

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO APOIO ÀS
DRAGAGENS PORTUÁRIAS**

Luísa Maria da Fonseca Canelas

DISSERTAÇÃO

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – TECNOLOGIAS E
APLICAÇÕES

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO APOIO ÀS
DRAGAGENS PORTUÁRIAS**

Luísa Maria da Fonseca Canelas

DISSERTAÇÃO

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – TECNOLOGIAS
E APLICAÇÕES

Orientador: Professor Doutor Carlos Manuel Antunes

2012

Resumo

Desde tempos remotos que os portos marítimos servem de ligação entre as diferentes civilizações e continentes, e são pontos de primordial importância para as trocas comerciais numa economia global. Com o aparecimento dos contentores, como unidade de volume de transporte, e a partir do momento em que o transporte marítimo se revelou o mais económico, a tecnologia naval focou-se na construção de navios cada vez maiores, com maior capacidade de transporte e com maior calado (navios de 5ª e 6ª geração, os super-contentores e super-petroleiros), de forma a possibilitar o transporte de um volume crescente de matérias-primas e de contentores. Este aumento de calado dos navios (actualmente até 50 pés ou 15.5 metros e capacidade de 11,000 a 14,500 TEU – unidade de medida em quantidade de contentores) obrigou os portos ao aumento de profundidades compatíveis com esses calados nos canais de acesso, cais e docas de ancoragem, como medida imprescindível para a sua competitividade e sobrevivência económica.

Para a obtenção da necessária profundidade e para a sua manutenção, os portos investem muito dinheiro em operações de dragagem. Para a fiscalização destas dragagens, assim como, para a verificação dos canais de acesso e cais de atracação, os portos realizam regularmente levantamentos hidrográficos (LH).

Com o aparecimento dos sistemas de informação geográficos (SIG), como ferramenta de apoio à gestão, existem cada vez mais portos a implementarem este tipo de instrumentos, no sentido de organizar os dados de batimetria recolhidos nos LH e efetuar de uma forma eficiente cálculos e análises necessários ao planeamento e gestão dos projetos de dragagem.

Apesar da Administração do Porto de Lisboa (APL) ser a líder nacional no movimento de navios e de abranger uma extensa área fluvial, não possui um SIG com capacidade de apoiar os projetos de dragagem e de gerir os seus custos.

O objetivo deste trabalho é desenvolver ferramentas destinadas à informatização do histórico de LH que permita não só a organização dos dados respetivos, como também a sua utilização posterior em análises de taxas de sedimentação e de planeamento e gestão de dragagens na área de jurisdição da APL. Desta forma, tornar-se-á possível, entre outras possibilidades, planear operações de dragagem e calcular custos envolvidos anualmente na manutenção de cada concessão (área pertencente à APL cuja gestão foi entregue a terceiros).

Numa primeira fase deste trabalho foi desenhado o modelo conceptual da informação que se pretende representar e criado o respetivo modelo relacional da base de dados (BD).

A segunda etapa do trabalho consistiu no desenvolvimento de uma aplicação que cria a Base de Dados Geográficos (BDG) baseada no modelo conceptual desenhado e faz o seu preenchimento de forma semiautomática.

Por fim, foi criada uma aplicação para o cálculo da taxa de sedimentação, entre outros.

Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pela APL e incluem dados de LH realizados entre 2004 e 2008 na área geográfica compreendida entre o Terminal Multiusos do Beato e o Terminal Multiusos do Poço do Bispo. O software SIG utilizado neste trabalho foi o *GeoMedia Professional* (GP) comercializado pela *Intergraph*. O software utilizado para desenvolvimento dos comandos foi o *Visual Basic 6* (VB6) comercializado pela *Microsoft Corporation*.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográficos, Levantamentos Hidrográficos, Portos, Dragagens, Base de Dados Geográficos, Administração do Porto de Lisboa.

Abstract

Since ancient times that seaports serves as link between different civilizations and continents, and are the key points for trade in a global economy. With the advent of containers, as transport unit volume, and from the moment that shipping has proved to be the most economical, naval technology focused on building ever larger ships with greater transport capacity and greater drafts (5th and 6th generation vessels, the supercontainers and the supertankers), in order to enable the transport of an increasing volume of raw materials and containers. This vessels drafts increase (currently up to 50 feet or 15.5 meters and capacity from 11,000 to 14,500 TEU - unit of measure in container quantity) forced ports to increase depths compatible with these drafts on access channels, wharves and docks anchorage, as an essential measure for its economic survival and competitiveness.

To obtain the required depth and for its maintenance, ports invest a lot of money in dredging operations. For the supervision of such dredging as well as for the verification of access channels and berthing quays, ports execute regularly hydrographic surveys (HS's).

With the advent of geographic information systems (GIS), as a tool to support the management, the number of ports implementing this type of instrument is growing, to organize the bathymetry data collected in HS's and make efficiently calculations and analyzes necessary for the planning and management of dredging projects.

Despite of Lisbon Port Authority (LPA) is a national leader in the movement of ships and cover a large fluvial area, does not have a GIS capable of supporting the dredging projects and manage their costs.

The objective of this work is to develop tools for computerize historical HS's allowing not only the organization of the respective data, as well as its subsequent use in analyzes of sedimentation rates and the planning and management of dredging in the jurisdiction area of LPA. Thus, it will become possible, among other possibilities, to plan dredging operations and calculate annual costs involved in the maintenance of each concession (area belonging to LPA whose management was handed over to third parties).

On the first stage of this work it was designed the conceptual model of the information that was intended to represent and created the respective relational model of the database (DB).

The second stage of the study was to develop an application that creates the Geographical Database (GDB) based on the conceptual model designed and fills it in a semiautomatic way.

Finally, it was developed an application for calculating sedimentation rate, among others.

The data used in this work were provided by the LPA and include data from HS's executed between 2004 and 2008 in the geographic area between the Multipurpose Beato Terminal and Multipurpose Poço do Bispo Terminal. The GIS software used in this work was the *GeoMedia Professional* (GP) marketed from *Intergraph*. The software used for development of the command was *Visual Basic 6* (VB6) marketed by *Microsoft Corporation*.

Key-Words: Geographic Information Systems, Hydrographic Surveys, Ports, Dredging, Geographic Database, Lisbon Port Authority.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta dissertação:

Ao Professor Doutor Carlos Manuel Antunes, pelo seu apoio, colaboração, motivação e permanente disponibilidade durante a execução do trabalho.

À Administração do Porto de Lisboa, nomeadamente à Eng.ª Teresa Sá Pereira, ao Eng.º José Guerreiro, à Eng.ª Rita Ramos e à Eng.ª Fernanda Gameiro pela oportunidade dada de desenvolver este trabalho, pela cedência dos dados para o seu desenvolvimento e pela disponibilidade para esclarecimento de dúvidas durante a sua execução.

Aos professores do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, nomeadamente aos professores do núcleo de Engenharia Geográfica pela formação dada ao longo dos meus anos de estudo. Sem essa formação, nunca teria desenvolvido nem as capacidades nem as competências necessárias à execução deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso com quem partilhei ao longo dos últimos anos uma profunda amizade, nomeadamente Edgar Barreira, Anabela Duarte, Pedro Benevides, Dora Roque, Nuno Mira, Lino Bento, Carlos Morais e, mais recentemente, Joana Oliveira.

Aos meus sócios Fernando Dionísio e Ricardo Garcia pela paciência, ajuda e compreensão ao longo de toda esta fase atarefada.

Aos meus amigos Tiago Diogo e Adriana Paz pela amizade, companhia e motivação constantes.

Às minhas irmãs Joana e Sara pelos momentos de diversão e pela companhia que me proporcionam diariamente.

Ao Ricardo pelo constante apoio e compreensão.

À minha mãe e ao meu pai, por tudo o que me têm dado desde que nasci.

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xiii
Lista de acrónimos	xiii
Capítulo I – Introdução	1
1.1 Enquadramento do Trabalho	1
1.2 O Porto de Lisboa	2
1.2.1 Breve história do Porto de Lisboa	2
1.2.2 A Administração do Porto de Lisboa	4
1.3 O Estado da Arte	5
1.4 Objetivos e Organização do Trabalho	7
Capítulo II – Dragagens Portuárias	9
2.1 Introdução.....	9
2.2 Planeamento de Dragagens Portuárias.....	10
2.3 Equipamentos de Dragagem	13
2.3.1 Dragas Mecânicas – Dragas de Colher e Retroescavadoras	13
2.3.2 Dragas Hidráulicas – Dragas de Sucção em Marcha	14
2.3.3 Dragas Mistas – Draga de Sucção e Cortadoras.....	15
2.3.4 Dragas Pneumáticas	16
2.3.5 Dragas Hidrodinâmicas – Draga por Injeção de Água	16
2.4 Código da Contratação Pública no âmbito das dragagens portuárias	17
Capítulo III – A Hidrografia	20
3.1 Introdução	20
3.2 Levantamentos Hidrográficos	20

3.2.1	Planeamento dos LH	20
3.2.1.1	Ordem e escala do LH	20
3.2.1.2	Planeamento das Fiadas	22
3.2.1.3	Apoio Topográfico	23
3.2.1.3.1	Planimetria	23
3.2.1.3.1.1	Métodos clássicos de localização de sondas	23
3.2.1.3.1.2	Localização de sondas por GNSS	25
3.2.1.3.2	Altimetria	27
3.2.1.4	Medição de profundidades	28
3.2.1.4.1	Sondadores feixe simples	28
3.2.1.4.2	Sondadores multi-transdutores	30
3.2.1.4.3	Sondadores multi-feixe	30
3.2.1.5	Preparação da sondagem	31
3.2.2	Execução dos LH	32
3.2.3	Processamento de dados recolhidos em campo	33
3.2.3.1	Cálculo das posições das sondas	33
3.2.3.2	Cálculo das profundidades (sondadores feixe simples)	36
3.2.4	Produtos finais resultantes dos LH	38
Capítulo IV - Sistemas de Informação Geográfica		41
4.1	Introdução	41
4.2	Breve história dos SIG	42
4.3	Estruturas de dados em Sistemas de Informação Geográfica	43
4.3.1	Estrutura vetorial	43
4.3.2	Estrutura matricial	46
4.4	Projetos em Sistemas de Informação Geográfica	48
Capítulo V – Modelação da Base de Dados Geográficos		50
5.1	Introdução	50

5.2	Dados cedidos pela APL	52
5.3	Modelo concetual da base de dados	53
5.4	Modelo Relacional da Base de Dados	57
	Capítulo VI – Aplicação para criação e preenchimento da Base de Dados Geográficos	61
6.1	Tecnologias Envolvidas.....	61
6.2	Funcionamento da Aplicação.....	61
	Capítulo VII – Aplicação para cálculo das taxas de sedimentação e previsão de uma dragagem	69
7.1	Introdução.....	69
7.2	Desenvolvimento da aplicação	70
7.2.1	Cálculo do volume de cada LH	70
7.2.2	Métodos de cálculo da taxa de assoreamento	73
7.2.3	Cálculo da previsão da próxima dragagem e respetivo custo	74
7.3	Funcionamento da aplicação	75
	Capítulo VIII – Conclusões e Trabalho Futuro.....	79
8.1	Conclusões	79
8.2	Trabalho Futuro.....	80
	Capítulo IX - Referências	83

Lista de figuras

Figura 1 - Porto de Lisboa.	3
Figura 2 - Área de Jurisdição do Porto de Lisboa.....	5
Figura 3 - Recuperação de uma praia através de uma dragagem.	10
Figura 4 - Ilhas artificiais criadas por processos de dragagem no Dubai.	10
Figura 5 - À esquerda, draga de Colher; à direita, colher..	13
Figura 6 - À esquerda, draga retroescavadora; à direita, esquema de funcionamento de uma draga retroescavadora..	14
Figura 7 – Em cima, draga de sucção em marcha; em baixo, draga de sucção alimentando uma praia.	15
Figura 8 - À esquerda, esquema de uma draga de sucção e corte; à direita, fotografia de uma draga de sucção e corte.	16
Figura 9 - Processo de dragagem por injeção de água.	17
Figura 10 - Exemplo de planeamento de fiadas de um LH.	23
Figura 11 - Exemplos de sinais hidrográficos.....	24
Figura 12 - Sextante.	24
Figura 13 - Segmentos do GNSS.....	25
Figura 14 - Cobertura DGPS do Instituto Hidrográfico em Portugal Continental.	26
Figura 15 - Esquema das referências verticais relevantes na Hidrografia..	27
Figura 16 - Feixes acústicos (o feixe azul apresenta menor frequência e maior abertura que o feixe laranja).....	28
Figura 17 - Diferenças na medição de profundidade com um sondador com um feixe mais largo e com um feixe mais estreito.....	29
Figura 18 - Sonda e registo analógico (ecograma).....	30
Figura 19 - Esquema de sondador multi-transdutor.....	30
Figura 20 - Esquema de sonda multi-feixe.....	31
Figura 21 - Coberturas dos fundos através de prumo hidrográfico, feixe simples e multi-feixe.	31
Figura 22 - Janela de trabalho do software de aquisição de dados Hypack.	33
Figura 23 - Observação e determinação do ângulo horizontal entre dois sinais hidrográficos..	34
Figura 24 - Segmento capaz do ângulo horizontal h.....	34
Figura 25 - Interseção de dois segmentos capazes resultantes das observações h1 e h2.	35
Figura 26 - Compasso de três pontas.....	35

Figura 27 - Marcação de sonda com compasso de três pontas.....	35
Figura 28 - Esquema do cruzamento por visadas direta.....	36
Figura 29 - Seleção de sondas entre posições de controlo.....	36
Figura 30 - Leitura do valor da maré com recurso a uma régua graduada.....	37
Figura 31 - Representação dos parâmetros necessários ao cálculo da sonda reduzida.....	38
Figura 32 – À esquerda, implantação gráfica de um LH; à direita, legenda de uma implantação gráfica.....	38
Figura 33 - Ficheiro de pontos (ou lista de sondas).	39
Figura 34 - Modelo digital do fundo.	39
Figura 35 - Em cima, limite de uma zona de dragagem e perfis; em baixo, perfis transversais para cálculo de volumes.....	40
Figura 36 - Esquema de diferentes temas integrados num SIG.....	42
Figura 37 - À esquerda, exemplo de dados no formato vetorial; à direita, tabela de atributos dos elementos do tipo ponto representados a esquerda.....	44
Figura 38 - Seleção por atributos.....	44
Figura 39 - À esquerda, união; ao centro, interseção; à direita, corte.	45
Figura 40 - Classificação	45
Figura 41 - Buffer	46
Figura 42 - Exemplo de estrutura matricial representando o uso do solo.	47
Figura 43 - Reclassificação.	47
Figura 44 - <i>Overlay</i>	47
Figura 45 - Aplicação de um filtro espacial.	48
Figura 46 - Operação com domínio de atuação global	48
Figura 47 - Da esquerda para a direita, modelos de BD hierárquico, de rede, relacional e orientado por objetos	52
Figura 48 - Limites das zonas de dragagem.	53
Figura 49 - Em cima (da esquerda para a direita), representação gráfica das entidades, associações, atributos, entidades fracas e associações fracas; em baixo, duas representações gráficas de uma agregação.....	54
Figura 50 - Representação gráfica das multiplicidades e das participações.....	54
Figura 51 - Representação gráfica das multiplicidades e das participações.....	54
Figura 52 - Modelo Entidade Associação da BD.....	56
Figura 53 - Estrutura da BD criada.	58
Figura 54 - Início da aplicação.....	61

Figura 55 - Opções da aplicação.....	62
Figura 56 - Janela de criação de uma nova BDG..	62
Figura 57 - Constituição da tabela GAliasesTable.....	63
Figura 58 - Tabela GSQLOperatorTable.	63
Figura 59 - Tabela concessão preenchida após a criação da BDG e respetiva representação no GP.	64
Figura 60 - Janela de opções para introdução de novos dados na BDG.	64
Figura 61 - Formulário para introdução de uma nova fiada na BDG.	64
Figura 62 - Em cima, registo das fiadas na BDG; em baixo, representação das fiadas no GP. ...	65
Figura 63 - Mensagem apresentada pela aplicação quando uma fiada não é introduzida na BD.	66
Figura 64 - Formulário para introdução de um novo LH na BDG.....	66
Figura 65 - Pontos de um LH introduzidos na BDG e respetiva representação do GP.	68
Figura 66 - Assoreamento no Porto de Vila Praia de Âncora.....	69
Figura 67: Diferença Espacial entre as fiadas e a concessão.	71
Figura 68 - Projeção ortogonal do ponto P numa recta. O ponto projetado é o ponto Q	72
Figura 69 - Esquema de um perfil transversal e respetivos pontos ordenados para cálculo da área usando a Fórmula de Gauss.	73
Figura 70 – Janela da aplicação para cálculo da taxa de sedimentação e para previsão de dragagens.	75
Figura 71 - Formulário preenchido para cálculo da taxa de sedimentação anual e mensal numa determinada concessão.	76
Figura 72 - Mensagem no ecrã com os dados calculados.....	77
Figura 73- Ficheiro de texto criado automaticamente com os valores calculados.	77
Figura 74 - Formulário preenchido para cálculo da taxa de assoreamento, assoreamento vertical, cálculo da data da próxima dragagem e respetiva volumetria e custo.	77
Figura 75 - Mensagem de saída com os dados calculados, utilizando a segunda parte da aplicação.....	78
Figura 76 - Ficheiro de texto criado automaticamente com os valores calculados, utilizando a segunda parte da aplicação.....	78
Figura 77 - <i>Add-In GeoMedia Command Wizard</i>	80
Figura 78 - Janela Customize do GP.	81
Figura 79: Futuro botão do GP para utilização das aplicações criadas.....	81
Figura 80 - Início da aplicação do GP.	81

Lista de tabelas

Tabela 1 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação.	12
Tabela 2 - Importância social e económica dos pequenos e médios portos portugueses em 2007.....	17
Tabela 3 - Requisitos mínimos para LH.	21
Tabela 4 - Estrutura da tabela Concessão.....	58
Tabela 5 - Estrutura da tabela Fiada.	59
Tabela 6 - Estrutura da tabela Levantamento.	60
Tabela 7 - Estrutura da tabela Ponto	60

Lista de acrónimos

- APL** – Administração do Porto de Lisboa
- BD** – Base de Dados
- BDG** – Base de Dados Geográficos
- CE** – Caderno de Encargos
- DGPS** – *Differential Global Positioning System*
- DL** – Decreto-lei
- DR** – Diário da República
- GNSS** – *Global Navigation Satellite System*
- GP** – *GeoMedia Professional*
- GPS** – *Global Positioning System*
- IPTM** – Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos
- LH** – Levantamento Hidrográfico
- NMM** – Nível Médio do Mar
- PIB** – Produto Interno Bruto
- PP** – Programa do Procedimento
- RTK** – *Real-time kinematic*
- SGBD** – Sistema de Gestão de Base de Dados
- SIG** – Sistema de Informação Geográfico
- SQL** - *Structured Query Language*
- SVP** – *Sound Velocity Profiler*
- TEU** - *Twenty-foot equivalent unit*
- VB6** – *Visual Basic 6*
- ZH** – Zero Hidrográfico

Capítulo I – Introdução

1.1 Enquadramento do Trabalho

Os portos sofreram grandes transformações nos últimos séculos. Durante o século XIX e a primeira metade do século XX, os portos eram acima de tudo instrumentos das potências coloniais que serviam essencialmente para controlar os mercados e abastecer as suas populações de produtos essenciais. A competição entre portos era mínima e os custos da sua manutenção insignificantes em comparação com o custo de transporte no oceano. Como resultado disso, era pequeno o incentivo destinado a melhorar a eficiência dos portos. [PPIAF]

Na década de 50 do século passado apareceram os primeiros contentores de transporte de mercadorias. Estes permitiram que as cargas e descargas dos navios se fizessem de forma mais eficiente e mais rápida. Consequentemente, a indústria naval também se desenvolveu no sentido de se construírem navios propícios ao seu transporte, com dimensões e calados cada vez maiores. Entre 1956 e 1970 surgiram os navios de 1ª geração (cargueiros e tanques) que apresentavam um comprimento variável entre 135 e 200 m, um calado inferior a 9 m e uma capacidade variável entre os 500 e os 800 TEU (TEU é a medida standard utilizada para calcular o volume de um contentor). Na década de 70 surgiram os navios de 2ª geração (*cellular containerhips*) que mediam cerca de 215 m de comprimento e tinham uma capacidade entre 1,000 e 2,500 TEU. Durante as décadas de 80 e 90, os navios de carga passaram a ter uma capacidade até aos 5,000 TEU (navios de 3ª e 4ª geração), comprimentos até 335 m e calados até 13 m. Foi no novo milénio que surgiram os novos navios de carga (de 5ª e 6ª geração) com comprimentos na ordem dos 400 m, capacidades entre os 11,000 TEU e os 14,500 TEU e calados que podem ir até aos 15.5 m [Rodrigue et al, 2009].

O desenvolvimento da tecnologia naval foi acompanhado em paralelo pelo do comércio marítimo. Como consequência, os portos tiveram de se expandir. Foram investidas fortunas em infraestruturas para a sua carga e descarga. O número de cais para atracação dos navios aumentou, assim como as respetivas profundidades (cotas de serviço) [PPIAF]. Consequência deste incremento foi o aumento das operações de dragagem para a sua construção e manutenção. Anualmente são dragados cerca de 200,000,000 m³ de material nos Estados Unidos da América para manutenção dos portos. Nos portos da Europa é dragado o mesmo volume de material [Paiva, 2008].

O crescimento da atividade dos portos foi acompanhado pelo desenvolvimento de tecnologias de informação que ligassem por via eletrónica todos os seus intervenientes, disponibilizando dados em tempo real sobre o estado das operações e proporcionando, portanto, uma gestão mais eficiente [Wright e Yoon, 2007].

Atualmente muitos autores defendem que a chave para o sucesso na gestão portuária é a implementação de SIG [Wright e Yoon, 2007]. Este permite a integração dos sistemas eletrónicos disponíveis num sistema único de informação e a sua visualização de forma gráfica e esclarecedora. Desta forma, consegue-se aumentar a eficiência de diversas tarefas, tais como: o planeamento de expansão do porto, a gestão das instalações portuárias, a gestão de resposta a emergências, estudos de impactes ambientais, operações portuárias (localização em tempo real de navios, embarcações e outros veículos e gestão de ocupação de cais e terminais) e o planeamento e gestão de operações de dragagem [Wright e Yoon, 2007]. Nestas últimas operações em particular, os SIG possibilitam o acompanhamento do processo em tempo real, como já acontece atualmente na Administração do Porto de Viana do Castelo. Do mesmo modo, ao tornarem possível a criação de um histórico de batimetrias, servem de base à realização de estudos de dinâmica sedimentar, nomeadamente da variação da taxa de sedimentação nas áreas marítimas do porto, algo que é essencial ao planeamento das operações de dragagem.

1.2 O Porto de Lisboa

1.2.1 Breve história do Porto de Lisboa

Desde sempre, Lisboa foi muito visitada por povos que mantinham grande atividade comercial por via marítima. Os vestígios mais antigos desta presença datam da pré-história. Os Fenícios terão sido o primeiro povo a criar um pequeno porto comercial na margem norte do rio Tejo no século XXII a.C. A localização estratégica de Lisboa levou posteriormente à fixação de outros povos até à reconquista pelo Romanos em 205 a. C., seguidos pelos Suevos e pelos Visigodos. Por fim, em 714 d.C. os Mouros conquistam Lisboa e expandem o porto com o seu comércio mediterrânico e atlântico [Wikipedia].

No século XI o processo de reorganização interna da Europa conhece novo rumo com o as cruzadas, tendo o tráfego e o comércio marítimos sofrido consideráveis acréscimos. D. Afonso Henriques, apercebendo-se da importância estratégica da cidade de Lisboa no contexto internacional, dirige os seus movimentos de expansão para sul, com vista a estabelecer uma zona de influência portuguesa ao longo da costa. Deste modo consegue garantir o apoio dos

cruzados para a conquista da cidade de Lisboa, fundamental para o domínio do estuário do Tejo, porto natural de grandes dimensões que melhoraria em muito a importância do território neste contexto europeu. Assim, a 28 de Junho de 1147, entra no Tejo uma frota com 164 navios transportando um exército de 13,000 cruzados que vão desempenhar um papel crucial na conquista da cidade de Lisboa e, mais tarde, na sua defesa [Portal do Porto de Lisboa].

É no reinado de D. João I que tem início a abertura de novos mundos e de novos mercados, a partir de Lisboa, considerada já uma grande metrópole cosmopolita e visitada por embarcações de variadíssimas origens. Os navios que se fizeram ao mar partindo de Lisboa desempenharam um papel fundamental na época dos descobrimentos portugueses, os quais aumentaram as fronteiras do mundo conhecido e transformaram Lisboa num porto-chave para o comércio global. Em 1497 Vasco da Gama faz-se ao mar partindo de Lisboa. Regressa dois anos mais tarde depois de ter descoberto o caminho marítimo para a Índia [Portal do Porto de Lisboa]. Esta e outras viagens posteriores ajudaram a fazer de Lisboa uma cidade rica e colocaram Portugal em evidência no Mundo. Foi nesta época que se fortaleceu a segurança e a vigilância da entrada no estuário do Tejo, sendo erguidas fortalezas na sua margem esquerda desde Cabeça Seca até Almada [Wikipedia].

Nos séculos XVI e XVII, com o comércio luso-espanhol desembarcavam em Lisboa produtos vindos do Brasil como madeiras, açúcar e ouro. A reconstrução da cidade de Lisboa a seguir ao terramoto de 1755 foi feita tendo em vista o comércio. Porém, no século XIX, volta a existir a necessidade de modernizar o porto de Lisboa. Fazem-se então estudos e projectos e em 31 de Outubro de 1887 são inauguradas as grandes obras no porto de Lisboa por D. Luís I [Wikipedia].



Figura 1 - Porto de Lisboa, retirado de <http://www.origens.pt/explorar/doc.php?id=7446>.

1.2.2 A Administração do Porto de Lisboa

O estuário do rio Tejo é a maior zona húmida do país e uma das mais importantes da Europa. Estende-se ao longo de cerca de 33 mil hectares e tem uma largura que varia entre os 2 km e os 14 km [Portal do Porto de Lisboa]. Devido ao seu posicionamento e ao facto do fundo do seu canal de acesso ter 15.5 metros de profundidade, o Porto de Lisboa tem estatuto nas cadeias logísticas de comércio internacional e nos circuitos dos cruzeiros. Apresenta atualmente um movimento de cerca de 3000 navios e 12 milhões de toneladas de material carregado por ano, para além da sua atividade de recreio e turística que no total representa cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

O Porto de Lisboa fornece os seguintes serviços:

- Serviços marítimos: acesso e protecção, pilotagem, reboque, gestão de tráfego de navios e serviço de protecção contra incêndios;
- Serviços nos terminais e docas: imobilização de navios (navios de carga e navios de cruzeiro) e embarcações (de transporte fluvial de passageiros, de recreio náutico e desporto, de atividade marítimo-turística e de pesca), movimentação e transferência de contentores, movimentação e transferência de carga que não se encontra em contentores (carros, madeiras, ferro), movimentação de granéis sólidos e líquidos, entrega e armazenamento de carga;
- Serviço de reparações: manutenção e reparação de equipamentos, reparação de navios, reparação de contentores.

De acordo com o Decreto-lei (DL) 336/98 de 3 de Novembro, a APL é a Sociedade Anónima de Capitais Exclusivamente Públicos que tem por objeto a gestão do porto de Lisboa, visando a sua exploração económica, conservação e desenvolvimento, e abrangendo o exercício das competências e prerrogativas da autoridade portuária. Assim, de acordo com os seus estatutos, a APL assegura o exercício das competências necessárias ao regular funcionamento do porto nos seus múltiplos aspetos de ordem económica, financeira e patrimonial, de gestão de efetivos e de exploração portuária, e ainda as atividades que lhe sejam complementares, subsidiárias ou acessórias.

A área de jurisdição do porto de Lisboa é definida pelo artigo 7º do DL anteriormente referido, e na sua vertente flúvio-marítima tem como limites: a jusante, o alinhamento das Torres de São Julião e Bugio, e a montante, Vila Franca de Xira.

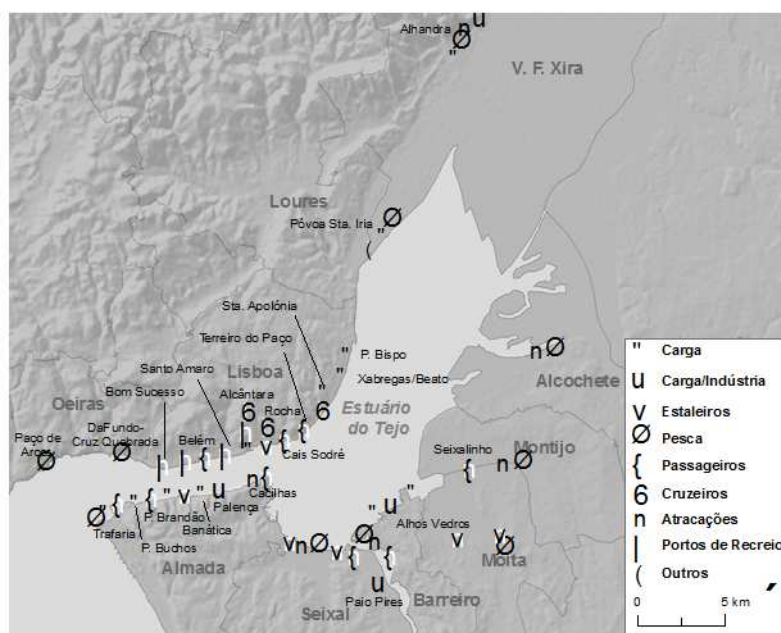


Figura 2 - Área de Jurisdição do Porto de Lisboa, retirado de <http://confins.revues.org/7702?lang=fr>.

A APL é responsável por assegurar as acessibilidades marítimas do porto de Lisboa. Para garantir estas acessibilidades, a APL tem de manter os canais de navegação e os cais de atracação às cotas de serviço definidas no projeto de construção do porto, isto é, profundidades superiores ao calado máximo dos navios que aí vão demandar. Para tal, a APL dispõe de um Serviço de Hidrografia que, entre outros, tem os seguintes propósitos: execução de LH e controlo da manutenção dos fundos nas áreas portuárias. O Serviço de Hidrografia é também responsável pela identificação das áreas que necessitam de ser dragadas e, portanto, desta depende a operacionalidade do porto no que diz respeito a fundos. No Porto de Lisboa são dragados anualmente entre 800,000 e 1,000,000 de m³ de sedimentos [Cabral, 2010].

1.30 Estado da Arte

Atualmente já existem algumas ferramentas dedicadas às funcionalidades constantes no âmbito deste trabalho. A maior parte delas versa o estudo das taxas de sedimentação e verificação da sazonalidade no depósito de sedimentos com recurso a tecnologias SIG. Menos frequentes são aquelas que utilizam essa tecnologia no apoio à decisão de dragagens e à gestão de dados de batimetria. Em seguida, são apresentados alguns trabalhos já desenvolvidos.

Em 2001, a *U.S. Army Corps Of Engineers* desenvolveu um sistema designado por *Regional Sediment Management Geographic Information System (RSM GIS)* que teve como

objetivo a gestão da sedimentação e que integrou num SIG modelos de sedimentação anteriormente desenvolvidos de algumas partes da costa americana, dados provenientes de LH e topográficos de vários anos, fotografias aéreas, registos de dragagens e cartas náuticas. A análise dos dados e a visualização da informação foi feita com recurso ao software *ArcView* [Rosati et al, 2001].

Já a *U.S. Geological Survey* desenvolveu em 2004 alguns programas que visavam a reconstrução de perfis de sedimentação utilizando uma série de LH na Califórnia integrados num SIG [Higgins et al, 2004]. Um trabalho semelhante a este foi desenvolvido no *Netherlands Institute of Ecology* em 2002 [Van Der Wal et al, 2003].

Na Índia foi desenvolvido um SIG que teve por objetivo o planeamento e a estimativa do custo e do tempo de um projeto de dragagem. Este sistema foi desenvolvido em ambiente *ArcGIS* e integra dados de diversas fontes tais como: LH da área, tipo de solo, equipamento de dragagem (que depende do tipo de solo) e suas características (capacidade, consumo de combustível), imagens de satélite e locais de descarga de dragados. O programa foi apresentado na *12th ESRI India User Conference* em 2011 [Singh, 2011].

No que respeita à utilização prática deste tipo de ferramentas nos diversos portos espalhados pelo mundo, muitos já usufruem das tecnologias SIG como suporte aos projetos de dragagens. Seguem-se alguns exemplos.

Um das aplicações referidas teve lugar durante as dragagens efetuadas no Porto de Ventura (Califórnia). Com suporte num SIG, pretendia-se determinar para qual das praias da Califórnia deveriam ser conduzidos os sedimentos extraídos. Foram escolhidas três praias candidatas a receber os sedimentos e criadas funções de custo para a sua deposição. Foram ainda considerados como parâmetros de entrada três modos de transporte distintos: comboio, camião e barco [Wilson et al, 2004].

Nalgumas administrações portuárias portuguesas, já são utilizadas ferramentas SIG no apoio às dragagens. Na maioria dos casos, nestas instituições o SIG é utilizado apenas como ferramenta complementar ao cálculo de volumes pós-dragagem, no arquivo de LH e no apoio a sondagens geológicas para estudo do grau de contaminação e zona de descarga dos sedimentos a dragar. Para o apoio a sondagens geológicas, foi desenvolvido um trabalho para o Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos (IPTM) cujo objetivo foi a criação de uma base de dados geográfica (BDG) com dados resultantes de sondagens geológicas e que

permitiu realizar um estudo sobre a caracterização física e química das áreas de dragagem sob a responsabilidade deste Instituto [Dias, 2005].

1.4 Objetivos e Organização do Trabalho

Apesar de gerir um porto com inúmeras atividades, a APL não possui um SIG que integre a maior parte da informação recolhida e que, acima de tudo, tenha capacidade de apoio à decisão da execução de dragagens. Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um SIG para a APL dotado dessa capacidade.

Numa primeira fase, foi desenhado o modelo concetual e relacional da BD destinada ao armazenamento dos dados dos LH levados a cabo pela APL.

Na segunda fase, foram criadas duas aplicações com as seguintes funcionalidades: criação e preenchimento da BDG atrás referida, cálculo da taxa de sedimentação, previsão do momento em que seja necessário proceder a nova operação de dragagem e cálculo do custo anual de cada concessão. As aplicações foram testadas apenas para a área correspondente ao Terminal Multiusos do Beato.

Este trabalho encontra-se dividido em 9 capítulos sucintamente apresentados em seguida. Os capítulos I, II, III e IV constituem uma introdução ao trabalho, ao seu enquadramento e aos temas essenciais para a sua compreensão. Os restantes capítulos referem-se ao trabalho desenvolvido propriamente dito e às suas conclusões.

O primeiro e presente capítulo apresenta uma breve introdução ao tema em que este trabalho se insere, indica quais os seus objetivos e descreve o enquadramento da Instituição para o qual foi desenvolvido. É também apresentado um resumo do estado da arte nesta área.

No segundo capítulo abordam-se as dragagens portuárias, o que são e quais os equipamentos que utilizam. Tendo em conta que se trata de Empreitadas de Obras públicas, é feita uma breve referência ao Código dos Contratos Públicos (DL 18/2008) especificamente neste domínio.

O terceiro capítulo é dedicado à Hidrografia e aos LH. Nesta secção é apresentada a definição de Hidrografia e descritas as principais etapas na execução dos LH, técnicas, equipamentos utilizados e os seus principais produtos finais.

No quarto capítulo é feita uma introdução aos SIG, nomeadamente definição, objetivos, vantagens e desvantagens da sua utilização. São também descritas algumas análises

que podem ser realizadas com recurso as estas tecnologias. A forma como se implementa um sistema deste tipo também é abordada neste capítulo.

No quinto capítulo é feita uma introdução às BD e apresentados os modelos concetual e relacional da informação desenhados no âmbito deste trabalho.

O sexto capítulo apresenta a aplicação desenvolvida para criação e preenchimento da BDG. É também feita uma referência às técnicas utilizadas e explicado o seu funcionamento.

No sétimo capítulo é apresentada a ferramenta criada para análise das taxas de sedimentação, e explicado o seu funcionamento.

Por fim, o capítulo VIII apresenta conclusões e propostas de trabalho futuro e o capítulo IX apresenta as referências bibliográficas.

Capítulo II – Dragagens Portuárias

2.1 Introdução

A dragagem é uma operação que já data de muitos milhares de anos. Historicamente existem referências à abertura de canais para navegação há aproximadamente 5000 anos [Soares, 2006]. No Egito foram construídos canais artificiais com fins de irrigação e de união de corpos de água. Vestígios destes últimos foram encontrados indicando ter havido, em diversas épocas da história, canais que ligavam o Rio Nilo ao Mar Vermelho [Guia do Estudante, 2007]. Outro vestígio é o canal da Babilónia construído pelo Rei Nabucodonossor, que unia os rios Tigre e Eufrates. O mais longo e velho canal ainda existente é o Grande Canal da China, com mais de 1,600 km de extensão e que levou cerca de 2,000 anos para ser construído (as suas obras tiveram início no século VII a.C. e terminaram por volta de 1280 d.C.) [Compton's Encyclopedia, 1998].

O termo dragagem é, por definição, a escavação ou remoção de solo ou rochas do fundo de rios, lagos e outros corpos de água, através de equipamentos denominados dragas. Estas são embarcações ou plataformas flutuantes equipadas com mecanismos necessários para se efetuar a remoção do solo [Compton's Encyclopedia]. As principais razões para se proceder a operações de dragagem são:

- Navegação (manutenção das cotas de serviço dos canais de acesso e cais de atracação dos portos);
- Obtenção de materiais para construção;
- Expansão de infraestruturas portuárias;
- Exploração de minérios em fundos marinhos;
- Abertura de valas para instalação de tubagens e cabos submarinos;
- Construção de ilhas artificiais;
- Melhoria do meio ambiente (recuperação de praias e eliminação de materiais contaminados depositados nos fundos) [Paiva, 2008].



Figura 3 - Recuperação de uma praia através de uma dragagem, retirado de <http://www.pevensey-bay.co.uk/recharge.html>.



Figura 4 - Ilhas artificiais criadas por processos de dragagem no Dubai, retirado de <http://flashydubai.com/amazing-the-world-islands-in-dubai-amazing/>.

2.2 Planeamento de Dragagens Portuárias

A dragagem, sendo uma obra com alguma complexidade, exige um planeamento que depende de uma série de factores. A escolha do equipamento e da metodologia a aplicar está dependente do tipo, local e volume da dragagem, e do tamanho, qualidade e local de depósito dos dragados.

Na gestão portuária existem dois tipos de dragagem: dragagem de primeiro estabelecimento e dragagem de manutenção. A dragagem de primeiro estabelecimento consiste na remoção de sedimentos até uma profundidade que ultrapassa fundos anteriormente estabelecidos. A dragagem de manutenção remove todos os sedimentos resultantes do assoreamento até se atingir a profundidade anteriormente estabelecida. O primeiro tipo de dragagem geralmente envolve a remoção de sedimentos mais compactados mas com menor grau de contaminação, apresentando uma maior exigência na avaliação de

impactes ambientais. O segundo tipo de dragagem envolve a remoção de sedimentos menos compactados mas com maior grau de contaminação [Portela, 2008].

Geralmente os locais de dragagem são as barras, canais de acesso, bacias de manobra e cais de acostagem. As zonas marginais do porto, como é o caso dos cais de acostagem, são constituídas por sedimentos areno-lodosos enquanto que as zonas mais exteriores, como as barras e canais de acesso, são constituídas por sedimentos arenosos [Portela, 2008].

Antes de se proceder à dragagem, é feita uma análise à granulometria e à qualidade dos sedimentos a dragar.

A granulometria corresponde à dimensão, expressa em unidades de comprimento, das partículas constituintes dos sedimentos. Distinguem-se duas grandes classes de sedimentos:

- Sedimentos finos, coesivos, constituídos por silte e argila (<0.062 mm), apresentam um carácter coesivo devido principalmente à fração de argila e são denominados frequentemente por lodos quando também apresentam matéria orgânica e em estado próximo do fluido;
- Sedimentos não-coesivos, constituídos por areia e seixo (>0.062 mm) [Portela, 2008].

A qualidade dos sedimentos a dragar corresponde à sua composição química. Esta classificação encontra-se definida na Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro. Neste documento, são distinguidos cinco classes de contaminação para os sedimentos dragados:

- Classe 1 - correspondente a material dragado limpo e que, como tal, pode ser depositado no meio aquático, repostado em locais sujeitos a erosão, ou utilizado para alimentação de praias sem restrições, desde que a sua granulometria seja equivalente à dos sedimentos da praia.
- Classe 2 - corresponde a material dragado com contaminação vestigiária. Pode ser imerso em meio aquático tendo em atenção as características do meio recetor e o uso legítimo do mesmo.
- Classe 3 – corresponde a material dragado ligeiramente contaminado que pode ser utilizado para terraplenos e que, no caso de imersão, exige um estudo aprofundado do local de deposição e posterior monitorização.
- Classe 4 - corresponde a material contaminado que tem de ser depositado em terra, em local impermeabilizado.

- Classe 5 – corresponde a material muito contaminado. Preferencialmente este material não deve ser dragado mas, caso o seja, o material tem de ser alvo de tratamento prévio ou depositado em aterros de resíduos.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Metais					
Arsénio	<20	20 - 50	50 – 100	100 – 500	>500
Cádmio	<1	1 - 3	3 – 5	5 - 10	>10
Crómio	<50	50 - 100	100 – 400	400 - 1000	>1000
Cobre	<35	35 - 150	150 – 300	300 - 500	>500
Mercúrio	<0.5	0.5 – 1.5	1.5 – 3.0	3.0 - 10	>10
Chumbo	<50	50 - 150	150 – 500	500 – 1000	>1000
Níquel	<30	30 - 75	75 – 125	125 - 250	>250
Zinco	<100	100 - 600	600 – 1500	1500 - 5000	>5000
Compostos Orgânicos					
PCB	<5	5 - 25	25 – 100	100 - 300	>300
PAH	<300	300 - 2000	2000 – 6000	6000 - 20000	>20000
HCB	<0.5	0.5 – 2.5	2.5 – 10	10 - 50	>50

Tabela 1 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais (mg/kg), compostos orgânicos (ug/kg), retirado de Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro.

O local de deposição de dragados depende da classe de contaminação a que estes pertencem. Por acordo entre o Instituto Nacional de Recursos Biológicos, IPTM, as Capitania e as Administrações das Regiões Hidrográficas, os dragados deverão ser depositados em zonas da costa em determinadas batimétricas (profundidades), consoante o seu grau de contaminação. Os dragados de classe 1, se não forem aproveitados para alimentar praias, poderão ser imersos na costa entre as batimétricas -2 m e -6 m. Os dragados de classe 2 e 3, deverão ser imersos na costa a partir da batimétrica -40 m.

Daqui advém que, quanto maior for o grau de contaminação dos sedimentos, maiores os custos com a dragagem. Outro aspeto importante que influencia o custo da dragagem é seu tipo. Se a dragagem a realizar for uma dragagem de primeiro estabelecimento, é muito provável que os sedimentos se encontrem muito consolidados. Nesses casos é necessário

utilizarem-se equipamentos hidráulicos com capacidade de corte, o que torna a operação mais dispendiosa. Outro factor determinante no custo da dragagem é o volume total a dragar pois este determina número de descargas que a draga terá de efetuar.

Portanto, no planeamento de uma dragagem é necessário ter em conta os seguintes aspetos: granulometria, classe de contaminação, volumetria e tipo de dragagem. A escolha do equipamento é determinada pelos fatores atrás referidos, pelos deslocamentos necessários para deposição dos dragados e pela configuração da área a dragar.

2.3 Equipamentos de Dragagem

As dragas dividem-se essencialmente em cinco categorias: mecânicas, hidráulicas, mistas, pneumáticas e hidrodinâmicas [Soares, 2006].

2.3.1 Dragas Mecânicas – Dragas de Colher e Retroscavadoras

As dragas mecânicas removem os sedimentos dos fundos através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material, independentemente da sua densidade. Estas dragas geralmente são estacionárias e o material dragado é descarregado no depósito de batelões para posteriormente ser transportado e depositado nas zonas designadas. São exemplos destas dragas as dragas de colher e as dragas retroscavadoras [Martínez, 2008].

As dragas de colher consistem em embarcações que têm uma ou mais gruas montadas, as quais acionam uma ou mais colheres que efetuam a escavação.



Figura 5 - À esquerda, draga de colher; à direita, colher, retiradas de Administração do Porto de Lisboa - Planos de Dragagens 2010-2015.

Este tipo de equipamento costuma ser utilizado para trabalhos de dragagem de pouco volume, onde a configuração não permite a operação de outras dragas. O seu melhor rendimento é alcançado em solos pouco consolidados tais como lodo e areias soltas. Caso disponham de colheres apropriadas, podem efetuar com sucesso a remoção de rocha quebrada e blocos soltos. O seu trabalho é descontínuo e de escassa precisão em calado, e o seu sistema operativo de escavação, que é pontual, não permite obter um fundo regular. A precisão de dragagem é inferior a qualquer outro equipamento mecânico, sendo desaconselhável a sua utilização em zonas com reduzida espessura de material a dragar [Martínez, 2008].

Uma draga retroescavadora consiste num pontão (embarcação com fundo raso) munida de uma retroescavadora. O pontão dispõe de 3 estacas metálicas para se fixar na obra e poder absorver os grandes esforços horizontais ocorridos no processo de escavação. Tendo em conta a sua configuração, não requer um calado para abrir caminho e pode dragar materiais situados acima do nível da água. A sua atividade está condicionada à utilização de batelões para transporte e depósito dos dragados. O seu campo de aplicação é constituído pelas dragagens que apresentam o seguinte tipo de sedimentos: solos compactos e material granular grosso, materiais rochosos de resistência limitada e remoção de restos de estruturas [Martínez, 2008].



Figura 6 - À esquerda, Dragagem retroescavadora; à direita, esquema de funcionamento de uma dragagem retroescavadora [Martínez, 2008].

2.3.2 Dragagens Hidráulicas – Dragagens de Sucção em Marcha

As dragagens hidráulicas são constituídas por bombas hidráulicas que sugam os sedimentos após serem fragmentados mecanicamente ou desagregados. Exemplos deste tipo de dragagens são as dragagens de sucção em marcha. Estes equipamentos estão dotados dos meios próprios de propulsão e são capazes de carregar nos seus porões o material dragado. Os

sedimentos são aspirados por um tubo dotado, no seu extremo, de um cabeçote de sucção cuja primeira finalidade é a de separar os materiais do fundo marinho. Em seguida, os materiais são aspirados e depositados no porão da draga. Durante esta operação, a draga encontra-se em movimento. No final, o material é descarregado pela abertura de comportas, ou por meio de bombeamento através de tubos. Estas dragas são adequadas para a remoção de areia e silte pouco consolidado, removendo e transportando o sedimento na forma líquida [Van Oord, 2008].



Figura 7 – Em cima, draga de sucção em marcha; em baixo, draga de sucção alimentando uma praia, retiradas de <http://www.blogmercante.com/2010/09/fotos-draga-ham-310-da-van-oord/>.

2.3.3 Dragas Mistas – Draga de Sucção e Cortadoras

As dragas mistas são caracterizadas pela ação conjunta e simultânea de processos mecânicos e hidráulicos. São exemplos destas dragas as dragas de sucção e cortadoras. Estas dragas são estacionárias e equipadas com um desagregador mecânico que atua por rotação desagregando o material. Dentro deste possuem um tubo de sucção que aspira o material desagregado. Estas dragas são estacionárias e são ideais para remoção de material consolidado [Soares, 2006].

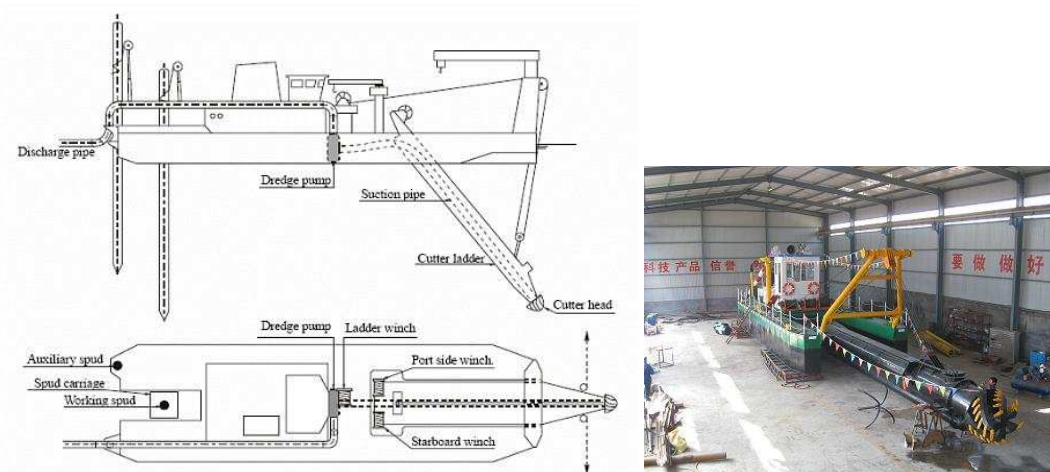


Figura 8 - À esquerda, esquema de uma draga de sucção e corte; à direita, fotografia de uma draga de sucção e corte, retiradas de <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/cutter-suction-dredger-304795586.html>.

2.3.4 Dragas Pneumáticas

As dragas pneumáticas promovem a aspiração do material do fundo por ar comprimido. As dragas pneumáticas não provocam a dispersão de sedimentos na água durante a sua operação, uma vez que não existem cortes no solo por meios mecânicos. Desta forma, as dragas pneumáticas são vistas como as que menos poluem o meio ambiente. São utilizadas em atividades de recuperação ambiental e na recuperação de pequenos objetos submarinos em arqueologia náutica [Soares, 2006].

2.3.5 Dragas Hidrodinâmicas – Draga por Injeção de Água

Por fim, as dragas hidrodinâmicas dependem dos recursos hidrodinâmicos induzidos na coluna de água de forma natural ou artificial a fim de deslocar, para outro sítio, os sedimentos do fundo, os quais são suspensos do leito aquático por ação mecânica ou hidráulica. Exemplo deste tipo de dragas é a draga por injeção de água. Esta draga injeta água, em baixa pressão, no sedimento em consolidação no fundo, provocando a sua suspensão. Os sedimentos em suspensão apresentam uma densidade superior à do fluido envolvente, o que favorece o aparecimento do efeito de corrente cujo propósito é direcionar esses sedimentos para águas mais profundas [Soares, 2006].

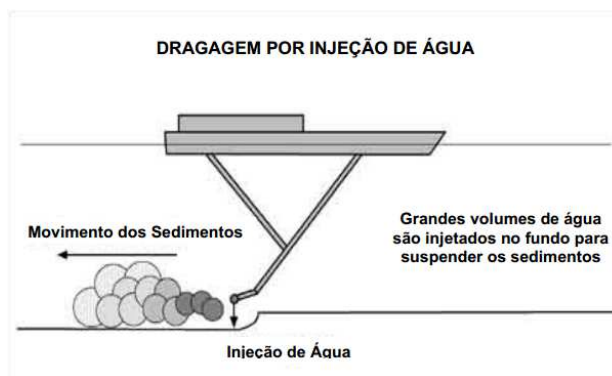


Figura 9 - Processo de dragagem por injeção de água [Soares, 2006].

2.4 Código da Contratação Pública no âmbito das dragagens portuárias

Em Portugal existem 6 portos marítimos comerciais (Viana do Castelo, Leixões, Aveiro, Lisboa, Setúbal e Sines) e 18 portos secundários. Cada porto comercial tem uma entidade legalmente responsável pela sua gestão e manutenção (no caso do porto de Lisboa essa entidade é a APL). Os portos secundários são essencialmente portos de pesca e de náutica de recreio. A manutenção e gestão destes portos é da responsabilidade do IPTM. O IPTM é responsável pela manutenção das cotas de serviço destes portos, de forma a garantir o seu acesso em segurança.

Devido à posição geográfica e à dimensão da sua costa, Portugal apresenta uma quantidade razoável de portos, dos quais dependem inúmeros postos de trabalho diretos e indiretos.

Número de Embarcações Licenciadas	Número de Pescadores Matriculados	Quantidade de Pescado Descarregado (em toneladas)	Valor do Pescado Descarregado (milhares de Euros)
7,427	13,997	137,822	220,843

Tabela 2: Importância social e económica dos pequenos e médios portos portugueses em 2007 [LNEC, 2010].

Apesar de se proceder a diversas operações de dragagem anualmente, o Estado Português não dispõe de qualquer equipamento para o efeito. Como tal, os trabalhos de dragagem são entregues a empresas privadas. A adjudicação destes trabalhos aos privados encontra-se regulamentada pelo DL 278/2009 (republicação do DL 18/2008) e é designado por Código dos Contratos Públicos. Em seguida, é apresentado um resumo de como se processa a contratação pública destas obras.

Existem cinco procedimentos que a entidade adjudicante (o Estado) pode adotar: ajuste direto, concurso público, concurso limitado por prévia qualificação, procedimento de negociação e diálogo concorrencial. Os objetos dos contratos são classificados nas seguintes categorias: empreitada de obras públicas, concessão de obras públicas, concessão de serviços públicos, locação ou aquisição de bens móveis, aquisição de bens ou serviços e sociedade. Especificamente para as dragagens portuárias, que são empreitadas de obras públicas, os procedimentos mais utilizados são o concurso público e o ajuste direto.

Por norma, é utilizado o concurso público para empreitadas de obras públicas. Este consiste na publicação em Diário da República (DR), por parte da entidade adjudicante, do trabalho a realizar. Qualquer empresa é livre de concorrer. O ajuste direto consiste no convite, por parte da entidade adjudicante, a uma ou várias empresas à sua escolha, à apresentação de propostas de execução do trabalho. Geralmente recorre-se ao ajuste direto nas seguintes condições:

- Todos os concorrentes foram excluídos num concurso público previamente estabelecido;
- Quando não houve concorrentes num concurso público previamente estabelecido;
- Quando a obra a realizar é de carácter urgente.

O ajuste direto difere do concurso público pelo montante máximo que a entidade adjudicante pode pagar ao adjudicatário e pelo tempo que decorre entre a publicação do procedimento e a adjudicação da obra. No ajuste direto, o tempo que decorre entre a publicação do procedimento e a adjudicação da obra é bem mais curto que no concurso público, visto que no ajuste direto são suprimidas algumas fases que existem no concurso público.

O procedimento é obrigatoriamente publicado no DR e na Plataforma Eletrónica de Contratação Pública e é composto por dois documentos elaborados pela entidade adjudicante: o Programa do Procedimento (PP) e o Caderno de Encargos (CE).

O PP inclui o objeto do concurso, identificação da entidade adjudicante, identificação do órgão competente para prestar esclarecimentos, descrição das peças do procedimento, documentos que deverão estar presentes na proposta entregue pelas empresas concorrentes, o seu modo de apresentação e o prazo de apresentação, o critério de adjudicação entre outros elementos.

O CE é constituído por cláusulas gerais, cláusulas técnicas, projeto de execução e projeto de saúde e segurança. O que é mais relevante para este trabalho são as cláusulas técnicas e o projeto de execução.

Nas cláusulas técnicas são apresentadas as obrigações técnicas que o empreiteiro tem de cumprir que, no caso de dragagens portuárias, são:

- A tolerância de dragagem consoante as propriedades dos materiais a dragar e o seu destino (local de depósito de dragados);
- A obrigatoriedade de sinalização da área de intervenção;
- A representação do empreiteiro;
- O prazo de execução da empreitada;
- Um LH preliminar de toda a área abrangida pelos trabalhos a fim de aceitar as plantas de LH fornecidas pelo dono da obra e fixar as cotas de referência;
- Um LH final a fim de provar a conclusão da obra.

A não execução do LH inicial por parte do empreiteiro pressupõe a sua aceitação das plantas de levantamento topo-hidrográfico fornecidas pelo dono da obra. O LH inicial, executado pelo empreiteiro e aprovado pelo dono de obra, passa a ter a designação de “levantamento zero” e servirá de base a todas as medições dos trabalhos.

O projeto de execução é composto por peças escritas (incluem a memória descritiva e medições) e peças desenhadas. A memória descritiva engloba a descrição detalhada da empreitada, isto é:

- Limites, cotas e taludes das áreas a dragar;
- Volumetria;
- Características dos materiais a retirar e o local do seu depósito;
- Tolerâncias vertical (relativa às cotas do projeto), horizontal (relativa às arestas inferiores dos rastos dos canais) e dos taludes (relativa à inclinação do talude).

A memória descritiva faz também referência à forma como os LH executados pelo empreiteiro devem ser apresentados (nomeadamente a sua escala e distância entre fiadas) e estabelece o plano de referência vertical das cotas do projeto. As medições dizem respeito à forma como o volume dragado é calculado pelo dono de obra. As peças desenhadas incluem uma planta do LH que serviu de base à elaboração das peças do concurso e uma planta com os perfis e medição da área a dragar.

Capítulo III – A Hidrografia

3.1 Introdução

A Hidrografia é o ramo das ciências aplicadas que trata da medição e descrição das características dos mares e áreas costeiras, tendo como objetivo principal a navegação e todas as outras finalidade e atividades marítimas, incluindo, entre outras, atividades costeiras e oceânicas, de investigação, proteção do ambiente e serviços de previsão. [OHI, 2012]

3.2 Levantamentos Hidrográficos

A informação hidrográfica é essencial para apoio à decisão, nomeadamente em situações de emergência no mar, em rios e outros corpos de água, fornecendo o conhecimento do meio e dos fenómenos que nele ocorrem e permitindo, em tempo útil, tomar as ações mais adequadas e seguras. Esta informação é também a base das cartas náuticas, essenciais à navegação [OHI, 2012].

A aquisição da informação hidrográfica é realizada através de LH (também designados por “sondagens”), que consistem na obtenção de dados batimétricos (dados relativos às profundidades), geológicos, maregráficos, fluviométricos, topo-geodésicos, oceanográficos e geofísicos, em áreas marítimas, fluviais e em canais naturais ou artificiais. O adequado processamento destes dados possibilita o conhecimento preciso da natureza do fundo marinho (nomeadamente a profundidade) e a sua relação geográfica com a costa [Fernandes, 1971]. Nos seguintes subcapítulos, é explicado como se planeiam e executam estes trabalhos, e são apresentadas as diferentes opções que existem para aquisição de dados batimétricos.

3.2.1 Planeamento dos LH

A primeira fase de um LH é o seu planeamento. Este consiste na preparação, em gabinete, do trabalho que será executado no campo.

3.2.1.1 Ordem e escala do LH

O planeamento do trabalho depende da classificação do LH, classificação esta que é função da área a levantar, da profundidade das águas e dos tipos de embarcação que aí navegam. A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) definiu quatro diferentes ordens de levantamentos (Ordem Especial, Ordem 1a, Ordem 1b e Ordem 2), cada qual elaborada de

maneira a atender necessidades específicas. Na Tabela 3 encontram-se descritos os requisitos mínimos dos LH para cada ordem anteriormente referida.

Ordem	Especial	1a	1b	2
Descrição de áreas	Áreas onde o resguardo ao fundo é crítico.	Áreas com profundidades inferiores a 100 metros onde o resguardo ao fundo é menos crítico, mas onde podem existir estruturas que constituam preocupação para a navegação de superfície.	Áreas com profundidades inferiores a 100 metros onde o resguardo ao fundo não é considerado uma limitação para a navegação de superfície esperada para a área.	Áreas com profundidades geralmente superiores a 100 metros onde o conhecimento geral do fundo é considerado adequado.
Máxima Precisão Horizontal (95% de nível de confiança)	2 metros	5 metros + 5% da profundidade	5 metros + 5% da profundidade	20 metros + 10% da profundidade
Máxima Precisão Vertical (95% de nível de confiança)	a = 0.25 metros b = 0.0075	a = 0.5 metros b = 0.013	a = 0.5 metros b = 0.013	a = 1.0 metros b = 0.023

Tabela 3: Requisitos mínimos para LH [OHI, 2012].

Os parâmetros **a** e **b** são parâmetros necessários ao cálculo da Incerteza Vertical Total (IVT) máxima admitida de cada LH, dada pela seguinte expressão:

$$IVT = \sqrt{a^2 + (b * d)^2} \quad (3.1)$$

onde **a** representa a porção da incerteza que não varia com a profundidade, **b** representa a porção da incerteza que varia com a profundidade e **d** é a profundidade [OHI, 2012].

A escala escolhida para o LH depende da ordem do levantamento e dos requisitos do produto final a ser produzido. Por outro lado, a ordem do LH e os seus requisitos em termos de precisão horizontal e vertical, vão condicionar a escolha do equipamento a utilizar.

3.2.1.2 Planeamento das Fiadas

Escolhida a escala de levantamento, é elaborado o planeamento das fiadas. As fiadas consistem nos perfis executados pela embarcação durante a execução do LH e onde são registados os dados batimétricos. Estas fiadas devem cobrir toda a área a levantar.

Existem dois tipos de fiadas: as fiadas de cobertura e as fiadas de verificação. As fiadas de cobertura têm como propósito cobrir a área a levantar enquanto as fiadas de verificação permitem determinar o efeito de erros, tais como medição de maré e medição de velocidade de propagação do som na água. Permitem portanto validar o trabalho realizado.

Em regra, devem-se orientar as fiadas de cobertura de modo a cortarem as várias isobatimétricas (linhas que unem pontos com as mesmas profundidades) segundo ângulos compreendidos entre 45° e 135°. Ao longo da costa, e com fundo regular, o método mais prático é efetuar fiadas paralelas entre si e perpendiculares à linha de costa. As fiadas de cobertura devem também ser planeadas de forma que na implantação gráfica tenham uma distância entre si de 10 mm. Ou seja, num levantamento representado à escala 1/2000 o espaçamento entre fiadas é de 20 m e num levantamento representado à escala 1/1000 o espaçamento entre fiadas é de 10 m.

As fiadas de verificação deverão ter uma orientação perpendicular às fiadas de cobertura. O espaçamento entre este tipo de fiadas é aproximadamente 7.5 vezes o espaçamento das fiadas de cobertura [Fernandes, 1971]. Ou seja, num levantamento representado à escala 1/2000 o espaçamento entre fiadas de verificação é de 150 m e num levantamento representado à escala 1/1000 o espaçamento entre fiadas de verificação é de 75 m.



Figura 10 - Exemplo de planeamento de fiadas de um LH.

3.2.1.3 Apoio Topográfico

A localização da área a levantar num LH só é possível através da determinação da posição (coordenadas) de cada sonda (valor de profundidade) durante a sua execução.

Portanto para a execução do LH é necessário fazer-se previamente uma pesquisa da existência de pontos coordenados e cotados na área onde será realizado o LH. Como a execução de LH é bastante frequente, os portos têm geralmente uma rede geodésica de apoio implementada nos diferentes locais onde são executados os LH.

3.2.1.3.1 Planimetria

3.2.1.3.1.1 Métodos clássicos de localização de sondas

Existem essencialmente duas técnicas de determinação da posição de sonda por métodos clássicos: medição de ângulos com o sextante e cruzamento por visadas diretas.

Para determinar a posição da embarcação com auxílio do sextante são necessários pelo menos três pontos visíveis, situados em terra (sinais hidrográficos), de coordenadas conhecidas e distribuídos de forma que, à custa da sua posição, seja possível a determinação da posição da embarcação em qualquer zona da sondagem [Fernandes, 1971].



Figura 11 - Exemplos de sinais hidrográficos [Antunes, 2009].

Neste caso, determina-se a posição da embarcação (posição do sextante) através da medição de dois ângulos horizontais e de dois ângulos verticais entre os pontos de referência. A implantação dos pontos é feita por um dos seguintes métodos: utilização de uma carta de sextante ou utilização de um compasso de três pontas.



Figura 12 - Sextante, retirado de Wikipédia.

No cruzamento por visadas diretas, são necessários dois pontos de apoio com coordenadas conhecidas e visíveis a partir da embarcação em toda a área a sondar. O procedimento para leitura das visadas da embarcação é o seguinte: estacionam-se dois teodolitos nos pontos coordenados e orientam-se os teodolitos para um ponto conhecido. Durante a sondagem, mantém-se os dois teodolitos apontados para o mesmo ponto na embarcação (preferencialmente a vertical do transdutor) efetuando-se leituras simultâneas com intervalos de tempo iguais (posições de controlo ou “foras”). O intervalo de tempo entre os “foras” depende da escala de implantação do LH e da velocidade da embarcação. Depois da sondagem, determinam-se as coordenadas das sondas por aplicação das fórmulas da interseção direta [Fernandes, 1971].

3.2.1.3.1.2 Localização de sondas por GNSS

Atualmente a forma mais utilizada de determinação da posição horizontal de sondas é através da instalação de um recetor GNSS na embarcação. O GNSS é um sistema de localização por satélite que engloba os sistemas GPS e GLONASS e que no futuro irá englobar também os sistemas Galileu e Compass. Este sistema encontra-se estruturado em três segmentos: espacial, de controlo e do utilizador [OHI, 2012]. O segmento espacial é constituído por 48 satélites (24 do GPS e 24 do GLONASS) distribuídos por 10 órbitas (6 de GPS e 4 de GLONASS). A função do segmento espacial é gerar e transmitir os sinais GNSS. O segmento de controlo é constituído por estações terrestres que são responsáveis pela operacionalidade do sistema GNSS. As suas principais funções são: verificar o funcionamento dos satélites, calcular as suas órbitas para determinada época, sincronizar os seus relógios com o tempo GNSS, determinar parâmetros ionosféricos, controlar as manobras de substituição e de correção de órbitas e atualizar as mensagens de navegação. O segmento do utilizador diz respeito aos recetores GNSS e aos seus utilizadores. Os recetores GNSS são constituídos por uma unidade de processamento capaz de decodificar, em tempo real, a informação enviada por cada satélite e calcular a sua posição. Desta forma, as coordenadas de um ponto à superfície da terra são determinadas pela intersecção das linhas de posição entre a antena ligada ao recetor e cada um dos satélites, desde que se tenha um número suficiente de linhas de posição [Artilheiro, 2006].

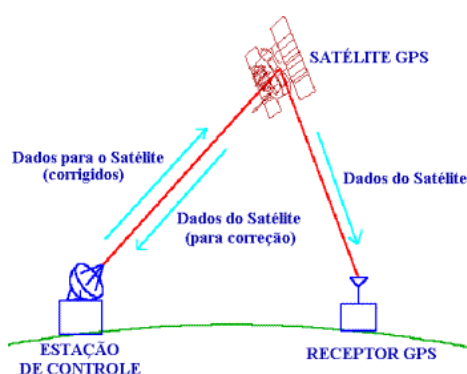


Figura 13 - Segmentos do GNSS, retirado de <http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia%286%29.htm>.

A determinação das coordenadas (posicionamento) do utilizador pode ser determinada de forma absoluta (quando se utiliza apenas um recetor) ou de forma relativa (quando se utilizam dois ou mais recetores).

Existem dois modos de observação: estático e cinemático. Na Hidrografia, os modos de observação utilizados são os cinemáticos que se dividem em dois métodos de posicionamento: o método *Differential Global Positioning System* (DGPS) e o método *Real-Time Kinematic* (RTK) [OHI, 2012].

O DGPS pressupõe a utilização de dois recetores (um estacionário num ponto de coordenadas conhecidas e outro móvel cujas coordenadas se pretende determinar) em registo simultâneo. O recetor estacionário envia para a estação móvel o sinal de correção diferencial em tempo real. O envio desta correção diferencial pode ser feito via rádio ou por internet móvel.

Em Portugal continental existem duas estações estacionárias DGPS (estação de Sagres e estação de Cabo Carvoeiro) que pertencem ao Instituto Hidrográfico e se encontram acessíveis ao público em geral. Os sinais rádio destas estações cobrem toda a costa portuguesa.

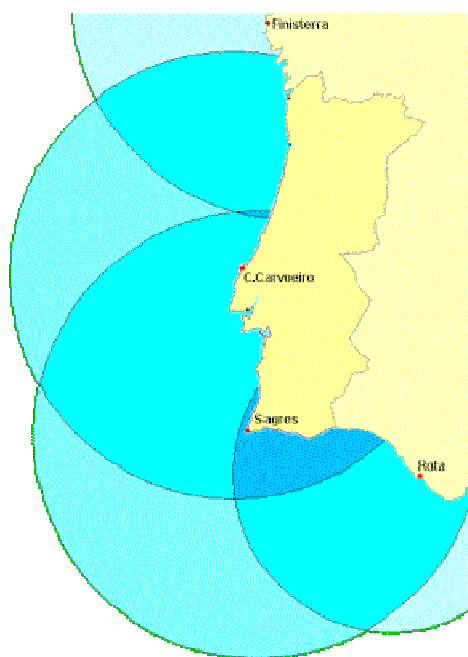


Figura 14 - Cobertura DGPS do Instituto Hidrográfico em Portugal Continental, retirado de <http://www.ancruzeiros.pt/anci-gps.html>.

O modo RTK funciona essencialmente da mesma forma que o DGPS mas pressupõe que a distância entre a estação móvel e a estação estacionária não seja superior a 30 km. Além disso, este modo utiliza a diferença de fase das ondas portadoras L1 e L2 enquanto o DGPS utiliza apenas o código da onda portadora na determinação das coordenadas de pontos. Como tal, as coordenadas calculadas com recurso a este modo apresentam maior precisão.

3.2.1.3.2 Altimetria

A referência vertical em relação à qual se mede a altitude (ou cota) de pontos é designada por Nível Médio do Mar (NMM). Este nível médio é o valor médio das alturas da maré, relativamente a uma referência fixa (marca de nivelamento), resultante de uma série de medições registadas ao longo de um período de tempo de pelo menos um período nodal (cerca de 18,6 anos). Em Portugal Continental, o NMM é o nível médio do marégrafo de Cascais que foi estabelecido a partir da média das médias anuais das leituras de maré medidas no período compreendido entre 1882 e 1938 [Antunes, 2009]. Este período corresponde a cerca de 3 períodos nodais.

Em Hidrografia, a referência à qual as profundidades estão indicadas é o Zero Hidrográfico (ZH). Em Portugal, o ZH é definido pelo nível da mais baixa das baixa-mares registadas durante um período de tempo em relação ao nível médio [Antunes, 2009]. O ZH situa-se a 2.08 metros abaixo do NMM de Cascais de 1938. Esta referência é de extrema importância pois é a partir dela que é medido e modelado o valor das marés. O valor da sonda lida num determinado instante tem de ser corrigida em função do valor de maré registado nesse mesmo instante. O objetivo é ter-se o valor real das sondas como se não existissem variações provocadas pelo efeito das marés.

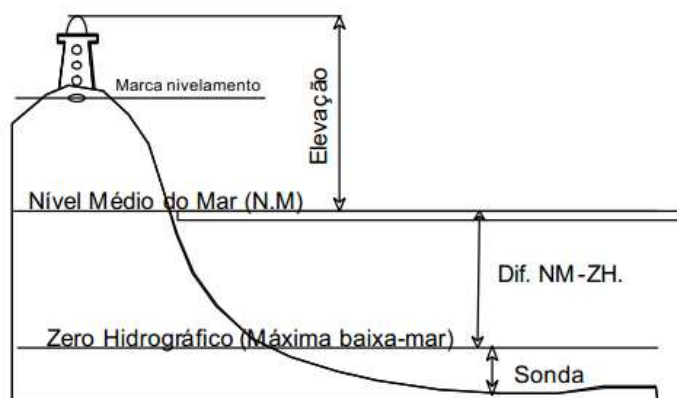


Figura 15 - Esquema das referências verticais relevantes na Hidrografia [Antunes, 2009].

Consequência disto é o facto de, sempre que se realiza um LH, é necessário pelo menos um ponto com cota conhecida para a partir deste se medir e registar o valor da maré.

3.2.1.4 Medição de profundidades

A medição de profundidades pode ser efetuada por métodos diretos ou indiretos. A medição direta é feita com recurso a um fio-de-prumo ou a uma régua graduada. Este tipo de sondagem apresenta muitas desvantagens, designadamente a morosidade e a falta de continuidade. Como tal, esta forma de medição é pouco utilizada. A medição indireta pode ser feita com recurso a sondadores acústicos (som). A sua medição tem por base a observação do intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso acústico e a sua receção após reflexão no fundo marinho. São exemplos destes equipamentos os sondadores acústicos feixe simples, os sondadores multi-transdutores e os sondadores multi-feixe [Artilheiro, 2006].

3.2.1.4.1 Sondadores feixe simples

Os sondadores feixe simples são constituídos por um transdutor que é responsável pela transmissão e receção dos sinais acústicos. O seu princípio de operação consiste na conversão de energia elétrica em energia acústica, isto é, os transdutores convertem impulsos elétricos de um gerador de sinais em vibrações longitudinais que se propagam na coluna de água como uma onda de pressão. As propriedades deste componente determinam algumas características de funcionamento do sondador, nomeadamente a largura do feixe e a frequência [OHI, 2012].

O feixe acústico que é transmitido tem a forma de um cone (largura) sendo que a medição da profundidade é efetuada em qualquer direção dentro desse cone. A largura desse feixe está relacionada com as dimensões do transdutor e com a frequência dos impulsos acústicos. Quanto menor for a frequência de transmissão, maior o seu alcance (fundo), maior o seu ângulo de abertura e maior a sua penetração nos sedimentos. Quanto maior for a frequência de transmissão, menor o seu alcance, menor o seu ângulo de abertura e menor a sua penetração nos sedimentos [Artilheiro, 2006].

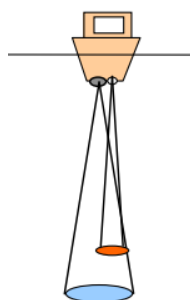


Figura 16 - Feixes acústicos (o feixe azul apresenta menor frequência e maior abertura que o feixe laranja) [Artilheiro, 2006].

Ou seja, quando o objetivo da utilização deste equipamento é a medição de profundidades com maior rigor, deve-se usar uma maior frequência de forma a que o feixe seja mais estreito (que permite uma maior diretividade do feixe) e haja uma menor penetração nos sedimentos. As frequências típicas destes sondadores são: frequências superiores a 200 kHz para profundidades inferiores a 100 metros, frequências entre os 50 kHz e os 200 kHz para profundidades superiores a 100 m e inferiores a 1500 m e frequências entre os 12 kHz e os 50 kHz para profundidades superiores a 1500 metros. Os sondadores podem vir equipados de fábrica com várias frequências [OHI, 2012].

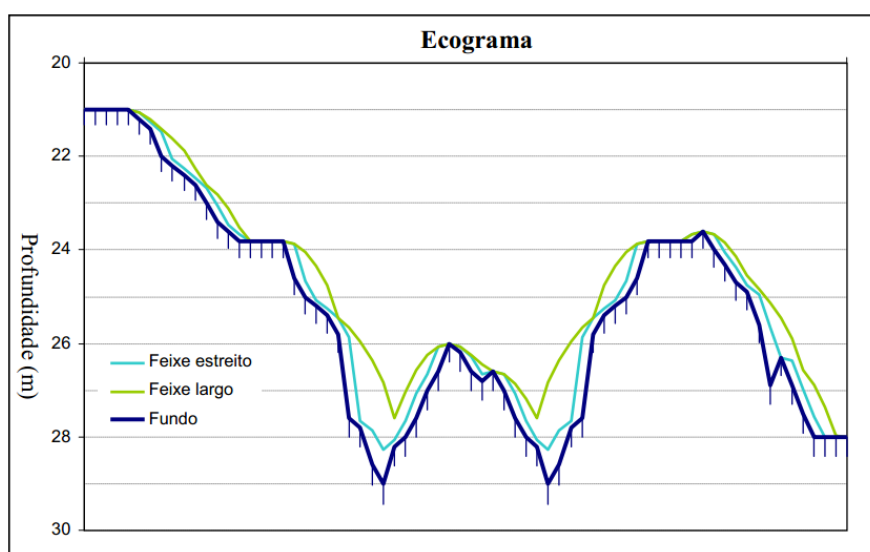


Figura 17 - Diferenças na medição de profundidade com um sondador com um feixe mais largo e com um feixe mais estreito [Antunes, 2009].

O registo das profundidades é feito e/ou de forma analógica e/ou de forma digital. No caso de registo analógico, a própria sonda faz o desenho em papel das profundidades medidas (ecograma). A qualidade do desenho depende de vários parâmetros (ganho, intensidade, escala vertical e frequência de sondagem) introduzidos pelo próprio operador da sonda. A escolha adequada destes parâmetros é de extrema importância pois permite ao hidrógrafo uma correta interpretação do fundo durante o processamento do trabalho [OHI, 2012]. Quando o registo é feito de forma digital, a sonda regista os valores das profundidades em suporte digital. Atualmente, já existem sondas que fazem o registo do ecograma e dos valores das profundidades de forma digital.



Figura 18 - Sonda e registo analógico (ecograma), retirado de <http://uksurveyingequipment.com/hydrographic-equipment/syqwest-bathy-500-df-dual-frequency-echosounder>.

3.2.1.4.2 Sondadores multi-transdutores

Os sondadores acústicos multi-transdutores são sondadores que utilizam mais do que um transdutor. O princípio de funcionamento é igual ao dos sondadores feixe simples, com a diferença de que são instalados na embarcação vários transdutores dispostos em linha, que permitem efetuar um maior varrimento durante a sondagem [Artilheiro, 2006].

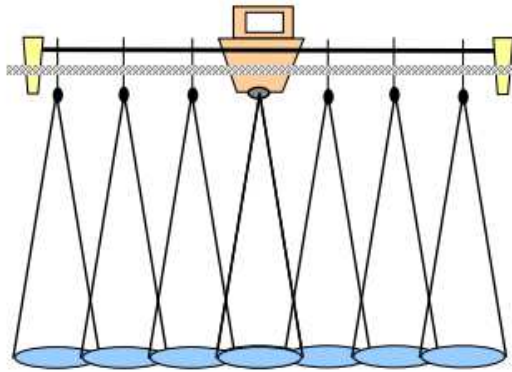


Figura 19 - Esquema de sondador multi-transdutor [Artilheiro, 2006].

3.2.1.4.3 Sondadores multi-feixe

O sistema multi-feixe faz um varrimento do fundo através da transmissão de um impulso em forma de leque (com grande abertura transversal e pequena abertura longitudinal). Durante a receção são formados feixes com grande abertura longitudinal e pequena abertura transversal. A interseção dos dois feixes (transmitido e refletido) corresponde a uma célula insonificada, sendo a profundidade lida atribuída ao centro dessa célula. A vantagem deste sistema reside no facto de efetuar uma cobertura total do fundo

marinho e desta forma detetar relevos e anomalias que um sistema sondador feixe simples dificilmente detetaria [OHI, 2012].

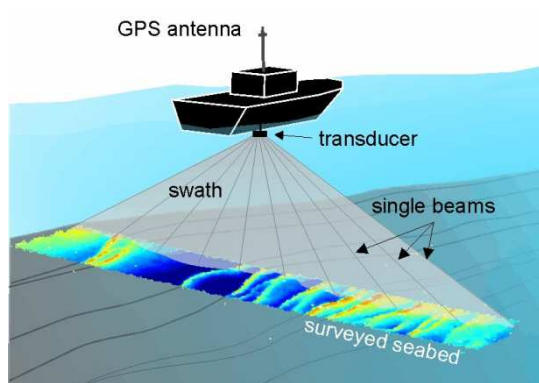


Figura 20 - Esquema de sonda multi-feixe, retirado de <http://www.marum.de/Method.html>.

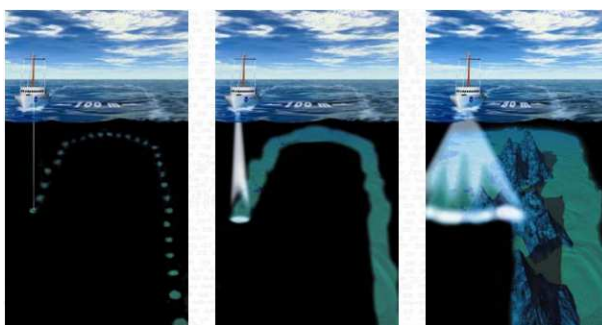


Figura 21 - Coberturas dos fundos através de prumo hidrográfico, feixe simples e multi-feixe [Antunes, 2009].

3.2.1.5 Preparação da sondagem

A preparação da sondagem é a última fase do planeamento do LH. Esta consiste em apetrechar a plataforma de sondagem, estabelecer as estações de apoio ao posicionamento em terra (caso seja necessário) e efetuar a leitura e registo das marés [Antunes, 2009].

O apetrechamento da plataforma de sondagem consiste na instalação de todos os equipamentos necessários para a realização da sondagem, nomeadamente a sonda, o transdutor e o recetor GNSS (caso se tenha escolhido este equipamento de posicionamento de sondas). Geralmente, o transdutor é instalado o mais longe possível das fontes de ruído próprias da plataforma e mergulhado o mais fundo possível para evitar o ruído proveniente da agitação marítima e ficar sempre submerso mesmo em condições de mar adversas. A antena de posicionamento é na maior parte dos casos instalada na vertical do transdutor [OHI, 2012].

Caso contrário, deverá ser determinada a sua excentricidade considerá-la no processamento do LH.

Em equipamentos mais recentes, nesta fase é também feita a ligação de todos estes equipamentos a um computador munido de software vocacionado para o efeito. O estabelecimento das estações de apoio ao posicionamento é feito caso se pretenda utilizar o método de cruzamento por visadas diretas para cálculo da posição de sondas ou caso se utilize um método de observação por GNSS que implique a instalação de uma estação estacionária. O registo de leitura de marés deverá ser feito no intervalo de tempo compreendido entre os quinze minutos antes da sondagem e os quinze minutos após a sondagem. Nesta fase deverá também ser medida a imersão do transdutor.

3.2.2 Execução dos LH

A primeira fase da execução do LH é a calibração do transdutor. Esta consiste no ajustamento do equipamento para a medição correta da profundidade (através do ajuste da velocidade de propagação do som na água) e pode ser efetuada de três maneiras: *bar-check*, transdutor de calibração e *Sound Velocity Profiler* (SVP) [OHI, 2012].

O *bar-check* consiste em mergulhar uma chapa refletora a várias profundidades por baixo do transdutor e registar o erro de medição de cada profundidade. Este erro pode ser imediatamente corrigido, forçando o sondador a registar a profundidade correta atuando no parâmetro de velocidade de propagação do som na água, ou durante o processamento dos dados. No primeiro caso, o valor adotado para a calibração deve corresponder à média das observações [OHI, 2012].

O transdutor de calibração destina-se à calibração dos sondadores acústicos, tendo por base o conhecimento do comprimento exato do percurso efetuado pelos impulsos acústicos no equipamento. O processo de calibração consiste em registar o valor correto do percurso dos impulsos acústicos, em ambos os sentidos, no interior do equipamento, por ajuste do parâmetro da velocidade de propagação do som na água. O transdutor de calibração deve ser mergulhado a várias profundidades e, em cada profundidade, efetuado este ajustamento. Devido ao tipo de validação efetuada, cada medição é válida apenas para a profundidade correspondente. O valor adotado para a calibração deve corresponder à média de todas as observações [OHI, 2012].

O SVP consiste na determinação da velocidade de propagação do som na água ao longo da coluna de água. O valor adotado para a calibração deve corresponder à média das medições efetuadas pelo SVP a várias profundidades [OHI, 2012].

Durante a execução do LH, a embarcação percorre as fiadas planeadas e vão sendo recolhidos em simultâneo dados do posicionamento, dados das profundidades e valores da leitura de marés. Quando os equipamentos estão ligados a um computador com software vocacionado para LH, os dados são simultaneamente registados em formato digital. Estes softwares permitem a visualização em tempo real de todos os dados provenientes das diferentes fontes, do fundo que está a ser sondado, da fiada que está a ser percorrida e o seu afastamento (através de um indicador denominado *left-right indicator*).

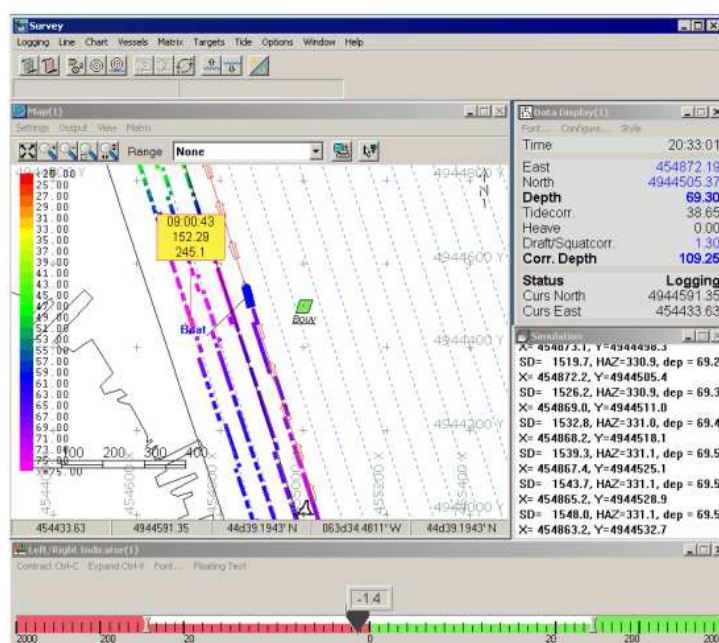


Figura 22 - Janela de trabalho do software de aquisição de dados Hypack [Hypack, 2012].

3.2.3 Processamento de dados recolhidos em campo

O processamento dos dados recolhidos em campo consiste no cálculo correto das posições e profundidades das sondas e na sua implantação gráfica.

3.2.3.1 Cálculo das posições das sondas

No caso em que se utilizou o sextante durante a execução do LH, para cada sonda foram observados os dois ângulos horizontais e os três ângulos verticais entre os três sinais hidrográficos escolhidos, sendo um deles comum aos dois ângulos.

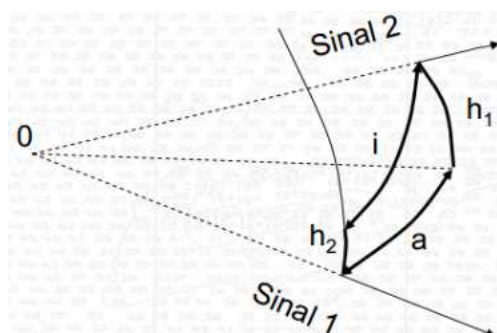


Figura 23 - Observação e determinação do ângulo horizontal entre dois sinais hidrográficos, o ângulo a corresponde ao ângulo horizontal correto, h_1 e h_2 são as alturas angulares dos sinais acima do horizonte, i é o ângulo inclinado medido pelo sextante e O é local de onde é feita a observação (embarcação) [Antunes, 2009].

Com esta observação fica definida uma linha de posição que corresponde aos lugares geométricos dos pontos que observam o segmento definido pelos dois sinais segundo o ângulo horizontal observado. Esta linha de posição é um segmento capaz desse ângulo horizontal, ou seja, é a circunferência cujo centro se situa na perpendicular do centro do segmento entre os sinais 1 e 2, que passa pelos sinais 1 e 2 e pelo ponto O (onde se situa a embarcação e a partir do qual se fez a observação) e cujo ângulo entre os sinais e o seu centro é igual a duas vezes o ângulo horizontal medido. Assim, se num determinado instante se observar o ângulo horizontal h entre os sinais 1 e 2, a embarcação poderá ocupar qualquer posição sobre essa circunferência.

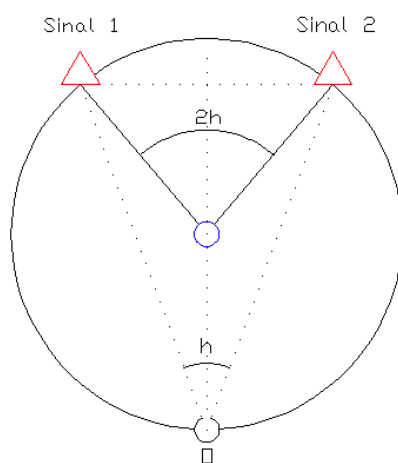


Figura 24 - Segmento capaz do ângulo horizontal h .

A combinação de dois segmentos capazes medidos entre os três sinais fornece a posição da sonda com elevada precisão. Estes dois segmentos capazes cruzam-se no sinal hidrográfico comum e no ponto que define a posição da embarcação.

Caso se tenha optado pelo método do cruzamento por visadas diretas, determinam-se as posições das sondas através da resolução da interseção direta.

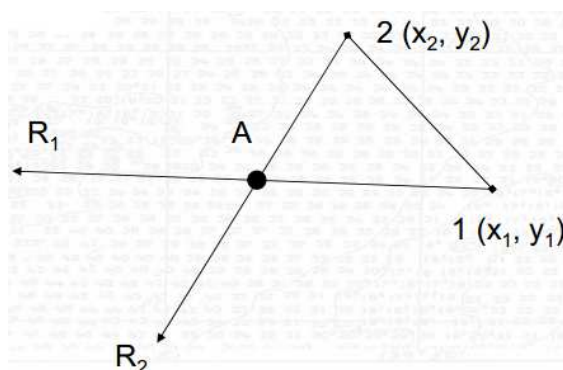


Figura 28 - Esquema do cruzamento por visadas direta [Antunes, 2009].

Neste caso, a posição de cada sonda é dada por

$$x_A = x_1 + \Delta x_1 \quad (3.2)$$

$$y_A = y_1 + \Delta y_1 \quad (3.3)$$

em que

$$\Delta x_1 = \frac{(x_1 - x_2) \cotg(R_2) - (y_1 - y_2)}{\cotg(R_1) - \cotg(R_2)} \quad (3.4)$$

$$\Delta y_1 = \Delta x_1 \cotg(R_1) \quad (3.5)$$

Caso se tenha utilizado um recetor GNSS, não é necessário fazer qualquer cálculo da posição das sondas, pois este determina as posições em tempo real durante a execução do LH.

3.2.3.2 Cálculo das profundidades (sondadores feixe simples)

No caso de aquisição analógica, inicialmente é desenhada uma linha no ecograma que corresponde ao fundo. Em seguida, são seleccionadas as sondas entre posições de controlo (posições com coordenadas dos foras).

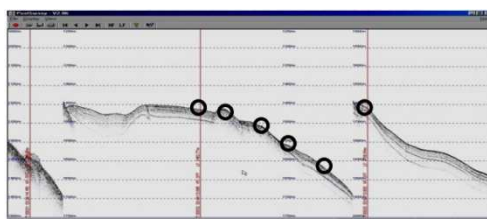


Figura 29 - Seleção de sondas entre posições de controlo [Antunes, 2009].

A integração da planimetria com as profundidades é feita durante a digitalização das sondas. O valor da posição de controlo do ecograma fica associado ao valor da posição de controlo do posicionamento.

No caso de aquisição digital, são eliminadas falhas de digitalização (“zeros”) e o registo do fundo pode ser suavizado por meios informáticos.

Qualquer que seja o modo de aquisição, existem duas correções a efetuar nas leituras das profundidades: a imersão do transdutor e a correção do efeito de maré.

Para corrigir o efeito da imersão do transdutor, soma-se este valor aos valores das sondas recolhidas em campo.

Quando a leitura da maré é feita utilizando um marégrafo, este dá-nos o valor real da maré em vários instantes. Quando a leitura da maré é feita recorrendo a uma régua graduada ou a uma fita, o que realmente se mede no campo é a distância entre o ponto de cota conhecida e a partir do qual se está a fazer a medição e o início da coluna de água.

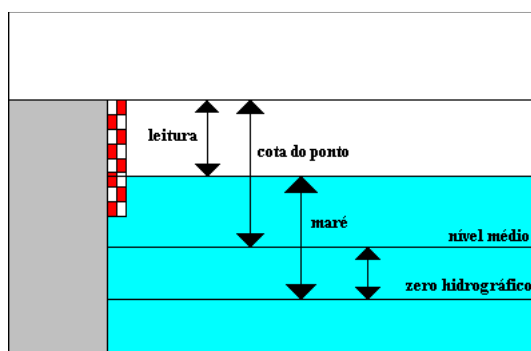


Figura 30 - Leitura do valor da maré com recurso a uma régua graduada.

Neste caso, a altura da maré será dada por

$$\text{maré} = \text{cota do ponto} + \text{zero hidrográfico} - \text{leitura} \quad (3.6)$$

Por fim, a sonda reduzida (valor da profundidade em relação ao ZH) é dada por:

$$\text{sonda reduzida} = \text{sonda lida} + \text{imersão transdutor} - \text{maré} \quad (3.7)$$

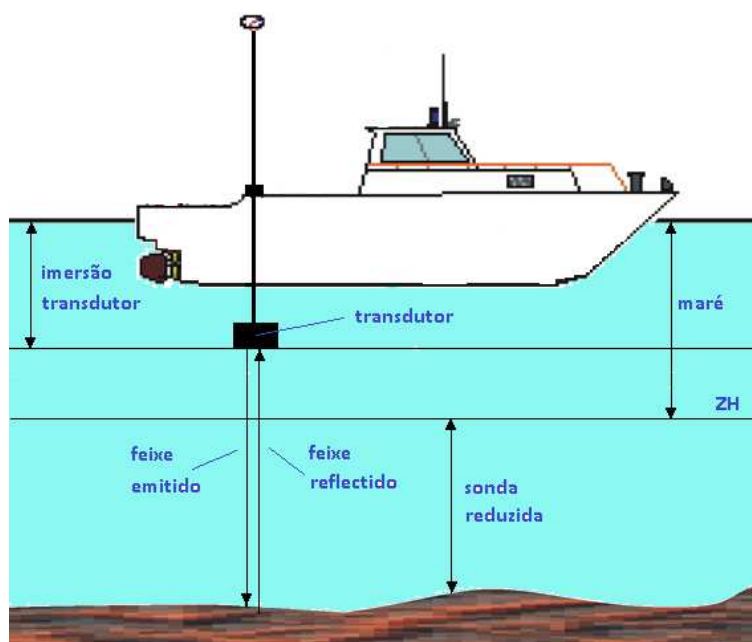


Figura 31 - Representação dos parâmetros necessários ao cálculo da sonda reduzida.

Na aquisição digital, a cada registo é associado um par posição/profundidade [Antunes, 2009].

3.2.4 Produtos finais resultantes dos LH

Os produtos finais resultantes dos LH são essencialmente: implantações gráficas, ficheiros de texto com coordenadas de pontos, modelos digitais do terreno, cálculos de volumes e desenho de perfis.

As implantações gráficas apresentam as fiadas (posicionamento) e as sondas, e respetiva legenda. Além disso, fornecem uma quadrícula (que depende da escala do LH) que facilita qualquer medição que se pretenda fazer sobre a carta.

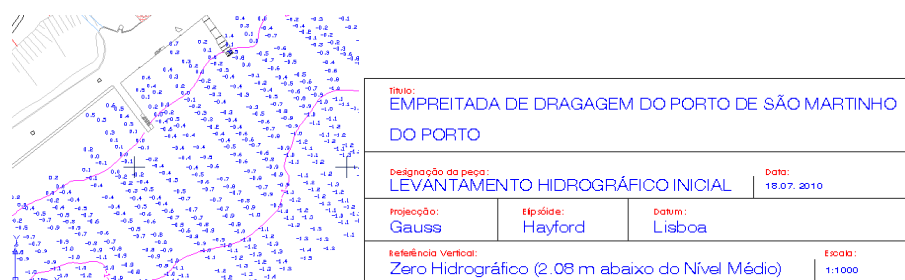



Figura 32 – À esquerda, implantação gráfica de um LH; à direita, legenda de uma implantação gráfica.

Outros produtos finais são ficheiros ASCII com as coordenadas dos pontos levantados.



Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
-84168.044		-103349.447		-8.005
-84171.455		-103347.841		-7.895
-84175.485		-103346.077		-7.875
-84178.213		-103344.704		-7.895
-84181.408		-103343.02		-7.845
-84184.092		-103341.604		-7.795
-84195.868		-103336.433		-7.546
-84199.165		-103334.882		-7.546
-84202.611		-103333.267		-7.556
-84207.179		-103331.103		-7.476
-84210.545		-103329.613		-8.316
-84213.399		-103328.2		-9.176
-84216.191		-103326.927		-9.156

Figura 33 - Ficheiro de pontos (ou lista de sondas).

Sabendo as coordenadas tridimensionais dos pontos, é possível criar-se modelos digitais do fundo sondado. O objetivo destes modelos é ter uma melhor perceção do fundo. Estes modelos também podem ser utilizados para cálculo de volumes, fazendo a diferença entre o modelo digital criado e uma superfície pré definida.

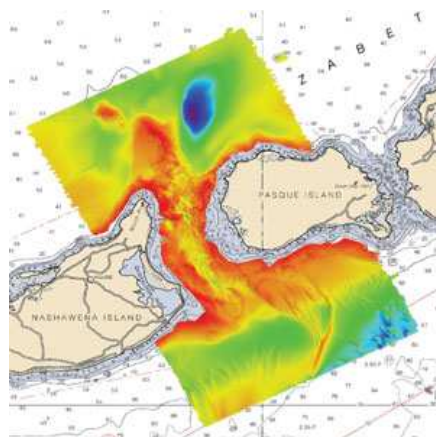


Figura 34 - Modelo digital do fundo, retirado de http://www.nauticalcharts.noaa.gov/csdl/learn_hydroequip.html.

Por fim, outro importante produto final é o desenho de perfis transversais que consiste na representação gráfica de várias secções ao longo das áreas cobertas pela sondagem. Estes perfis permitem, não só uma visualização mais detalhada da distribuição espacial dos sedimentos do fundo, como também são a base do cálculo de volumes em projetos de dragagens.

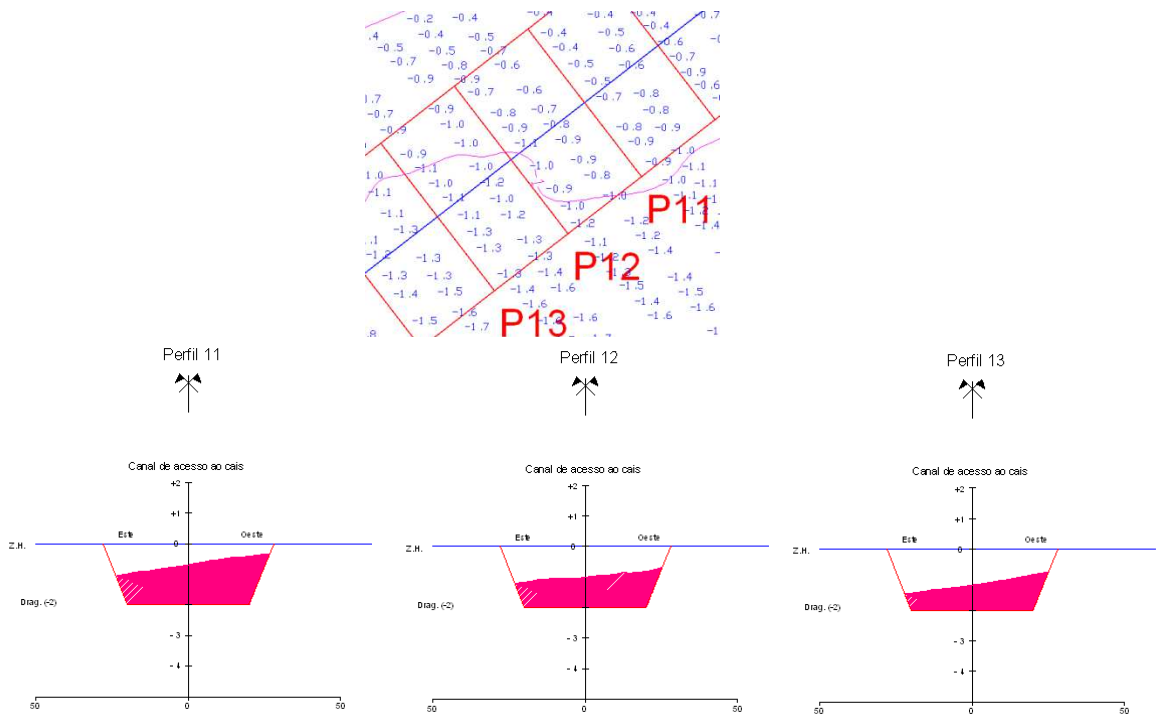


Figura 35 - Em cima, limite de uma zona de dragagem e perfis; em baixo, perfis transversais para cálculo de volumes.

Capítulo IV - Sistemas de Informação Geográfica

4.1 Introdução

Os SIG têm sido objeto de variadas definições ao longo dos anos (Aronoff em 1989, Maguire em 1991, DeMers em 1997, Zeiller em 1999, Matos em 2001, etc.) e nenhuma é completamente satisfatória. Os SIG são extremamente difíceis de definir pois dependem do âmbito da utilização e da especificidade do utilizador.

A definição de SIG mais adotada é aquela proposta por Cowen em 1991 que define um SIG como sendo um sistema constituído por *hardware*, *software* e procedimentos concebidos para apoiar a recolha, gestão, análise, modelação e visualização de dados georreferenciáveis para resolver problemas de planeamento e de gestão que envolvam a realização de operações espaciais.

A importância dos SIG deve-se essencialmente à sua grande capacidade de analisar e integrar grandes volumes de dados num mesmo sistema e o seu tratamento conjunto. Esta integração tornou-se possível com a junção de várias disciplinas tais como a Geografia, Cartografia, Fotogrametria, Detecção Remota, Geodesia, Engenharia Civil, Matemática, Estatística, Informática. Como tal, os SIG apresentam um vasto leque de áreas de aplicação entre as quais o Ambiente, as Geociências, a Geografia, a Demografia, a Saúde e Emergência Médica.

Entre as muitas vantagens da utilização de um SIG destacam-se as seguintes:

- Capacidade de associar à informação espacial informação alfanumérica permitindo as mais variadas análises sobre a mesma;
- Menor redundância nos dados;
- Maior precisão na informação;
- Melhor coordenação interdisciplinar;
- Maior flexibilidade nas BD;
- Maior capacidade de armazenamento;
- Melhor capacidade de partilha de informação;
- Capacidade de atualização automática da informação e de automatização de tarefas [Wright et al, 2007].

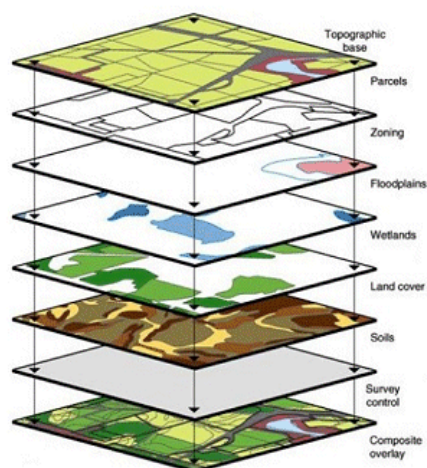


Figura 36 - Esquema de diferentes temas integrados num SIG, retirado de <http://gis.townofchapelhill.org/>.

A grande desvantagem de um SIG é o elevado investimento inicial a que a sua implementação obriga. No entanto, os benefícios desta são tão elevados que fazem com que este investimento tenha, na maioria dos casos, um retorno positivo. Atualmente, o investimento inicial pode ser diminuído através da sua implementação com software livre.

4.2 Breve história dos SIG

O primeiro trabalho realizado no âmbito dos SIG foi levado a efeito pelo físico inglês John Snow em 1884. Nesse mesmo trabalho, através de um mapa de Londres com os óbitos provocados por uma epidemia de cólera, e com a localização de poços de água, Snow conseguiu descobrir a fonte do surto da doença [Wikipedia].

Os primeiros SIG surgiram no início da década de 60, após o aparecimento dos primeiros computadores. O primeiro SIG foi desenvolvido no Canadá em 1962 e foi denominado de CGIS (*Canada Geographic Information System*). Este surgiu com o objectivo de criar o inventário das terras no âmbito nacional, envolvendo aspectos ambientais e económicos. Nesta década foram também desenvolvidos dois programas (SYMAP e ODISSEY) que mais tarde deram origem aos sistemas *raster* e *vectorial* [Matos, 2001].

Na década de 70, surgiram os primeiros pacotes de SIG comerciais (que sofreram um rápido crescimento na década de 80) e o termo “Sistema de Informação Geográfico” teria sido utilizado pela primeira vez.

Foi apenas na década de 90, após uma grande evolução tanto a nível de performance dos computadores como a nível das técnicas de aquisição de dados, nomeadamente com os

programas de Detecção Remota LANDSAT e SPOT e com o GPS, que se deu a grande expansão dos SIG [Matos, 2001].

4.3 Estruturas de dados em Sistemas de Informação Geográfica

Dado geográfico é um dado ou fenómeno ao qual está associada uma dimensão espacial relacionada com uma localização na superfície da Terra, num determinado instante ou período de tempo. O objetivo primordial dos SIG é cruzar dados geográficos com dados alfanuméricos. Através desse cruzamento de dados é possível executar-se um número ilimitado de análises [Ferreira, 2006].

Os dados geográficos possuem quatro características fundamentais:

- Característica espacial que corresponde à posição geográfica e à geometria do elemento representado;
- Característica não espacial que corresponde à descrição alfanumérica do elemento representado;
- Característica temporal que corresponde ao seu tempo de validade ou às suas variações no tempo;
- Documentação ou metadados que pode conter um grande conjunto de informações úteis para a sua correta utilização, nomeadamente a sua precisão, origem e descrição [Ferreira, 2006].

A estrutura espacial dos dados geográficos pode ser armazenada e representada em estrutura matricial (ou *raster*) ou vetorial [Catita, 2007].

4.3.1 Estrutura vetorial

Na estrutura vetorial, a localização e aparência gráfica do dado que se pretende reproduzir são representadas através de um ou mais pares de coordenadas. Estes elementos são também caracterizados por atributos descritivos. Para representar os dados geográficos, utilizam-se três formas espaciais: pontos, linhas e polígonos [Ferreira, 2006].

Os pontos correspondem a pares ordenados (x,y) de coordenadas espaciais e representam fenómenos com características pontuais (por exemplo: localização de estruturas e equipamentos tais como postes da rede elétrica, sinais de trânsito) [Ferreira, 2006].

As linhas são conjuntos de pontos ligados sendo que o primeiro e o último ponto são denominados nós [Ferreira, 2006]. Exemplos do mundo real representados nesta estrutura são as linhas de distribuição elétrica, canos de água, esgoto e gás.

Os polígonos são regiões limitadas por uma ou mais linhas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima [Ferreira, 2006]. Exemplos de elementos representados por polígonos são as áreas administrativas em Portugal.

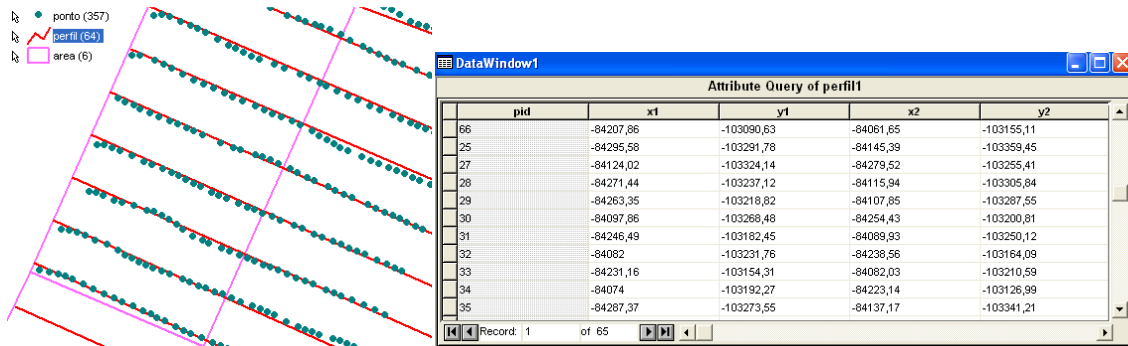


Figura 37 - À esquerda, exemplo de dados no formato vetorial; à direita, tabela de atributos dos elementos do tipo ponto representados à esquerda.

São inúmeras as análises que se podem efetuar com esta estrutura de dados. Estas podem ser aplicadas aos atributos, aos objetos espaciais ou a ambos simultaneamente. Em análise vetorial podem ser usadas essencialmente as seguintes funções: seleção (por atributos, por relações topológicas, sobreposição, classificação, álgebra de mapas e junção espacial), proximidade e medição. Os seguintes exemplos foram retirados de *ESRI ArcGIS Desktop Help* [2009] e Catita [2007].

A seleção por atributos permite criar um novo tema com os elementos que preenchem os requisitos identificados numa expressão SQL (*Structured Query Language*).

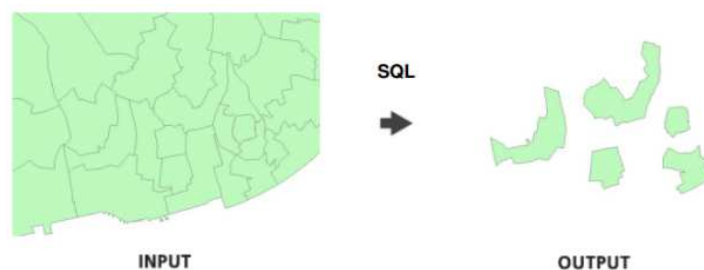


Figura 38 - Seleção por atributos [ESRI, 2009].

A seleção por relações topológicas permite selecionar entidades de determinado tema com base na sua localização em relação a outras entidades.

As operações de sobreposição traduzem-se pelo processo de comparação de entidades gráficas em dois ou mais temas de informação. A sobreposição pode realizar-se com o auxílio de operadores aritméticos e lógicos. Como resultado, obtém-se um novo tema de informação cujas entidades estão associadas a novos atributos que são resultado duma função aplicada a cada uma das variáveis independentes que constituem os temas originais de informação [Catita, 2007]. Exemplos de operações de sobreposição são a união, a interseção e o corte. A função de união pode ser utilizada quando se pretende sobrepor dois temas e manter os atributos e geometria originais. A função de interseção sobrepõe dois temas e mantém os atributos mas somente na zona de sobreposição. A operação de corte tem como argumento um ou mais polígonos cuja forma define a zona a apagar do tema objeto da operação.

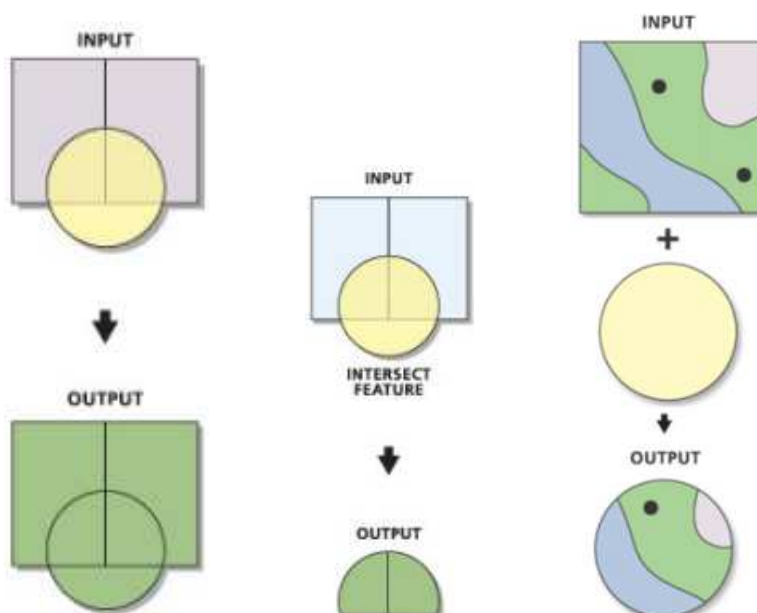


Figura 39 - À esquerda, união; ao centro, interseção; à direita, corte [ESRI, 2009].

A classificação consiste na agregação de uma série de entidades espaciais que pertencem a um mesmo grupo, de acordo com um dado critério de seleção.

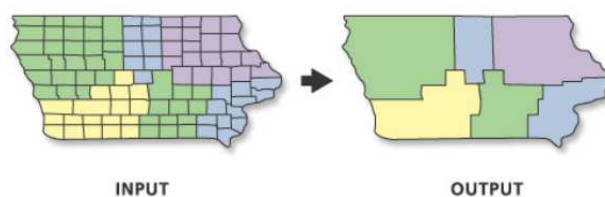


Figura 40 - Classificação [ESRI, 2009].

A álgebra de mapas emprega operadores e funções matemáticas em expressões envolvendo mapas ou imagens.

A junção espacial consiste na junção de atributos provenientes de um tema para outro baseado na sua relação espacial.

A operação de zonamento (ou *buffer*) define faixas de interesse em torno de elementos geográficos (geram-se polígonos em torno da entidade com espessuras fixas ou variáveis em função de determinado atributo - *spread*) e é utilizada para definir áreas de influência com base em determinadas condições iniciais de vizinhança [Catita, 2007].

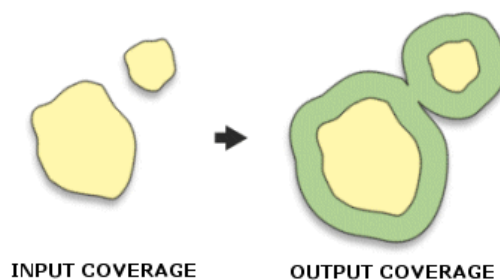


Figura 41 - Buffer [ESRI, 2009]

As operações de medição sobre a geometria são: determinação dos centros geométricos de polígonos, cálculos de distâncias euclidianas e cálculos de áreas e perímetros. Sobre os atributos, podem ser efetuadas quaisquer operações de cálculo, nomeadamente funções estatísticas.

4.3.2 Estrutura matricial

Na estrutura matricial, o espaço é representado como uma matriz P (m , n) bidimensional composta por m linhas e n colunas, onde cada célula (elemento da matriz) possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo representado e é individualmente acedida pelas suas coordenadas [Ferreira, 2006]. No fundo, corresponde a imagens (ou mapas) em que cada elemento é um pixel. O princípio de armazenamento destes dados é muito simples, basta que o arquivo tenha um cabeçalho contendo informações sobre as coordenadas (x , y) do canto superior direito da imagem, o tamanho da célula em x e em y , o número de linhas e de colunas da matriz e por fim todos os valores da matriz. Este tipo de estrutura é mais indicada para representar fenómenos com características contínuas. Exemplos de fenómenos que podem ser representados utilizando esta estrutura são a altitude e a temperatura numa determinada região.

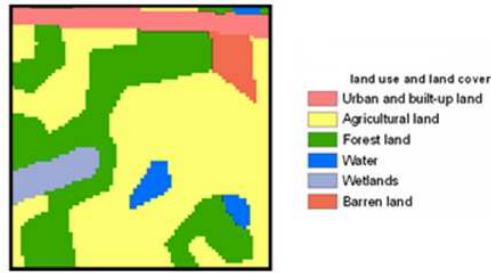


Figura 42 - Exemplo de estrutura matricial representando o uso do solo, adaptado de <http://pubs.usgs.gov/ds/2006/240/>.

Tal como a estrutura vetorial, a estrutura matricial permite efetuar inúmeras análises. A base destas é a álgebra de mapas, que consiste na utilização de operadores aritméticos, booleanos, relacionais ou lógicos, sobre um ou mais mapas com o intuito de se produzir um novo mapa. Para tal, os mapas utilizados têm de ser estruturalmente equivalentes, ou seja, possuir o mesmo número de elementos, com as mesmas dimensões e representarem fenómenos do mesmo lugar geográfico. O seu domínio de atuação pode ser local, focal, global ou zonal [Catita, 2007].

Quando o domínio é local, a função atua em cada pixel individualmente, independentemente do valor dos pixels vizinhos. Exemplos de operações cujo domínio é local são a reclassificação e o *overlay*. A reclassificação consiste em atribuir novos valores aos pixels que respeitem determinadas condições ou em apenas reatribuir novos valores. O *overlay* consiste na combinação dos pixels de dois ou mais mapas através de operadores aritméticos ou booleanos de forma a produzir um novo mapa [Catita, 2007].

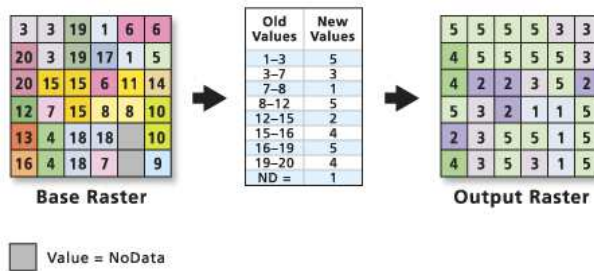


Figura 43 - Reclassificação [ESRI, 2009].

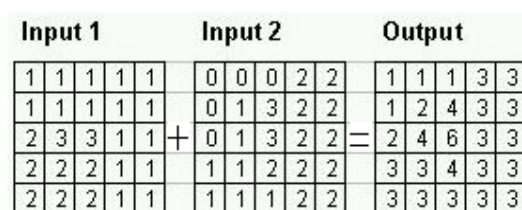


Figura 44 - *Overlay*, adaptado de <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/sect46.asp>.

Quando o domínio é focal, é produzido um novo mapa em que cada pixel é resultado de uma função aplicada ao pixel corresponde e aos pixels vizinhos. Exemplos de funções cujo domínio é focal são os filtros espaciais e o cálculo de declives a partir de um mapa de altitude. A aplicação de filtros espaciais tem como objetivo a suavização e o melhoramento de contornos na imagem original [Catita, 2007].

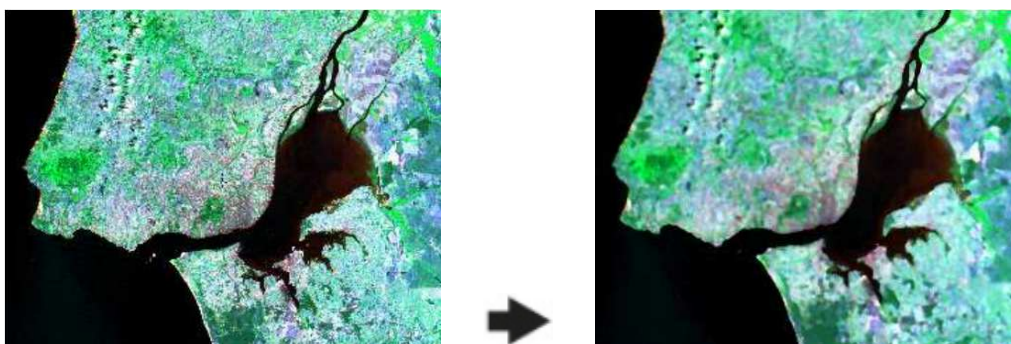


Figura 45 - Aplicação de um filtro espacial.

Quando o domínio é global, o valor de cada pixel resulta dos valores de todos os pixels dos mapas de entrada. Exemplos de funções cujo domínio é global são as funções de *spread* (funções que, por cada local onde passam, acumulam os valores dos pixels por onde já passaram).

Nas operações zonais é aplicada uma determinada função sobre grupos de pixels com o mesmo valor. As mais comuns neste domínio de atuação são as funções estatísticas e as funções geométricas.

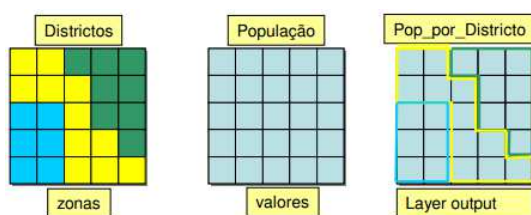


Figura 46 - Operação com domínio de atuação global [Catita, 2007].

4.4 Projetos em Sistemas de Informação Geográfica

O desenvolvimento de projetos SIG passa por diferentes etapas. São geralmente projetos longos e que requerem recursos humanos especializados. Antes de se implementar um sistema destes, devem ser respondidas as seguintes questões centrais:

- Qual a sua missão, visão e objetivo geral?
- Qual a estratégia, metodologia e objetivos a atingir?

- Como se implementa, monitoriza, avalia e mantém?
- Quais as experiências, sucessos e melhores práticas no terreno [Cosme, 2012]?

Os projetos mal sucedidos falham muitas vezes devido aos seguintes factos: definição inadequada ou pouco precisa de requisitos, escolha incorreta de fornecedores/soluções; tempo de realização irrealista ou não definido e subestimação dos custos/investimentos envolvidos.

Um projeto SIG bem sucedido deverá então ter as seguintes etapas:

- Definição do problema: definição das necessidades da instituição para a qual está a ser desenvolvido o sistema, isto é, que dados pretende integrar, que análises pretende efetuar, que respostas pretende obter;
- Aquisição de software e equipamentos: deverá ser adequado ao volume de informação a integrar e aos objetivos do projeto;
- Aquisição dos dados necessários ao sistema, quer dados internos à organização quer externos;
- Recursos humanos: definição das equipas de trabalho;
- Construção e/ou adaptação de ferramentas SIG destinadas a tarefas específicas da instituição tais como: processamento de dados, análises, apresentação e distribuição de resultados;
- Desenho dos modelos conceptuais das bases de dados de suporte ao SIG e respetiva construção e carregamento;
- Teste, monitorização, manutenção e correção do sistema implementado [Ferreira, 2006 e Cosme, 2012].

Capítulo V – Modelação da Base de Dados Geográficos

5.1 Introdução

Desde o início dos tempos que o homem sente a necessidade de registar informação. Ao longo dos anos foram desenvolvidas inúmeras técnicas, desde as pinturas pré-históricas até ao papel, passando pelas inscrições hieroglíficas, papiro e a escrita cuneiforme [Pereira, 2004]. No final da década de 40, os sistemas de informação nas organizações baseavam-se em técnicas de arquivo e recuperação à custa de grandes arquivos. Geralmente existia a figura do "arquivador", que era a pessoa responsável por organizar os dados, registá-los, catalogá-los e recuperá-los quando fosse necessário. Este método, apesar de simples, exigia um grande esforço para manter os dados atualizados e para os recuperar. A informação em papel também não possibilitava o cruzamento e análise dos dados de forma eficiente. Somente com a evolução dos computadores, nomeadamente com o aparecimento dos microprocessadores na década de 60, que surgiram novas técnicas de armazenamento de dados [Wikipedia]. Atualmente as BD são o componente central dos Sistemas de Informação, tanto do ponto de vista de projeto como do ponto de vista operacional.

Uma BD é um conjunto integrado de dados e/ou elementos de informação, relacionados entre si, que podem ser partilhados e utilizados concorrentemente por múltiplos utilizadores e/ou programas, para múltiplos objetivos, e com diferentes perspectivas. As vantagens no uso desta tecnologia são as seguintes: independência física, isto é, os programas são independentes da estrutura física e localização da informação a que acedem, e quaisquer alterações na estrutura física dos dados (armazenamento) ou na sua localização geográfica ou na sua estrutura de distribuição, não implica a alteração nos programas; independência lógica, isto é, os programas são independentes da estrutura lógica e das restrições de integridade da informação e, portanto alterações na estrutura lógica da BD não implicam alterações nos programas; diminuição da redundância de dados e partilha de dados [Couto, 2008].

As BD são criadas e manipuladas por programas designados por Sistemas de Gestão de Bases de Dados (SGBD). Os SGBD baseiam-se num modelo lógico de dados e gerem a sua integridade, o seu acesso e a sua manipulação (atualização, inserção e extinção) assegurando um bom desempenho. Alguns exemplos de SGBD são *ORACLE*, *Informix*,

Adabas, Microsoft SQL Server, MySQL e Microsoft Access. Os primeiros têm mais capacidade, são mais fiáveis e são vocacionados para empresas com grandes volumes de dados, provenientes de várias fontes. Os últimos são mais adequados para uso doméstico, para pequenas empresas ou para um volume de dados pequeno e proveniente de poucas fontes [Jorge et al, 2012].

A instalação e configuração de um SGBD engloba as seguintes fases:

- Análise dos requisitos organizacionais;
- Definição de um modelo concetual que represente os requisitos organizacionais;
- Passagem do modelo concetual para os modelos lógico e físico;
- Implementação do sistema no ambiente real.

A análise dos requisitos consiste em identificar e descrever os dados e processos pretendidos pela organização. Durante a definição do modelo concetual são sintetizadas num modelo global as diferentes necessidades dos vários tipos de utilizadores e são descritas as entidades, os atributos e as associações. A seguir, o modelo concetual é transformado num modelo lógico que é função do SGBD que se pretende instalar. Por fim, o sistema é implementado no ambiente real, através da criação das tabelas, das vistas, das permissões e do carregamento dos dados para as BD [Couto, 2008].

Existem cinco modelos de SGBD, que se distinguem pelo modelo lógico das bases de dados que integram. Os modelos de BD classificam-se em hierárquicos, de rede, relacionais e por objetos [Wikipedia].

No modelo hierárquico os dados são classificados hierarquicamente, de acordo com uma arborescência descendente e são utilizados apontadores entre os diferentes registos.

No modelo de rede são utilizados apontadores para os registos sendo que a estrutura já não é necessariamente arborescente no sentido descendente.

No modelo relacional, os dados são representados na forma de tabelas que se relacionam entre si através de atributos comuns.

Por fim, nos modelos por objetos os dados são armazenados sob a forma de objectos.

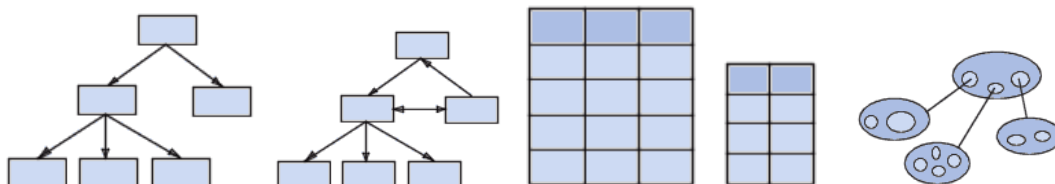


Figura 47 - Da esquerda para a direita, modelos de bases de dados hierárquico, de rede, relacional e orientado por objetos, retirado de <http://pt.kioskea.net/contents/bdd/bddtypes.php3>.

5.2 Dados cedidos pela APL

A APL encontra-se de momento a implementar um SIG na Direção de Informação Geográfica e Ambiente. Até à data, então a ser integrados neste sistema dados do Cadastro Portuário. Para a implementação deste sistema, a APL adquiriu uma licença do software GP comercializado pela *Intergraph*.

No início do projeto, teve lugar uma reunião com a Direção de Informação Geográfica e Ambiente da APL onde foram fixadas as metas de um projeto de SIG de apoio à gestão dos projetos de dragagem.

A APL forneceu ficheiros ASCII com as coordenadas de pontos provenientes de LH executados com recurso a sondadores feixe simples. As coordenadas dos pontos resultantes das fiadas de cobertura e de verificação encontram-se em ficheiros ASCII distintos. Estes dados estão organizados em pastas, cada uma contendo dados dos LH em cada zona de concessão, e, dentro de cada uma destas, por ano de aquisição. As áreas de concessão são as seguintes: Beato e Poço do Bispo, Doca do Poço do Bispo, Silopor, Terminal Multiusos do Beato, Terminal Multiusos do Poço do Bispo e a zona compreendida entre o Terminal Multiusos do Beato e a Silopor. Para cada uma destas concessões, foram disponibilizados os dados dos LH realizados entre 2004 e 2008. Foram também fornecidos os limites das áreas de dragagem nestas concessões.

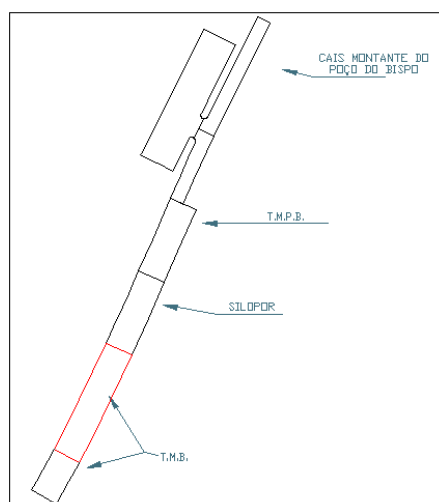


Figura 48 - Limites das zonas de dragagem.

5.3 Modelo concetual da base de dados

Após análise tanto das necessidades da APL como dos dados fornecidos, a primeira etapa na realização deste trabalho consistiu na modelação concetual de uma BD. Esta BD teve como propósito o armazenamento dos dados provenientes dos LH levados a cabo pela APL e cujos dados foram fornecidos.

Começou-se por desenhar um diagrama entidade associação representativo dos dados. Um diagrama entidade associação é um modelo diagramático que descreve um modelo de dados de um sistema com alto nível de abstração [Wikipedia]. Este diagrama tem como objetivo modelar de forma lógica uma estrutura de armazenamento de dados, definindo:

- As entidades: representam a realidade que se pretende modelar e identificam os elementos do mundo real que se está a analisar;
- Os atributos: representam os dados das entidades, ou seja, as suas características;
- As associações: representam as relações entre as diferentes entidades;
- As multiplicidades: indicam, dada uma instância de uma entidade, o número de instâncias da outra entidade com que ela se relaciona;
- As participações: especificam se é obrigatório ou não que todas as instâncias estejam relacionadas a pelo menos uma instância da outra entidade;
- As entidades fracas: correspondem a entidades que dependem de outras entidades;
- As agregações: derivam de um conjunto de associações e dos seus argumentos.

As representações gráficas dos conceitos definidos anteriormente encontram-se exemplificadas nas Figuras 49, 50 e 51.

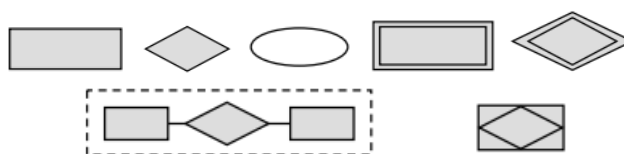


Figura 49 - Em cima (da esquerda para a direita), representação gráfica das entidades, associações, atributos, entidades fracas e associações fracas; em baixo, duas representações gráficas de uma agregação [Couto, 2008].

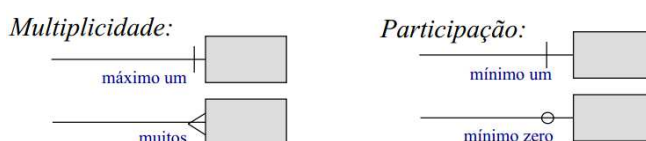


Figura 50 - Representação gráfica das multiplicidades e das participações [Couto, 2008].

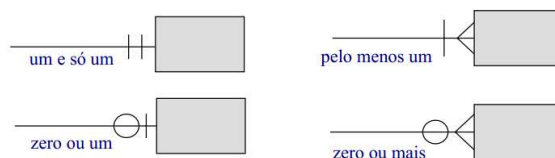


Figura 51 - Representação gráfica das multiplicidades e das participações [Couto, 2008].

Nesta modelação foram identificadas as seguintes entidades: **Concessão**, **Fiada**, **Levantamento** e **Ponto**. Estas entidades (em negrito) apresentam os seguintes atributos (em itálico):

- **Concessão**: *cid, designação, cota_dragagem, área e concessãoGeometry*;
- **Fiada**: *fid, x1, y1, x2, y2, comprimento, tipof e fiadaGeometry*;
- **Ponto**: *pid, x, y, z, tolerância, distancia_perfil e pontoGeometry*;
- **Levantamento**: *lid, lev_projeto, lev_zero, lev_intermedio, lev_posdragagem, lev_manutenção, tipo, embarcação, operador, sonda, recetor, software, frequência e tolerância*.
- **Data**: *data_id, dia, mês e ano*.

Cada **Concessão** representa uma área de dragagem, com uma determinada designação, área e cota de dragagem. O atributo *concessãoGeometry* é o atributo onde é guardada a informação relativa à geometria (do tipo polígono) da **Concessão** no GP. Ou seja, é o atributo espacial de cada **Concessão** (corresponde ao limite de uma concessão).

A entidade **Fiada** guarda os dados relativos às fiadas executadas durante os LH e os seus atributos são as coordenadas dos dois pontos que definem a fiada, o seu comprimento e o seu tipo (se é fiada de cobertura ou fiada de verificação). No atributo *perfilGeometry* será guardada a informação relativamente à sua geometria (do tipo linha) no GP.

A entidade **Levantamento** guarda as informações técnicas dos LH. Os atributos *lev_projeto*, *lev_zero*, *lev_intermedio*, *lev_posdragagem* e *lev_manutenção* identificam se o LH em questão foi executado para lançar um projeto de dragagem, se trata de um levantamento zero, se foi executado durante uma dragagem, se trata de um levantamento final ou se trata de um levantamento para verificação da navegabilidade na área de concessão. O atributo *tipo* indica-nos se o LH contém fiadas de cobertura ou fiadas de verificação. O atributo *tolerância* diz respeito à máxima precisão horizontal admitida no LH. Por fim, os atributos *operador*, *embarcação*, *software*, *sonda* e *frequência* dizem respeito aos equipamentos (material e software) e aos recursos humanos utilizados durante a sondagem.

A entidade **Data** corresponde à data de execução do LH. Esta foi identificada como sendo uma entidade fraca para que fosse possível criar-se um histórico de LH.

A cada ponto proveniente dos ficheiros ASCII fornecidos pela APL, está associado uma fiada e um LH. Desta forma, a entidade **Ponto** é o resultado de uma agregação entre a entidade **Fiada** e a entidade **Levantamento**.

Quanto às multiplicidades, as relações são as seguintes:

- Relação de um para muitos (1:N) entre as entidades **Concessão** e **Fiada**. Isto significa que a cada **Concessão** é composta por várias **Fiadas** mas cada **Fiada** pertence a uma e uma só **Concessão**;
- Relação de muitos para muitos (N:N) entre as entidades **Fiada** e **Levantamento**, o que significa que a cada **Levantamento** estão associadas várias **Fiadas** e que cada **Fiada** pode ser executada em **Levantamentos** distintos;
- Relação de 1 para muitos (1:N) entre a agregação e a entidade **Ponto**, pois cada **Ponto** pertence somente a um par **Levantamento/Fiada** mas a cada um destes pares estão associados vários **Pontos**;
- Relação de 1 para muitos (1:N) entre a entidade **Levantamento** e a entidade fraca **Data**, pois cada **Levantamento** tem apenas uma **Data** mas podem ser executados vários **Levantamentos** na mesma **Data**.

As participações são as seguintes:

- No mínimo uma entre as entidades **Concessão** e **Fiada**, pois cada **Concessão** tem de ser coberta pelo menos por uma **Fiada** e cada **Fiada** tem de estar associada pelo menos a uma **Concessão**.
- No mínimo uma entre as entidades **Fiada** e **Levantamento** no que diz respeito ao **Levantamento** pois cada **Levantamento** deverá ter no mínimo uma **Fiada**. No que diz respeito à **Fiada**, a participação é opcional pois uma **Fiada** individualmente pode estar presente na BD sem ter que ser necessariamente executada num **Levantamento**.
- No mínimo uma entre as entidades **Levantamento** e **Data** pois cada **Levantamento** tem que ter obrigatoriamente uma **Data** associada e a cada **Data** presente deverá estar associada um **Levantamento**.
- No mínimo uma entre a agregação e a entidade **Ponto**, pois cada **Ponto** deverá ter no mínimo um par **Fiada/Levantamento** associado e cada par **Fiada/Levantamento** deverá ter no mínimo um **Ponto**.

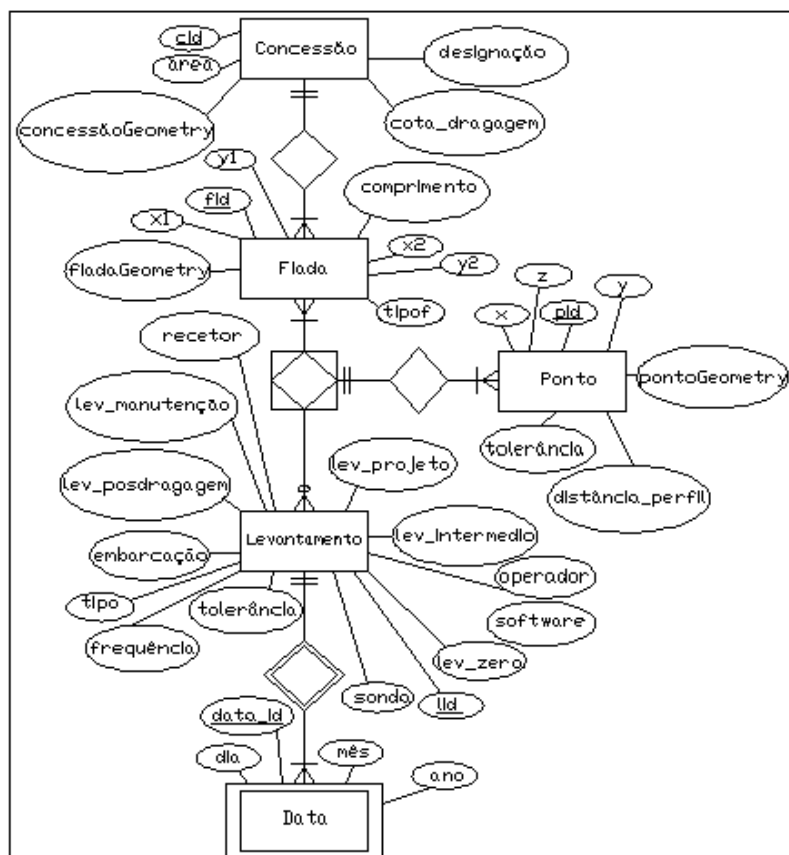


Figura 52 - Modelo Entidade Associação da BD.

5.4 Modelo Relacional da Base de Dados

Após a criação do modelo concetual da BD, foi construído o modelo lógico. Escolheu-se o *Microsoft Access* para SGBD da BD e o modelo de dados escolhido foi o modelo relacional. O *Microsoft Access* foi escolhido para SGBD pelos seguintes motivos:

- A APL dispõe deste sistema instalado nos seus computadores;
- A BD vai ser utilizada por um número restrito de utilizadores e terá um volume de dados relativamente baixo;
- As BD com a extensão criada por este SGBD (extensão mdb) são facilmente acedidas através do GP;
- Apresenta uma interface gráfica acessível a qualquer utilizador não especializado na área de informática.

A partir do modelo concetual criado no subcapítulo anterior, criou-se o seguinte esquema relacional:

- **Concessão** (cid, designação, cota_dragagem, área, concessãoGeometry)
- **Fiada** (fid, x1, y1, x2, y2, comprimento, tipof, fiadaGeometry, Concessão.cid)
- **Levantamento** (lid, data, dia, mês, ano, lev_projeto, lev_zero, lev_intermédio, lev_posdragagem, lev_manutenção, embarcação, operador, sonda, frequência, software, recetor, tipo, tolerância)
- **Ponto** (pid, Fiada_Levantamento.Fiada.fid, Fiada_Levantamento.Levantamento.lid, x, y, z, tolerância, distância_perfil, pontoGeometry)

Partindo deste esquema relacional, a BD contém as tabelas, atributos e as relações representadas na figura 53.

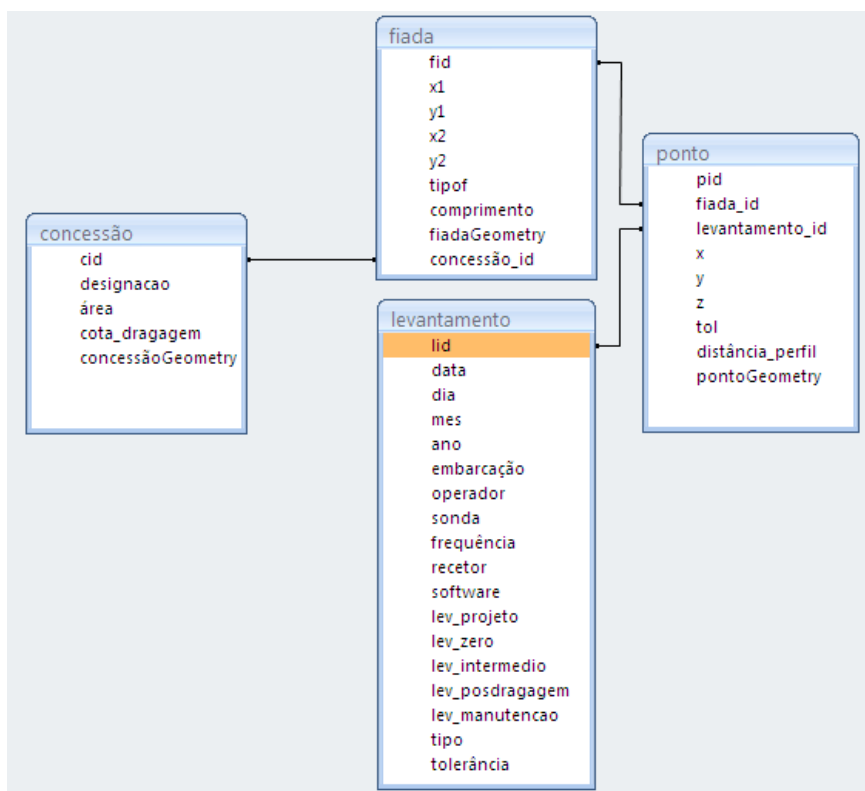


Figura 53 - Estrutura da BD criada.

Os atributos *cid*, *fid*, *lid* e *pid* são as chaves primárias (atributos que identificam unicamente cada entrada na tabela) das tabelas Concessão, Fiada, Levantamento e Ponto respetivamente. Os atributos *concessão_id*, *fiada_id* e *levantamento_id* são chaves estrangeiras, ou seja, são referências às chaves primárias de outras tabelas. Este conceito de chave estrangeira é de extrema importância pois é a partir deste que se é feita a ligação entre as diferentes tabelas, evitando redundância de dados.

O tipo de dados de cada atributo e restrições encontram-se nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela Concessão		
Atributo	Tipo de Dados	Restrições
cid	Número Inteiro	Não Nulo, Chave primária
designação	Texto	Não Nulo
área	Número Decimal	Não Nulo
cota_dragagem	Número Decimal	Não Nulo
concessãoGeometry	Objeto OLE	Não Nulo

Tabela 4 - Estrutura da tabela Concessão.

Tabela Fiada		
Atributo	Tipo de Dados	Restrições
fid	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Primária
x1	Número Decimal	Não Nulo
y1	Número Decimal	Não Nulo
x2	Número Decimal	Não Nulo
y2	Número Decimal	Não Nulo
tipof	Texto	Não Nulo
comprimento	Número Decimal	Não Nulo
fiadaGeometry	Objeto OLE	Não Nulo
concessão_id	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Estrangeira

Tabela 5 - Estrutura da tabela Fiada.

Tabela levantamento		
Atributo	Tipo de Dados	Restrições
lid	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Primária
data	Data	Não Nulo
dia	Número Inteiro	Não Nulo
mês	Número Inteiro	Não Nulo
ano	Número Inteiro	Não Nulo
embarcação	Texto	Sem Restrições
operador	Texto	Sem Restrições
sonda	Texto	Sem Restrições
frequência	Número Decimal	Sem restrições
recetor	Texto	Sem Restrições
software	Texto	Sem Restrições
lev_projeto	Texto	Não Nulo
lev_zero	Texto	Não Nulo
lev_intermedio	Texto	Não Nulo

lev_posdragagem	Texto	Não Nulo
lev_manutenção	Texto	Não Nulo
tipo	Texto	Não Nulo
tolerância	Número Decimal	Não Nulo

Tabela 6 - Estrutura da tabela Levantamento.

Tabela Ponto		
Atributo	Tipo de Dados	Restrições
pid	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Primária
fiada_id	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Estrangeira
levantamento_id	Número Inteiro	Não Nulo, Chave Estrangeira
x	Número Decimal	Não Nulo
y	Número Decimal	Não Nulo
z	Número Decimal	Não Nulo
tol	Número Decimal	Não Nulo
distância_perfil	Número Decimal	Não Nulo
pontoGeometry	Objeto OLE	Não Nulo

Tabela 7 - Estrutura da tabela Ponto.

Capítulo VI – Aplicação para criação e preenchimento da Base de Dados Geográficos

6.1 Tecnologias Envolvidas

A segunda fase deste trabalho consistiu na construção de uma aplicação que permite a criação e o preenchimento da BDG cujo modelo lógico e relacional foi apresentado no capítulo anterior. Os programas utilizados para o desenvolvimento desta aplicação foram: VB6 da *Microsoft Corporation* e a biblioteca de objetos *GeoMedia Objects* do GP.

O VB6 é um pacote para desenvolvimento de aplicações visuais em ambiente Windows baseado na linguagem de programação *Basic*. É uma linguagem orientada a eventos, o que quer dizer que trata ocorrências que dão início a uma rotina de trabalho, ou seja, o programa fica parado até que lhe seja dado um *input*.

Outra tecnologia utilizada na construção desta aplicação foi o *GeoMedia Objects*. O *GeoMedia Objects* é uma biblioteca avançada de ferramentas que consistem nos componentes internos (funções e análises) do software de SIG GP. Esta biblioteca pode ser utilizada em qualquer ambiente de desenvolvimento compatível com o *Windows*, nomeadamente em ambiente VB6 [Intergraph Corporation, 2007].

6.2 Funcionamento da Aplicação

A aplicação criada é constituída por 6 janelas ligadas entre si. Quando a aplicação é executada surge a primeira forma que faz uma breve descrição do programa e tem o aspecto mostrado na figura 54.

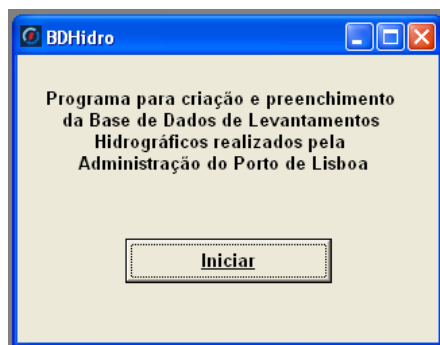


Figura 54 - Início da aplicação.

Ao selecionar o botão Iniciar surge uma nova janela que apresenta três diferentes opções: criar uma BD, introduzir dados numa BD e sair do programa.

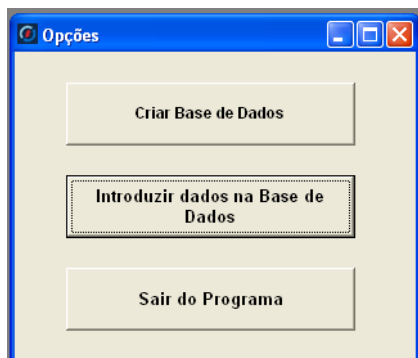


Figura 55 - Opções da aplicação.

Ao selecionar a primeira opção, o utilizador acede a uma nova janela que permite a criação de uma nova BDG. Nesta janela, o utilizador poderá escolher o diretório onde pretende guardar a BDG e o nome que pretende atribuir.

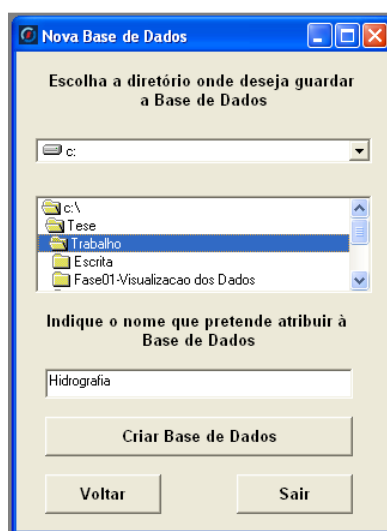
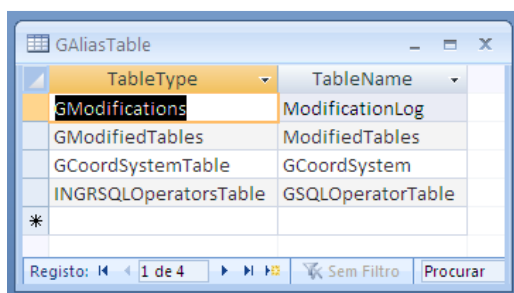


Figura 56 - Janela de criação de uma nova BD. Nesta figura a BD tem o nome Hidrografia e será guardada em c:\Tese\Trabalho\.

A BDG criada tem a estrutura apresentada no capítulo anterior (tabelas concessão, fiada, levantamento e ponto). A BDG contém também as seguintes tabelas criadas automaticamente pelo *Geographic Data Objects Database Automation*: GAliaTable, GCoordSystemTable, GSQLOperatorTable, ModificationLog e ModifiedTables.

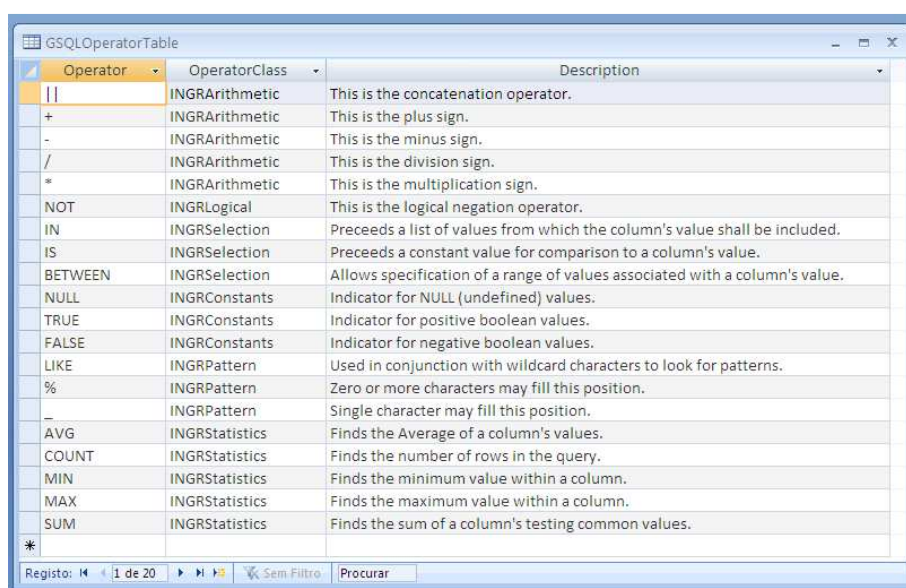
A tabela GAliasTable é a tabela de metadados que contém os nomes das tabelas utilizadas pelo GP e contém os seguintes atributos: TableType (contém o nome da referência interna usada pelas aplicações do GP) e TableName (nome da tabela associada à referência).



TableType	TableName
GModifications	ModificationLog
GModifiedTables	ModifiedTables
GCoordSystemTable	GCordSystem
INGRSQLOperatorsTable	GSQLOperatorTable
*	

Figura 57 - Constituição da tabela GAliasTable.

A tabela de metadados GCoordSystemTable armazena as definições do sistema de coordenadas do GP. A tabela GSQLOperatorTable contém três atributos com operadores lógicos e aritméticos e respetivas classes e descrições.



Operator	OperatorClass	Description
	INGRArithmetic	This is the concatenation operator.
+	INGRArithmetic	This is the plus sign.
-	INGRArithmetic	This is the minus sign.
/	INGRArithmetic	This is the division sign.
*	INGRArithmetic	This is the multiplication sign.
NOT	INGRLogical	This is the logical negation operator.
IN	INGRSelection	Preceeds a list of values from which the column's value shall be included.
IS	INGRSelection	Preceeds a constant value for comparison to a column's value.
BETWEEN	INGRSelection	Allows specification of a range of values associated with a column's value.
NULL	INGRConstants	Indicator for NULL (undefined) values.
TRUE	INGRConstants	Indicator for positive boolean values.
FALSE	INGRConstants	Indicator for negative boolean values.
LIKE	INGRPattern	Used in conjunction with wildcard characters to look for patterns.
%	INGRPattern	Zero or more characters may fill this position.
_	INGRPattern	Single character may fill this position.
AVG	INGRStatistics	Finds the Average of a column's values.
COUNT	INGRStatistics	Finds the number of rows in the query.
MIN	INGRStatistics	Finds the minimum value within a column.
MAX	INGRStatistics	Finds the maximum value within a column.
SUM	INGRStatistics	Finds the sum of a column's testing common values.
*		

Figura 58 - Tabela GSQLOperatorTable.

Por fim, as tabelas ModificationLog e ModifiedTables registam todas as operações realizadas na BDG.

Após a criação da BD, a tabela concessão é automaticamente preenchida com os dados de seis concessões fornecidos pela APL. A escolha deste procedimento deve-se ao facto destas áreas serem inalteradas com o tempo.

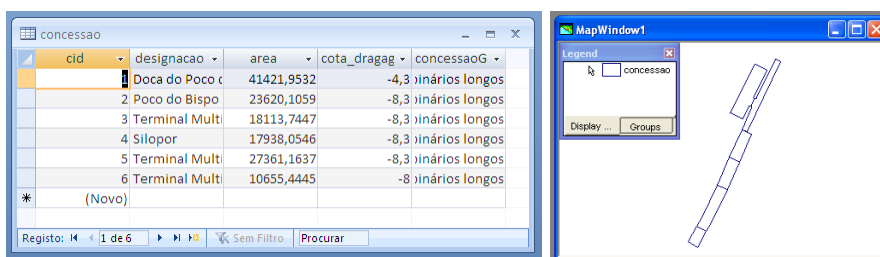


Figura 59 - Tabela concessão preenchida após a criação da BD e respetiva representação no GP.

A segunda opção da janela de opções tem como propósito a introdução de dados na BDG e, quando seleccionada, surge a janela representada na Figura 60.

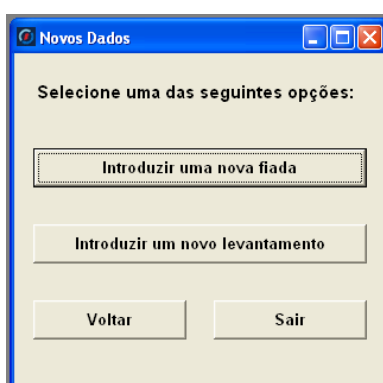


Figura 60 - Janela de opções para introdução de novos dados na BD.

Nesta janela existem quatro opções: introduzir uma nova fiada, introduzir um novo LH, voltar à janela anterior e sair do programa. A primeira opção direciona o utilizador para o formulário apresentado na Figura 61.

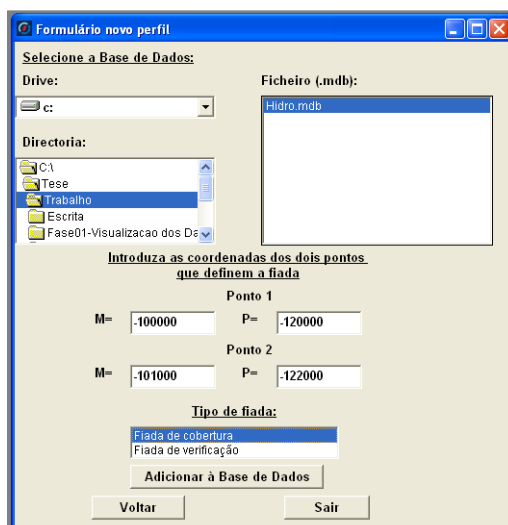


Figura 61 - Formulário para introdução de uma nova fiada na BD.

Neste formulário, o utilizador deverá escolher a diretoria e a BDG à qual pretende adicionar os dados. Em seguida, deverá adicionar os dados relativos à fiada que pretende adicionar:

- Coordenadas dos dois pontos que definem a fiada;
- Tipo de fiada (cobertura ou verificação).

Ao seleccionar a opção adicionar à BD, o programa guarda os dados introduzidos pelo utilizador, cria a geometria da fiada a partir das coordenadas introduzidas e calcula o seu comprimento. O programa também determina qual o valor do atributo *concessão_id* (número de identificação da concessão que a fiada cobre). Este valor é calculado da seguinte forma: o programa acede à tabela concessão da BDG e efetua uma seleção por localização entre a fiada e as concessões, isto é, determina qual o valor do identificador da concessão (atributo *cid*) que toca na fiada criada. Por fim, adiciona estes dados à BDG.

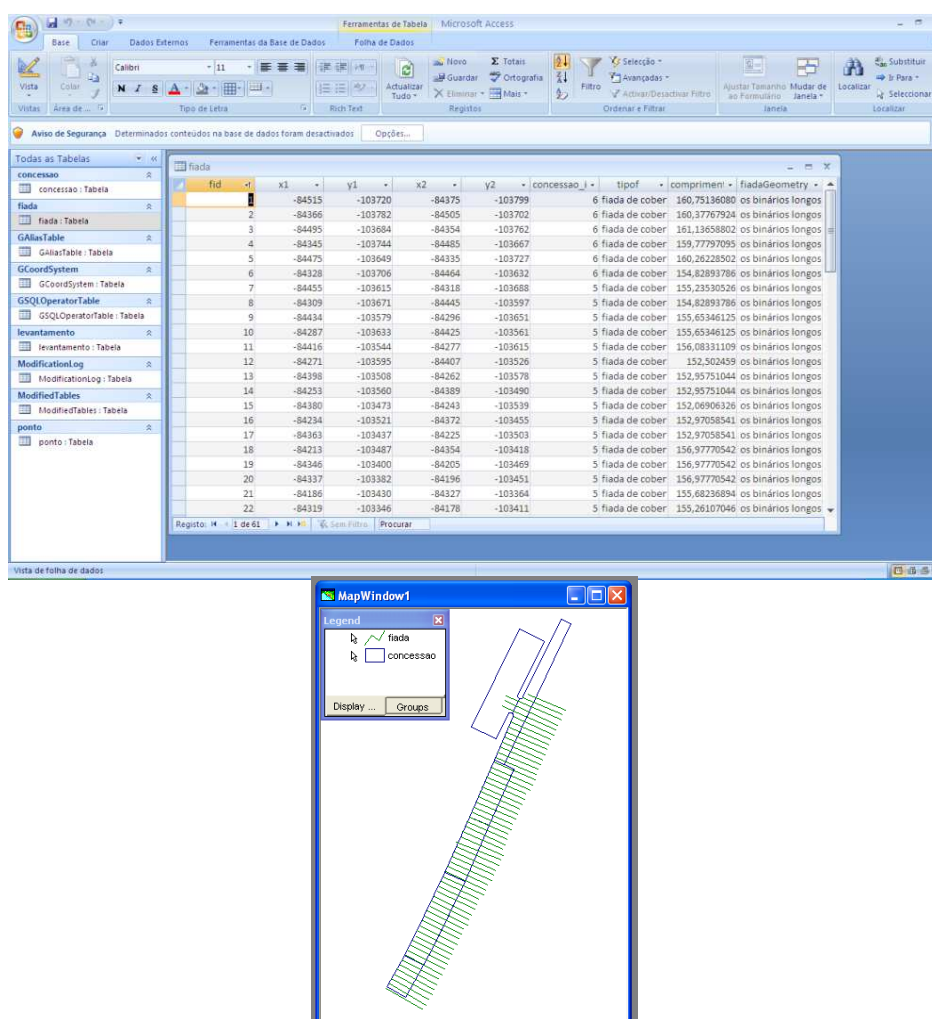


Figura 62 - Em cima, registo das fiadas na BD; em baixo, representação das fiadas no GP.

Caso a fiada introduzida não toque em nenhuma concessão (isto é, a seleção por localização não devolva nenhum resultado), a aplicação não introduz a fiada na BDG e apresenta a mensagem no ecrã apresentada na figura 63.

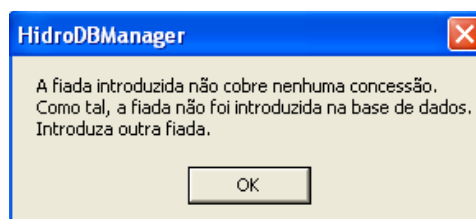


Figura 63 - Mensagem apresentada pela aplicação quando uma fiada não é introduzida na BD.

A segunda opção da janela direciona o utilizador para um novo formulário para introdução de um LH.

O formulário "Formulário levantamento hidrográfico" contém as seguintes seções:

- Seleção de Base de Dados:** Drive (c:) e Diretoria (Trabalho).
- Ficheiro (.mdb):** Hidro.mdb
- Data:** Calendário para Julho 2005, com o dia 28 selecionado.
- Dados relativos ao equipamento e operador(es):** Sonda (DDOM), Frequência de Sondagem (210), Recetor (LEICA 1200), Operador (MIGUEL), Embarcação (GUARDA-RIOS), Software (HYDROPRO).
- Dados relativos aos objectivos da sondagem:** Objectivo do levantamento (Levantamento pré-dragagem selecionado) e Tolerância horizontal (2 metros).
- Dados relativos ao ficheiro de levantamento:** Ficheiro com fiadas de cobertura selecionado.
- Botões: "Selecione o ficheiro de pontos", "Adicionar à Base de Dados", "Voltar" e "Sair".

Figura 64 - Formulário para introdução de um novo LH na BD.

O utilizador deverá inicialmente seleccionar a diretoria onde se encontra a BDG e o respetivo ficheiro onde tenciona guardar a informação. Em seguida, deverá seleccionar uma data que corresponde à data de execução do LH. Opcionalmente, o utilizador poderá

introduzir informações técnicas acerca do LH, nomeadamente a sonda, a frequência, o recetor e software utilizados e nome do operador em campo. Posteriormente, o utilizador deverá seleccionar que tipo de LH pretende adicionar (se se trata de um LH de um projeto de dragagem, zero, intermédio, pós-dragagem ou de manutenção). O valor da tolerância horizontal corresponde à máxima precisão horizontal admitida no LH. Por fim, selecciona-se o tipo de fiada (cobertura ou verificação) e o ficheiro de pontos. Ao seleccionar a opção adicionar à BD, desenrolam-se os seguintes processos:

- São adicionados à tabela levantamento os dados relativos ao LH;
- É lido o ficheiro de pontos e as coordenadas destes são guardadas temporariamente pelo programa;
- O programa acede às coordenadas dos pontos que definem as fiadas e aos seus identificadores (*fid*) e guarda-as temporariamente;
- A cada ponto é atribuído o valor de identificação do LH (atributo *lid*) acabado de introduzir (atributo *levantamento_id*);
- A cada ponto é atribuída uma fiada (*fiada_id*) da seguinte forma: é calculada a distância de cada ponto às retas que definem as fiadas, aquela que se encontrar a uma distância inferior à tolerância horizontal introduzida corresponderá à fiada a que o ponto pertence. Só serão introduzidos pontos que respeitem esta condição. Nesta fase é também calculada a distância ortogonal de cada ponto ao perfil correspondente.

A distância dos pontos às fiadas é calculada através das seguintes expressões que se seguem. A partir da equação da reta calcula-se o seu declive **m** e a sua ordenada na origem **b**. A partir destes parâmetros e conhecendo as coordenadas do ponto (**x,y**), obtém-se a sua distância **d** à fiada:

$$y = mx + b \Rightarrow b = y - mx \quad (6.1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (6.2)$$

$$d = \frac{|mx + b - y|}{\sqrt{m^2 + 1}} \quad (6.3)$$

Por fim é criada a geometria de cada ponto a partir das suas coordenadas e esta é guardada no atributo *pontoGeometry*.

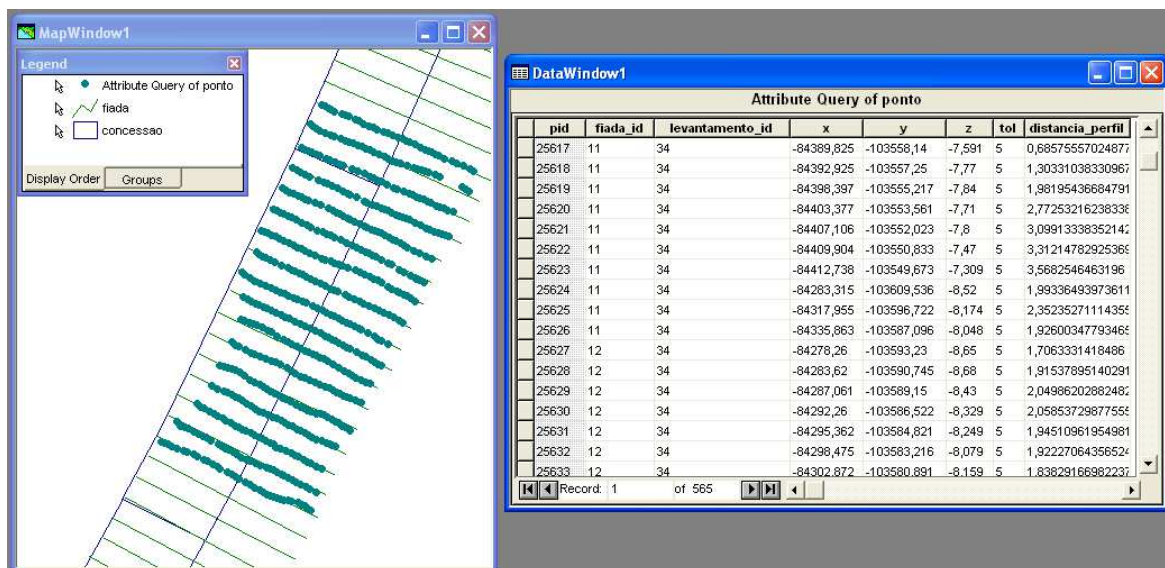


Figura 65 - Pontos de um LH introduzidos na BD e respetiva representação do GP.

Capítulo VII – Aplicação para cálculo das taxas de sedimentação e previsão de uma dragagem

7.1 Introdução

O depósito de sedimentos numa determinada área, provenientes de processos erosivos e do seu transporte, designa-se por assoreamento. O assoreamento nos portos leva à diminuição das suas cotas de serviço e põe em causa a sua operacionalidade.



Figura 66 - Assoreamento no Porto de Vila Praia de Âncora, retirado de <http://web.cm-pvarzim.pt/lanchapoveira/index.php?limitstart=72>.

O desassoreamento dos canais de navegação de acesso aos portos por meio de operações de dragagens e respetivo despejo constitui uma atividade muito dispendiosa. Acresce a este, o custo com LH executados regularmente pelas administrações portuárias para verificação da navegabilidade dos seus canais de acessos e cais de atracação. Como tal, a necessidade de se criarem ferramentas que, de alguma forma, permitam uma melhor gestão das atividades e dos recursos cresce de dia para dia.

Neste trabalho pretende-se, a partir do histórico de LH executados pela APL, calcular uma aproximação de uma taxa de sedimentação (ou de assoreamento) nas áreas de dragagem localizadas na sua área de jurisdição. O objetivo central desta fase é desenvolver uma ferramenta de apoio para a APL que lhe permita uma melhor gestão na decisão das datas de execução de LH e de lançamento de concursos de dragagens. Ou seja, tendo o conhecimento da data da última operação de dragagem e da taxa de sedimentação numa determinada área,

pretende-se calcular a data em que se deve proceder a uma nova operação, qual o volume aproximado a dragar e qual o custo envolvido em tal operação.

7.2 Desenvolvimento da aplicação

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado o VB6 e o GP. A aplicação consiste numa janela do VB6 que contém um formulário a ser preenchido pelo utilizador e que se encontra dividido em duas partes:

- Escolha da BD, da concessão e de um método para cálculo da taxa de sedimentação anual nessa concessão e respetivo custo anual;
- Cálculo da previsão do momento em que se deverá proceder a uma nova dragagem e custo associado.

A taxa de sedimentação numa determinada área é a variação do volume dos seus sedimentos num determinado intervalo de tempo. Para o cálculo desta taxa, é necessário ter-se o conhecimento ou das coordenadas (x,y,z) dos pontos que definem o fundo em, pelo menos, duas datas distintas, ou dos volumes anualmente dragados numa determinada área. É igualmente necessário conhecer os instantes em que houve uma descontinuidade no assoreamento nestas áreas, nomeadamente quando foram executadas dragagens. Visto que se tem esta informação na BDG, é então possível calcular-se uma estimativa da taxa de sedimentação nas diferentes concessões.

7.2.1 Cálculo do volume de cada LH

Foi criada uma rotina no VB6 que, para cada LH, calcula o seu volume em relação a uma referência fixa ($z = \text{constante}$). Esta referência fixa trata-se de um valor escolhido e que corresponde a um valor superior à profundidade máxima que se espera encontrar na área de estudo. Pode-se atribuir esta referência não só porque o cálculo de volume é feito através da diferença de dois volumes em épocas diferentes, como também porque se está a calcular uma taxa de sedimentação média e não a calcular-se o volume total a dragar-se num determinado instante (neste caso a referência fixa teria de ser igual à cota de serviço da área em questão).

A primeira operação desta rotina consiste em aceder à BDG e guardar os dados relativos às fiadas que se encontram na concessão em estudo.

A seguir, são determinados os parâmetros que definem as fiadas. Estes parâmetros são o declive e a ordenada na origem, visto que se tratam de retas.

A terceira operação que esta rotina realiza é a construção de uma matriz que contém as coordenadas dos pontos de interseção entre as fiadas e a concessão. As coordenadas destes pontos foram obtidas através de uma diferença espacial (*spatial difference*) entre as fiadas e a concessão.

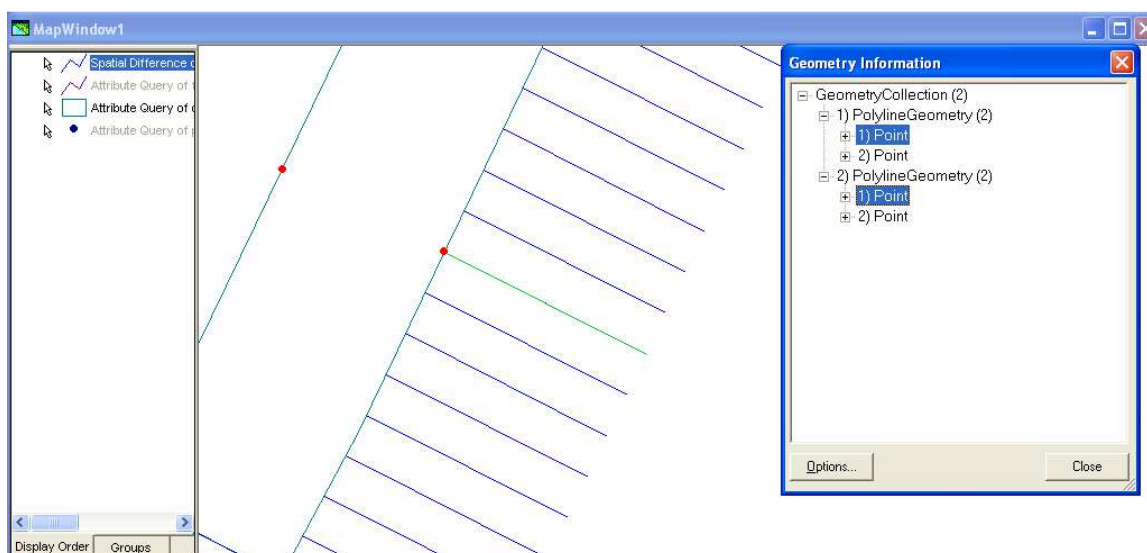


Figura 67: Diferença Espacial entre as fiadas e a concessão.

O passo seguinte consiste em aceder à BDG e guardar os pontos do LH.

Geralmente, o cálculo de volumes em ambiente SIG é feito recorrendo à diferença entre duas superfícies criadas a partir dos pontos de dois LH. A versão do GP que a APL dispõe não permite a criação de superfícies (a *Integrapph* comercializa um software à parte designado por *GeoMedia Grid* para esse efeito). Como tal, o volume de cada LH foi calculado através da soma dos volumes entre os perfis transversais consecutivos. Cada volume entre dois perfis foi calculado utilizando o método da área média. Neste método, o volume entre perfis é igual ao produto da distância entre os dois perfis pela área da secção média (média das áreas dos dois perfis). Sendo assim, o volume entre dois perfis é dado por

$$V_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times d \quad [\text{Moreira, 2010}] \quad (7.1)$$

em que A_i e A_{i+1} são as áreas dos perfis transversais definidos pelas fiadas i e $i + 1$ e d é a distância entre as fiadas. O volume total V de um LH é dado por

$$V = \sum V_i \quad [\text{Moreira, 2010}] \quad (7.2)$$

O cálculo da área de cada perfil transversal implica que os pontos que o definem se situem no mesmo plano. Como tal, calculou-se a projeção ortogonal de cada ponto na respetiva fiada (fiada esta que se encontra no plano que define o perfil).

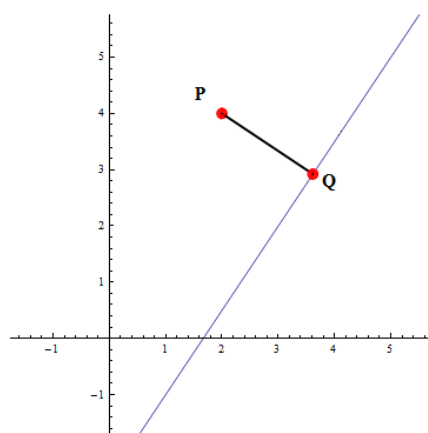


Figura 68 - Projeção ortogonal do ponto P numa recta. O ponto projetado é o ponto Q, retirado de <http://brawnexercicios.blogspot.pt/2012/04/exercicio-resolvido-geometria-analitica.html>.

A projeção ortogonal de cada ponto foi calculada através das seguintes fórmulas:

$$x'_0 = \frac{y_0 + \frac{1}{m} \times x_0 - b}{\left(m + \frac{1}{m}\right)} \quad (7.3)$$

$$y'_0 = m \times x'_0 + b \quad (7.4)$$

em que (x'_0, y'_0) são as coordenadas dos pontos projetados, (x_0, y_0) são as coordenadas dos pontos originais, m e b são os parâmetros que definem a equação da reta da fiada. Pode-se fazer isto porque foram introduzidos na BDG pontos que se encontravam a uma pequena distância da respetiva fiada (recorde-se que os pontos introduzidos na BDG, provenientes dos ficheiros de pontos, foram filtrados tendo em conta um deslocamento horizontal máximo permitido em relação ao alinhamento da respetiva fiada introduzida pelo utilizador e que deverá ser pequena). Como tal, esta projeção dos pontos na respetiva fiada terá um impacto muito reduzido no volume final calculado.

O cálculo da área de cada perfil transversal é calculado através da aplicação da Fórmula de Gauss para polígonos. As coordenadas utilizadas foram a coordenada x e a coordenada z de cada ponto. Aplicando a fórmula de Gauss, obtém-se para cada perfil transversal a seguinte área

$$A = -\frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n z_i \times (x_{i+1} - x_{i-1}) \quad (7.5)$$

em que n é o número de pontos da fiada, z_i é o valor da profundidade do ponto na posição i da fiada, x_{i+1} é a coordenada x do ponto posterior e x_{i-1} é a coordenada x do ponto anterior. O sinal da fórmula é negativo porque optou-se por percorrer o perfil no sentido contrário ao dos ponteiros de um relógio.

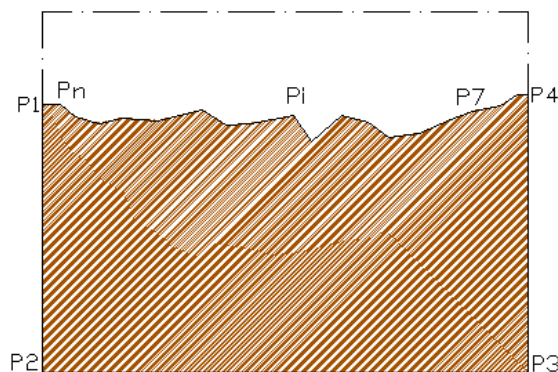


Figura 69 - Esquema de um perfil transversal e respetivos pontos ordenados para cálculo da área usando a Fórmula de Gauss.

Por fim, sabendo a área de cada perfil transversal, calculam-se os volumes parciais entre perfis e o volume total com auxílio às fórmulas atrás referidas.

7.2.2 Métodos de cálculo da taxa de assoreamento

Os métodos de cálculo da taxa de assoreamento seguidamente apresentados foram adaptados dos Planos Plurianuais de Dragagens Portuárias, relatório criado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil para o Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos em Abril de 2010.

A estimativa da taxa de assoreamento numa determinada área pode ser calculada através do conhecimento do volume de sedimentos dragados durante vários anos. Sendo assim, conhecendo o volume (em m^3) dragado em n anos, a taxa de assoreamento (m^3 /ano) é dada por

$$taxa\ assoreamento = \frac{volume\ anual_1 + volume\ anual_2 + \dots + volume\ anual_n}{n} \quad (7.6)$$

O volume de sedimentos anualmente dragado pode ser calculado através da soma das diferenças de volume entre LH realizados antes de uma dragagem e depois de uma dragagem ao longo deste período.

Outra forma de calcular a taxa de assoreamento anual é através da soma das diferenças de volume entre LH realizados fora do período de dragagens durante vários anos. Assim sendo, a taxa de assoreamento num determinado ano é dada pela soma da diferença de volume entre LH realizados entre os períodos compreendidos após uma dragagem e antes de uma dragagem. Sabendo esta taxa ao longo de vários anos, obtém-se assim uma estimativa para a taxa de assoreamento através da seguinte expressão

$$\text{taxa assoreamento} = \frac{\text{assoreamento anual}_1 + \text{assoreamento anual}_2 + \dots + \text{assoreamento anual}_n}{n} \quad (7.7)$$

O assoreamento vertical diz respeito ao aumento, em altura, da ocupação dos sedimentos numa determinada área. Conhecendo a taxa de assoreamento e a área da concessão de estudo, este assoreamento vertical anual (cm/ano) é dado por

$$\text{assoreamento vertical} = \frac{\text{taxa assoreamento}}{\text{área da concessão}} \times 100 \quad (7.8)$$

7.2.3 Cálculo da previsão da próxima dragagem e respetivo custo

A decisão de se proceder a uma dragagem depende do assoreamento vertical ocorrido numa determinada área. Isto é, geralmente decide-se dragar uma determinada área quando a sua profundidade diminuiu para uma determinada cota limite, pondo em risco o seu acesso em segurança.

Conhecendo a data da última operação de dragagem e a taxa de sedimentação numa determinada concessão, pretende-se estimar a data da próxima operação de dragagem e o seu custo. O parâmetro utilizado neste cálculo é o assoreamento vertical que deve ocorrer de forma a tornar necessário proceder-se a uma dragagem. Este parâmetro é introduzido pelo utilizador.

O número de dias necessários para se atingir o assoreamento introduzido pelo utilizador é dado por

$$\text{número de dias} = \frac{\text{assoreamento introduzido}}{\text{assoreamento vertical}} \times 365 \quad (7.9)$$

Portanto a data a que se deve proceder a uma nova dragagem é resultado da soma entre a data da última dragagem e número de dias calculado através da fórmula anterior. O volume total a dragar é dado por

$$volume\ a\ dragar = \frac{número\ de\ dias \times taxa\ de\ assoreamento}{365} \quad (7.10)$$

Por fim, o custo com a dragagem será dado por

$$Custo = volume\ a\ dragar \times preço\ por\ metro\ cúbico \quad (7.11)$$

7.3 Funcionamento da aplicação

A aplicação criada para estes cálculos apresenta apenas uma janela representada na Figura 70.

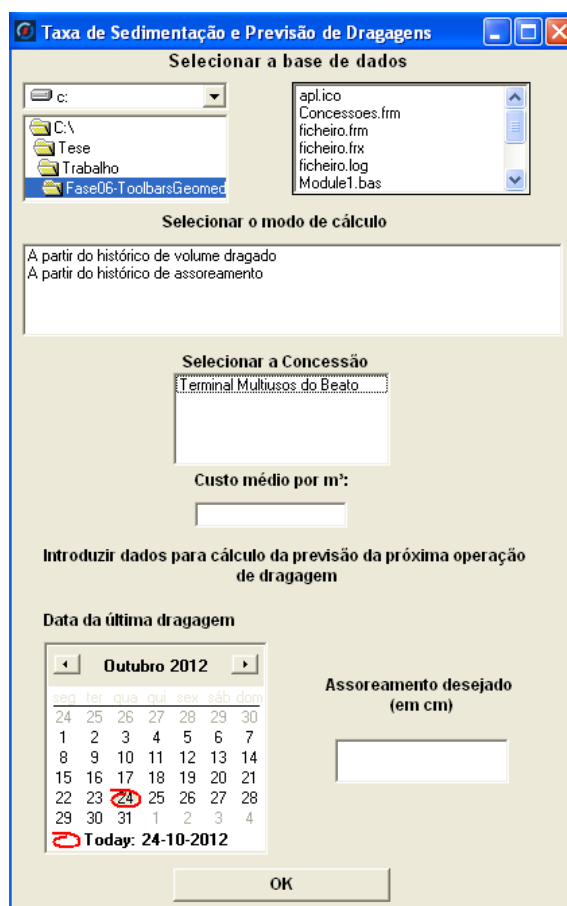


Figura 70 – Janela da aplicação para cálculo da taxa de sedimentação e para previsão de dragagens.

Como já referido anteriormente, a aplicação apresenta duas possibilidades:

- Escolha da BDG, da concessão e do método para cálculo da taxa de sedimentação anual e custo associado;
- Previsão do momento em que se deverá proceder a uma nova dragagem.

Se o utilizador pretender apenas calcular a taxa de sedimentação mensal e anual de cada concessão e o seu custo, basta escolher a BDG que contém a informação hidrográfica, selecionar a concessão e o método, introduzir o preço por m^3 e por fim selecionar o botão OK, como mostra a Figura 71. Os métodos de cálculo que o utilizador pode escolher são os descritos em 7.2.2.

Figura 71 - Formulário preenchido para cálculo da taxa de sedimentação anual e mensal numa determinada concessão.

Utilizando apenas a primeira possibilidade, aparecerá uma mensagem no ecrã com os seguintes valores: taxa de sedimentação anual, taxa de sedimentação mensal, assoreamento vertical anual e custo anual da concessão. Estes valores são também exportados para um ficheiro de texto no diretoria da BDG. O ficheiro de texto tem o nome da concessão onde se efetuou o estudo e a data em que este foi gerado.

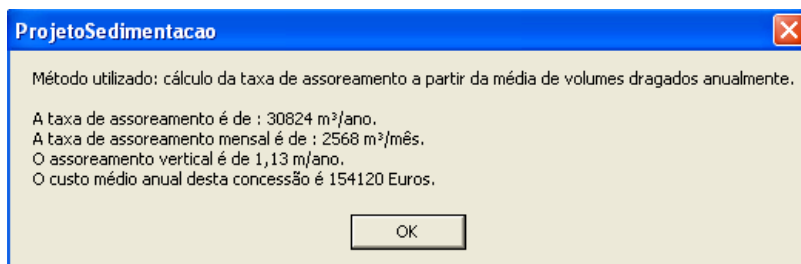


Figura 72 - Mensagem no ecrã com os dados calculados.

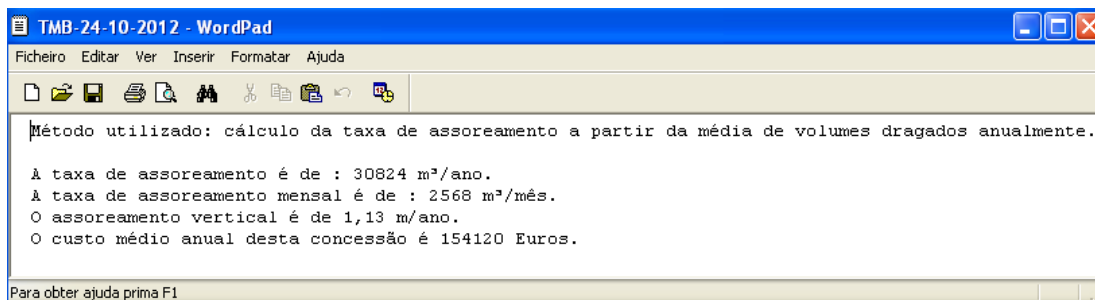


Figura 73 - Ficheiro de texto criado automaticamente com os valores calculados.

Utilizando a segunda possibilidade, além de seleccionar os dados da primeira parte do programa, o utilizador deverá seleccionar a data da última dragagem e introduzir o assoreamento vertical pretendido.

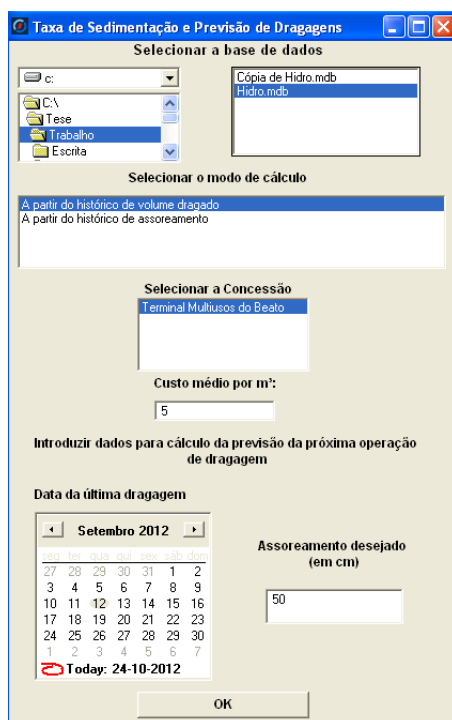


Figura 74 - Formulário preenchido para cálculo da taxa de assoreamento, assoreamento vertical, cálculo da data da próxima dragagem e respetiva volumetria e custo.

Os resultados obtidos são apresentados no ecrã (Figura 75) e exportados para um ficheiro de texto (Figura 76).

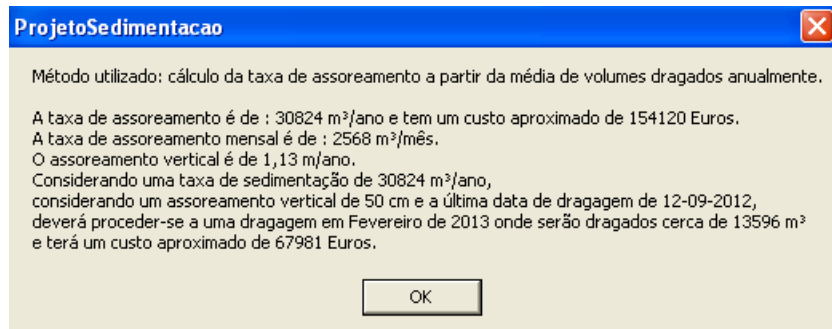


Figura 75 - Mensagem de saída com os dados calculados, utilizando a segunda parte da aplicação.

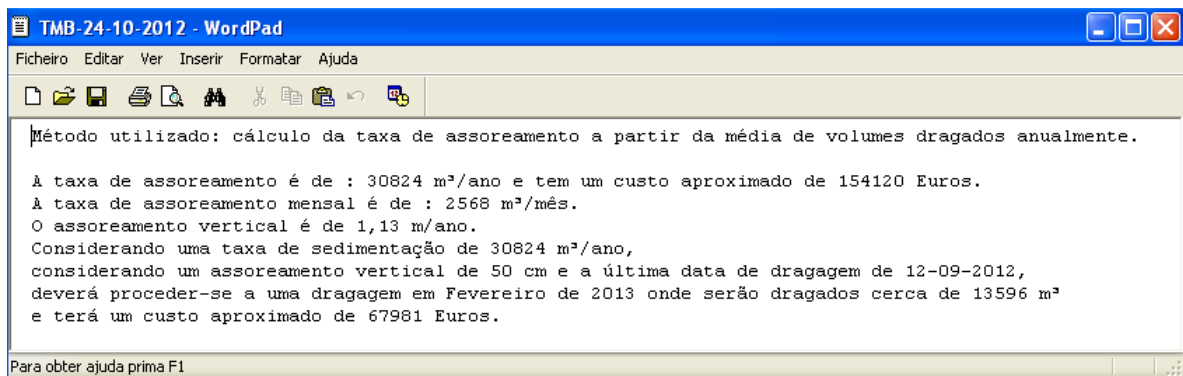


Figura 76 - Ficheiro de texto criado automaticamente com os valores calculados, utilizando a segunda parte da aplicação.

Capítulo VIII – Conclusões e Trabalho Futuro

8.1 Conclusões

Esta dissertação consistiu na fase primordial de implementação de um SIG para apoio à gestão de dragagens. Visto que estes projetos são de longa duração, o trabalho não está terminado. O que se realizou nesta fase foi o levantamento das necessidades da APL, criou-se um modelo de BD adaptada a estas necessidades e criaram-se ferramentas de apoio à gestão de dragagens. Mais uma vez, como se tratou de uma fase inicial de um projeto, estas ferramentas foram adaptadas e testadas apenas para uma pequena área de jurisdição da APL – o Terminal Multiusos do Beato.

A BD adaptada às necessidades da APL, apesar de apresentar uma estrutura bastantes simples, constitui uma ferramenta que apresenta as seguintes vantagens:

- Permite um registo histórico de todos os LH realizados e, tendo em conta que regista os objetivos desses LH, também efetua um registo histórico de operações de dragagem.
- Permite a visualização dos LH e de outros dados em ambiente SIG devido à presença de uma componente espacial nas entidades ponto, fiada e concessão. A presença desta componente espacial permite a aplicação de uma série de métodos de análise espacial para diversos estudos.

A aplicação para criação e preenchimento da BD oferece a liberdade de criar o número de BD que se deseja. Esta opção pode ser útil, por exemplo, quando existir alteração no equipamento utilizado nos LH e se pretenda alterar o planeamento das fiadas. Também poderá ser útil quando se pretender ter BD distintas para objetivos distintos ou quando se pretender ter BD diferentes com o histórico de LH de concessões diferentes. A parte desta aplicação para preenchimento da BD de forma automática preenche a BD através da introdução de dados por meio de formulários. Esta escolha teve como objetivo tornar a aplicação o mais *user-friendly* possível. Desta forma, qualquer utilizador da APL consegue manejá-la.

A aplicação para cálculo da taxa de sedimentação e para previsão de dragagens foi criada com o propósito anteriormente referido. O cálculo pode ser realizado através de dois métodos. O assoreamento vertical como parâmetro de entrada no cálculo da previsão da data

da próxima dragagem é de extrema importância pois na prática a decisão de se dragar depende deste parâmetro.

Tendo em conta que estas aplicações serão exportadas para outros computadores, a independência destes programas face a ficheiros que se encontrem no disco foi considerada durante a sua criação. Por este motivo, em qualquer das aplicações, é sempre pedido ao utilizador que indique qual a BD que pretende utilizar.

8.2 Trabalho Futuro

Os objetivos desta primeira fase foram cumpridos no sentido que a BD está criada, parcialmente preenchida e as aplicações funcionam. Claro que, como todos os projetos de médio/longo prazo, ainda há muito trabalho a fazer. Após se ter testado estas aplicações para uma pequena área, o futuro será alargar e adaptar o trabalho para as restantes concessões da APL. Esse processo passará necessariamente por um preenchimento exaustivo da BD com o maior número de LH que a APL dispuser. Terá de ser feito algum ajuste ao programa de cálculo das taxas de sedimentação no sentido de se adicionarem mais pares de LH para os cálculos. Deverão também ser realizados alguns melhoramentos nos códigos das aplicações de forma a torná-las mais eficientes. Poderão também ser introduzidos mais métodos de estimativa das taxas de sedimentação nas diferentes concessões.

Na fase final, as aplicações criadas deverão ser integradas numa barra de ferramentas do GP. Para tal, deverá ser utilizado o *add-in* do VB6 designado por *GeoMedia Command Wizard*.

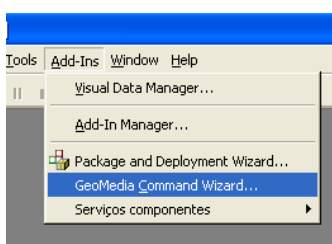


Figura 77 - Add-In GeoMedia Command Wizard.

Após a criação do comando no VB6, exporta-se o comando para um ficheiro com extensão dll. A posterior colocação deste ficheiro na pasta *Program* da pasta de instalação do GP, faz com que, ao iniciarmos o GP, consigamos aceder a este comando. O acesso a este comando é feito através do caminho *Tools > Customize*. Em *Toolbars > Categories > Custom*, aparece o comando criado.

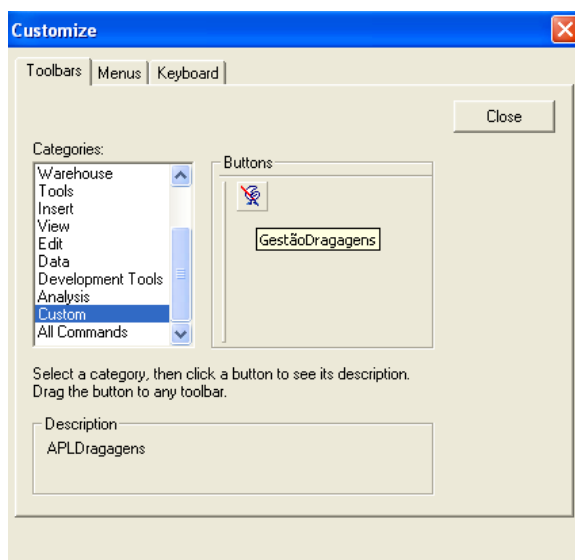


Figura 78 - Janela Customize do GP.

Para a sua utilização, basta arrastá-lo para fora desta janela.



Figura 79: Futuro botão do GP para utilização das aplicações criadas.

A barra de ferramentas será constituída por um único botão que, quando seleccionado, reencaminha o utilizador para a forma da Figura 80.

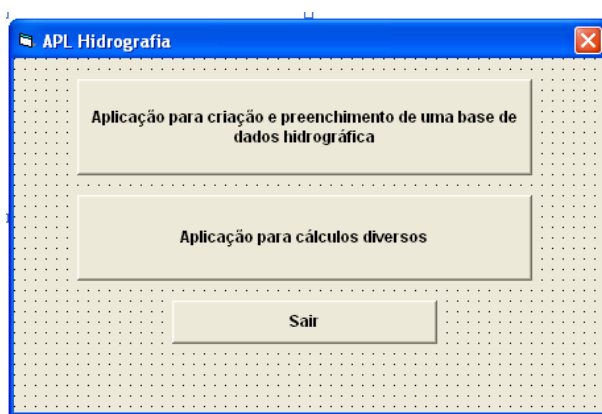


Figura 80 - Início da aplicação do GP.

O primeiro botão desta forma reencaminhará o utilizador para a aplicação desenvolvida para criação e preenchimento da BD. O segundo botão reencaminhará o utilizador para a aplicação criada para os diversos cálculos atrás referidos.

Outra proposta de trabalho futuro advém das potencialidades da BD construída. Esta BD, integrada juntamente com dados meteorológicos, hidrológicos, de correntes e outros, permitirá o cálculo das taxas de assoreamento de forma mais precisa (através da sua integração em modelos) e verificar a existência de sazonalidade neste processo.

Capítulo IX - Referências

Administração do Porto de Lisboa (2010). *“Plano de Dragagens 2010-2015”*. Texto não publicado, Administração do Porto de Lisboa, Lisboa.

Antunes, C. (2009). *Apontamentos da cadeira de Hidrografia*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Artilheiro, F. (2006). *Fundamentos de Hidrografia*.

(disponível em

http://www.bombeiros.pt/Arquivo1/Formacao/Inc_Florestais/Fundamentos_Hidrografia.pdf,

acedido em 2012).

Cabral, N. (2010). *Navegabilidade no estuário do Rio Tejo* (disponível em http://www.portodelisboa.pt/portal/pls/portal/!PORTAL.wwpob_page.show?docname=5682055.PDF, acessado em 2012).

Catita, C. (2007). *Apontamentos da cadeira de Sistemas de Informação Geográfica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Compton's Interactive Encyclopedia (1998), CD-ROM Edition, Tribune Company, Chicago, United States of America.

Cosme, A. (2012). *Projeto em Sistemas de Informação Geográfica*. 1ª Edição, LIDEL, Lisboa.

Couto, F. (2008). *Apontamentos da cadeira de Introdução às Bases de Dados*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Dias, E. (2005). *Utilização de um SIG na caracterização de áreas de dragagem*. Texto não publicado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

ESRI (2009). *ArcGISDesktop 9.3 Help*.

(disponível em <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>, acessado em 2012).

ESRI (2007). *GIS Solutions for Ports and Maritime Transport*.

(disponível em www.esri.com/library/brochures/pdf, acessado em 2012).

Fernandes, J.A. (1971). *Manual de Hidrografia*. 3ª Edição. Instituto Hidrográfico da Marinha Portuguesa, Lisboa.

Ferreira, N. (2006). *Apostila de Sistemas de Informações Geográficas*. Texto não publicado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Brasil.

Galdino, C, Parma, G. (2002). *Influência da Propagação do Erro Posicional no Cálculo de Áreas de Parcelas Territoriais*. Texto não publicado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Higgins,S., Foxgrover, A., Ingraca, M, Jaffe, B., Smith, R. (2004). *Deposition, Erosion and Bathymetric Change in South San Francisco Bay: 1858-1983*. United States Department of the Interior, United States Geological Survey, United States of America.

Hypack Inc. (2012). *Survey Quick Start*

(disponível em

<http://www.hypack.com/new/Support/DocumentsManualsTechnicalArticlesetc/tabid/81/Default.aspx>, acessado em 2012).

Intergraph Corporation (2007). *Building on the GeoMedia Professional Engine*. Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, United States of America.

Intergraph Corporation (2007). *GeoMedia Professional Command Wizard Help*. Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, United States of America.

Intergraph Corporation (2007). *GeoMedia Professional Object Reference*. Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, United States of America.

Jorge, A., Soares, C., Gama, J., Brazdil, P. (2012). *Página da cadeira de Bases de Dados da Universidade do Porto*.

(disponível em <http://www.liaad.up.pt/~csoares/aulas/sebentas/access/Intro.html>, acessado em 2012).

Kuss, P. (2006). *Hydrographic Survey Design for Dredging*. Texto não publicado, University of New Brunswick, Canada.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010). *Planos Plurianuais de Dragagens Portuárias – Volume I – Zona Norte*. Texto não publicado, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Marinha do Brasil (2010). *A Posição no Mar: Navegação Costeira* (disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap4.pdf>, acessado em 2012).

Marques, E. (2012). *Tópicos sobre polígonos*. Texto não publicado, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

Martínez, I. (2008). *Equipamentos Mecânicos de Dragagem*. Texto não publicado, Primeiro Curso Técnico de Dragagens da Universidade de Aveiro, Aveiro.

Mendes, V., Silva, M. (1996). *Normas de referência bibliográfica para o curso de Engenharia Geográfica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Moreira, M. (2010). *Vias de Comunicação*. Texto não publicado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto, Porto.

Organização Hidrográfica Internacional (2012). *Manual de Hidrografia*. 1ª Edição (disponível em <http://www.hidrografico.pt/manuais-tecnicos.php>, acessado em 2012).

Paiva, R. (2008) *Definição do Campo de Actividade das Dragagens*. Texto não publicado, Primeiro Curso Técnico de Dragagens da Universidade de Aveiro, Aveiro.

Pereira, W. (2004). *Fundamentos de Banco de dados*. 1ª Edição, ÉRICA, Brasil, 2004.

Portela, L.(2008). *Planeamento de Dragagens Portuárias*. Texto não publicado, Primeiro Curso Técnico de Dragagens da Universidade de Aveiro, Aveiro.

PPIAF (Public-Private Infrastructure Advisory Facility). *Port Reform Toolkit - The Evolution of Ports in a Competitive World*. (disponível em <http://www.ppiaf.org/ppiaf/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/Portoolkit/Toolkit/index.html>, acessado em 2012).

Rodrigue, J., Comtois, C., Slack, B. (2009). *The Geography of Transport Systems*. 1ª Edição. New York: Routledge. United States of America.

Rosati, J., Bocamazo, L., Carlson, B., Davis, J., Smith, T., Wozencraft, J., Hardegree, L. (2001). *Regional Sediment Management in the Corps of Engineers*. Texto não publicado, United States Army Corps of Engineers, United States of America.

Singh, S. (2011). *GIS Solutions for dredging and subsurface mapping*. Texto não publicado, 12ª Esri India User Conference 2011, Índia.

Soares, C. (2005). *Avaliação do Processo de Dragagem por Injeção de Água em Estuários*. Texto não publicado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Van Der Wal, D., Pye, K. (2003). *The use of historical bathymetric charts in a GIS to assess morphological change in estuaries*. The Geographical Journal, Vol. 169, Nº1, páginas 21-31.

Van Oord, G. (2008). *Dragas Hidráulicas*. Texto não publicado, Primeiro Curso Técnico de Dragagens da Universidade de Aveiro, Aveiro.

Wilson, J., Goldberg, D., Lam, C. (2004). *The ArcGIS Coastal Sediment Analyst: A Prototype Decision Support Tool for Regional Sediment Management*. GIS Research Laboratory Technical Report 3, University of Southern California, United States of America.

Wright, N. (2005). *Geographic Information Systems: An essential tool for the port engineer*. The Coasts, Oceans, Ports and Rivers Institute, Virginia, United States of America.

Wright, N., Yoon, J. (2007). *Application of GIS Technologies in Port Facilities and Operations Management*. American Society of Civil Engineers, Virginia, United States of America.

Legislação consultada

Decreto-Lei nº 336/98

Decreto-Lei nº 278/2009

Portaria nº 1450/2007

Sites consultados

Intergraph Corporation - <http://www.intergraph.com/>.

Microsoft Corporation - Visual Basic Programming Guide - <http://msdn.microsoft.com/library/vstudio/y4wf33f0>.

Portal do Porto de Lisboa - http://www.portodelisboa.pt/portal/page/portal/PORTAL_PORTO_LISBOA~.

Portopedia - <http://www.portogente.com.br/portopedia/Dragagem/>.

Wikipedia - <http://pt.Wikipedia.org/>.

Guia do Estudante - <http://guiadoestudante.abril.com.br/estudar/historia/ligacao-mares-existe-ha-4-mil-anos-435132.shtml>.