

*Laboratório Regional de Engenharia Civil  
Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira  
Câmara Municipal do Funchal*

**PROJECTO ISIS**  
**Sistema Integrado para a Implementação de Sustentabilidade**

**CASO DE ESTUDO SOBRE SIG**

**Desenvolvimento de um Sistema Integrado baseado em SIG para  
apoio à tomada de decisão no âmbito dos Transportes Terrestres no  
Funchal**

**Funchal, Dezembro 1996**

---

**Programa LIFE , CE - DGXI**  
LIFE93/UK/A.1.5.3./UK/3109  
LIFE94/UK/A151/UK/01702/MLTRG

## Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Aspectos metodológicos.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Construção do Sistema Integrado.....</b>	<b>4</b>
3.1 Construção da rede .....	4
3.1.1. Utilização de cartografia digital.....	4
3.1.2. Digitalização da rede de estradas .....	4
3.1.3. Construção das bases de dados .....	4
3.1.4. Criação da Estrutura Básica de Dados .....	5
3.2. Carregamento da Base de Dados .....	5
3.2.1. Recolha de dados .....	5
3.2.2. Importação da informação de tráfego existente .....	5
3.2.3. Implementação dos Modelos Matemáticos.....	6
3.2.4. Construção da Aplicação .....	6
3.3. Cenários.....	7

### Anexo I - Organigrama do Sistema Integrado

## 1. Introdução

O presente caso de estudo integra-se num projecto de cooperação entre quatro cidades europeias, com o apoio do Programa LIFE, designado por ISIS. As cidades envolvidas são: Funchal, Huddersfield, Berlim e Copenhaga, respectivamente em Portugal, Reino Unido, Alemanha e Dinamarca.

Um dos principais constrangimentos na elaboração das políticas de transporte e gestão local de tráfego, reside no facto de muitas vezes serem tomadas decisões, sem contudo se deter a informação necessária ao processo de decisão, designadamente no que respeita à inventariação dos impactes ambientais e sociais. Esta situação é em parte devida à ausência de informação e parte devido a problemas que se prendem com os meios adequados para avaliar a informação disponível.

Uma das tarefas mais relevantes desenvolvidas no âmbito deste projecto, no Funchal, referiu-se à implementação de um Sistema de Informação Geográfica. Aquando do seu início este sistema não se encontrava ainda implementado, tendo, para o efeito, sido necessário desenvolver um esforço adicional para a elaboração do programa de trabalhos.

No âmbito do projecto ISIS, foi desenvolvida a estrutura principal de um Sistema Integrado, que permita, com relativa facilidade, a integração da informação ambiental disponível, facilitando o processo de análise e tomada de decisão. Este Sistema Integrado é baseado numa arquitectura de SIG, onde toda a informação disponível se encontra organizada, alimentando posteriormente o Sistema de Apoio à Decisão (SAD), um protótipo de *software* desenvolvido para permitir avaliar as condições de sustentabilidade do sector dos transportes.

Embora esta estrutura tenha sido desenvolvida tendo em atenção as condições específicas da cidade do Funchal, a aplicação daqui resultante, assim como as conclusões, podem ser aplicáveis a outras regiões, sem necessidade de introdução de alterações significativas.

Apesar de não ser revolucionário, este modelo apresenta uma estrutura pouco comum para o seu género: é baseado num Sistema de Informação Geográfica, em vez de uma topologia mais restrita, ou seja, adicionando um significado geográfico às relações topográficas de um modelo de redes digital. Isto significa que se trabalha com a localização e configuração geométrica reais da rede de estudo.

A plataforma de SIG escolhida foi o Arc/INFO da ESRI. Muitos dos aspectos aqui descritos não são específicos deste *software*, sendo eventualmente aplicáveis a qualquer ambiente de SIG.

Muitas vantagens e possibilidades advêm da implementação destes sistemas, designadamente:

- O modelo resultante é menos abstracto;
- As relações topológicas são automaticamente construídas após a digitalização;
  - Permite a integração com outras aplicações de SIG;
- Facilita a análise de redes;
- Facilita o desenvolvimento de bases de dados relacionais.

## 2. Aspectos metodológicos

A primeira estrutura concebida para o Sistema Integrado (Anexo I), elaborada durante a primeira fase do projecto ISIS, considerava que os modelos testados, seriam externos ao Sistema de Informação Geográfica, sendo alimentados pelas bases de dados entretanto criadas, os cálculos seriam feitos externamente, e os resultados visualizados cartograficamente.

Dado que alguns dos modelos testados em diversos casos de estudo disponibilizavam as respectivas fórmulas (factores de emissão, consumo de energia e ruído de tráfego) podiam, com relativa facilidade, ser introduzidas directamente no SIG, através de rotinas de programação, em vez de correrem externamente, o que teria de ser feito através de interfaces. Optou-se assim por desenvolver aquela estrutura, dado permitir ao utilizador trabalhar no mesmo ambiente, evitando a importação/exportação de ficheiros de diferentes formatos.

Para o efeito, foi necessário conceber uma base de dados, planeada de tal forma que permitisse conter todos os dados necessários dos modelos, mesmo aos não disponíveis no momento, designadamente o modelo de dispersão de poluentes e o modelo de tráfego, por forma a evitar duplicações desnecessárias de alguns campos que são comuns a vários modelos.

Para a introdução dos modelos foi necessário desenvolver rotinas de AML, linguagem esta que não se encontra desenvolvida para o ambiente de SIG para PC, sendo contudo possível correr a aplicação nestes equipamentos, após a sua elaboração.

Pela altura do desenvolvimento deste projecto o *software* AVENUE para Arcview, não se encontrava ainda disponível no mercado, e assim os aspectos conceptuais deste Sistema Integrado foram desenvolvidos, tendo como principal objectivo o futuro aproveitamento da estrutura principal, podendo a mesma ser sucessivamente melhorada com a comercialização de novas ferramentas.

Algumas das vantagens da linguagem AVENUE são:

- Uma melhor performance no manuseio das “views”;
- Um ambiente de trabalho mais integrado;
- Capacidades acrescidas na criação e manuseio das interfaces gráficas;
- Uma linguagem orientada para objectos;
- Uma estrutura de sintaxe BASIC - LIKE.

### **3. Construção do Sistema Integrado**

Após diversas abordagens e sucessivos melhoramentos a estrutura final compreendeu as seguintes fases:

#### **3.1 Construção da rede**

A primeira fase consistiu na construção do modelo de tipologia de rede georreferenciado, sem o qual não é possível ter a base do Sistema Integrado.

##### **3.1.1. Utilização de cartografia digital**

No início deste projecto, e como já foi anteriormente referido, o sistema de SIG dava os primeiros passos no Funchal, existindo uma certa dificuldade na disponibilização de cartografia recente, que teria de ser digitalizada ou “rasterizada”.

Felizmente, a existência de cartografia digital em ficheiros formato AutoCAD (DXF), permitiu a sua importação, com relativa facilidade para o sistema de SIG, tendo sido necessário ajustar a projecção dos mapas e o sistema de coordenadas. Esta cartografia foi actualizada para a área de estudo, designadamente no que respeita a novas infraestruturas rodoviárias.

##### **3.1.2. Digitalização da rede de estradas**

A digitalização da rede de estradas foi efectuada da forma usual, ou seja, utilizando a base cartográfica como guia de fundo para obter o eixo das vias rodoviárias.

##### **3.1.3. Construção das bases de dados**

A construção da base de dados baseada numa estrutura topológica de rede do Arc/INFO, parecia à partida, uma escolha apropriada, já que os atributos podem ser aplicados a segmentos de arcos, utilizando a segmentação dinâmica. Uma das grandes vantagens da segmentação dinâmica é permitir adicionar eventos aos percursos (linhas de autocarros, sinais de trânsito, locais de acidentes, etc.), bastante úteis para a gestão local de tráfego.

Contudo, após vários testes, este método provou não ser de fácil construção e manutenção, não sendo as vantagens justificativas da sua adopção, nesta fase. Uma das desvantagens da segmentação dinâmica é a criação automática de mais de uma

tabela (“routes”, secções e arcos), criando mais dificuldades aquando da actualização dos atributos. Cada modificação tem de ser introduzida em todas as tabelas de atributos, aumentando a quantidade de trabalho a realizar, e conseqüentemente dificultando o seu manuseio.

O método escolhido para armazenar a informação foi o das tabelas de atributos de arcos, constituindo estes a entidade fundamental, a partir de então. Esta opção não impede, contudo, a possibilidade de trabalhar com a segmentação dinâmica, que sendo necessária, pode, a qualquer momento, ser desenvolvida.

### **3.1.4. Criação da Estrutura Básica de Dados**

Após a digitalização, a tabela de atributos dos arcos foi construída (o Arc/INFO cria automaticamente uma topologia relacional de arcos-nós). Um único código de ID foi gerado possibilitando um relacionamento com outras bases de dados.

Seguidamente a estrutura de colunas da base de dados foi definida de forma a conter todos os elementos necessários, designadamente as características físicas dos arruamentos, contagens de tráfego para as 24h, categorias mais representativas dos veículos, restrições na circulação automóvel e sinais de trânsito.

## **3.2. Carregamento da Base de Dados**

### **3.2.1. Recolha de dados**

Já que alguns dos modelos necessitam de elementos, tais como, a distância do eixo da via ao ponto receptor, as inclinações, altura dos edifícios, percentagem de edifícios numa rua, presença ou ausência de árvores, quanto mais detalhada a base de dados, mais fácil seria, numa fase posterior, de obter a informação necessária para poder aplicar os modelos. Assim, especial atenção foi dada ao planeamento da base de dados, já que constitui o suporte principal do Sistema Integrado.

### **3.2.2. Importação da informação de tráfego existente**

A informação de tráfego existente foi actualizada numa folha de cálculo Excel, fornecida pela Câmara Municipal do Funchal, sendo necessário proceder à sua importação para o ambiente de SIG.

Foi necessário proceder à reclassificação das categorias dos veículos, por forma a serem compatíveis com os modelos, especialmente o modelo de consumo de energia.

As contagens de tráfego foram desagregadas, sendo necessário elaborar estimativas para as categorias necessárias ao modelo. Por exemplo, os veículos com catalisador foram inferidos, partindo da proporção de gasolina sem chumbo consumida na Madeira, afectada por um factor correspondente à percentagem estimada da sua circulação no Funchal.

### **3.2.3. Implementação dos Modelos Matemáticos**

Foi necessário, para o efeito, desenvolver rotinas de cálculo usando a linguagem AML (Arc/INFO Macro Language). A primeira versão utilizava um ciclo interactivo que corria através de um conjunto pré-seleccionado de registos. As fórmulas foram divididas nas suas componentes básicas, proporcionando uma melhor leitura dos códigos e facilitando eventuais modificações dos mesmos.

Contudo este procedimento torna lenta a leitura, dado que a linguagem AML é uma linguagem interpretativa, tendo sido abandonado a favor de um método mais orientado para as bases de dados.

Assim, e tendo como principal objectivo o desempenho do procedimento, à custa do rigor, um método de cálculo em lote foi utilizado em vez de um algoritmo interactivo linha a linha. As rotinas foram testadas, detectados os erros e melhoradas.

### **3.2.4. Construção da Aplicação**

O sistema Arc/INFO não possibilita, numa única ferramenta, toda a funcionalidade desejada às aplicações, sendo uma das suas desvantagens. As AML foram desenvolvidas para trabalhar em ARCEDIT, para que a visualização temática dos modelos fosse possível.

Rotinas de AML em Arc/PLOT foram também desenvolvidas para facilitar o trabalho do utilizador, tornando-o também mais amigável, evitando assim mudanças sistemáticas de ambiente de trabalho.

Uma aplicação para o utilizador foi assim desenvolvida, proporcionando a seguinte funcionalidade:

#### **Facilidade de repetição de cálculos**

A aplicação deverá proporcionar o cálculo das emissões dos poluentes atmosféricos, consumos de energia ou níveis de ruído, criando para o efeito um novo modelo e/ou a edição do modelo existente.

Estes cálculos são feitos separadamente e cada visualização diz respeito somente a um cálculo. Para efeitos de comparação de resultados, o utilizador necessita de cruzar as edições cartográficas.

### **Gestão de ficheiros múltiplos**

A aplicação deverá permitir o utilizador criar, alterar ou manter modelos de rede, distintos, através de um conjunto de menus (New, Save, Close, Open, etc.). Ambientes de desenho específicos e opções gerais, devem ser armazenados e automaticamente carregados, para cada modelo.

### **Criação da Representação Temática de Resultados**

A aplicação deverá permitir ao utilizador a visualização e definição da simbologia gráfica e resultados de cálculo. O utilizador deve poder manipular a legenda, definir classes e escolher o tipo de linha e cor associados a cada uma delas, a partir de uma paleta de cores pré-definida. Para cada cálculo uma nova cobertura é criada e editada, sendo armazenada em ficheiros separados.

### **Consulta de atributos**

O utilizador deve poder inquirir as bases de dados, acerca de todos os atributos, para um objecto particular, através de uma operação simples de apontar o atributo desejado e visualizar o seu conteúdo.

### **Introdução e edição de atributos**

A aplicação deverá permitir ao utilizador formas de carregar ou alterar os atributos da rede.

### **Manipulação e Edição de topologias**

A aplicação deverá possuir um conjunto de ferramentas interactivas de edição para a manipulação e actualização da rede viária. Esta ferramenta deve proporcionar ao utilizador, não só construir e manter os modelos existentes, mas também criar cenários, tornando a aplicação numa ferramenta útil a futuros planos de desenvolvimento e ao processo de tomada de decisão.

## **3.3. Cenários**

A opção de elaboração de cenários foi desenvolvida de forma bastante acessível. Por cada modificação das bases de dados, os cálculos são feitos e os resultados visualizados.

Se um cenário é necessário para posterior análise, a opção “SAVE AS” armazena as novas bases de dados, os novos cálculos e o novo cartograma, num ficheiro novo, permitindo a posterior edição e visualização cartográfica.

## ANEXO I

### **Organigrama do Sistema Integrado**

## Sistema Integrado para o Desenvolvimento Sustentável do Sector dos Transportes no Funchal

