pontal da Ilha está mais próxima das fundações da torre T1 – esta margem está com aspectos gerais de um trecho estável, sendo que a cobertura vegetal ribeirinha apresenta boa cobertura sobre os taludes.



Foto 22 – Vista geral da Enseada 2, onde a margem direita do Pontal da Ilha está mais próxima das fundações da torre T3 – esta margem está com aspectos gerais de um trecho em franca evolução dos processos erosivos fluviais, que avançam para, montante, e para além do final do trecho de talude enrocado, conforme ilustram os Croquis 1 e 2.



Foto 23 – Detalhes dos solos areno-argilosos que ocorrem na margem direita do Pontal da Ilha – esta foto é representativa do 3º trecho de placas instabilizadas.

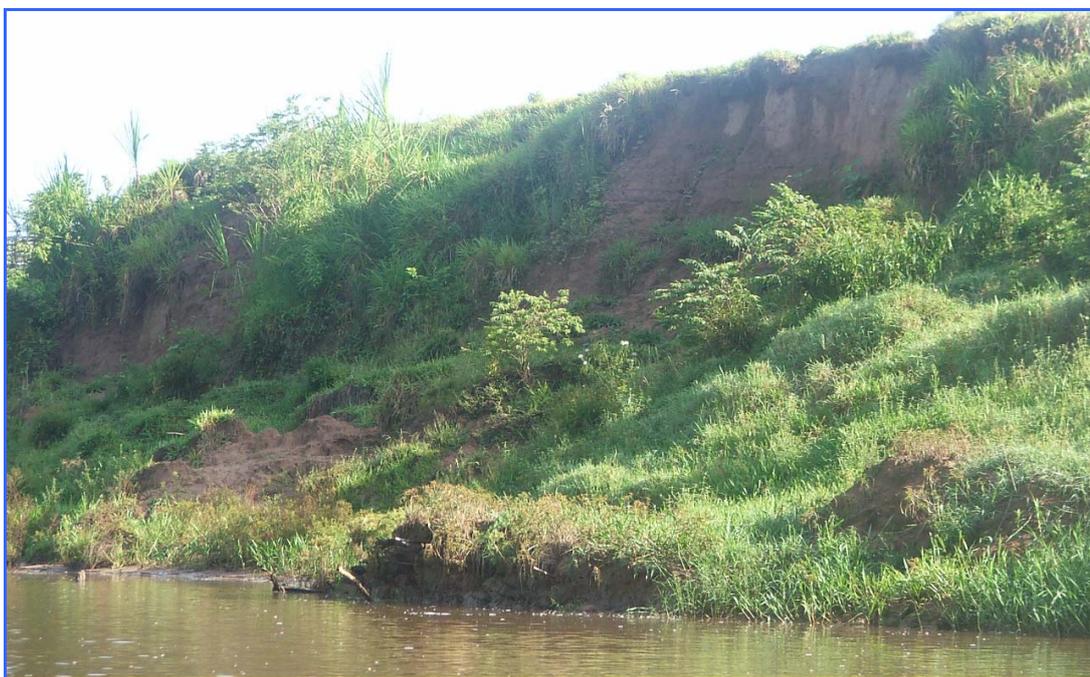


Foto 24 – Aspectos gerais e ilustrativos de uma margem de rio com escorregamentos pelo aprofundamento da sua calha, aumento da inclinação dos taludes, desmatamento, condições físicas dos solos das margens e rebaixamento rápido dos níveis do rio – foto da margem do rio Juruá no Acre.



Foto 25 – Aspectos gerais das primeiras placas de argamassa protegidas com aterro de enrocamento – as setas indicam as condições da correnteza sofrendo desvio (deflexão). Ao fundo, no 1º trecho instável, são visíveis correntes de retorno, que formam redemoinhos e turbilhionamento das águas.



Foto 26 – Aspectos gerais do trecho final das soluções de estabilização e proteção da margem direita do Pontal da Ilha – no emaranhado da vegetação

ribeirinha o aterro de enrocamento está mantendo estável os taludes e muito bem integrado (oculto pela vegetação) ao meio ambiente.



Foto 27 – Vista geral das placas de argamassa no ano de 2000. Esta foto mostra um trecho instável, que estava atingindo a metade superior das placas. Esta ocorrência comprova que as instabilizações, nesta época, estavam ocorrendo de cima para baixo, sem influência de um aprofundamento do leito do rio (Foto do arquivo da SOMAR).

- Nos Croquis 1 e 2 e registros fotográficos são indicados três trechos principais de placas de argamassa que estão em avançado estado de degradação estrutural e seus extremos e bases se instabilizando lentamente.

A questão desafiante do presente laudo é responder: Por que estes trechos de placas de argamassa se instabilizaram?

Os indicativos locais e a experiência com estruturas rígidas, assentes sobre margens arenosas, dão conta de que as instabilizações dos três trechos principais de placas tiveram início e estão se propagando, a partir de duas condições básicas que atuaram de forma independente e, posteriormente, conjuntamente, quais sejam:

a) A primeira seria a incidência de correntezas acima das “ abas” das placas de argamassa, que provocaram erosão fluvial, com a remoção da vegetação local e/ou a formação de sulcos (canais) erosivos.

A Foto 27 de 2000 mostra detalhes de um trecho onde as instabilizações estavam atingindo a metade superior das placas de argamassa. Esta foto digital, mais antiga e as Fotos 5, 8 e outras mostram a instabilização das placas rígidas se processando de cima para baixo.

Com a cobertura vegetal removida, o terreno natural ficou desprotegido e sujeito a maior quantidade de infiltrações d' água para baixo das placas de argamassa.

Situação semelhante poderia ter ocorrido por simples infiltração d' água por sulcos erosivos, formados pela concentração de drenagens superficiais, isto, acima da cota de coroamento das placas de argamassa.

Nestas duas condições, as infiltrações d' água superficiais percolaram pelo contato placa/solo (caminho mais fácil de percolação) e encontraram os drenos entupidos e inoperantes e seguiram até sua base.

Uma vez que o pé das placas não tem condição de filtragem das águas percolantes pela falta de aterro de enrocamento e transição, ocorre, neste local, a formação de erosão interna (piping) no terreno de fundação das placas.

A erosão interna surge quando as forças de percolação vencem a resistência (de atrito e coesão) do solo e a água em movimento não encontra uma estrutura de proteção ou de drenagem interna.

Tradicionalmente, a camada de transição, entre um aterro de enrocamento e um solo arenoso, é feita com uma camada de brita graduada, a qual funciona como uma estrutura de drenagem e filtragem.

A Figura 2 mostra a situação em que as placas de argamassa não dispõem de aterro de enrocamento de proteção na sua base, estrutura indispensável para o bom funcionamento desta técnica de estabilização.

A Figura 1, ao contrário, representa a situação da porção extrema do Pontal da Ilha com as placas protegidas com aterro de enrocamento. Nesta seção não foi incluída a camada de transição de brita graduada ou outra solução, uma vez que esta não pode ser inspecionada ou visualizada. Mas, uma vez que este trecho permanece estável, é de se supor que a mesma foi utilizada, como recomenda a boa técnica.

As águas infiltradas por baixo das placas rígidas, por qualquer motivo, não tendo um sistema de drenagem e filtração, eram e ainda são descarregadas na base das placas, onde se dá o início do carreamento de partículas sólidas, lenta e continuamente, até a formação de tubos erosivos e o solapamento da fundação das placas e a sua ruptura.

A Foto 28 mostra um detalhe interessante. O furo mostrado na porção inclinada das placas, próximo de seu pé, permite que se suponha que o mesmo e outros, tenham sido feitos para a inspeção das condições da fundação das placas de argamassa. Estes furos, não por acaso, estão justamente localizados nas proximidades da linha de descarga das águas de percolação e, local com alto potencial para o início da formação de erosão interna.

Estes furos dão a indicação de que os responsáveis técnicos pelas torres, em algum tempo atrás, se preocuparam com as condições da fundação das placas, justamente na sua posição crítica com relação ao desencadeamento de processos erosivos (pé das placas).



Foto 28 – Aspectos de um provável furo de inspeção do terreno de fundação de uma placa de argamassa, numa posição próxima da sua base.

Nas condições geradas por placas rígidas, assentes sobre taludes arenosos, sempre que ocorre erosão interna esta progride, de baixo para cima, até que a estrutura rígida perca sua sustentação e rompa.

Outra situação que pode ter desencadeado o início da instabilização das placas de argamassa é a percolação de água no contato placa/solo devido ao rebaixamento rápido dos níveis do rio.

Neste caso, quando o rio tem uma elevação de nível, as águas se infiltram nos terrenos de fundação das placas de argamassa saturando-os. Após, com o rebaixamento dos níveis do rio há uma inversão do sentido dos fluxos internos e a água percola através do contato solo/placa, conforme descrito na condição anterior, com os mesmos efeitos finais, que são a formação de erosão interna.

De qualquer forma, quando a água percola através do contato solo/placa, independente de sua causa ou origem, não encontrando um sistema de drenagem e filtragem no local de sua descarga (pé das placas), tem-se a situação propícia para o desecadeamento da erosão interna do solo de fundação das placas rígidas, de baixo para cima, até seu descalçamento e ruptura.

As Fotos 29 e 30 mostram um grande tubo de erosão interna em uma placa localizada nas proximidades do primeiro trecho de revestimento rígido instabilizado. Este é um exemplo em que o terreno, acima do coroamento das placas, está desprotegido ou sem vegetação e são visíveis sulcos erosivos superficiais conduzindo as águas pluviais para baixo das placas.

Finalmente, outro local de início de formação de erosão interna são as descargas das águas percoladas pelos drenos, sem sistema ou elemento de filtragem.

A erosão interna é um fenômeno muito conhecido na Engenharia Geotécnica e foi, sem dúvidas, uma das causas do início da instabilização das placas de argamassa, a qual contínua ocorrendo.

b) A segunda causa do início da instabilização das placas de argamassa foi, simplesmente, a formação de erosão fluvial dos terrenos acima do coroamento das placas, progredido de forma regressiva, conforme mostram as Fotos 15, 27 e todos os extremos dos trechos completamente instáveis.

Neste caso, a erosão fluvial provocada pela correnteza do rio solapa, primeiro, a base da “aba” das placas, que se instabilizam. Com isto fica criado um ressalto hidráulico, conforme demonstrado pelas Fotos 5, 7 e outras. Assim, a cada enchente ou descarga das barragens citadas, o solo da fundação das placas vai sendo erodido por baixo das placas rígidas e deixando-as sem apoio até que atinjam sua ruptura.



Foto 29 – Detalhes de um local com ocorrência de erosão interna no topo de uma placa de argamassa – neste local para a inspeção do tubo erosivo foi removido um pedaço da aba de argamassa, que foi colocada no lado direito da escala de referência.

Da mesma forma, conforme ilustra a Figura 2, as placas sem proteção na sua base e pela sua orientação (direção) e a rigidez da solução, concentram a correnteza no pé das placas e o terreno adjacente começa a sofrer erosão, abaixo das placas, semelhante ao efeito verificado na lateral de um pilar de ponte, mostrado na Figura 5.

A falta de manutenção, especialmente quando as erosões internas e superficiais tiveram início, foi um fator determinante para que os três trechos destacados nos Croquis 1 e 2 se instabilizassem de maneira tão incisiva. Este tipo de ocorrência continua a atuar e a instabilizar novas placas, por cima e por baixo das mesmas.



Foto 30 – Detalhes do fundo do tudo erosivo mostrado na foto anterior – o processo erosivo interno está solapando o terreno de fundação ou a base da placa até que culminará com o seu colapso estrutural ou sua ruptura.

Por último, uma outra condição que pode ter favorecido a ocorrência de qualquer uma das causas acima relacionadas é o fato das placas terem sido moldadas com trechos em curvas, que provavelmente acompanharam a geometria da margem direita da ilha, à época de sua implantação. As pequenas curvaturas das placas podem ter favorecido o turbilhonamento das correntezas e desencadeado a erosão superficial dos terrenos, acima da cota de coroamento dos revestimentos de argamassa.

Com a ruptura das placas, estas se desnivelam, se elevam ou afundam no solo, com isso geram ressaltos hidráulicos, pelo emaranhado de placas quebradas, conforme ilustram as Fotos 14 e 31.



Foto 31 – Detalhes do 1º trecho de placas instabilizadas. O emaranhado de placas quebradas gera turbilhonamentos das águas e maior capacidade de arraste dos solos da fundação das placas extremas ainda estáveis.

Os ressaltos hidráulicos, por sua vez, geram redemoinhos, o turbilhonamento das águas e o aumento das forças trativas das correntezas do rio e, desta maneira, a desagregação do solo passa a ser mais intensa.

Quando um trecho de placa se instabiliza, este fica com as duas extremidades expostas e então as erosões fluviais passam a se propagar para jusante (processo de erosão contra o fluxo do rio) e para montante (o processo se dá por retroerosão superficial), nos ressaltos hidráulicos gerados.

A Foto 32 mostra que a instabilização, à jusante do primeiro trecho de placas, após a curva da margem direita, está avançando pela base, conforme mostrado na Figura 3. Neste trecho, a erosão fluvial está solapando e afundando e levantando placas. Este efeito já deve ter ocorrido nos trechos finais que estão com as placas completamente destruídas.



Foto 32 – Detalhes de um trecho de placas de argamassa junto e à jusante do 1º trecho estabilizado. A estabilização neste trecho está se processando pela base das placas.

Nos trechos em que as placas estão estáveis, a cobertura vegetal nativa se mantém viva (ver Fotos) contínua em boas condições de minimizar ou evitar as infiltrações d' água.

O talude retilíneo frontal à torre central (torre T2), em uma extensão relativamente significativa, apresenta boas a razoáveis condições de estabilidade sob os aspectos relacionados à integridade da argamassa das placas de proteção e da resistência ao cisalhamento dos taludes.

As Fotos 6 e 10 mostram que o trecho central de placas está dando uma condição de estabilidade, relativamente boa para a torre central T2. Esta torre, conforme o Croqui 1 está a 7,0m da borda da margem protegida com placas de argamassa. Neste trecho, felizmente, não foi verificada nenhuma ocorrência significativa de ruptura de placas ou do afundamento dos terrenos dos taludes.

Para a proteção da porção frontal à primeira placa de argamassa e à jusante da última foram utilizados aterros de enrocamento. Nestes casos, os projetistas das obras de estabilização, sem dúvidas, obtiveram sucesso com este tipo consagrado de aterro de estabilização de margens de rios, obras marinhas, barragens, molhes, canalização de rios, etc.

Então, a fixação das margens com aterros de enrocamento, à montante e à jusante das placas de argamassa são uma comprovação de que as instabilizações de outros trechos são consequência de fatores localizados, como antes descrito, iniciadas por processos erosivos fluviais e/ou internos e não por dragagens no leito do rio, fora das faixas licenciadas.

Mesmo os aterros de enrocamento que se mostram muito estáveis, não permaneceriam nesta condição se houvesse um descalçamento de sua base ou um corte no pé dos seus taludes, semelhante aos efeitos erosivos da Figura 5 ou por dragagem das margens do rio.

Neste caso, haveria a ocorrência de rupturas gerais por escorregamento, isto especialmente, quando as margens íngremes fossem submetidas a percolação d' água por rebaixamento rápido do nível do rio, a exemplo das ocorrências nas margens do rio Juruá (Foto 24) – logicamente, deve-se guardar as devidas proporções uma vez que o rio amazônico apresenta uma calha muito mais profunda que a do rio Jacuí.

Assim, a estabilidade dos aterros de enrocamento, à montante da primeira placa e à jusante da última, são um atestado de que não está ocorrendo e não existe um aprofundamento significativo da calha do rio próximo das margens, por dragagem de areia ou por erosão devido aos efeitos mostrados na Figura 5. Se isto estivesse ocorrendo, reafirma-se, nem as placas de argamassa (solução rígida) nem os aterros de enrocamento (solução flexível) estariam estáveis ou parcialmente estáveis nestes trechos.

O aterro de enrocamento do trecho final da margem direita da ilha não permitiu a formação de um ressalto hidráulico no final da última placa de argamassa, conforme mostra a Foto 33 e as Figuras 3 e 4. Se isso tivesse ocorrido, as placas rígidas sofreriam processo erosivo superficial contínuo e regressivo, desde os primeiros anos da obra.

Esta aplicação de enrocamento dá para se dizer que serve, passados 25 anos, como um exemplo da eficiência e o caráter ambiental desta solução, uma vez que, ao longo do tempo a vegetação nativa ribeirinha (Foto 26) se estabeleceu nos vazios das pedras do enrocamento. Atualmente, somente quem se aproxima deste local consegue perceber a solução de enrocamento aplicada. O mesmo vale para a margem esquerda do Pontal da Ilha, à jusante da Enseada 1 (Fotos 19 e 21).



Foto 33 – Detalhes do pedaço remanescente da última placa de argamassa em contato com o aterro de enrocamento final – este detalhe mostra que o enrocamento não permitiu a formação de um ressalto hidráulico neste local crítico. Outro detalhe é que o aterro e enrocamento permanece íntegro e estável em todo o trecho à jusante da foto.

O trecho final de enrocamento manteve a margem direita da ilha estável, como devem ter planejado os projetistas da obra. No entanto, conforme antes descrito, a correnteza principal do rio, que flui na direção da linha do talude enrocado, está gerando fluxos secundários e erosão superficial regressiva, e formando a Enseada 2.

Na comparação das placas de argamassa rígidas com os aterros de enrocamento (bem dimensionados, com blocos com baixo potencial, a ação dos agentes de intemperismo e com camada de transição no contato com o terreno natural), dá para se afirmar que os materiais granulares naturais, praticamente não exigem manutenção, são soluções seculares. A prova desde fato é o bom comportamento do trecho inicial e final de enrocamento no Pontal da Ilha, isto sem considerar os efeitos hidrodinâmicos na formação e ampliação da Enseada 2.

As camadas de enrocamento de proteção são um grande exemplo, didático, da eficiência desta técnica de estabilização de margens de rios caudalosos e submetidos a fluxos com altas velocidades e, no caso do Pontal e da margem direita, são uma evidência de que os mesmos se mantêm em boas condições de estabilidade geral ou escorregamento.

Com relação às placas de argamassa injetadas, as questões principais a serem consideradas, ao longo de sua vida útil e para o seu bom desempenho, é a sua fragilidade à falta de manutenção e a susceptibilidade a erosão (interna e superficial) do seu solo de fundação. No caso em questão, reafirma-se que estes foram e ainda são, em síntese, os dois problemas da instabilização dos três trechos de placas de proteção, os quais estão se ampliando.

Apesar das instabilizações identificadas e descritas, pode-se considerar que todas as torres de alta tensão, estão com boas condições de estabilidade sob os aspectos geotécnicos e, desta maneira, devem permanecer por muito tempo. Apenas recomenda-se que, neste tempo, e a critério de seus responsáveis, sejam providenciados estudos e projetos para a revitalização das soluções de estabilização, muito bem concebidas e implantadas. No entanto, por tradição na engenharia, decorridos 25 anos, dá para afirmar que já cumpriram suas funções originais ou estão no limiar da sua vida útil e precisando de medidas corretivas e preventivas.

Do exposto, pode-se concluir e recomendar o seguinte:

- Que em 1981 foram concebidas e implantadas, no Pontal da Ilha das Cabras, várias estruturas de estabilização e proteção de taludes com o objetivo de impedir a progressão de processos erosivos fluviais que estavam avançando, de forma contundente, em direção das três torres de alta tensão da CEEE.

Esta conclusão tem como base a comparação das aerofotos de 1965, 1971 e 1990, as quais dão fortes indicações do avanço de erosões fluviais nas margens do Pontal da Ilha, antes de 1981.

Outros fatores que devem ser considerados como determinantes da ocorrência de intensas instabilizações das margens, no entorno das torres de alta tensão, são a complexidade, o porte e o alto custo das soluções de estabilização e proteção de taludes adotadas e aplicadas pela CEEE na Ilha das Cabras – grandes problemas requerem grandes soluções;

- O principal indicativo da incidência de erosão fluvial no Pontal da Ilha, antes de 1981, são a comparação da sobreposição das margens de 1965 e 1971 com as demais. Neste caso, verifica-se que a margem direita do Pontal da Ilha, em 1971, estava com uma reentrância (pequena enseada) que avançava para além da linha atual do coroamento das placas de argamassa;

- Quando a empresa SOMAR iniciou suas operações de mineração no Rio Jacuí, as estruturas de estabilização e proteção de taludes, descritas no presente laudo, já estavam implantadas. Assim, as soluções foram concebidas e implantadas, sem a influência da mineração de areia no leito do rio Jacuí;

- A Enseada 1 aparece com razoável definição na Aerofoto de 1971, antes da implantação das soluções de estabilização analisadas. Já, a formação da Enseada 2,

teve sua origem e evolução a partir das soluções de estabilização e aparece muito bem definida na aerofoto de 1991, dez anos após sua implantação;

- As erosões na Enseada 1 progrediram de forma mais acentuada após a implantação das estruturas de estabilização e proteção dos taludes das margens do Pontal da Ilha, sendo mais intensos os processos erosivos fluviais na margem direita, à jusante da proteção com placas de argamassa e aterro de enrocamento;

- As principais causas do início da instabilização das placas de argamassa foram e continuam sendo, as ocorrências de erosões fluviais e erosões internas, sendo estas últimas, por infiltrações d' água pelo topo desta estrutura rígida, combinadas com o entupimento dos seus drenos, a ausência de estruturas de filtragem e a falta de manutenção geral das estruturas, isto, pelo menos nos últimos anos;

- Na atual condição em que se encontram os três trechos de placas de argamassa totalmente instabilizados, as erosões estão ocorrendo, predominantemente, de forma superficial, para montante e jusante, e o seu aprofundamento (soterramento) e o solapamento de novas placas está ocorrendo devido ao turbilhonamento das águas nos ressaltos hidráulicos e no emaranhado de placas quebradas, conforme mostram as Fotos 14 e 31.

Cada vez que mais placas são soerguidas ou se inclinam, gradativamente, aumenta o turbilhonamento e a capacidade de arraste das forças trativas do rio. Em decorrência disso, geram erosões fluviais mais acentuadas nos taludes arenosos desprotegidos pelo colapso do revestimento original;

- No último trecho instável, as placas de argamassa destruídas ou foram soterradas na areia ou deslocadas para o leito mais profundo do rio (Fotos 15 e 16);

- Todos os trechos de placas de argamassa que permanecem estáveis estão com a porção superior, no nível da " aba" , com vegetação e sem sulcos erosivos que, poderiam facilitar e direcionar os fluxos superficiais ou as infiltrações d' água para a

base das mesmas, conforme mostra a Foto 29;

- À exceção dos três trechos de placas instabilizadas, mostrados no Croqui 1, os demais estão mantendo, a sua funcionalidade original com razoáveis condições de estabilização do Pontal da Ilha, e assim devem permanecer por alguns anos.

Este sucesso se deve à sua boa concepção e implantação e às técnicas aplicadas, especialmente, com a fixação do Pontal da Ilha com enrocamento e parede diafragma e, no trecho final da margem direita, à utilização de proteção com aterro de enrocamento.

Desta forma, apesar da precariedade atual de três trechos de placas de argamassa, as mesmas ainda atendem seus objetivos principais de estabilização de parte da margem direita do Pontal da Ilha e garantia da estabilidade das torres de alta tensão;

- No entanto, passados 25 anos, dá para se admitir que a vida útil das placas de argamassa foi atingida ou está no seu limiar ou, no mínimo, que cumpriu, com bom desempenho, suas funções primordiais de estabilizar as margens do rio e proteger as torres de alta tensão;

- As inspeções do local e os registros fotográficos demonstram que não existe nenhum local, nas margens do Pontal da ilha, com instabilização de taludes, decorrentes de rupturas profundas por cisalhamento e/ou por erosão fluvial profunda (solapamento profundo das margens ou cortes profundos das margens por dragagem). Por estas evidências, é plausível se admitir que todas as instabilizações das placas de argamassa estão ocorrendo superficialmente ($\leq 3,0\text{m}$) e, predominantemente, de cima para baixo com solapamento lento das placas de argamassa;

- Todos os taludes do Pontal da Ilha, nos trechos das Enseadas 1 e 2 e das placas instabilizadas, que estão desprotegidos (Fotos 15, 16, 18 e 22) e muito íngremes por erosão fluvial, vêm se instabilizando, continuamente, por causas secundárias, tais como, pelo efeito das ondas (provocadas pelo vento, correntezas e

circulação de embarcações etc.) e fluxos devido ao rebaixamento rápido dos níveis do rio Jacuí, infiltrações d' água por fendas de tração e outros;

- Um dos registros fotográficos mais importantes para a elucidação e comprovação das causas da instabilizações no Pontal da Ilha é mostrado na Foto 33. Neste local, verifica-se uma pequena porção remanescente da última placa de revestimento ainda ligada ao enrocamento.

Neste local crítico, pela mudança dos materiais (placa para enrocamento), não foi gerado um ressalto hidráulico, pois o enrocamento garantiu a estabilidade desta margem, à jusante da estrutura rígida.

O fato do aterro de enrocamento permanecer estável é uma constatação, importante, que contribui para a afirmação de que as instabilizações das placas de argamassa injetada se deram, inicialmente, por erosão fluvial (superficial) e/ou interna e, a seguir, por falta de manutenção deste tipo de solução, que ainda hoje é utilizada em obras complexas do gênero.

Os aterros de enrocamento bem concebidos e implantados são soluções seculares, que, praticamente, dispensam manutenção. Por isso, o trecho final de enrocamento estável, adjacente às placas de argamassa instáveis (Fotos 26 e 33), somente perderá sua estabilidade se sua base for solapada, por erosão fluvial (Figura 5) ou por dragagem que atinjam níveis profundos. Como nenhuma destas condições foi verificada, este trecho permanecerá, por muitos anos, como um testemunho das causas das instabilizações das placas de argamassa;

- Assim, todos os indícios e as evidências apresentadas corroboram com a conclusão de que as instabilizações que estão ocorrendo nos taludes revestidos, objetos do presente laudo, não têm relação direta com a mineração de areia.

As instabilizações estão ocorrendo por vários fatores, alguns complexos como a hidrodinâmica dos fluxos do rio (altas velocidades, geomorfologia local, forma de

deposição e arraste de sedimentos transportados pelo rio, barragem de enrocamento à jusante do Pontal da Ilha, descargas das enchentes e da operação das barragens localizadas à montante, ressaltos hidráulicos, curvaturas das placas, etc.), e outros que são evidentes e mais facilmente admissíveis, tais como:

- * o longo tempo de utilização das estruturas de estabilização e de proteção (~25 anos) descritas;

- * a falta de sua manutenção nos últimos anos (ver Fotos 7, 14, 17 e outras);

- * a condição das placas serem estruturas rígidas assentes sobre solo arenoso, com drenos entupidos e sem proteção de enrocamento na sua base;

- * secundariamente, devido ao formato em curva de alguns trechos de placas, as quais devem ter favorecido a erosão fluvial dos terrenos acima das cotas das “ abas” e da sua base.

- Com as conclusões acima, pode-se afirmar que as placas de estabilização e proteção dos taludes, em análise, cumpriram, por quase 25 anos, com os seus objetivos primordiais em excelentes condições técnicas de operação e de segurança estrutural. Mas se tratando de uma estrutura rígida, assentada sobre solos arenosos, submetida por prolongado período de tempo, a severidade das condições da hidrodinâmica do rio Jacuí e sem manutenção, nos últimos anos, por óbvio, a que se admitir que as mesmas estão mostrando os sinais implacáveis do tempo e dos agentes do intemperismo;

- Em nenhum local foram verificadas ocorrências de instabilidades gerais das margens por escorregamentos, que exijam projetos e obras de recuperação imediatas. Existe sim, a necessidade de serviços de manutenção e, recomenda-se que, em médio prazo, sejam feitos estudos e projetos de recuperação e/ou revitalização dos trechos instabilizados;

- Comparando-se os trechos instáveis de placas de argamassa com o último trecho de enrocamento, que se encontra em condições estáveis, pode-se, com mais clareza, evidenciar que a dragagem de areia não está interferindo na estabilidade do

conjunto de soluções implantadas no Pontal da Ilha.

Desta maneira, se as duas soluções, acima referidas, protegem o mesmo trecho de rio, praticamente, em iguais condições (geomorfológicas, geotécnicas e hidráulicas) pode-se concluir que as instabilizações e degradação das placas de argamassa (solução rígida) não estão ocorrendo pela ação da dragagem de areia, neste trecho de rio, e sim pelas questões já referidas, tais como, por incidência de erosão fluvial (superficial), erosão interna, vida útil das placas já ter sido atingida e, por fim, falta de manutenção do conjunto de soluções aplicadas no Pontal da Ilha;

Pelo exposto, e com base no conhecimento técnico sobre os temas analisados nas inspeções visuais e táteis dos taludes e estruturas das margens do rio Jacuí, nas análises de Aerofotos antigas e atuais e nos levantamentos batimétricos do trecho em análise, sou de parecer que as atividades de mineração, licenciadas, não estão impondo riscos às torres de alta tensão. Já, os processos erosivos fluviais das margens da Ilha das Cabras, estão ocorrendo, predominantemente, por conta das condições hidrodinâmicas naturais do rio Jacuí e geradas pelas soluções de estabilização implantadas em 1981, por aspectos geomorfológicos (forma geométrica da ilha e natureza arenosa dos solos dos barramentos) e geotécnicos deste local, creio que amplamente e devidamente esclarecidos neste laudo.

Portanto, considerando que todas as causas das instabilizações dos taludes das margens da Ilha das Cabras, no trecho em análise, não são decorrentes das operações da dragagem de areia, fica comprovado que a Somar - Sociedade Mineradora Ltda não está causando danos e riscos às três torres de alta tensão implantadas nesta ilha.

Embora não seja o objetivo deste laudo focar os aspectos estruturais das três torres de alta tensão, pode-se inferir que as suas fundações estão com boa segurança estrutural, isto, com relação aos aspectos geotécnicos dos terrenos adjacentes, mais especificamente com relação a uma ruptura por escorregamento de uma das margens e que esta venha a envolver as suas fundações, em qualquer um dos taludes analisados.

Por fim, recomenda-se que as estruturas de estabilização e proteção analisadas, sejam monitoradas, até que os seus responsáveis técnicos julguem procedente adotar medidas preventivas e corretivas, no sentido de: minimizar ou eliminar os avanços das instabilizações por erosão fluvial (superficial) nas Enseadas 1 e 2; recuperar os três trechos de placas instabilizadas; reforçar e ampliar os aterros de enrocamentos e realizar serviços secundários diversos, tais como, a limpeza dos drenos e vegetação ribeirinha das juntas e fraturas das placas, instalar canaletas de drenagem para orientar os fluxos superficiais e outros.

MSc. Eng. Civil Talles Augusto Araujo

CREA – 48445-D

CURRICULUM VITAE

Nome: Talles Augusto Araujo

Filiação: Tito Araujo e Dolair Madalena Schwerz Araujo

Nascimento: 05/junho/1957

Naturalidade: Cruz Alta/RS

Profissão: Engenheiro Civil

Residência: Rua Senador Cassiano 85, Ap.401

CEP:97050-680 – Santa Maria – RS

Telefones: (055)30 27 54 59 Residência – (055) 3220 8432 (UFSM)

CARTEIRA DE IDENTIDADE: 100368211

CIC: 309478630-87

CREA: 48445-D

Correio Eletrônico: talles@ct.ufsm.br

FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Engenheiro Civil pela Universidade Católica de Pelotas – Pelotas - RS, em 1983.

Mestre em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo – EESC-USP – São Carlos –SP, em 1989.

ATIVIDADES PROFISSIONAIS

- De julho a outubro de 1986 - Professor Auxiliar de Ensino na Universidade Católica de Pelotas – Disciplina Ministrada Mecânica dos Solos II.

- De novembro de 1986 a setembro de 1987 - trabalhou na Consultora Engenheiros Consultores Associados CONSULTRIX S/C, São Paulo - SP.

Atividades da Empresa: Projeto e Consultoria de Solos e Engenharia de Fundações. Atividades desenvolvidas na empresa: elaboração de estudos e projetos de fundações, fiscalização e acompanhamento de obras no tocante a fundações de edifícios, pontes, viadutos e canais. Participou como engenheiro residente e assessor técnico da Construtora OAS Ltda. na implantação das obras do Clube Méditerranée (projeto com 32 mil metros quadrados de área construída) em Mangaratiba-RJ.

- De setembro de 1987 a janeiro de 1992 – trabalhou como responsável pelo Setor de Geotecnia da Consultora Magna Engenharia Ltda., Porto Alegre - RS.

Atividades desenvolvidas na Empresa: chefia do laboratório de mecânica dos solos e prospecções geotécnicas; programação e interpretação de ensaios geotécnicos de campo e laboratório; estudos, projetos e supervisão de obras hidráulicas, saneamento e transportes, na área específica de geotecnia,

incluindo barragens, estabilização de taludes, drenagem profunda e superficial, estruturas de arrimo (gravidade, gabiões, cortinas atirantadas, estacas prancha e outras), escavações e tratamento de solos e rochas, rebaixamento do nível d'água, análise de estabilidade de taludes naturais e artificiais, fundações de obras de arte e hidráulicas, instrumentação de barragens, disposição de rejeitos, concepção de leiautes de barragens, elaboração de memoriais descritivos e especificações técnicas. Participou nos seguintes projetos e supervisões de obras da empresa:

- Projeto de Canalização do Arroio Cadena- Santa Maria, RS, DNOS, 1987.
- Projeto do Sistema de Proteção Contra Cheias da Cidade de Governador Valadares-MG, DNOS, 1987;
- Projeto do Sistema de Proteção Contra Cheias da Cidade de São José dos Pinhais-PR, DNOS, 1987;
- Projeto do Sistema de Rebaixamento do Nível d'água da Eclusa do rio Parnaíba-PI, DNOS, 1987;
- Projeto do Sistema de Proteção Contra Cheias das Cidades de Russas, Jaguaruana e Itaipaba-CE, DNOS, 1987;
- Projeto do Sistema de Proteção Contra Cheias de Uruguaiana- RS, DNOS, 1988;
- Projeto de Diques de Retenção de Efluentes Líquidos do Sistema de Disposição do SITEL-RS, Pólo Petroquímico de Triunfo-RS, 1989;
- Projeto do Sistema de Proteção Contra Cheias da Cidade de Imperatriz-MA, DNOS, 1988;
- Projeto e Assessoramento Técnico as Obras do Cais de Imperatriz-MA, DNOS, 1988 - 1989;
- Projeto de Restauração da BR-116 - Trecho Santa Cecília, Papanduva-SC, DNOS, 1988;
- Assessoramento Técnico as Obras de Canalização do Rio Itajaí- SC, DNOS, 1988 - 1989;
- Assessoramento Técnico as Obras da Barragem do Rio Bonito- Jacinto Machado, SC, SUDESUL, 1988-1989;
- Assessoramento Técnico as Obras da Barragem do Rio Leão-Sombrio,SC, SUDESUL, 1988-1990;
- Assessoramento Técnico as Obras de Dragagem do Rio Pericumã-Pinheiro-MA, DNOS, 1988;
- Assessoramento Técnico as Obras da Barragem da Santa Eulália, Pinheiro, MA, DNOS, 1988 - 1990;
- Assessoramento Técnico as Obras da Barragem do Rio São Bento- Pinheiro-MA, DNOS, 1989;
- Projeto do Canal de Reforço do Rio Itajaí-Gaspar-SC, DNOS, 1988-1989;
- Projeto do Sistema de Monitoramento das Águas Freáticas da Área do Complexo da CNDA-Portão, RS, RHODIA, 1989;
- Projeto da Barragem do Rio Mampituba-Praia Grande, RS, SUDESUL, 1989-1990;
- Assessoramento Técnico as Obras do Projeto Hidroagrícola da Baixada Ocidental Maranhense-Pinheiro, MA, DNOS, 1988-1989;
- Projeto da Barragem de Elevação de Nível do Rio Pardinho, Integrante do Sistema de Abastecimento D'água de Santa Cruz do Sul - Santa Cruz do Sul, RS, CORSAN, 1989;
- Projeto da Barragem de Elevação de Nível do Rio Castelhanos, Integrante do Sistema de Abastecimento D'água de Venâncio Aires - Venâncio Aires, RS, CORSAN, 1989;
- Projeto Executivo da Barragem do Rio São Bento - Nova Veneza, SC, SUDESUL, 1989-1990;
- Assessoramento Técnico as Obras de Estabilização de Encostas com Cortinas Atirantadas na BR-116, trecho Nova Petrópolis - Caxias do Sul - DNER, RS, 1988-1992;

- Projeto da Barragem "2" do Rio Subaé - Santo Amaro da Purificação, BA, DNOS, 1990;
- Projeto de Recuperação da Barragem de Irrigação da Propriedade do Sr. Horst - Itaquí, RS, 1990;
- Projeto de Estabilização de Encostas com Muros de gabiões e Proteção de Taludes Rochosos com Telas Metálicas na RS-110, trecho Alziro Ramos - Bom Jesus, RS, DAER, 1990;
- Projeto de Irrigação da Fazenda Gado Bravo- São Desidério, BA, Grupo Seival, 1990;
- Projeto da Barragem "Olaria Velha" no Rio Gravataí - Gravataí, RS, CORSAN, 1990;
- Acompanhamento Tecnológico da Instrumentação da Barragem do Rio Passaúna - Curitiba, PR, SANEPAR, 1990-1991;
- Projeto do Sistema de Disposição de Cinzas da Termelétrica Jacuí I - Charqueadas, RS, Eletrosul, 1990;
- Projeto e Acompanhamento da Instalação da Instrumentação da Barragem do Faxinal - Caxias do Sul, RS, SAMAE, 1991.
- Projeto das Barragens dos rios do Salto e Amola Faca (barragem de derivação), Morro Chato e Turvo, SC, SASC, 1991.
- **A partir de fevereiro de 1992** - Professor Adjunto no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Disciplinas ministradas: Mecânica dos Solos, Obras de Terra, Barragens(ACG - Graduação da Engenharia Civil e Mestrado do Curso de Agronomia) e Introdução a Engenharia e Estágios Supervisionados..

a) Participação como co-autor e consultor nos seguintes projetos e obras:

- Projeto da Estação de Tratamento de Esgotos do Bairro Lami de Porto Alegre – SEECLA Serviços de Engenharia Ltda./Secretaria Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre – Porto Alegre-RS, 1990.
- Projeto da Estação de Tratamento de Esgotos da Zona Sul (Ipanema) de Porto Alegre – MULTISERVICE Engenharia e Consultoria Ltda./Secretaria Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre-RS, 1991.
- Projeto da Barragem da Pedreira – ENGEPLUS Engenharia Ltda./CORSAN, Passo Fundo-RS, 1991.
- Estudo de Concepção para Ampliação dos Sistemas de Abastecimento de Água das Cidades de Júlio de Castilhos e Tupanciretã – INCORP Consultoria Assessoria e Representação Ltda./CORSAN, Porto Alegre-RS, 1992.
- Projeto da Barragem da Granja – ENGEPLUS Engenharia Ltda./CORSAN, Pinheiro Machado-RS, 1992.
- Projeto da PCH (Pequena Central Hidrelétrica) do RIO Buricá (1.5MW) – ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda./Cooperativa de Eletrificação Rural CERTHIL, Três de Maio-RS, 1993.
- Projeto da PCH do Rio Ijuizinho (3.5MW) – ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda./Cooperativa de Eletrificação Rural CERMISSÕES, Caibaté-RS, 1993.
- Projeto de Despoluição e Reintegração da Lagoa Marcelino Ramos – Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – FATEC/Prefeitura Municipal de Osório-RS, 1994.
- Projeto de Remediação do Lixão Próximo ao Arroio Paixão – ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda./Prefeitura Municipal de Nova Petrópolis-RS, 1995.

- Projeto das Barragens de Irrigação das Fazendas São Pedro (Itaqui) e Fazenda União (Uruguaiana) – Parceria Ottoni e Píffero Monteiro e Filhos, Itaqui-RS, 1995.
- Projeto das Estações de Tratamento de Esgotos de Cruz Alta-ETE Norte, ETE Sul, ETE Leste e ETE Oeste - ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda./CORSAN, Cruz Alta-RS, 1995.
- Projeto da PCH do Rio Fortaleza (1,0 MW) – ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda./Cooperativa de Eletrificação Rural CRELUZ, Seberi-RS, 1996.
- Estudo de Viabilidade da Ampliação e Conclusão das Obras da Usina Jaguari (~8.0 MW) – Prefeitura Municipal de Jaguari, Jaguari-RS, 1996.
- Projeto Geotécnico do Aterro de Disposição de Resíduos (Escória) Industriais Classe II na Área de Mangue da Ilha dos Amores – CSD-GEOKLOCK-Geologia e Engenharia Ambiental Ltda./Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão-SP, 1996-1997.
- Projeto do Sistema de Tratamento de Esgotos de Santa Cruz do Rio Pardo, STE - Serviços Técnicos Especiais Ltda./SABESP, Santa Cruz do Rio Pardo-SP, 1997.
- Assessoramento Técnico à equipe de supervisão e fiscalização das obras do Lago Dourado(barragem de derivação e lagoa de acumulação de água para abastecimento) – CORSAN, Santa Cruz do Sul-RS, 1998.
- Assessoramento Técnico à equipe de supervisão e fiscalização das obras da Barragem Val de Serra (participação na revisão do projeto executivo, na fiscalização da implantação das obras e no acompanhamento da instrumentação e acompanhamento do enchimento do reservatório) - barragem de 37,0m de altura e construída em concreto compactado com rolo(CCR)) – CORSAN/Beck de Souza Engenharia e Consultoria Ltda., Santa Maria-RS, 1997- 2000.
- Projeto de Recuperação da Barragem de Restinga Sêca - CORSAN, Restinga Sêca, 1998.
- Projeto geotécnico da Estação de Tratamento de Esgotos(ETE) de Santa Cruz do Sul – CORSAN, Santa Maria, 1999.
- Projeto Executivo da Central de Resíduos do Recreio(disposição final de resíduos urbanos e industriais classe II na Mina do Recreio) - Copelmi Mineração Ltda., Minas do Leão, 1999-2000.
- Projeto Geotécnico e de Drenagem para a Recuperação de Erosões na Estação de Tratamento de Águas (ETA) de Torres - CORSAN, Torres, 2000.
- Revisão do Projeto Executivo da Estação de Tratamento de Esgotos de Uruguaiana - CORSAN, Uruguaiana, em andamento.
- Projeto de recuperação do “Lixão” de Chapecó – MRS Estudos Ambientais Ltda., Chapecó, SC, 2001.
- Controle Tecnológico, Consultoria e Supervisão Técnica das obras de implantação da Central de Resíduos do Recreio(Aterro Sanitário, Estação de Tratamento de Efluentes e Aterro de Resíduos Classe II) - SIL Soluções Ambientais Ltda., em andamento.
- Análise das Condições Geotécnicas do Terreno de Fundações da Termoelétrica Seival, STEAG do Brasil S. A., Candiota, 2002.
- Controle tecnológico e consultoria para a Implantação da Estação de Tratamento de Dom Pedrito – CORSAN, Dom Pedrito, em andamento.

- Projeto Básico do Sistema de Tratamento de Esgotos Ponta da Cadeia /Complexo Serraria de Porto Alegre – Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), Porto Alegre, 2002.
- Revisão do Projeto Geotécnico Executivo da Estação de Tratamento de Esgotos de Uruguaiana - CORSAN, Uruguaiana, RS, 2002
- Inventário de Locais de Barragens (102 locais) com base em análises Multicritérios (Ambientais, Sócio-econômicos e Técnico-econômico) para fins de Irrigação na Metade Norte do Rio Grande do Sul - Convênio MAPA/UFSM, 2002.
- Projeto e Supervisão da Travessia Emergencial do Passo do Verde com Balsas Fixas e Aterro de Enrocamento sobre o Rio Vacacaí - BR - 392, Carele Engenharia Ltda & Rudi N. Becker, Santa Maria/São Sepé, RS, 2003.
- Projeto Executivo da Canalização e Diques de Proteção do Arroio Cavahada – Divisão de Projetos Pluviais e Macrodrenagem/Concremat Engenharia, Porto Alegre, RS, 2004.
- Projeto Executivo da Ampliação do Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio (CRR), Minas do Leão, SIL Soluções Ambientais Ltda., Porto Alegre , RS, 2004..
- Projeto Executivo dos Sistemas de Tratamento de Esgotos de Tramandaí e Guaíba, Ecoplan Engenharia Ltda e CORSAN, em andamento.
- Controle Tecnológico e Consultoria das obras de implantação da Central de Resíduos do Recreio (Aterro Sanitário, Estação de Tratamento de Efluentes e Aterro de Resíduos Classe II) - SIL Soluções Ambientais Ltda., em andamento.