

A INTEGRAÇÃO DO SIG NUM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

Uma proposta metodológica de apoio ao estudo empírico para a gestão dos recursos hídricos

RODRIGUES, Luís; LOURENÇO, Nelson; MACHADO, Carlos Russo; JORGE, Maria do Rosário

Resumo

O SIG desempenha um papel fundamental no desenvolvimento dos Sistemas de Apoio à Decisão para a Gestão dos Recursos Hídricos. O Sistema de Apoio à Decisão apoia-se no SIG para a constituição de uma base da informação georeferenciada com elementos inter-relacionados que visam dotar este DSS de algumas funcionalidades dos sistemas de informação (recolha, entrada, armazenamento, tratamento, análise e visualização de informação). Na Gestão dos Recursos Hídricos a componente informação deve ser apresentada de forma (geo)gráfica, numérica ou alfanumérica, de modo a permitir a criação de associações ou relações de carácter espacial significativas para quem tenha de decidir. Este SIG permite desenvolver um conjunto de elementos espacialmente referenciados que se relacionam para a identificação/caracterização de uma unidade (sub-bacia do Rio Caia), que se insere num sistema mais amplo (bacia do Rio Guadiana). Uma das componentes essenciais deste DSS é a abordagem dos principais problemas dos recursos hídricos recorrendo a uma sistematização DPSIR¹ que deve também estar relacionada com o SIG. A necessidade de utilização de um SIG para a constituição do Sistema de Apoio à Decisão para a Gestão dos Recursos Hídricos está na origem do esquema de relações proposto nesta apresentação.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Apoio à Decisão; Gestão dos Recursos Hídricos; Redes Locais; Modelo Hidrológico

INTRODUÇÃO

A construção de Sistemas de Apoio à Decisão (DSS), em áreas como a do ambiente e a dos recursos naturais tem necessariamente de se basear em sistemas de Informação Geográfica. De acordo com J. Eastman (1999) “uma das aplicações mais importantes dos SIG é na análise dos dados para o apoio aos processos de decisão relacionados com o ambiente”.

A construção de um sistema de apoio à decisão no âmbito do projecto MULINO² tem por objectivo a criação de uma ferramenta que permita a análise multidisciplinar das complexas teias de relações entre as dimensões ambientais, e que forneça elementos que possibilitem decisões mais adequadas à realidade.

¹ **DPSIR** - Driving force, Pressure, State, Impact, Response.

² O Projecto de Investigação MULINO (MULti-sectoral, INtegrated and Operational decision support system for sustainable use of water resources at the catchment scale) financiando pela União Europeia, DG Research no contexto do programa "Energy, Environment and sustainable development (Contract nº IVK1-CT-2000-00082). Este projecto teve o seu início em Janeiro de 2000 e tem a duração de três anos.

Este artigo descreve a aplicação de um SIG na construção de um Sistema de Apoio à Decisão (DSS) para a Gestão dos Recursos Hídricos (SIG-GRH). Pretende-se, com o projecto que está na sua origem, comparar cinco casos de estudo de diferentes países europeus (Portugal, Itália, Reino Unido, Bélgica e Roménia), a partir da adopção de uma abordagem metodológica comum. Em Portugal, a área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Caia. Este projecto conta ainda com a participação, como Utilizadores do DSS (*end users*), o Instituto da Água (INAG) e o Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente (IHERA).

Como características inovadoras deste DSS deve ser referido o seu carácter participativo e pluridisciplinar. O carácter participativo é garantido quer pela identificação e consulta de uma rede de actores sociais (*stakeholders*), quer pela participação dos *end users* na implementação, posterior actualização e aperfeiçoamento do DSS. Para além disso, este DSS tem também uma componente de inovação metodológica associada ao sistema de indicadores DPSIR³. Com este sistema de indicadores ambientais pretende-se estruturar as diferentes variáveis que serão introduzidas no DSS de acordo com cinco grandes domínios: : Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas.

1. Operacionalização do SIG-GRH

Este SIG-GRH é constituído com o objectivo de se tornar num sistema flexível, que permita apoiar todo o DSS. A sua estruturação deve ser suficientemente “aberta” para que a transferência de dados entre as diferentes plataformas que constituem o DSS se desenrole sem qualquer impedimento.

Este SIG-GRH está no centro de uma série mais vasta de aplicações (Modelo Hidrológico e DSS) sem que isso tenha implicações em termos de integração da informação. Os dados georeferenciados interrelacionam-se para dar resposta a questões colocadas nos mais variados domínios do MULINO-DSS.

O SIG-GRH permite estabelecer a operacionalização do MULINO-DSS. O SIG permite ainda a compatibilização de dados com formatos e características diferentes, para que possam dar entrada no DSS. Isto é, todos os dados têm de passar pelo SIG, quer seja para dar entrada no DSS, quer seja para dar entrada no Modelo Hidrológico, quer tenham como finalidade constituir apenas mais um elemento do próprio SIG-GRH.

Um dos aspectos mais relevantes da compatibilidade dos dados georeferenciados manifesta-se através do desenvolvimento da Base de Dados, que obedece a princípios da criação de bases de dados espaciais. Tratando-se de utilizar um SIG que funciona predominantemente com uma base de dados residente, a questão fundamental prende-se com a forma como a estrutura de tabelas directamente relacionadas com os elementos gráficos se articula com outras tabelas no interior e no exterior do software de SIG. A arquitectura proposta para a definição desta base de dados é um misto entre um SIG “isolado” e um sistema cliente-servidor.

Na definição do SIG-GRH há que dar resposta aos problemas que se levantam quando são realizadas operações que implicam a construção de modelos de dados geográficos: que modelo(s) de dados utilizar? O estudo dos fenómenos geográficos, em geral, e dos recursos hídricos, em particular, implica a análise de estruturas de dados organizadas em séries temporais. A compatibilização de modelos relacionados com séries temporais deve resultar em modelos síntese, que possam ser comparados com os modelos de dados relativos a outros períodos de tempo. Uma vez mais, está presente a questão da operacionalização do SIG-GRH, já que a utilização de diferentes modelos de dados não pode impedir que se represente geograficamente a informação, nem pode colocar qualquer tipo de entraves às necessidades do DSS.

A operacionalização do SIG-GRH permite a utilização de uma metodologia comum de construção do MULINO-DSS. A existência de uma entidade reguladora na equipa do projecto foi responsável pela definição de tipos e formatos de dados, que circulam entre os parceiros, assim como pela definição da obrigatoriedade de utilização de determinados modelos de dados e de campos em certas tabelas. Para que esta circulação da informação possa verificar-se da forma mais conveniente foram constituídos catálogos, com colecções de metadados, que permitem não só identificar todas as características dos dados existentes no SIG, como também controlar a autenticidade de determinada informação.

O SIG-GRH do caso de estudo da bacia hidrográfica do rio Caia tem duas componentes essenciais para a entrada de dados: uma que resulta de fontes secundárias e outra que resulta de recolha de informação através de entrevistas aos actores sociais locais envolvidos directamente na gestão/utilização dos recursos hídricos.

Como fontes de informação secundárias podem identificar-se os seguintes elementos fundamentais:

- A componente física (Modelo Digital de Terreno; carta dos solos; carta de qualidade dos solos; carta geológica), com especial relevo para as questões relacionadas com o clima e os recursos hídricos (temperatura, insolação,

³ O DPSIR (Driving force, Pressure, State, Impact, Response) corresponde ao sistema de organização de indicadores ambientais proposto pela Agência Europeia do Ambiente.

precipitação, escoamento, volumes de água armazenados);

- A componente socioeconómica (Recenseamentos Gerais Agrícolas de 1989 e 1999 e Recenseamentos Gerais da População 1991 e 2001, trabalhados respectivamente ao nível da freguesia e da subsecção estatística);
- A componente antrópica (limites administrativos; limites de áreas protegidas, estradas).

Todos estes elementos são passíveis de georeferenciação, logo podem ser integrados num SIG. Este SIG contém elementos provenientes de várias disciplinas e com características diferenciadas. O SIG para além de ter estas características de charneira no inter-relacionamento de todos os seus elementos constituintes, é também um interface entre os decisores e os *stakeholders*. Pode também equacionar-se a hipótese de utilização deste interface para comunicar com um público mais vasto.

O SIG é também fundamental para o desenvolvimento do Modelo Hidrológico de apoio ao DSS. É em ambiente SIG que este modelo é desenvolvido e os seus resultados constituem entradas de informação do próprio SIG-GRH.

A componente socioeconómica é constituída quer por dados resultantes de fontes secundárias, quer por dados provenientes da realização de entrevistas com alguns actores locais. A integração da componente socioeconómica num SIG-GRH é também um elemento pouco comum. Todavia, os benefícios da integração da componente socioeconómica é cada vez mais importante num estudo com estas características, pois só deste modo é possível obter uma visão global destes problemas.

2. A INTEGRAÇÃO DO SIG NO ESQUEMA GERAL DO MULINO-DSS

O SIG-GRH assume no desenho geral do MULINO-DSS um papel de charneira entre os seus diferentes elementos, na medida em que tem de estar presente na maioria dos processos necessários à implementação do DSS (Figura 1).

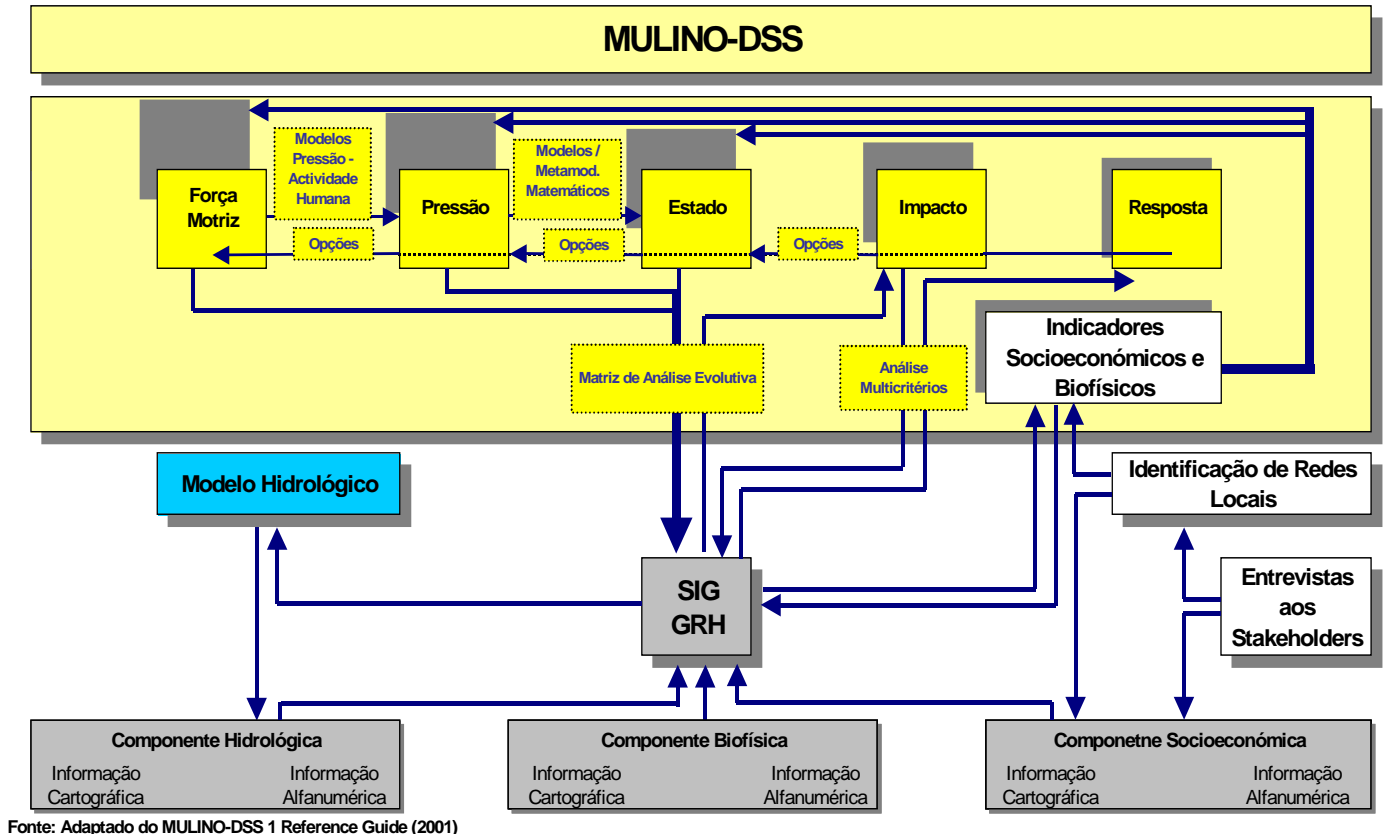


Figura 1. MULINO-DSS vs. SIG-GRH

Numa primeira fase de abordagem à área de estudo, o SIG-GRH permite identificar as variáveis mais relevantes para a definição das principais questões em análise. Para este efeito, o papel do SIG-GRH é de suporte à aquisição de informação, assim como de ferramenta de síntese da informação disponível. A identificação do formato de dados geográficos a utilizar é efectuada nesta fase inicial de desenvolvimento do MULINO-DSS.

Outro objectivo do SIG-GRH é a identificação dos possíveis cruzamentos entre as variáveis estruturadas para dar origem aos indicadores biofísicos e socioeconómicos a incluir no DSS. O objectivo desta fase é caracterizar o objecto de estudo, estabelecer o conjunto dos *stakeholders* mais influentes e identificar e hierarquizar os problemas essenciais da gestão dos recursos hídricos.

No caso de estudo português foram identificados como problemas principais a irregularidade de disponibilidade de água (problema de escassez que se verifica nalguns anos) e a forma como são geridos os recursos hídricos (principalmente em anos de seca). Outra das questões, passível de uma análise recorrendo ao DSS, é a introdução de um elemento tecnologicamente inovador: trata-se da análise na cadeia DPSIR da introdução da rede de pressão.

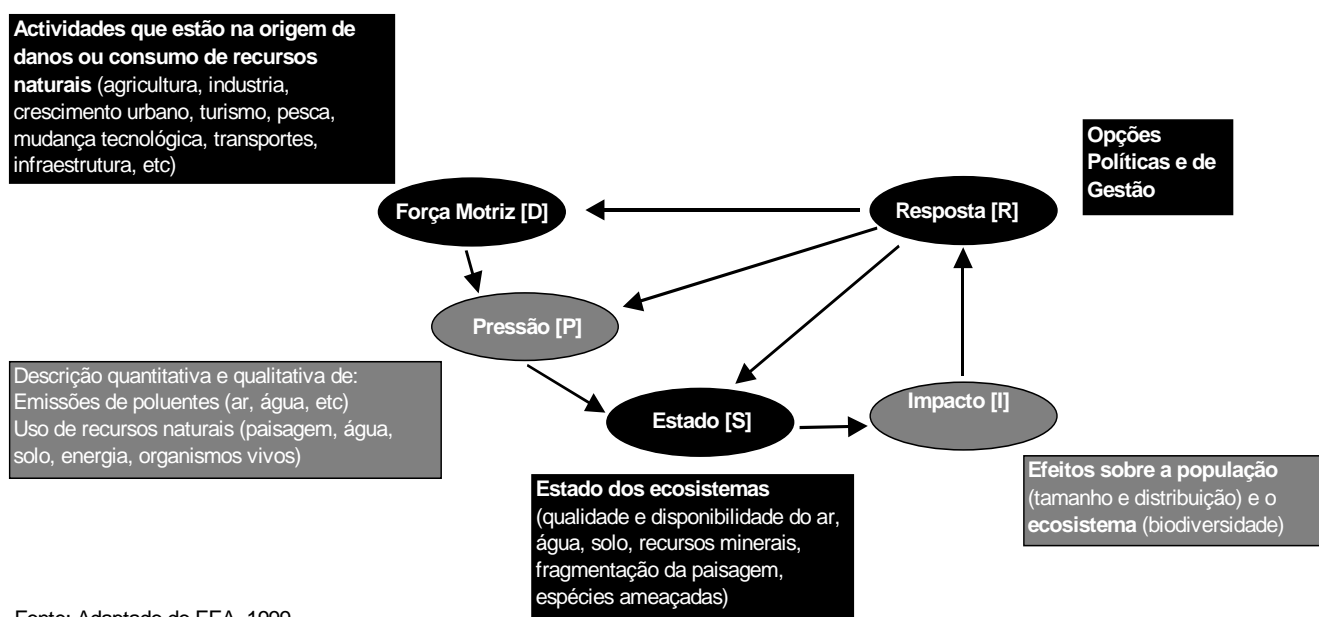
A dinâmica e a complexidade das mudanças nas áreas agrícolas (principalmente em áreas de regadio) requerem o controle e a actualização constante da informação. Estes dados estão associados às explorações agrícolas e às suas características, cujos detalhes estão normalmente ligados, entre outros, à carta de cadastro, sua divisão em parcelas e blocos, vias de acesso, relevo, tipos de solo, uso do solo e acima de tudo à componente hidrológica. Do manuseamento e controle de tal volume de dados pode depender a gestão eficaz dos recursos hídricos necessários ao sector agrícola. Este manuseamento só é possível recorrendo ao apoio do SIG-GRH, na medida em que toda a espacialização da informação envolvida na construção e manutenção do MULINO-DSS envolve a utilização de instrumentos de análise e visualização exteriores ao próprio DSS.

A análise dos problemas proposta pelo MULINO-DSS envolve um sistema de organização de indicadores do tipo DPSIR (Figura 2). O modo de integração do SIG-GRH nesta metodologia do MULINO-DSS implica o desenvolvimento de três fases:

Uma fase inicial de criação de um conjunto de cadeias de relações entre indicadores relativos aos três primeiros níveis da análise (Força Motriz [D], Pressão [P] e Estado [S]). Estes indicadores são caracterizados por um conjunto de variáveis constituídas por informação geograficamente referenciada, informação que se encontra residente no SIG-GRH. Esta fase culmina na criação de uma Matriz de Análise que deve apontar o nível de coerência das relações propostas;

Uma fase de análise dos Impactos [I], em que o papel do SIG-GRH é de mero apoio na análise dos resultados das cadeias realizadas na fase anterior. Pretende-se que esta seja uma fase de transição a partir da qual possa ser posta em prática uma Análise Multicritérios, cujo resultado estará na origem da fase seguinte.

Uma fase “final” de Resposta [R], onde é possível concretizar o fundamento deste DSS. É uma fase em que o próprio SIG-GRH atinge o seu formato de decisão. Este SIG-GRH tem como objectivo final apoiar, ou demonstrar, os esforços de criação de novas políticas ou em geral novas decisões. Neste caso concreto, ao nível da Resposta, o SIG-GRH contribui para consubstanciar novas Opções, que impliquem mudanças que irão influenciar a forma de gestão dos recursos hídricos. Essas Opções podem ser entendidas como o início de novas



Fonte: Adaptado do EEA, 1999
cadeias de relações entre a Força Motriz, a Pressão e o Estado.

Figura 2. Esquema geral do sistema DPSIR

3. A Matriz de Análise e as Respostas

A fase intermédia a dinâmica do DSS é determinada pela criação de uma matriz de análise com as diferentes conjugações de indicadores socioeconómicos, biofísicos e hidrológicos correspondentes às Forças Motrizes, às Pressões e aos Estados que estão na origem de um determinado Impacto (Figura 3.).

Numa situação inicial, perante o surgimento de uma Força Motriz (uma determinada mudança na actividade socioeconómica correspondente a uma alteração do modo de vida com implicações nos padrões de consumo e da produção que exerça uma pressão ambiental) são criadas hipóteses de afinidade com determinados indicadores de pressão (construídos a partir de informação relativa à emissão de poluentes, à identificação de agentes químicos e biológicos e à identificação de mudanças de uso do solo e da água) e com um conjunto de indicadores de Estado (informação relativa a fenómenos físicos, biológicos e químicos numa data concreta e numa área circunscrita), que estão relacionados, segundo diferentes níveis de proximidade, para dar origem a uma análise do Impacto (as consequências ambientais das mudanças de Estado).

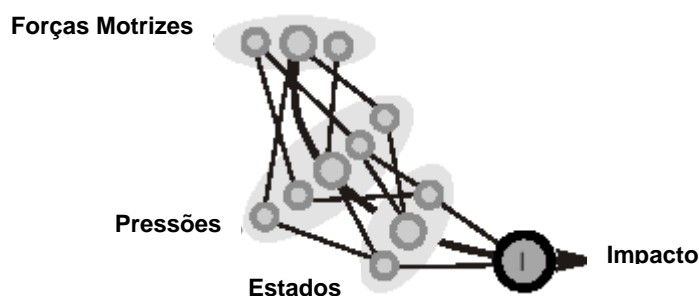


Figura 3. Cadeia de Ligações da Matriz de Análise

O SIG-GRH tem um papel importante na criação e padronização de todo o tipo de modelos espaciais no sentido de os equiparar. A criação de uma *value function* que permite compatibilizar todos os indicadores relativos ao DSS é uma componente crucial do software MULINO-DSS desenvolvido neste projecto de investigação.

No estudo da gestão dos recursos hídricos existe sempre uma multiplicidade de pontos de vista, não só possíveis, como também efectivamente utilizados.

O MULINO-DSS, através da sua proposta metodológica pluridisciplinar, reflecte a necessidade de articulação de diversas orientações de decisão. Dada a complexidade do fenómeno em causa, a utilização do SIG-GRH para o apoio à análise multicritérios permite alcançar o nível da(s) Resposta(s).

A existência de um nível de Resposta, quando entendido como o final de uma cadeia de relações, encontra no SIG-GRH o interface de comunicação com o exterior deste processo. O SIG é neste caso uma plataforma de interface entre o DSS e o decisor ou o público em geral. No entanto, o sistema não encontra necessariamente na Resposta um final para este processo. É nesse sentido que a criação de novas opções de análise (cenários) ao nível das Forças Motrizes, Pressões e Estados pode despoletar o reinício do DSS. Trata-se de realimentar o SIG-GRH com premissas renovadas que podem estar na origem de novas opções para indicadores socioeconómicos e biofísicos, que por sua vez irão criar novas cadeias de relações.

4. Redes Locais

Uma das características mais inovadoras desta metodologia é a inclusão de uma forte componente socioeconómica e de envolvimento de actores sociais locais. Nesse sentido, o SIG-GRH permite cruzar informação para a melhor identificação dos *stakeholders* mais influentes. Estes *stakeholders* são a base de um sistema de interrelações estabelecidas e que estão na origem das "Redes Locais". As interações entre os vários *stakeholders* estão sempre estruturadas em redes.

A importância da identificação das Redes Locais deve-se à necessidade operacionalizar o MULINO-DSS. As Opções de Resposta poderão ser aplicadas mais facilmente quando identificadas as Redes Locais, na medida em que existe a possibilidade de interagir mais directamente junto dos decisores locais. Os esforços para minorar os efeitos de uma mudança de Estado são mais bem sucedidos quando a informação circula através das redes locais instituídas. Deste modo, de acordo com o MULINO-DSS, a identificação e a participação das Redes Locais é fundamental para a validação das Respostas.

No presente caso de estudo efectuaram-se entrevistas após um primeiro nível de identificação das redes locais. O resultado dessas entrevistas permitiu sustentar o SIG-GRH (Figura 1) e contribuiu decisivamente para a identificação dos mecanismos internos da rede local. Os resultados das entrevistas contribuíram também para fundamentar os indicadores socioeconómicos e biofísicos, através da análise dos problemas e potencialidades locais identificados pelos *stakeholders*.

5. Modelo Hidrológico

A questão essencial do DSS é a Gestão dos Recursos Hídricos e, para tal, existem instrumentos privilegiados para o seu entendimento. Isto é, o desenho do DSS não dispensa a criação de um Modelo Hidrológico. O Modelo Hidrológico de apoio a este DSS funciona sob um ambiente SIG (trata-se do modelo SWAT que se trata de uma extensão do ArcView). A informação relativa ao modelo hidrológico provém directamente do SIG-GRH, assim como existem entradas do SIG-GRH que resultam do modelo hidrológico.

O Modelo Hidrológico (SWAT) baseia-se num conjunto de dados criados no SIG-GRH. Este Modelo está construído para dar resposta exclusivamente a questões relacionadas com o escoamento de águas superficiais e quantidade de água disponível. A integração dos resultados deste Modelo e de outros dados relacionados com os recursos hídricos é realizada no interior do SIG-GRH. É já no âmbito exclusivo do SIG-GRH que é realizada a integração dos resultados do SWAT⁴ com a informação relativa à qualidade da água.

CONCLUSÃO

O MULINO-DSS funciona com sistemas de informação mais abertos e caracterizados por soluções que envolvem bases de dados universais, *smart translators* e ferramentas de geoprocessamento, e que dão resposta às necessidades de introdução de nova de informação no DSS. A operacionalização do SIG-GRH surgiu como uma necessidade de trabalho, ou um meio de transpor os domínios dos diferentes sistemas de informação, permitindo a compatibilização da informação entre os diferentes elementos do MULINO-DSS, assim como garantindo a circulação de informação e a comparação da análise dos cinco casos de estudo. Procurou-se criar um sistema flexível, que não se baseasse exclusivamente em software disponível no mercado.

A integração do SIG no MULINO-DSS foi um imperativo deste projecto, já que o DSS não contempla funcionalidades espaciais. No entanto, sem análise dos elementos georeferenciados não seria possível desenvolver um estudo sobre a gestão dos recursos hídricos. A procura de um software SIG de apoio ao DSS teria de obedecer a princípios de flexibilidade e que combinassem a manipulação de bases de dados espaciais com uma componente cartográfica de alta qualidade e com funcionalidades de análise espacial. O SIG desempenha ainda o papel de charneira entre os diferentes sistemas incluídos no MULINO-DSS e por esse motivo constitui o interface visível da informação geográfica com os decisores e o público em geral

A possibilidade de envolvimento das Redes Locais de gestores e utilizadores da água na criação de Respostas do DPSIR pode ser potenciada através do envolvimento de uma dimensão Multimedia associada ao SIG-GSH. Esta dimensão Multimédia assenta essencialmente nas possibilidades de divulgação e interacção proporcionadas pela Internet (SHIFFER, 1999). Tal como é referido na Directiva Quadro da Água, deve existir uma maior proximidade entre a comunidade científica e os beneficiários deste recurso natural. Esse envolvimento está presente na formulação metodológica do MULINO-DSS, quer através do envolvimento dos *end users* na implementação do MULINO-DSS, quer através dos contactos com os *stakeholders* (em entrevistas, ou contactos mais informais e regulares) que beneficiarão mais directamente da implementação do MULINO-DSS.

Uma vez definido o MULINO-DSS, o objecto de estudo, que teve na sua origem um interesse teórico, adquire uma dimensão empírica, através da sua aplicação por parte dos *end users*.

⁴ SWAT – Soil and Water Assessment Tool

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRAIG, W. HARRIS, T. et al (2002). *Community Participation and GIS*; London, Taylor and Francis;
- EASTMAN, J. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS; in *Geographical Information System*; LONGLEY, P.; New York; John Wiley & Sons. pp.493-502;
- EEA (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview*; Tech. Report 25; on-line: <http://reports.eea.eu.int>. Data de acesso 20-02-2002;
- GENTILE, A.R.(1998). *From national monitoring to European reporting: the EEA framework for policy relevant environmental indicators*; on-line: <http://www.desertification.it>. Data de acesso 20-02-2002;
- LANG, L. (1998). *Managing Natural Resources with GIS*; New York, Environmental Systems Research Institute, Inc.;
- LOURENÇO, N.; JORGE, R.; MACHADO, C. R.; RODRIGUES, L. (1999), *Land Use Change: Methodological Approach to Understand the Interactions*; em publicação pelo Joint Research Centre;
- MONTGOMERY, D. (2000). *Hydrological Applications of GIS*; New York; John Wiley & Sons;
- MULINO CONSORTIUM (2002). *Reference Guide*; Veneza;
- QUIMPO, R. (1999). *GIS Modules and Distributed Models of the Watershed: Report*; New York; American Society of Civil Engineers;
- SHIFFER, M. (1999). Managing public discourse: towards the augmentation of GIS with multimedia; in *Geographical Information System*; LONGLEY, P.; New York; John Wiley & Sons. pp.723-732;
- SONDHEIM, M. et al (1999). GIS interoperability; in *Geographical Information System*; LONGLEY, P.; New York; John Wiley & Sons. pp.347-357;

Luís RODRIGUES

lrodrigues@uatla.pt

Nelson LOURENÇO

nelson.lourenco@netcabo.pt

Carlos Russo MACHADO

cmachado@uatla.pt

Maria do Rosário JORGE

rosarioj@uatla.pt

Centro de Investigação da Universidade Atlântica

Antiga Fábrica da Pólvora de Barcarena

2745-615 Barcarena

Portugal

Tel: +351 214398214

Fax: +351 214302573

URL: <http://www.tend-pt.org>

URL: <http://www.uatla.pt>

URL: <http://www.feem.it/web/loc/mulino/index.html>