

USO DE ESPIGONES PARA RECOMPOSICIÓN DE PLAYA

Victor Gustavo Chiari¹

Avenida José Benassi, 2607 – Parque Industrial FazGran – CEP 13213-085. (11) 4525-5000. victor@maccaferri.com.br

Petrucio José dos Santos Junior²

Paulo Eduardo Oliveira da Rocha³

Gerardo Fracassi⁴

1,2,3,4 Maccaferri do Brasil Ltda. – Jundiaí – São Paulo - Brasil

RESUMEN

Cabedelo es una ciudad portuaria localizada en el estado de Paraíba, región Nordeste de Brasil caracterizada por sus playas turísticas y reservas marinas. En el inicio de la década del 90 la fuga de las arenas de estas playas y la progresiva falta de aporte de sedimentos, hicieron que todo el litoral fuese lentamente erosionado, invadiendo las calles y afectando las obras de infraestructura existentes. Varias medidas paliativas fueron implementadas con el propósito de minimizar el avance del mar, todas sin éxito alguno. La decisión sobre el sistema de protección más eficiente para contener tal problema fue basada en una serie de estudios básicos que incluyeron la evaluación de la producción de sedimentos, la caracterización morfológica del área, caracterización del oleaje (velocidad, altura y ángulo de incidencia de las olas). En este contexto, fue construida una batería de espigones, de 50 metros de largo y espaciados cada 30 metros, ejecutados en gaviones del tipo caja con configuración planimétrica rectilínea e inclinados contra la corriente, favoreciendo la creación de áreas de remanso entre los espigones. Los resultados de la aplicación de dicha solución fueron instantáneos y poco tiempo después de terminada la obra, las áreas erosionadas se encontraban parcialmente recompuestas. Considerando el tiempo de su construcción, los espigones se encuentran en excelente estado de conservación e incluso muchos de ellos están cubiertos por la arena de la playa.

Palabras clave: erosión, sedimentos, espigones, gavión

RESUMO

Cabedelo é uma cidade portuária localizada no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil caracterizada pelas suas belas praias e reservas marinhas. No início da década de 90 o movimento das areias destas praias e a progressiva falta de sedimentos, fizeram com que todo o litoral fosse erodido lentamente, invadindo ruas e atingindo as benfeitorias existentes. Várias medidas paliativas foram tomadas com o intuito de amenizar o avanço do mar, todas sem sucesso. A decisão sobre o sistema de proteção mais eficiente para conter tal problema foi tomada com base em uma série de estudos básicos que incluíram a avaliação da produção de sedimentos, a caracterização morfológica da área, além da velocidade, altura e ângulo de incidência das ondas. Neste contexto, foi construída uma bateria de espigões, de 50 metros de comprimento, em média, e espaçados a cada 30 metros, executados em gabiões tipo caixa com configuração planimétrica retilínea e inclinados contra a corrente, favorecendo a criação de áreas de remanso entre estes espigões. Os resultados da aplicação desta solução foram instantâneos e pouco tempo após o término da obra as áreas erodidas apresentavam-se parcialmente recompostas. Considerando o tempo decorrido de sua construção, os

espigões se encontram em ótimo estado de conservação e muitos deles estão encobertos pela areia da praia.

Palavras chave: erosão, sedimentos, espigões, gabião

INTRODUÇÃO

O propósito fundamental da estabilização e proteção de margens, sob o ponto de vista hidráulico, é manter a seção do curso d'água estável e dentro dos limites estabelecidos para sua utilização, seja como via de navegação, componente de um sistema de drenagem, aproveitamento hidrelétrico ou abastecimento de água. Os objetivos principais da estabilização de margens são o de evitar a erosão das margens com perda de material e danos aos terrenos adjacentes, melhorar o alinhamento do fluxo, manter a forma da seção transversal, além de contribuir com a manutenção e, principalmente, os aspectos visuais e paisagísticos do local a ser protegido.

A ação hidráulica sobre as margens se dá na forma de correntes, que arrastam o material constituinte e na forma de ondas, provocadas pelo próprio escoamento, vento, operações de estruturas hidráulicas ou pelo movimento das embarcações. As formas de proteção usualmente empregadas contra a ação hidráulica são classificadas em dois grupos: revestimentos (proteções diretas ou contínuas) que são estruturas apoiadas e executadas diretamente sobre taludes geotecnicamente estáveis e os espigões que são estruturas construídas a uma certa distância da margem para desviar as correntes e provocar a decantação de material sólido transportado pela água.

Para a elaboração de um projeto de proteção de margens é fundamental o conhecimento dos fatores que afetam a estabilidade como as causas e tipos de erosões. Contudo, a adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo destas erosões, depende do entendimento correto dos processos relacionados com a dinâmica do funcionamento hídrico sobre o terreno. Estes processos erosivos são causados de forma natural, seja pela ação da água das chuvas, a correnteza ou pelo efeito das ondas.

Este trabalho tem como objetivo apresentar as características técnicas e metodologia de cálculo dos espigões executados em gabiões tipo caixa construídos na metade da década de 90, utilizados para reter o avanço do mar no município de Cabedelo localizado no estado da Paraíba, nordeste do território brasileiro situada a 30.0 quilômetros ao norte de João Pessoa, capital do Estado. Os resultados da aplicação dos espigões no litoral paraibano foram instantâneos e após pouco a praia já pôde receber turistas novamente.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO EROSIVO

Entende-se por erosão o processo pelo qual ocorre o desprendimento, o transporte ou a deposição de partículas de solo (ou sedimentos), que acabam causando grandes impactos ambientais, atingindo os cursos d'água e taludes, provocando o assoreamento. De um modo geral, o transporte sólido depende de condicionantes hidráulicos (correntes e ondas) e hidrometeorológicas (agentes ativos); e sedimentológica, geomorfológicas e do recobrimento vegetal das bacias hidrográficas (agentes passivos). Neste caso, a ação das águas é o agente ativo que causa ou afeta diretamente a erosão. Assim, a erosão pluvial é produzida pelo impacto das gotas de chuva que incidem diretamente nas superfícies desprotegidas dos taludes, desintegrando parcialmente os componentes naturais do solo e dependem de sua intensidade, quantidade, duração e frequência. Já a erosão fluvial consiste no transporte de sedimentos (figura 01) provido do material do leito pela ação das correntes fluviais como agente morfológico.

Geralmente as ondas são geradas pela ação eólica ou provocadas pela navegabilidade local. A altura dessas ondas depende da velocidade e da dimensão da embarcação comparada à seção molhada do canal. A exemplo do processo erosivo provocado pelas gotas da água proveniente das

chuvas, o embate das ondas nas margens do rio provoca a movimentação de massa na forma de grandes blocos, promovendo sua desestabilização, acrescentando-se a este fato, o desmatamento da mata ciliar.

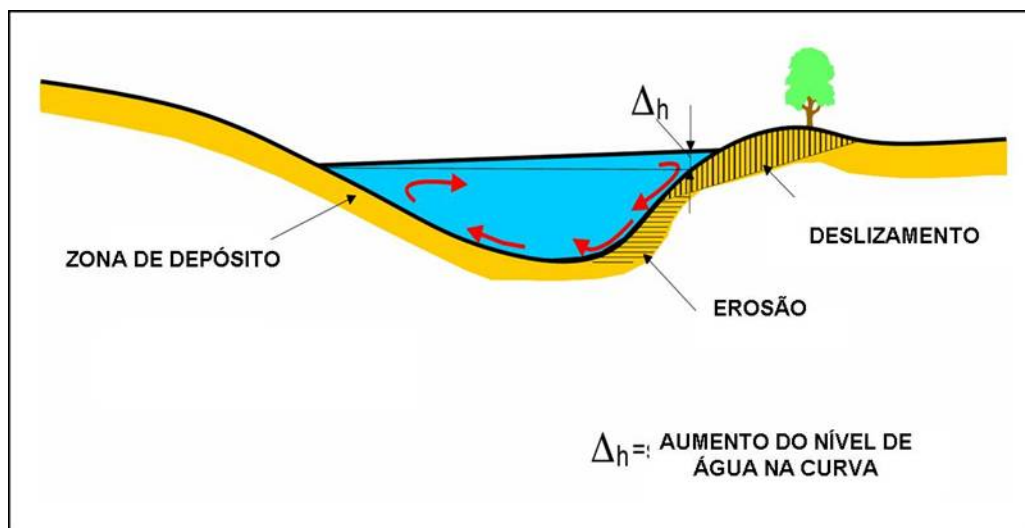


Figura 01. Esquema do transporte de sedimentos.

Na prática, é muito importante conhecer as condições críticas de início do transporte sólido no leito em função da estabilidade dos canais ou das margens. No caso mais comum, em que o material do leito é constituído de granulometria não uniforme, o movimento se dá de forma progressiva à medida que aumenta a velocidade de escoamento junto ao fundo e a correspondente tensão de arraste tangencial sobre o leito. Dois conceitos são usualmente adotados nestes estudos: o de tensão de arrastamento crítico no leito e o de velocidade crítica de erosão.

Com a construção do Porto de Cabedelo, houve também a necessidade da construção de um guia corrente na margem direita da foz do Rio Paraíba do Norte, objetivando manter as profundidades do canal de acesso. Rapidamente aconteceu um acúmulo de areia que envolveu o Forte de Santa Catarina e conseqüentemente as praias localizadas próximas ao porto, começaram a sofrer um intenso processo erosivo, avançando cerca de 40 metros em direção à costa, derrubando muros, ruas e ameaçando as casas localizadas a beira-mar e, além de tudo, as praias não poderiam ser mais visitadas.

Desta maneira, o DNPRC (Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais) resolveu tomar diversas medidas paliativas como intuito de conter este avanço do mar. Uma destas medidas foi a construção de uma série de espigões de madeira com o objetivo de diminuir a intensidade do crescimento deste assoreamento, entretanto esta se mostrou completamente infrutífera. Assim, realizaram-se através da empresa Portobrás/Rio de Janeiro, estudos para reconstituição das respectivas margens erodidas, levando em consideração todos os parâmetros necessários para a realização de um projeto detalhado como a velocidade e altura da onda, o ângulo de incidência das ondas na costa e a diferença entre as marés.

ESPIGÕES

Os espigões são estruturas defletoras que se estendem até a primeira linha de rebentação (em caso da presença de ondas) ou de áreas já erodidas, agindo diretamente sobre o transporte de sedimentos na faixa onde ele é mais significativo e geralmente são empregados em conjunto (dois

ou mais). O projeto de um campo de espigões deve ser conduzido com muito cuidado, de modo a evitar prejuízos de erosões temporárias nas células deste campo. Dependendo do comprimento e espaçamento entre os espigões, provavelmente levará um tempo relativamente longo para o enchimento com areia (áreas de remanso). Os espigões podem ser executados com estruturas rígidas (concreto), semi-flexíveis (tubos de geotêxtil ou sacos preenchidos com argamassa) ou flexíveis (gabiões ou enrocamento pesado), sendo estes últimos os mais utilizados.

As funções específicas que os espigões podem desempenhar são:

- Intercepção de parte, ou da totalidade do transporte de sedimentos através de deposições de solo;
- Estabilização das praias sujeita as variações periódicas;
- Alargamento de praia para fins balneários ou de reurbanização;
- Evitar assoreamento à montante;
- Complemento de fixação para a alimentação artificial de praias.

O mecanismo de funcionamento dos espigões é caracterizado pela construção em etapas, iniciando-se pela zona onde as erosões são mais significativas, adicionando-se novos espigões assim que a capacidade de retenção máxima for atingida. Quando a construção deste campo de espigões é realizada em apenas uma etapa, os espigões localizados à jusante são executados primeiro, ajustando-se a linha da costa entre os espigões às ondas incidentes e suas deformações. A prevenção das erosões à montante pode ser obtida através da alimentação artificial de areia no campo de espigões a fim de permitir o transito natural do transporte de águas.

Classificação dos espigões quanto a orientação em relação ao fluxo

Os espigões são classificados quanto a sua orientação com relação ao fluxo. Neste quesito, os espigões podem ser:

- Perpendiculares ao fluxo (normal à corrente);
- Inclinação para a montante (contra a corrente);
- Inclinação para a jusante (a favor da corrente).

Classificação dos espigões quanto a configuração planimétrica

Para cada tipo de orientação os espigões também são classificados quanto à sua configuração planimétrica que podem ser:

- Retilíneo (Haste Simples);
- Cabeça de martelo (em forma de “T”);
- Bayoneta.

CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DOS ESPIGÕES

Diferentemente das metodologias de cálculo empregadas no dimensionamento de estruturas de contenção, não existe uma metodologia definitiva e consolidada para o dimensionamento de espigões, principalmente porque a maioria delas respeita a utilização desta solução em canais, pois utilizam um raio de curvatura pré-estabelecido, não havendo qualquer referência com sua aplicação em obras litorâneas. Desta maneira, cada projetista estabelece um critério de dimensionamento levando em consideração o comprimento e espaçamento dos espigões.

Comprimento dos espigões

O comprimento dos espigões depende da fração do transporte de sedimentos que se deseja interceptar. Os muito curtos interceptam somente o transporte de solo, mas normalmente atingem boa parcela da zona de rebentação e espraiamento, interceptando grande porcentagem deste transporte. O comprimento total de um espigão (L) se divide em comprimento de ancoragem (L_e) e comprimento de trabalho (L_t). O comprimento de ancoragem geralmente é tido como um quinto ($1/5$) do comprimento de trabalho e é essencial para o correto funcionamento de todo o sistema. Já o comprimento de trabalho é determinado através da largura e altura média de um canal.

Espaçamento entre espigões

Vários fatores estão relacionados com o espaçamento entre os espigões, tais como a curvatura da margem, a velocidade de escoamento, o ângulo de ataque e principalmente o comprimento efetivo (projeção na direção perpendicular a corrente) do espigão. Deve-se notar que a finalidade a que se destina a obra também é um fator que pode alterar a relação comprimento-espaçamento dos espigões, que será menor para a proteção de margens do que a necessária para locais navegáveis. Existem inclusive, diversas metodologias para determinar o espaçamento entre os espigões (tabela 01) que depende principalmente da forma da margem a ser protegida. Maza Alvarez (1990) propõe o critério relacionando o comprimento e o raio de curvatura do canal em função do ângulo de expansão do escoamento, que é a deflexão da corrente ao passar na frente do espigão. Esta deflexão, observada em modelos hidráulicos varia entre $9^\circ \leq \beta \leq 14^\circ$, conforme figura 02.

Tabela 01. Critérios para a determinação do espaçamento entre espigões.

Distância entre espigões	Tipo de curva	Metodologia proposta	Comentários
1 L	Côncava	Nações Unidas (1953)	Prática geral
2 L – 2.5 L _t	Convexa	Nações Unidas (1953)	Prática geral
4 L – 6 L _t	Côncava	Richard & Simons (1983)	A margem pode necessitar de proteção adicional
3 L		Grant (1948)	
5.1 L – 6.3 L _t	Reta	Alvarez (1948)	
2.5 L – 4 L	Curva	Alvarez (1948)	
1.5	Côncava	Distrito de Los Angeles (1980)	Com proteção de margem
2	Reta		
2.5	Convexa		
2		Neil (1973)	Necessita de dois ou mais espigões
4		Neil (1973)	
3 L – 5 L _t		Strom (1941)	

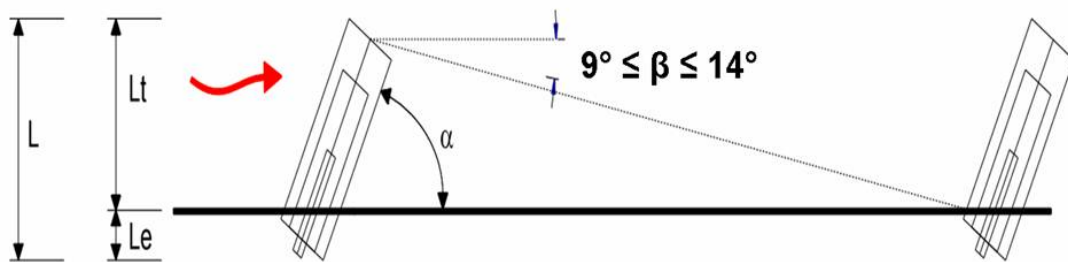


Figura 02. Espaçamento entre espigões proposto por Maza Alvarez (1990).

Plataforma de deformação sob os espigões

Assim como as estruturas de contenção utilizadas como defesas fluviais (obras longitudinais e canalizações retangulares) é necessário prever a frente desta, uma plataforma de deformação (figura 03) que tem a função de dirimir os riscos de erosões geradas pela ação hidrodinâmica do fluxo de água na base dos espigões. A espessura desta plataforma é dada em função da velocidade da água e do material presente no fundo do rio. Para o dimensionamento da plataforma de deformação geralmente estima-se que à montante, ou seja, no sentido do fluxo, o comprimento da plataforma de deformação deve ser duas vezes a altura da estrutura enquanto que, à jusante o comprimento deve ser igual à altura da estrutura.

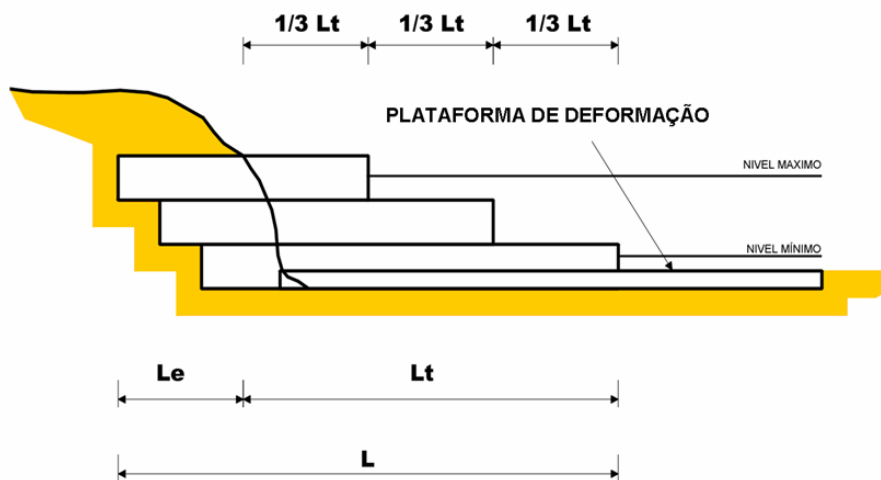


Figura 03. Plataforma de deformação na base do espigão.

ESPIGÕES APLICADOS COMO PROTEÇÃO DAS MARGENS LITORÂNEAS EM CABEDELO

De posse do projeto realizado pela Portobrás, iniciou-se então a captação de recursos para a execução da obra. Entretanto, em razão do enorme volume de rochas de grandes dimensões que seria necessário e o elevado custo deste material, a obra tornou-se, por muito tempo, economicamente inviável. Após várias gestões à frente da Prefeitura Municipal de Cabedelo e a velocidade do crescimento do assoreamento e erosões nas margens das praias, os projetos foram retomados e novas soluções foram estudadas. Desta maneira, a solução que se mostrou mais interessante economicamente devido suas características técnicas e funcionais foram os gabiões tipo caixa (figura 04). Dentre todas as suas características destacam-se sua flexibilidade para absorver o impacto das ondas, permeabilidade, rapidez na execução, além da redução considerável do volume de rochas de preenchimento.

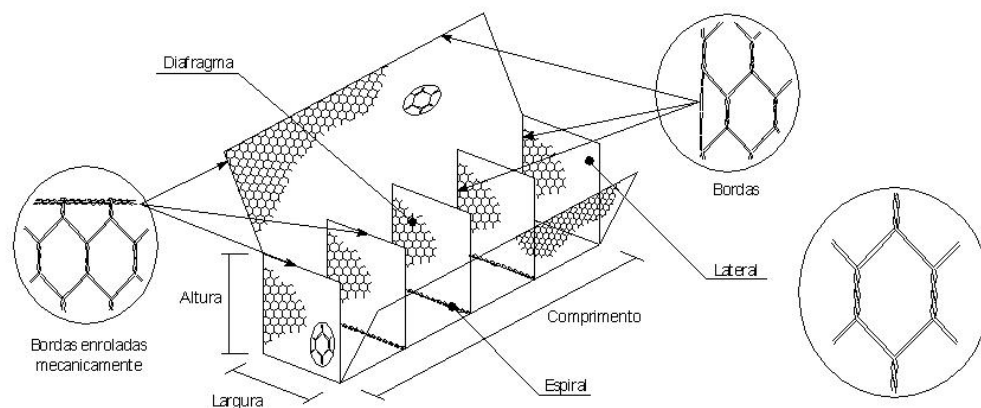


Figura 04. Esquema típico do gabião caixa.

O gabião tipo caixa é uma estrutura metálica em forma de paralelepípedo constituído por um único pano de rede com dimensão da abertura de 8x10 cm e diâmetro de arame de 2.40 mm 95 % zinco e 5% alumínio com revestimento adicional plástico em PVC, a partir do qual são formados diafragmas distanciados a cada 1.0 metro um do outro, de modo que se obtenha uma estrutura celular com dimensões variáveis entre 1.5 e 5.0 metros de comprimento, além da tampa e as paredes frontal e traseira da estrutura. Os panos de rede são delimitados nas bordas por fios com um diâmetro maior que aquele usado para fabricar a rede, para reforçar a estrutura e facilitar, durante a sua aplicação na obra as costuras de montagem e união dos elementos entre si.

Devido à maré ter avançado cerca de 40.0 metros em direção à costa, foi construída uma “bateria” com 60 espigões de diversos comprimentos, sendo que a grande maioria (48 espigões) possui comprimento padrão de 50.0 metros de extensão, além de mais 12 espigões de comprimentos variando entre 40.0 e 80.0 metros. Verificou-se também o movimento das areias nos sentido Norte da praia e, desta maneira, os espigões foram instalados inclinados para a montante, ou seja, contra a corrente (figura 05) formando um ângulo maior que 90° com a tangente à margem no ponto de ancoragem. A corrente que submerge tende a pegar uma direção perpendicular aos espigões, que tem por efeito conduzir as águas em direção ao meio do rio.

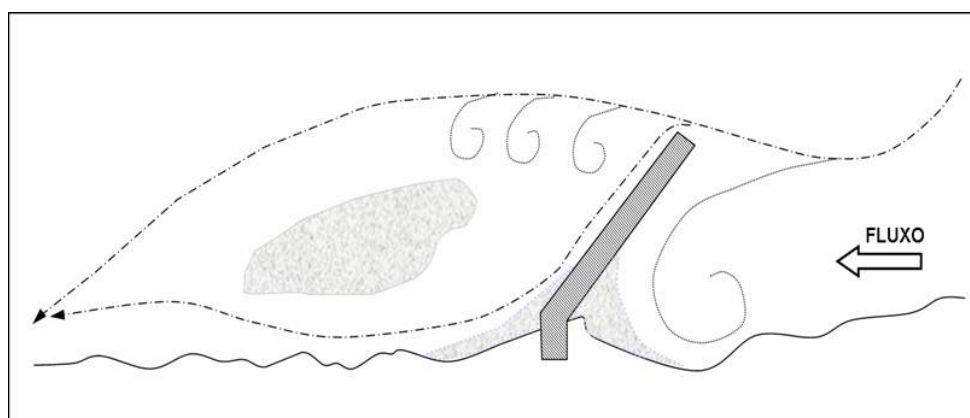


Figura 05. Espigões inclinados para a montante.

Esta orientação favorece o desvio de sedimentos do canal navegável para as zonas entre os espigões na época de águas altas, exigindo menos proteção nessa face da solução. Entretanto, este tipo de espigão obriga menores espaçamentos e, portanto um maior número deles, para um mesmo comprimento de proteção. Desta maneira, o espaçamentos entre os espigões foram determinados baseados na metodologia de cálculo do Distrito de Los Angeles (1980) que determina que os

espigões, em linha reta (figura 06), devem estar distantes em duas vezes o comprimento dos espigões, porém por questões de segurança, eles estão foram instalados com um distância de 30.0 metros entre eles.

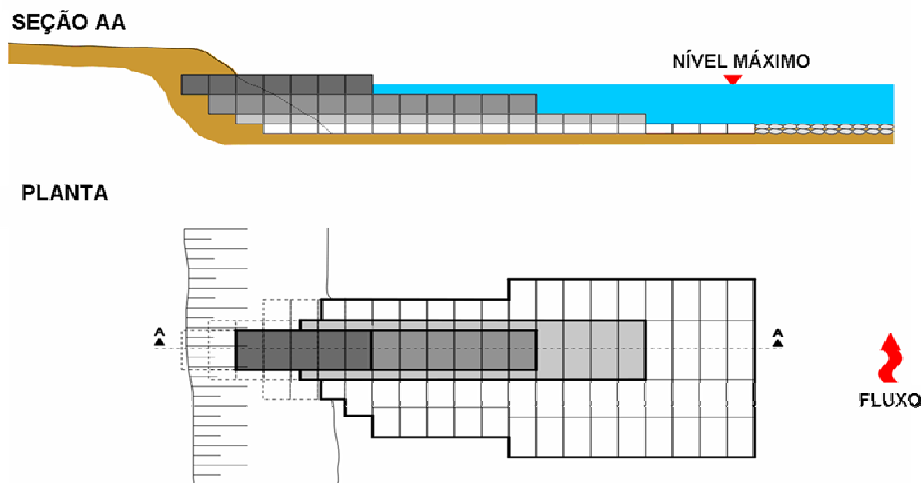


Figura 06. Espigão tipo retilíneo.

A altura dos espigões variou em função da grade da rua localizada próxima à praia, porém normalmente a altura média foi de 2.0 metros acompanhando a declividade da praia. Além disso, obedecendo aos critérios de dimensionamento e de acordo com a altura dos espigões pré-estabelecida, adotou-se plataforma de deformação de 4.0 metros à montante e 2.0 metros à jusante. A obra foi realizada no final do ano de 1995 ao longo dos 2.0 quilômetros de erosão nas margens e rapidamente os resultados começaram a aparecer, pois a areia do fundo do mar que a água trazia consigo, começou a ser depositada entre um espigão e outro, formando as áreas de remanso desejadas. Apenas três meses após o término da obra (figura 07) estas áreas de remanso já eram evidentes e quatro meses mais tarde (figura 08) a praia começou a receber turistas novamente devido sua revitalização. Decorridos quatorze anos do término da obra (figuras 09 e 10) os espigões executados em gabiões tipo caixa são praticamente imperceptíveis, pois a areia da praia os encobriu totalmente na maioria dos pontos recentemente verificados.



Figura 07. Imagem aérea da obra três meses após o seu término.



Figura 08. Imagem aérea da obra sete meses após seu término.



Figura 09. Obra quatorze anos após sua conclusão.



Figura 10. Imagem da praia que mostra que a areia os espigões em gabiões tipo caixa.

CONCLUSÃO

Considerando o tempo decorrido de construção, os espigões que ainda estão aparentes encontram-se em ótimo estado de conservação, apesar do embate das ondas da praia serem constantes porém a maioria deles estão totalmente encobertos pelas areias da praia situada no município de Cabedelo, litoral do Estado da Paraíba. Desta maneira, as funções da construção desta “bateria” de espigões executada em gabiões tipo caixa que eram manter a linha da costa e recuperar as áreas degradadas foram completamente cumpridas dentro de pouco tempo, fato que não havia sido consolidado na utilização de outros materiais anteriormente testados. Algumas das vantagens associadas à aplicação dos gabiões tipo caixa nesta obra foram a facilidade de execução mesmo com a presença constante de água e a utilização de mão-de-obra local gerando empregos.

BIBLIOGRAFIA

- Alfredini, P.** (2005) *"Obras e gestão de portos e costas"*. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil.
- Barros, P.L. A.** (2004). *"Obras de Contenção – Manual Técnico"* . Maccaferri do Brasil Ltda, Jundiaí, São Paulo, Brasil.
- Brea, J.; Hopwood, H.; Amores, G.** (1992). *"Parâmetros de diseño de protecciones de margenes mediante series de espigones"* XV Congreso Latino Americano de Hidraulica, Bogotá, Colombia.
- Briguetti, G.** (2001). *"Estabilização e proteção de margens"*. Obras fluviais, Escola Politécnica do Estado de São Paulo, Brasil.
- Collell, M.R.; Cardoso, A.H; Vide, J. P.M; Bateman, A.** (2000). *"Influencia del ángulo de orientación de estribos y espigones em los procesos de erosión local"*..Revista Ingeniería del Agua, Argentina.
- Maza Alvarez J.A.** (1990) *"Contribución al diseño de espigones"*. XIV Congreso Latino Americano de Hidraulica, Montevideo, Uruguai.