

FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA SISTEMAS DE PROTECÇÃO COSTEIRA COM GEOSSINTÉTICOS

Decision support tool for incorporating geosynthetics in coastal protection systems

SUSANA GARCIA ⁽¹⁾, MARIA DE LURDES LOPES ⁽²⁾, FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽³⁾ & LUCIANA DAS NEVES ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Investigador, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, susanaparcia@gmail.com

⁽²⁾ Professor Associado, FEUP,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, lcosta@fe.up.pt

⁽³⁾ Professor Catedrático, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, vgommes@fe.up.pt

⁽⁴⁾ Aluno de Doutoramento, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, lpneves@fe.up.pt

Resumo

As possibilidades de aplicação de materiais geossintéticos em obras de defesa costeira são vastas. As melhorias conseguidas ao nível dos materiais e o crescente interesse no desenvolvimento de técnicas inovadoras de defesa das zonas costeiras têm contribuído para a competitividade destas soluções em relação a soluções tradicionais, em ambientes energéticos relativamente favoráveis. Neste artigo, apresenta-se uma ferramenta de apoio à decisão, SynthCOAST[®], desenvolvida no âmbito de um projecto de investigação, GeoWAVE[®] - *análise experimental da estabilidade de geocontentores sob a acção da agitação marítima*, a decorrer desde Setembro de 2005. O SynthCOAST[®] consiste, essencialmente, numa aplicação informática de auxílio ao processo de tomada de decisão associado à incorporação de geossintéticos em estruturas de defesa costeira, tendo como base a experiência adquirida em obras realizadas, resultados de projectos de investigação e ainda recomendações técnicas e construtivas existentes.

Palavras-chave: Geotêxteis, Estruturas de Defesa Costeira, Sistemas de Apoio à Decisão, Base de Dados.

Abstract

The range of possible applications of geosynthetics in coastal defence works is varied. The improvements achieved at the level of the materials together with the growing of interest in innovative techniques of coastal defence are contributing to the competitiveness of these solutions when compared to traditional solutions, under mild wave climates. This paper describes a decision support tool, SynthCOAST[®], developed as a part of an ongoing research project, GeoWAVE[®] - *experimental stability analysis of geotextile containers under wave loading*, running since September 2005. SynthCOAST[®] is essentially a computer application to support the process of decision-making associated with the incorporation of geosynthetics in coastal protection works, with basis on the experience gained from past experiences, the results from research projects and existing technical and constructive recommendations.

Keywords: Geotextiles, Coastal Defence Structures, Decision Support Systems, Database.

1. Introdução

Os sistemas de protecção costeira com geossintéticos têm demonstrado bastantes potencialidades no controlo da erosão. O número das possíveis aplicações continua em franco desenvolvimento. As melhorias conseguidas ao nível dos materiais e o crescente interesse no desenvolvimento de técnicas inovadoras de defesa das zonas costeiras, têm contribuído para a competitividade destas soluções em relação a soluções tradicionais.

Essa competitividade resulta também do seu baixo custo e reduzido impacte ambiental aliados à elevada eficácia, à simplicidade de colocação em obra e ainda ao seu carácter de reversibilidade, quando necessário.

Adicionalmente, a menor aceitação das estruturas convencionais, devida aos impactes visuais e ambientais que provocam na zona costeira, contribui para o crescente interesse na aplicação destas soluções.

Existem, no entanto, algumas limitações à aplicação destes sistemas de protecção costeira associadas, nomeadamente, às incertezas existentes ao nível dos métodos de dimensionamento e ao nível do conhecimento do seu comportamento e estabilidade, especialmente em áreas mais expostas à agitação marítima, com características de elevada energia como é o caso da costa portuguesa.

Por outro lado, é por vezes difícil encontrar na bibliografia informação relevante que contemple as lições aprendidas com as obras já concretizadas, uma vez que esta informação se encontra dispersa e desorganizada.

Neste trabalho, descrevem-se as principais características de uma ferramenta de apoio à decisão para sistemas de protecção costeira com geossintéticos, SynthCOAST®.

Esta ferramenta foi desenvolvida no âmbito de um projecto de investigação, GeoWAVE® – *análise experimental da estabilidade de geocontentores sob a acção da agitação marítima*, a decorrer desde Setembro de 2005. Este projecto visa o estudo do comportamento de geocontentores utilizados no reforço de cordões dunares, sujeitos a condições severas de agitação.

O estudo terá como base os resultados obtidos nos testes, em modelo hidráulico, a realizar no Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e no Laboratório de Hidráulica do Centro de Inovação Tecnológica em Edifícios e Engenharia Civil da Universidade da Corunha (das Neves *et al.*, 2006).

O SynthCOAST® consiste, essencialmente, numa aplicação informática concebida para auxiliar o processo de tomada de decisão associado à incorporação de geossintéticos em estruturas de defesa costeira, tendo como base a experiência adquirida em obras realizadas, os resultados obtidos em estudos de modelação física e ainda recomendações técnicas e construtivas existentes.

O desenvolvimento desta ferramenta de apoio à decisão foi conduzido essencialmente por dois propósitos.

Em primeiro lugar, era necessário dar resposta aos objectivos imediatos do projecto de investigação GeoWAVE® e, como tal, era fundamental que o SynthCOAST® incorporasse informação relativa a exemplos de aplicação de geossintéticos em obras de defesa costeira existentes na bibliografia, resultados obtidos em programas/projectos de investigação e ainda outra informação relevante, organizada de forma sistemática, com acesso rápido e intuitivo.

Em segundo lugar, era necessário que se tratasse de uma ferramenta informática flexível e adaptável, fácil de actualizar e desenvolver.

2. Implementação e Desenvolvimento

2.1. Introdução

Em geral, um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) é entendido como um conjunto de aplicações informáticas que permite a tomada de decisão e a resolução de problemas complexos.

Em áreas em que o papel da intervenção humana é preponderante, este conceito é inadequado porque os critérios de natureza subjectiva que determinam muitas vezes a decisão não são passíveis de serem integrados num Sistema de Apoio à Decisão convencional. Assim, enquanto ferramenta de apoio à decisão, um SAD permite ordenar e escolher entre soluções alternativas, na medida em que facilita o acesso rápido a uma base de dados com informação relevante e completa.

Neste contexto, o SynthCOAST® é uma aplicação informática, baseada em páginas *web*, que constitui uma ferramenta complementar de apoio à decisão tendo em vista a possível aplicação de geossintéticos em estruturas de defesa costeira. Permite gerir, consultar, compilar e manipular conjuntos de informação, estruturada e não-estruturada, em diversos formatos, designadamente normas, referências e imagens.

O apoio à decisão é suportado pela representação, em formato electrónico, de conhecimentos técnicos e não técnicos pertinentes, tais como, factos, documentos normativos, recomendações e lições aprendidas de experiências anteriores. A acrescentar, fornece ao decisor uma oportunidade de considerar um conjunto mais amplo de soluções alternativas, de uma forma rápida e interactiva, sem substituir a sua avaliação técnica e científica do problema.

A execução do SynthCOAST® decorreu nas seguintes fases (Garcia, 2007):

- Pesquisa bibliográfica, para recolha de informação relevante a registar na base de dados;
- Análise e estruturação da informação recolhida na fase de pesquisa bibliográfica;
- Análise e selecção da tecnologia; fase de pesquisa das tecnologias disponíveis e selecção da mais adequada;
- Elaboração da base de dados; fase de estruturação e implementação da base de dados na tecnologia escolhida;
- Criação de um portal *web* para interacção com a base de dados, com uma interface intuitiva e controlo de permissões nos utilizadores.

2.2. Arquitectura

A ferramenta de apoio à decisão apresentada neste trabalho foi desenvolvida com base numa arquitectura em três camadas, o que significa que toda a aplicação cliente-servidor é dividida em três partes distintas: a primeira é a camada referente à apresentação dos dados, habitualmente uma interface com o utilizador; a segunda refere-se às regras de domínio, contendo toda a lógica da aplicação; e a terceira, referente aos dados armazenados para utilização nas outras duas camadas (Figura 1).

Assim, o cliente solicita uma página a partir do *browser* ao servidor *web* usando o protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*); o servidor processa as instruções existentes no código e estabelece uma ligação com a base de dados extraindo a informação pretendida; esta informação é enviada ao *browser* cliente, onde será apresentada numa página HTML (*HyperText Markup Language*) devidamente formatada.

O SynthCOAST® incorpora duas componentes principais: o sistema de gestão da base de dados e a interface com o utilizador. A primeira componente visa o armazenamento da informação e consiste essencialmente numa base de dados desenvolvida em PostgreSQL. O PostgreSQL é um sofisticado sistema de gestão de bases de dados relacional e orientado a objectos, concebido para lidar com grandes quantidades de informação.

A interface com o utilizador foi desenvolvida em PHP (*Hypertext Preprocessor*). O PHP é uma linguagem de programação interpretada e concebida para gerar conteúdo dinâmico na *World Wide Web*.

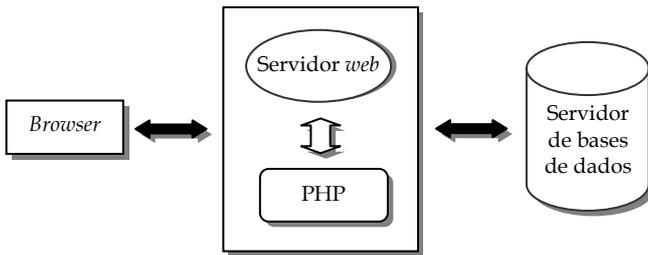


Figura 1. Arquitectura da ferramenta de apoio à decisão desenvolvida.

Para aceder a esta ferramenta de apoio à decisão, o utilizador apenas necessita de um computador com ligação à *Internet*. O SynthCOAST® foi testado para correr em *Windows NT*, utilizando o servidor *Apache* para *Windows* e o *PostgreSQL* para *Windows*.

2.3. Requisitos de Informação

O primeiro passo na elaboração de uma base de dados consiste em identificar claramente quais os dados específicos que interessa compilar, quais as suas características e correlações, bem como o tipo de manipulação a que vão estar sujeitos.

No que se refere à base de dados construída, a informação inserida encontra-se distribuída segundo quatro categorias (Quadro 1): estruturas costeiras, ensaios em modelo físico, estudos de modelação numérica e matemática e, finalmente, materiais geossintéticos. Estas categorias são descritas seguidamente de forma sucinta.

Estruturas Costeiras

Associados à aplicação de geossintéticos em sistemas de protecção costeira existem vários exemplos de sucesso a partir dos quais é possível aprender mais. De igual modo, exemplos de falha ou de mau funcionamento destas estruturas contribuem para aprofundar os conhecimentos nesta área. Assim, a base de dados gerada permite o armazenamento de informação relativa a estruturas costeiras existentes, o que envolve, por exemplo, uma breve descrição, o tipo de estrutura costeira, o ano de construção e o construtor, uma caracterização do local de implantação, as lições aprendidas e possíveis observações. O sistema informático permite ainda a inserção de imagens e outros documentos relevantes.

Ensaio em Modelo Físico

Os ensaios em modelo físico dedicam-se ao estudo de problemas ou fenómenos específicos, fornecendo dados indispensáveis à sua compreensão.

Nos últimos anos têm sido realizados alguns estudos envolvendo a simulação, em modelo físico, de sistemas de protecção costeira com geossintéticos. A base de dados permite guardar diversos tipos de dados associados à investigação laboratorial, tais como uma breve descrição do ensaio, o tipo de estrutura costeira, a escala (ou as várias escalas), as condições de ensaio, os equipamentos e os principais resultados obtidos.

Estudos de Modelação Numérica e Matemática

Nesta área, a informação relativa a estudos de modelação numérica e matemática é ainda escassa na bibliografia. No entanto, tal como noutras áreas, estes modelos poderão constituir um importante instrumento de apoio à decisão, daí a incorporação desta categoria na ferramenta desenvolvida.

Como tal, a base de dados permite armazenar todos os tipos de informação associados à realização de estudos de modelação numérica e matemática simulando estruturas costeiras com geossintéticos.

Geossintéticos

Esta categoria de informação incorpora as principais características dos materiais geossintéticos frequentemente utilizados em protecção costeira, como por exemplo, designação, descrição, tipo de geossintético, funções, fabricante, propriedades e normas.

Refira-se ainda que, para toda a informação registada, é indicada a fonte ou referência bibliográfica e os respectivos metadados. Tanto quanto possível, essa mesma informação está disponível em português e inglês.

Quadro 1. Informação contida na base de dados.

ESTRUTURAS COSTEIRAS	Descrição da estrutura Tipo de estrutura costeira Local de implantação Ano de construção Empresa construtora Imagens Documentos Lições aprendidas Observações Referências bibliográficas
ENSAIOS EM MODELO FÍSICO	Descrição do ensaio Tipo de estrutura costeira Escala(s) do modelo Condições de ensaio Equipamentos/Instrumentos Características da instalação Imagens Documentos Resultados obtidos Observações Referências bibliográficas
ESTUDOS DE MODELAÇÃO NUMÉRICA E MATEMÁTICA	Descrição do modelo Ano do estudo Software Imagens Documentos Resultados obtidos Observações Referências bibliográficas
MATERIAIS GEOSINTÉTICOS	Descrição Designação comercial Tipo de geossintético Funções Propriedades Fabricante Normas Imagens Documentos Referências bibliográficas

2.4. Requisitos de Funcionamento

A ferramenta de apoio à decisão SynthCOAST® incorpora as seguintes funcionalidades:

- Visualização dos dados registados em inglês e português;
- Autenticação de utilizadores, com diferentes níveis de permissão;
- Pesquisa de informação;
- Introdução de dados;
- Alteração de dados existentes;
- Remoção de dados da base de dados.

De modo a funcionar convenientemente, o sistema informático deve ainda dar resposta a requisitos não-funcionais associados à sua usabilidade, fiabilidade, desempenho e manutenção, de acordo com o que se descreve de seguida.

- Usabilidade: o SynthCOAST® tem por objectivo servir utilizadores com perfis diferenciados, pelo que deve ser de fácil utilização, com uma interface intuitiva e simples de aprender; visto tratar-se de uma aplicação *web*, a compatibilidade com os navegadores mais comuns (*Internet Explorer*, *Netscape Communicator*, *Opera*, *Mozilla Firefox*) é fundamental.
- Fiabilidade: pretende-se que o SynthCOAST® se torne uma ferramenta útil para projectistas e investigadores e, portanto, é essencial que a informação nela contida seja fiável, sem falhas ou inconsistências que possam comprometer a confiança do utilizador; por outro lado, é importante que os dados introduzidos estejam protegidos por um sistema de segurança que impeça acessos não autorizados.
- Desempenho: visto tratar-se de uma aplicação *web*, a rapidez do sistema constitui um aspecto importante.
- Manutenção: de futuro, poderá ser necessário fazer actualizações; para tal, deverá existir documentação que possibilite, a um programador comum, a manutenção do sistema.

2.5. Módulos

No que se refere aos conteúdos, o SynthCOAST® encontra-se dividido em três módulos – Obras Realizadas, Casos de Estudo e Modelação (Física e Numérica), organizados de acordo com o tipo de estrutura costeira (Figura 2). Em desenvolvimento, encontra-se, neste momento, um quarto módulo dedicado a ferramentas e metodologias de dimensionamento.

O primeiro módulo engloba os dados relativos a obras de defesa costeira concretizadas incorporando geossintéticos. Neste módulo, é possível pesquisar e consultar exemplos da aplicação dos materiais geossintéticos em estruturas de defesa costeira.

O segundo módulo refere-se aos casos de estudo: obras de defesa concretizadas, para as quais existem estudos relevantes, nomeadamente sobre o comportamento, a estabilidade e a durabilidade das estruturas, e ainda propostas de solução para a realização de novas intervenções.

A principal diferença entre este módulo e o anterior reside na quantidade de informação disponível para consulta, apresentando o caso de estudo uma descrição mais detalhada da estrutura.

Finalmente, no terceiro módulo, apresentam-se dados relativos a estudos de modelação: ensaios em modelo físico e estudos realizados com recurso a modelos numéricos e matemáticos, simulando estruturas costeiras com geossintéticos.



Figura 2. Módulos incorporados na ferramenta de apoio à decisão desenvolvida.

2.6. Interface com o Utilizador

A interface gráfica constitui o veículo de interação entre o utilizador e o computador: faculta ao utilizador o acesso às diferentes componentes da ferramenta de apoio à decisão, traduz as instruções fornecidas e devolve os respectivos resultados. Outra função importante consiste em ocultar a complexidade do sistema informático sem, contudo, comprometer a sua flexibilidade.

A interface do SynthCOAST® encontra-se disponível em versão experimental, que poderá diferir da versão final. A Figura 3 ilustra o aspecto da página de entrada. Conforme se pode observar na figura, o SynthCOAST® possui uma interface gráfica intuitiva e simples de aprender. O menu apresentado à esquerda permite ao utilizador navegar entre os diferentes conjuntos de informação:

- Estruturas Costeiras: disponibiliza informação geral sobre os diferentes tipos de estruturas costeiras;
- Geossintéticos: disponibiliza informação geral relativa aos materiais geossintéticos;
- Estruturas costeiras com geossintéticos: incorpora os três módulos descritos – Obras Realizadas, Casos de Estudo e Modelação;
- Contactos: disponibiliza informação sobre empresas construtoras, fabricantes e laboratórios;
- Referências: disponibiliza o glossário e as referências bibliográficas;
- Pesquisa: área de pesquisa orientada;
- Edição de dados: área que possibilita a introdução e a manipulação dos dados.



Figura 3. Página de entrada na ferramenta de apoio à decisão desenvolvida; aspecto da interface com o utilizador.

3. O SynthCOAST® como Ferramenta de Apoio à Decisão

De acordo com o mencionado anteriormente, o SynthCOAST® foi desenvolvido de modo a facultar a investigadores, projectistas e demais intervenientes nos processos de tomada de decisão, o acesso a conjuntos de informação úteis na resolução de problemas relacionados com a aplicação de geossintéticos em estruturas de defesa costeira.

O processo de decisão em Engenharia Costeira, com vista à obtenção de uma solução final que corresponda às aspirações dos diferentes grupos de interesse, é iterativo. Em cada passo, são verificados os requisitos funcionais das alternativas, por intermédio de um diagrama genérico desenvolvido a partir de respostas do tipo “sim, cumpre os requisitos – passe à fase seguinte” ou “não, não cumpre os requisitos – volte atrás, reformule a questão ou passe à alternativa seguinte”, que resultam na definição da solução óptima (Housley e Thompson, 2006).

No contexto deste trabalho, é possível distinguir três fases principais deste processo iterativo: identificação, desenvolvimento e selecção.

A *fase de identificação* visa a compreensão do problema e a definição de objectivos e centra-se na percepção das causas do problema antes de estudar possíveis soluções.

A *fase de desenvolvimento* engloba a procura e definição de várias soluções alternativas para o problema.

Na *fase de selecção* define-se a melhor solução encontrada para a resolução do problema.

O SynthCOAST® auxilia o processo de tomada de decisão nas fases de identificação e desenvolvimento e, indirectamente, dá suporte à selecção. O desenvolvimento do quarto módulo, dedicado às ferramentas e métodos de dimensionamento, irá incrementar esse suporte.

A filosofia subjacente à criação do SynthCOAST® compreende a seguinte dualidade: os dados relativos à aplicação de geossintéticos em sistemas de protecção costeira encontram-se dispersos e são escassos e poucos especialistas reúnem competências em ambas as áreas – geossintéticos e engenharia costeira.

Conforme referido anteriormente, o apoio à decisão é suportado pela consulta de informação técnica e não técnica sobre as estruturas costeiras e sobre os materiais geossintéticos.

Esta funcionalidade é útil na medida em que permite considerar as estruturas e os materiais de forma independente ou agregada.

A permanente gestão do conhecimento – estruturação e actualização dos dados – no interior da base de dados é crucial.

A consulta de informação agregada, a estruturas costeiras com geossintéticos, é possivelmente a principal funcionalidade de apoio à decisão dentro do SynthCOAST®.

Não obstante, é também a mais dependente da fiabilidade dos dados existentes na base de dados e representatividade de estruturas. Entre a informação disponível para consulta está a descrição detalhada dos locais de implantação, incluindo a caracterização dos processos costeiros e dos aspectos sociais e económicos. Adicionalmente, o SynthCOAST® possibilita a incorporação de dados relevantes para análise futura, designadamente os recolhidos em campanhas de monitorização. O motor de busca concentra o potencial de apoio à decisão desta ferramenta porque permite localizar informação nos módulos existentes. Assim, para uma determinada condição introduzida no formulário de pesquisa, o sistema devolve, no primeiro módulo, uma lista das obras realizadas que verificam essa condição e, no segundo módulo, os respectivos casos de estudo.

A Figura 4 apresenta o resultado obtido para uma pesquisa efectuada sobre Obras Realizadas (Módulo 1) com os critérios de pesquisa “reforço” + “Portugal”.

Navegando nos módulos 1 e 2, o utilizador poderá aprender com a experiência adquirida em aplicações passadas, especialmente se estiver disponível informação referente a lições aprendidas, observações e desempenho das estruturas, bem como da caracterização detalhada do local de implantação.

O terceiro módulo, dedicado à modelação, foi desenvolvido para dar apoio aos objectivos do projecto de investigação GeoWAVE®.

Não obstante, este módulo incorpora recomendações construtivas e de projecto obtidas em estudos experimentais que poderão servir de base ao desenvolvimento do quarto módulo, ferramentas e metodologias de dimensionamento.

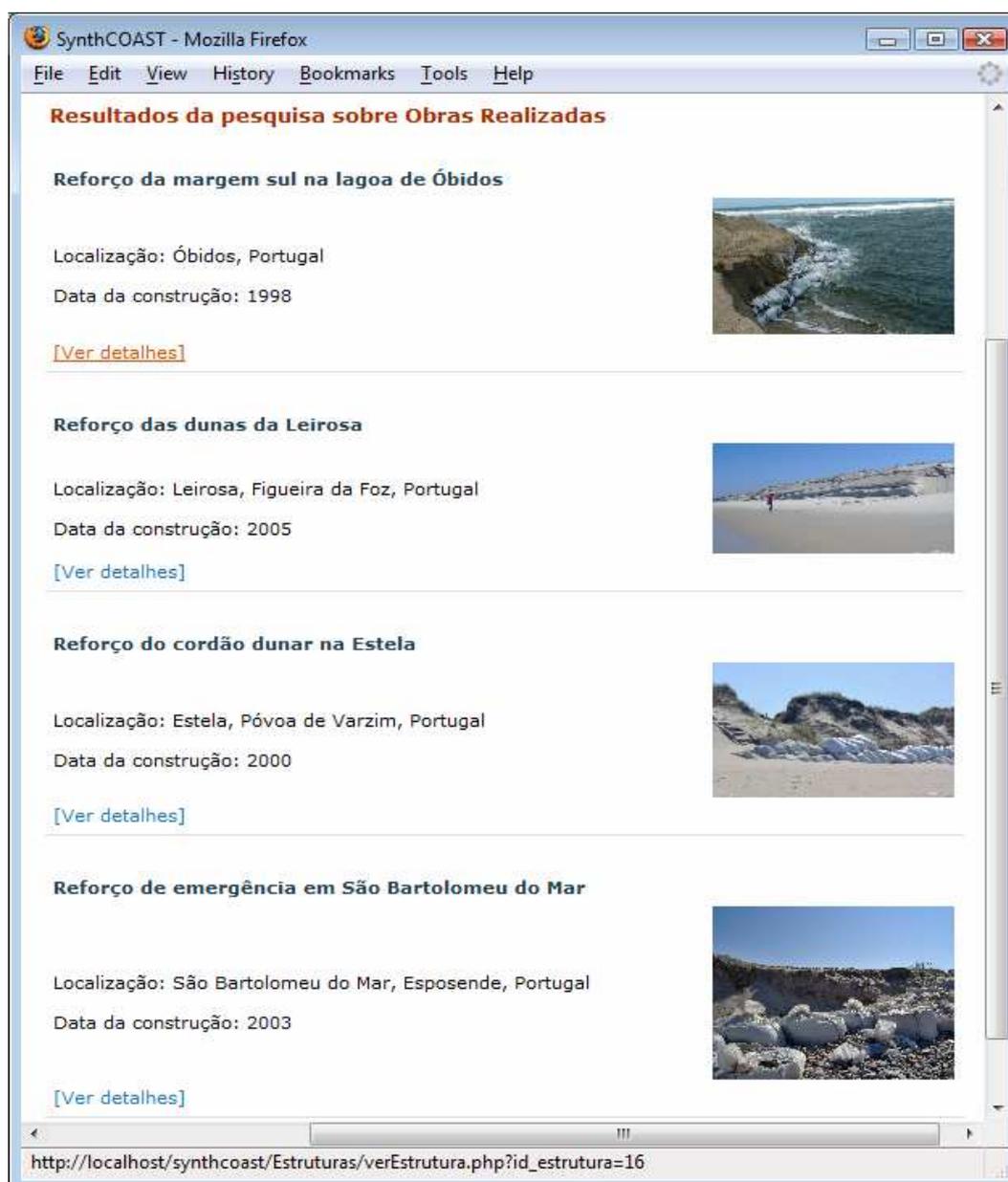


Figura 4. Resultados da pesquisa sobre Obras Realizadas com os critérios de pesquisa “reforço” + “Portugal”.

4. Conclusões

Os processos de tomada de decisão associados ao planeamento e dimensionamento de estruturas de protecção costeira são complexos, envolvendo critérios objectivos e subjectivos.

A ferramenta apresentada neste trabalho, SynthCOAST®, foi desenvolvida para auxiliar o processo de tomada de decisão associado à incorporação de geossintéticos em sistemas de protecção costeira, tendo como base a experiência adquirida em obras concretizadas, os resultados obtidos a partir de ensaios em modelo físico e as recomendações técnicas e construtivas existentes.

O SynthCOAST® foi construído com base em elementos *open source* robustos, conjugados de acordo com a arquitectura do *software*. Estas características asseguram a durabilidade e adaptabilidade desta ferramenta para que possa ser utilizada por investigadores e projectistas.

A flexibilidade inerente a este tipo de ferramenta confere-lhe uma grande capacidade de adaptação a outros tipos de dados, como, por exemplo, metodologias de dimensionamento e recomendações de projecto.

De modo a incrementar a fiabilidade da informação disponível para consulta, é necessário introduzir algumas melhorias no sentido de optimizar o sistema de segurança implementado, criar um manual do utilizador, e, principalmente, garantir a permanente gestão do conhecimento no interior da base de dados e a existência de metadados.

Referências

- das Neves, L.; Lopes, M. L.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. e Iglesias, G. (2006). *The GeoWAVE Project: experimental stability analysis of geocontainers under wave loading*, Coastlab06, Book of Abstracts, pp. 111-114. ISBN 972 752 075 8.
- Garcia, S. (2007). *Aplicação informática de apoio à selecção de sistemas de protecção costeira com geossintéticos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 203 p.
- Housley, J. G. e Thompson, E. F. (2006). *Planning and design process*, Coastal Engineering Manual, Part V – Chapter 1, 21 p.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do programa POCI/FEDER (referência do projecto: POCI/ECM/60807/2004).

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



EU FEDER



Governo da República Portuguesa



A co-autora Luciana das Neves é bolseira de doutoramento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (SFRH/BD/22626/2005).