

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
Institute for Systems Engineering and Computers
INESC - Coimbra

Agostinho José Jordão Gonçalves
ajordao@dec.uc.pt

João Manuel Coutinho Rodrigues
coutinho@dec.uc.pt

Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e
Avaliação Multicritério

**PARTE IV– Aplicação da Proposta Metodológica em Infraestruturas Rodoviárias: O Tema
Ambiental Atmosfera.**

Nº 01/2014

Janeiro de 2014

ISSN: 1645 – 2631

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
INESC – Coimbra
Rua Antero de Quental, 199; 3000-033 Coimbra; Portugal
www.inescc.pt

ABSTRACT

The Environmental Impact Study (EIS) is a key formal document in the Portuguese Environmental Impact Assessment context procedure, which is required for an engineering project in order to obtain the respective legal authorization. The EIS is the outcome of a set of methodological evaluation assessments and activities undertaken towards the identification of possible environmental impacts induced by the referred engineering project. It should present the mitigation measures proposed and the respective monitoring plan. If the project to be implemented includes several alternatives, the “most environmental friendly” alternative should be indicated. This work proposes a methodology to support the Assessment procedure above in a GIS integrating environment. The combination of the GIS standard functionalities with the implementation of specific external models may well turn out to be a strong contribution towards the development of a specific multicriteria spatial decision support system in the environmental domain. The methodology proposed includes the design of an interactive routine developed in Visual Basic® - the ArcView® embedded language – in order to support the Screening, Scoping, the Significance Evaluation, and Selection of the Environmental Impact Indicators; the GIS functionalities are used to predict environmental impacts and measure related impact indicators. These impact indicators are used as criteria, within the multicriteria analysis module, based principally on the ELECTRE III method. This will provide the user with a sorted list of possible alternatives, from the “most environmental friendly” down to the least. In order to test the methodology proposed, this shall be applied as part of the EIS of a planned motorway to be built in the west-centre of Portugal’s mainland.

This report is the fourth, in a series still under preparation, where the methodology conceived is described and applied within the context of the case study above. Here we estimate the spatial dispersion of pollutants in the atmosphere caused by road traffic in the road’s neighborhood.

Keywords: Environmental impact study, environmental impact assessment, multicriteria evaluation, air pollution, traffic pollution, SDSS, GIS.

RESUMO

O Estudo de Impacte Ambiental (EIA), é uma peça fundamental no processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) a que são submetidos alguns projectos de engenharia. Ele é o resultado de um conjunto de actividades e avaliações metodológicas conducentes a identificar e avaliar possíveis impactes ambientais induzidos por esse empreendimento, apresentando as medidas de minimização desses impactes e o plano de monitorização. No caso de existirem múltiplas alternativas em análise, o EIA deve indicar também a alternativa “ambientalmente mais favorável”. O presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para apoiar esse conjunto de actividades e avaliações metodológicas, tendo como estrutura integradora um SIG - apoiado nas suas próprias potencialidades capazes de contribuir para esse conjunto de tarefas - ligado a modelos externos específicos, constituindo-se assim como uma contribuição para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão espacial multicritério, no domínio ambiental. Essa proposta metodológica engloba a concepção duma rotina interactiva, em *Visual Basic*® - a linguagem interna de programação do *ArcView*® - para suportar os processos de *Screening*, *Scoping*, avaliação da significância e selecção dos indicadores de impacte ambiental. As funcionalidades do SIG, associadas a módulos externos específicos, são usadas para prever e quantificar os impactes e os respectivos indicadores ambientais. Estes indicadores de impacte são então utilizados como critérios, no módulo de avaliação multicritério que utiliza, preferencialmente, o método ELECTRE III. Isso permite apresentar uma preordenação final das alternativas, desde a “ambientalmente mais favorável” até à mais adversa.

Como caso de estudo, essa proposta metodológica é aplicada a um Estudo de Impacte Ambiental, referente ao projecto de construção de um novo troço de auto-estrada que liga Ílhavo ao Lanço do IC1 - Mira/Aveiro, no seu sublanço Vagos/Aveiro Sul, denominado SCUT DA COSTA DA PRATA.

O presente relatório constitui o quarto, de uma série em preparação, onde se apresenta e aplica essa proposta metodológica ao referido caso de estudo. Aqui é estimada a dispersão espacial de poluentes na atmosfera provocada pelo tráfego rodoviário nas imediações da estrada.

Palavras-chave: Estudos de impacte ambiental, avaliação ambiental, avaliação multicritério, poluição ar tráfego, SADE, SIG.

NOTAÇÃO UTILIZADA

AAD	-Atlas do Ambiente Digital
AIA	- Avaliação de Impacte Ambiental
AMC	- Avaliação Multicritério
AMD	- Ambientalmente Mais Adversa
AMF	- Ambientalmente Mais Favorável
AMT	- Altura Máxima de Talude
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CO	- Monóxido de Carbono
EIA	- Estudo de Impacte Ambiental
EM	- Erosão Média
EP	- Estradas de Portugal, S.A
ET	- Erosão Total
EUPS	- Equação Universal de Perda/Degradação de Solo
F.A.O	- <i>Food and Agriculture Organization</i>
GHS	- Grupo Hidrológico do Solo
GISBASE	- Base de Dados Geográficos
GUI	- <i>Graphical user interface</i>
HC	- Hidrocarbonetos
IA	- Instituto do Ambiente
IGEOE	- Instituto Geográfico do Exército
ISA	- Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal
IST	- Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal
KB	- <i>Knowledge Base</i>
MDT	- Modelo Digital do Terreno
NRCS	- <i>Natural Resources Conservation Service</i>
POP	- Preordenação Parcial
PP	- Plano de Pormenor
RAN	- Reserva Agrícola Nacional
REN	- Reserva Ecológica Nacional
SADE/SDSS	- Sistema de Apoio à Decisão Espacial/ <i>Spatial Decision Support Systems</i>
SIG/GIS	- Sistema de Informação Geográfica / <i>Geographical Information System</i>
SNIG	- Sistema Nacional de Informação Geográfica
SNIRH	- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SPA	- <i>Spatial Analyst</i>
S.R.O.A.	- Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário
SST	- Sólidos em Suspensão
TMD	-Tráfego médio diário
USDA-SCS	- <i>United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service</i>
USLE	- <i>Universal Soil Loss Equation</i>
VAT	- <i>Value Attribute Table</i>
VTE	- Volume Total de Escavação
VB	- <i>Visual Basic</i>

Índice

1. Objectivo	1
2. Descrição da proposta metodológica.....	1
2.1. <i>Gisbase</i>	2
2.2. Base de conhecimento, KB	2
2.3. <i>Scoping</i> e identificação de impactes.....	2
2.4. Mitigação de impactes.....	3
2.5. Predição de impactes e classificação temática das alternativas.....	4
3. Modelos de qualidade do ar.....	7
4. Modelos de dispersão de poluentes	9
5. Mapeamento SIG da distribuição da concentração de poluentes	12
6. O tema Atmosfera - Tratamento em SIG	15
6.1. Modelo da qualidade do ar adoptado.....	15
6.2. Modelo de emissão/dispersão – <i>Caline 4</i>	17
6.3. Modelação em SIG da concentração de poluentes	19
7. Avaliação Multicritério de alternativas para o tema Atmosfera.....	22
7.1. Avaliação Temática.....	23
7.2. Avaliação Geral.....	28
8. Referências	32
9. Sites visitados	37

1. Objectivo

O objectivo do presente trabalho é apresentar parte de uma proposta metodológica para apoiar a realização de um EIA, em especial a sua etapa de avaliação de impactes ambientais. A componente aqui tratada diz respeito ao tema ambiental “Atmosfera”, sendo outros temas apresentados noutros relatórios.

Fazendo uso das funcionalidades de um SIG e da sua integração com uma base de métodos multicritério de apoio à decisão, a metodologia global permite identificar os impactes relevantes, propor medidas de mitigação, quantificá-los, avaliá-los e, finalmente, avaliar as próprias alternativas, com o intuito de, por exemplo, apresentar a sua ordenação desde a “**ambientalmente mais favorável**” até à “**ambientalmente mais adversa**”, como é preconizado nas *Normas técnicas para a estrutura do estudo de impacte ambiental*, contempladas no Anexo II da Portaria nº 330/2001, de 2 de Abril. Os SIG surgem como uma plataforma integradora para o desenvolvimento de todas as tarefas, apoiando-se nas suas próprias funcionalidades e na associação com modelos externos específicos, constituindo-se assim como uma contribuição para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão espacial multicritério, no domínio ambiental. A componente “Recursos Hídricos” têm, naturalmente, fortes características espaciais que justificam e beneficiam da utilização de tecnologia SIG.

Como caso de estudo, essa proposta metodológica é aplicada a um EIA referente ao projecto de construção de um novo troço de auto-estrada que liga Ílhavo ao Lanço do IC1-Mira/Aveiro, no seu sublanço Vagos/Aveiro Sul, denominado SCUT¹ DA COSTA DA PRATA.

2. Descrição da proposta metodológica

A proposta metodológica aplica-se às várias fases de elaboração do EIA (identificação, predição e avaliação de impactes, mitigação e avaliação de alternativas), sendo seleccionados os impactes considerados irreversíveis a longo prazo, independentemente de serem gerados na fase de construção, funcionamento ou desactivação do empreendimento. Previamente foi necessário reunir a informação para as bases de dados geográficos (GISBASE) e para a base de conhecimentos (KB), como se descreve a seguir.

¹ SCUT – Acrónimo de “Sem Custos para o Utilizador”

2.1. *Gisbase*

Uma parte da informação geográfica da área de estudo, foi adquirida ao IGEOE (Instituto Geográfico do Exército), enquanto outra foi recuperada do EIA. No primeiro caso foi adquirida a seguinte informação digital temática em formato *dgn*: **altimetria, caminhos, edifícios, hidrografia, rede ferroviária, rede viária, toponímia, e vegetação** - formato vectorial, à escala 1:25000 - e um **MDT** (modelo digital do terreno) da Carta Militar de Portugal nº 185 - baseado numa matriz regular de pontos com valores de elevação do terreno, com a resolução espacial de 8 metros. Esta informação geográfica é referenciada ao Sistema de Projecção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Datum de Lisboa. No segundo caso recuperou-se um *raster* (imagem em formato TIFF) da Carta Militar nº 185, e desenhos em formato *dwg*, com a delimitação espacial de vários aspectos ambientais (**geologia, biótopos, condicionantes, ocupação do solo, qualidade de paisagem, recursos mineiros**). Essa informação foi convertida para *shapefiles* ou *geodatabase*, recorrendo ao *Conversion Tools* do *ArcView*[®], sendo depois guardada numa directoria. Outra informação foi também recolhida em *sites* de organismos estatais (ex. SNIG, IA, EP, SNIRH).

2.2. **Base de conhecimento, KB**

A informação desta base de conhecimentos é constituída pelo tipo de projectos definidos pela legislação portuguesa e pelas medidas de mitigação, já referidos nos capítulos anteriores, e pela informação digital sobre o empreendimento. Esta informação digital é constituída por ficheiros CAD sobre as várias alternativas ao traçado da estrada, disponível no EIA.

2.3. *Scoping* e identificação de impactes

Esta fase corresponde à identificação dos impactes mais previsíveis, ao seu estudo (análise e avaliação), à definição do âmbito desse estudo, e delimitação geográfica do mesmo (área de estudo). De acordo com a proposta metodológica, isso é realizado recorrendo a uma matriz de interacção, por exemplo a Matriz de Leopold, para este tipo de projectos. Com essa matriz são seleccionados os temas e os elementos ambientais, bem como os indicadores de impacte ambiental. O processo de *Screening* mostra que este caso, como se trata de um projecto de uma estrada com uma única faixa de rodagem (sem

separador e com duas vias) e com menos de 10 km, está excluído da lista dos projectos a submeter ao processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) constante do Anexo I do Decreto-Lei nº 69/2000, de 3 de Maio. No entanto, o Anexo II do mesmo diploma obriga a submeter a AIA os projectos relativos a estradas referentes a Itinerários Principais e Complementares, não contempladas no Anexo I. Como é referido no EIA que o troço em causa faz parte integrante do sub-lanço do IC1 (Itinerário Complementar 1) entre Vagos e Aveiro Sul, então, salvo análise jurídica especializada, o projecto deverá ser submetido a AIA e ser elaborado o correspondente EIA.

A **KB** contempla para este tipo de projectos, os dez temas ambientais: **Geomorfologia e Geologia; Recursos Hídricos; Solos; Atmosfera; Sistemas Ecológicos; Aestética; Ambiente Sonoro; Condicionantes e Ordenamento; Socioeconómicos.**

Atendendo à caracterização ambiental da área de estudo e à Matriz de Leopold para este tipo de projectos, todos esses temas sofrem impacte, pelo que foram seleccionadas para estudo. Analogamente, para cada tema foram seleccionados da **KB** os elementos ambientais susceptíveis de sofrerem impacte. Para cada elemento ambiental seleccionado, foram definidos os Indicadores de Impacte Ambiental que vão servir de base à comparação entre alternativas. No âmbito deste trabalho foram seleccionados os temas, elementos e indicadores ambientais, apresentados na Tabela 2.1. Esses são alguns dos exemplos dos elementos e indicadores ambientais que poderiam ser usados e que, no âmbito deste trabalho, se tomaram a título exemplificativo. A extensão geográfica da área de estudo depende do tipo e características do impacte a analisar. No presente trabalho essa extensão foi confinada à Carta Militar nº 185.

2.4. Mitigação de impactes

Nesta fase procede-se à selecção das medidas de mitigação, efectivamente a implementar, por tema ambiental. Para isso, em diálogo com a rotina interactiva, o utilizador selecciona um conjunto de medidas de mitigação usualmente empregues neste tipo de projecto e por tema ambiental, apoiando-se nas tabelas que contêm as medidas de mitigação, organizadas na directoria Mitigação da KB. Ao seleccionar as medidas efectivamente a implementar o utilizador define o valor do factor de ponderação K que é dado pela relação entre o número de medidas de mitigação seleccionadas, efectivamente a implementar, e o

número total de medidas previstas na KB, para o tema ambiental em análise (ver Research Report INESC-Coimbra, nr 12/2009, em http://www.inescc.pt/documentos/12_2009.PDF). Esse factor K irá afectar os pesos dos critérios na avaliação multicritério preconizada neste trabalho (Tabela 2.2).

2.5. Predição de impactes e classificação temática das alternativas

A predição de impactes implica a quantificação dos impactes previsíveis. A quantificação de impactes consiste na determinação da sua magnitude e na avaliação da sua significância. Também foi estabelecido (ver Research Report INESC - Coimbra, nr 06/2008, http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf) que uma medida dessa *magnitude* pode ser dada pelo valor do indicador de impacte ambiental seleccionado. Para a determinação desse valor recorre-se a modelos de simulação que permitem estimar a variação de um descritor ambiental. Nalguns casos, porém, essa *magnitude* pode ser determinada recorrendo apenas a simples operações de análise espacial, ou a operações de geoprocessamento disponibilizadas pelo SIG. Também, nesse anterior relatório, foi referido que a *significância* dos impactes tem a ver com a importância que lhes é dada pelos técnicos, opinião pública, instituições, etc. Assim todos os temas ou elementos ambientais vão ser avaliados numa escala de 1 a 6 definida tendo em conta:

- **Do seu potencial ambiental;**
- **Da sua sensibilidade à introdução do projecto;**
- **Do Risco de Impacte após Mitigação** (este ponderado do factor K).

Assim, para cada tema é constituída uma matriz de decisão com os indicadores ambientais como critérios ou atributos, sendo o seu valor o desempenho de cada alternativa segundo cada critério.

Tabela 2.1 – Temas, Elementos e Indicadores Ambientais

Tema Ambiental	Elemento Ambiental	Indicador de Impacte Ambiental	Tipo
Geomorfologia e Geologia	Relevo e topografia	Volume total de escavação (m3)	Qt
		Volume relativo de escavação (m3)	Qt
	Estabilidade de vertentes	Altura máxima de talude	Qt
		Erosão média na zona da estrada(t/ano/h)	Qt
Recursos Hídricos	Fluxo das águas superficiais	Número de passagens hidráulicas afectadas.	Qt
		Volume de escoamento superficial directo (m3)	Qt
	Fluxo de águas subterrâneas	Poços e furos directamente afectados	Qt
	Qualidade das águas superficiais	Acréscimo de concentração de SST, HC e metais pesados	Qt
	Qualidade das águas subterrâneas	Distância à captação pública de água (m)	Qt
Solos	Erosão	Erosão total (t/ano)	Qt
	Impermeabilização	Área total impermeabilizada (m2)	Qt
Atmosfera	Qualidade do ar	Concentração de CO sobre o edifício A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qt
		Concentração de CO sobre o edifício B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qt
Sistemas Ecológicos	Flora	Índice do valor ecológico da flora afectada	Qt
	Fauna	Índice do valor ecológico de mamíferos afectados	Qt
		Índice do valor ecológico de aves afectadas	Qt
Ocupação do Solo	Agrícola	Total de área agrícola afectada (m2)	Qt
	Floresta	Total de área de floresta afectada (m2)	Qt
		Total de área floresta de produção afectada (m2)	Qt
		Total de área de matos afectada (m2)	Qt
	Habitacionais	Total de área habitacional afectada (m2)	Qt
	Indústria e Serviços	Total de área industrial e serviços afectada (m2)	Qt
Aestética	Paisagem	Índices de paisagem afectada	Qt
Ambiente Sonoro	Ruído	(3) Área total de zona urbana exposta a um $\text{LAeq} \geq 55$	Qt
		(4) Área total de zona urbana exposta a um $\text{LAeq} \geq 55$	Qt
		Percentagem de (3) em relação ao actual (%)	Qt
		Percentagem de (4) em relação ao actual (%)	Qt
Condicionantes e Ordenamento	RAN	Área de RAN afectada (m2)	Qt
	REN	Área de REN afectada (m2)	Qt
	Planos de Pormenor	Área de PP afectada (m2)	Qt
SocioEconómico	Acessibilidade	Ganho de tempo (minutos)	Qt
	População Activa	Emprego induzido	Qt
	Expropriações	Valor de expropriações	Qt

Tabela 2.2 – Medidas de mitigação a implementar e factor K

Tema	Medidas de Mitigação	Fase	Uso	K
Geomorfologia e Geologia	Tratamento de inclinação de taludes	C	S	4/7
	Construção de canais de crista de talude	C	S	
	Valetas pé de talude	C	S	
	Construção de banquetas	C	N	
	Esporões e máscaras drenantes	C	N	
	Manchas de empréstimo de preferência em pedreiras da região	C	N	
	Trincheiras drenantes com colocação de geotextil	C	S	
Recursos Hídricos	Bacias de tratamento de águas de escorrência	F	N	4/12
	Bacias de retenção de emergência	F	N	
	Passagens hidráulicas adicionais	F	N	
	Valetas com secção alargada	F	N	
	Maior número de pontos de lançamento de água	F	S	
	Pavimento anti-ruído, poroso ou drenante	F	S	
	Esporões e máscaras drenantes	F	S	
	Entulhamento dos poços afectados	F	S	
	Monitorização das águas subterrâneas em pontos estratégicos	F	N	
	Monitorização e controle de erosão e cheias	F	N	
	Monitorização do teor de poluentes na água	F	N	
	Montagem de rede de medição da variação do nível freático	F	N	
Solos	Localização de áreas de empréstimo e depósito	C	S	2/2
	Restrição de movimentação fora da área de trabalho	C	S	
Atmosfera	Uso de técnicas de construção redutoras de poeira	C	S	2/3
	Dispositivos de redução de poluição em máquinas e instalações	C	S	
	Criação de barreiras verdes na área envolventes à estrada	F	N	
Sistemas Ecológicos	Local de estaleiros e caminhos fora da floresta e linhas de água	C	S	3/5
	Faixa sem vegetação, nem material lenhoso, paralelo a estrada	F	N	
	Utilização de malha progressiva e rede	F	S	
	Adopção de reflectores para animais	F	S	
	Passagens especiais para fauna	F	N	
Ocupação do Solo	Viadutos em substituição de aterros	F	N	2/3
	Utilização de áreas degradadas para locais de estaleiro e depósito	C	S	
	Restabelecimento de caminhos agrícolas e florestais	F	S	
Aestética	Tratamento especiais de taludes e áreas adjacentes	F	N	3/7
	Cortinas arbóreas e arbustivas	F	N	
	Escolha de espécies vegetais ajustadas	F	N	
	Indicação de elementos de valor cultural ou turístico	F	S	
	Preservação de elementos do património natural ou cultural	F	S	
	Túneis ou estruturas do tipo “cut and cover”.	F	N	
	Acompanhamento arqueológico das escavações	C	S	

Ambiente Sonoro	Barreiras acústicas por sobre elevação de terras	C	N	2/4
	Pavimento anti-ruído, poroso ou drenante	F	S	
	Redução de velocidade de pesados em locais sensíveis	F	S	
	Barreiras acústicas e isolamento de fachadas	F	N	
Condicionantes e Ordenamento	Evitar locais sensíveis de RAN e REN	C	N	1/2
	Implementação de medidas de “ <i>non aedificandi</i> ” junto à estrada	F	S	
Socioeconómico	Muros de suporte para reduzir expropriações	C	N	9/10
	Guardas de segurança reforçadas em locais sensíveis	F	S	
	Adoptar iluminação em trechos que atravessem lugares sensíveis	F	S	
	Luminárias especiais que atenuem a difusão da luz	F	S	
	Localização de S.O.S	F	S	
	Colocação de instruções de procedimento em caso de acidentes	F	S	
	Restabelecimentos adicionais de vias e caminhos importantes	F	S	
	Recrutar mão-de-obra local	C	S	
	Procurar manter livres os habituais caminhos e passagens	C	S	
	Divulgação local dos condicionalismos á circulação	C	S	

3. Modelos de qualidade do ar

Em problemas de poluição do ar, os modelos da qualidade do ar são utilizados para prever concentrações de um ou mais tipos de poluentes no espaço e relacioná-los quantitativa e temporalmente com as variáveis dependentes (Kiely,1998; Sharma *et al.*, 2004). Estes modelos constituem um dos componentes mais importantes da gestão da qualidade do ar de uma área urbana (Longhurst *et al.*, 2000, segundo Sharma *et al.*, 2004). Existem diversas maneiras de classificar os modelos de qualidade do ar, em função dos seus atributos (Sharma *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2011): **Relacionamento Fonte-Receptor** (ponto, área, linha, volume e multifonte); **Modelos de Estrutura Básica** - Estado determinístico ou não determinístico, de estado constante ou dependente do tempo; **Quadro de Referência** – Euleriano ou Lagrangiano; **Dimensionalidade do Domínio Computacional** - Uni ou multidimensional; **Escala** (espaço e tempo); **Modelos baseado na equação da difusão turbulenta** - Analítico e numérico, estatístico e físico; **Aplicabilidade** - Urbano ou rural de orografia simples ou complexa, áreas costeiras, etc.; e **Nível de sofisticação** - Modelos de selecção, ou refinados. Os modelos de fonte em linha

são, normalmente, usados para simular a dispersão de poluentes gerados pelo tráfego rodoviário, perto das estradas onde emitem continuamente poluentes. Torna-se assim possível quantificar a magnitude do impacte ambiental, em termos de qualidade do ar, numa estrada sobre dada área.

Na década de 90, do século XX, estudos na área da política e planeamento do transporte urbano reconheceram a intrínseca ligação entre o uso do solo e o fluxo de tráfego, tendo sido desenvolvidos vários modelos integrados que permitem avaliar as procuras de transporte e a sua relação com as alterações ao uso do solo (Potoglou *et al.*, 2002). No seguimento, foram desenvolvidas metodologias para inventariar a taxa de emissão de poluentes por tipo de veículo, tidas como fontes de emissão móveis. No entanto, só um número limitado destes modelos incorpora módulos de avaliação do impacte ambiental do tráfego. Entre eles destacam-se os seguintes modelos (Potoglou *et al.*, 2002):

Tabela 3.1 - Exemplo de Modelos Integrados de Qualidade do Ar, (adaptado de Potoglou *et al.*, 2002)

Modelo	Referencia Bibliográfica	Aplicações
ADMS-Urban	McHugh <i>et al</i> (1997)	Várias cidades no Reino Unido e China
	Gualtiere e Tartaglia (1998)	Florença, Itália
SPARTACUS	Comissão Europeia (1988)	União Europeia, EC, DGXII
UDM	Karppinen <i>et al.</i> (2000); Kousa <i>et al.</i> (2001)	
AIRGIS	Jensen <i>et al.</i> (2001)	
TEMMS	Namdeo <i>et al.</i> (2002)	Leeds, Reino Unido

Estes modelos desenvolvidos em programas computacionais baseiam-se na metodologia e procedimentos indicados no fluxograma da Figura 3.1. Cada um destes módulos pode constituir, individualmente, uma aplicação informática funcionando integrados (ligados ou embebidos) num ambiente SIG.

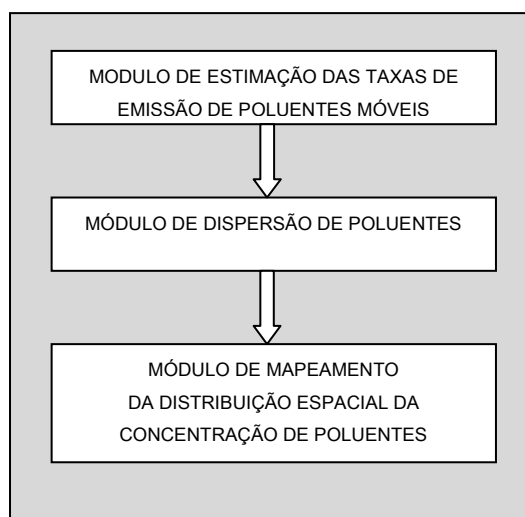


Figura 3.1 - Fluxograma dos modelos de qualidade do ar, (adaptado de Potoglou *et al.*, 2002)

4. Modelos de dispersão de poluentes

Um dos mais utilizados modelos de dispersão de poluentes de fonte em linha, é o **CALINE-4** (*California Line Source Model*) desenvolvido pelo **Caltrans - California Department of Transportation** (Potoglou *et al.*, 2002; Sharma *et al.*, 2004). Estes modelos são especialmente utilizados para estimar a dispersão de poluentes, provocada pelo tráfego rodoviário nas imediações da estrada, especialmente o Monóxido de Carbono tido como o poluente de referência da actividade automóvel. O **CALINE-4** é baseado num modelo **Gaussiano** de dispersão, e emprega um conceito de zona de mistura para estimar a concentração de Monóxido de Carbono junto da estrada, tomando em conta um certo número de parâmetros tais como: **Condições meteorológicas diárias; Taxa de emissão de poluente da fonte em linha** (troço de estrada) g/m³; **Fluxo de Tráfego (Número de veículos/hora/Km); Configuração geométrica da estrada e localização dos receptores.**

O modelo permite estimar a concentração de *CO* em determinados pontos pré-definidos (receptores) (Benson, 1989, segundo Potoglou *et al.*, 2002). Para isso, o **CALINE-4** divide a estrada numa série de segmentos individuais equivalentes e calcula o incremento de concentração de *CO* para cada segmento. O somatório das concentrações incrementais resulta na estimativa da concentração total para um receptor específico. A Figura 4.1 ilustra o método de estimação.

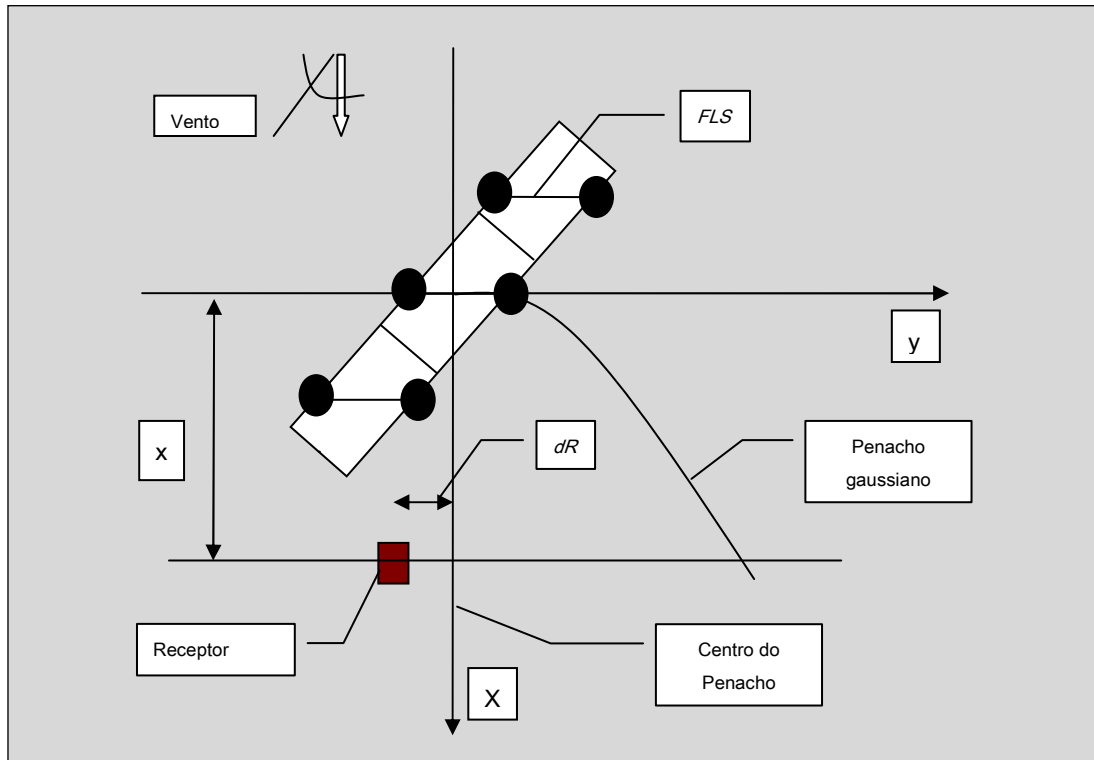


Figura 4.1 - Série de elementos individuais equivalentes, *FSL*, (adaptado de Benson, 1989, segundo Potoglou *et al.*, 2002)

Cada segmento é modelado como uma fonte linear finita equivalente (**FSL**, *Finite Line Source*) posicionada normalmente à direcção do vento, e centrado no ponto médio do segmento. Neste patamar o modelo admite duas suposições: (1) **cada FLS incorpora a emissão do segmento correspondente**; (2) **dispersão da emissão do poluente segue o modelo de dispersão gaussiano na direcção do vento normal ao elemento**.

A equação 4.1 calcula o incremento de concentração num receptor referente a um segmento infinitesimal dy (Benson, 1989, segundo Potoglou *et al.*, 2002), Kiely (1997) e (Bouhel, 1994; Gordon, 1985; Mahoney, 1974, segundo Almeida *et al.* 2011).

$$dC = \frac{q \times dy}{2 \times \pi \times u \times \sigma_y \times \sigma_z} \times \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (4.1)$$

onde

dC : acréscimo incremental de concentração de CO em g/m³;

q : taxa de emissão linear (g/m.s);

μ : velocidades do vento, na direcção do eixo x (m/s);

h : altura efectiva da fonte (m);

z : altura do receptor a acima do solo (m);

x : distância do receptor à fonte(m);

y : distância do receptor ao eixo do penacho(m);

σ_y : parâmetro de dispersão horizontal (m). É o desvio padrão da distribuição

horizontal da concentração gaussiana do penacho, calculado em função da distância à fonte e do tipo de classe de estabilidade atmosférica (curvas de *Pasquill – Gifford*);

σ_z : parâmetro de dispersão vertical (m). É o desvio padrão da distribuição vertical da concentração gaussiana do penacho, calculado em função da distância x à fonte e do tipo de classe de estabilidade atmosférica (curvas de *Pasquill – Gifford*).

As condições meteorológicas são tomadas em conta no *CALINE-4* através dos chamados parâmetros meteorológicos que incluem: **Direcção do vento** (graus); **Velocidade do vento** (m/s); **Desvio padrão da direcção do vento** (graus); **Estabilidade atmosférica** (classes A-D, 1-7); **Temperatura ambiente** (graus Celsius); **Tipo de localização geográfica** (zona costeira, montanhosa) (Coe *et al*, 1998).

Inicialmente o *CALINE-4* determina a concentração em massa por unidade de volume ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Os resultados são depois convertidos para unidades volumétricas equivalentes para poluentes gasosos (i.e. partes por milhão, ppm). Essa conversão é feita multiplicando a concentração em ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por um factor de conversão *FPPM*, para ter em conta os efeitos conjuntos da temperatura e pressão na concentração volumétrica:

$$FPPM = \frac{0,002241}{MOWT} \times \frac{T}{273} \times \exp\left(\frac{0,03417 \times ALT}{T}\right) \quad (4.2)$$

onde

MOWT: peso molecular do Monóxido de Carbono (*CO*);

T: temperatura Ambiente em graus Kelvin (°K);

ALT: altitude em metros.

Outros modelos de dispersão linear, aplicados na estimativa de concentração de poluentes gerados pelo tráfego rodoviário, são utilizados e disponibilizados por: **Agência Europeia do Ambiente**; **UK Department of Environment, Food, and Rural Affairs**; **Agência de Protecção Ambiental Australiana** (modelo **AustRoads**).

5. Mapeamento SIG da distribuição da concentração de poluentes

Data dos anos 80 do século XX o primeiro uso difundido dos SIG na investigação na área dos transportes (Thill, 2000, segundo Sharma, 2002). No entanto, a aplicação dos SIG na gestão da qualidade do ar relacionada com os transportes, só teve início nos anos 90 (US EPA, 1998). Bruckman *et al.* (1992), Souleyerette *et al.* (1992) e Medina *et al.* (1994), segundo Sharma (2002), apresentaram uma estrutura para um modelo da análise da qualidade do ar que integrava *CAD*, SIG, modelos de transporte e de qualidade do ar, que ligam a informação do tráfego dentro da estrutura do SIG, para o uso em modelos de emissão e dispersão da poluição dos veículos (Figura 5.1).

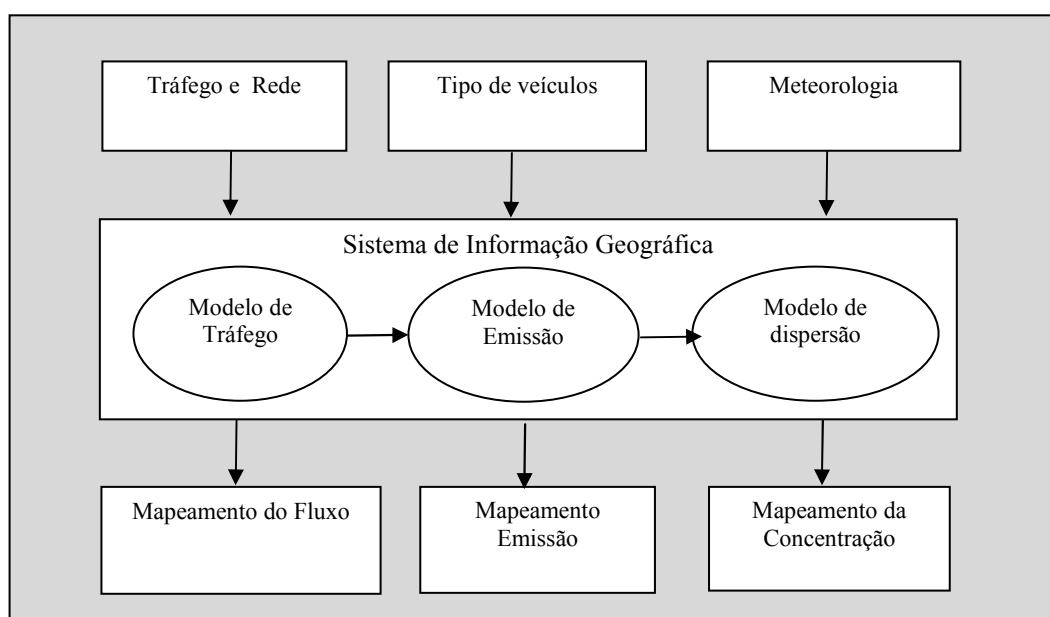


Figura 5.1 - Estrutura de Modelo de Poluição de Veículos e SIG (Gualtieri e Tartaglia, 1998), (adaptado de Sharma 2002)

Andersons *et al* (1996), segundo Sharma (2002), descreveram o uso dos SIG como uma ferramenta para ilustrar os padrões espaciais da emissão e visualizar o impacto das concentrações de poluentes. A estrutura consistia num modelo urbano integrado que se interligava com o modelo de taxa da emissão (MOBIL-5C). Briggs *et al.* (2000), segundo Sharma.(2002), sugerem uma técnica de mapeamento - regressão para modelar o padrão da distribuição espacial da poluição rodoviária para avaliar a exposição no âmbito de um estudo epidemiológico. Namdeo *et al.* (2002), segundo Sharma (2002), descreveram o desenvolvimento e aplicação do **TEMMS** (*Traffic Emission Modeling and Mapping Suite*), um *software* que possibilita a integração de modelos de transporte, de emissão e de dispersão.

Nesta linha de integração existem vários pacotes de *software*, descritos em Potoglou *et al.* (2002). Estes modelos foram integrados, através de ligação entre bases de dados, com o Sistema de Informação Geográfica *MapInfo*[®]. Para isso foi construída uma janela personalizada (*GUI*), permitindo modelar e definir o fluxo e as emissões de poluentes do tráfego, ligados a uma grelha baseada na qualidade do ar. Em Almeida *et al.*(2011) é descrita a implementação dum modelo **gaussiano** de dispersão de poluentes e a sua ligação a um SIG, elaborado com recurso ao *MapGrafix*[®]. Este trabalho envolveu o desenvolvimento de um programa em linguagem *Pascal* que realiza o cálculo dos valores da concentração de poluentes em áreas ou pontos pré-definidos, e mostra os resultados num mapa digital, ou *layer*, podendo essa informação ser guardado na base de dados do SIG.

Potoglou *et al.* (2002) descrevem a metodologia usada no **IMULATE** para mapear a concentração de *CO*. A estimativa da concentração do monóxido de carbono dada pelo **CALINE-4** vai servir de *input* para a modelação da distribuição espacial e mapeamento do **CO** sobre a área em estudo. O objectivo é estimar a concentração de **CO** noutras locais além dos definidos pelos receptores. Assim, poderemos avaliar o impacto da estrada ou empreendimento sobre um local, edifício, pessoas, etc., no que diz respeito a esta componente ambiental (qualidade do ar). A magnitude do impacto poderá ser avaliada em termos do indicador “**Concentração de CO sobre o edifício de referência A**” e, assim, servir de critério para a AMC. Nesse intuito é empregue uma técnica de geoestatística conhecida como **Kriging Universal**.

Geoestatística é um ramo da estatística que lida com problemas associados ao espaço. Embora inicialmente tenha sido desenvolvida para lidar com problemas de mudança de concentrações de minerais em minas, tem vindo a ser aplicada nas áreas do ambiente. Em termos gerais, **Kriging** é uma técnica de

interpolação largamente utilizada para dados espaciais contínuos (ex. poluição do ar, contaminação de aterro, etc.). O princípio básico destes métodos geostatísticos é a de que entidades próximas no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que as mais afastadas - correlação (Johnston, 2001). De entre diferentes tipos de **Kriging**, tais como **Simples**, **Ordinário** e **Universal**, a extensão *Spatial Analyst* do *ArcGis 9.0*® disponibiliza o **Ordinário** e o **Universal** (McCoy. 2002).

O conceito geral é que a o valor da predição $\underline{Z}(s)$ (i.e., a concentração de *CO*), para uma dada localização *s* (coordenadas espaciais), é obtido pela média ponderada dos *n* valores vizinhos medidos $z(s_i)$ (Bailey e Gatrell, 1995; Kanaroglou *et al.*, 2002, segundo Potoglou *et al.*, 2002):

$$\underline{Z}(s) = \sum_1^n w_i(s) \times z(s_i) \quad (5.1)$$

Tanto no **Kriging Ordinário** como no **Universal**, o objectivo é estimar os valores óptimos dos pesos $w_i(s)$, $i = 1,2 \dots n$ valores vizinhos medidos. Isto é conseguido através da selecção dos pesos que minimizem o erro médio quadrático (Kanaroglou *et al.*, 2002, segundo Potoglou *et al.*, 2002). A diferença entre estes dois reside na forma como é assumido um valor médio ou tendência global das variáveis em estudo. O **Kriging Ordinário** assume que o valor médio é conhecido ou que é expurgado de tendência, enquanto o **Universal** toma em conta a variabilidade espacial através de uma função polinomial. Assim, segundo Potoglou *et al.* (2002), o **Kriging Ordinário** é preferível quando os dados recolhidos ou amostras não mostram tendência global, enquanto que o **Kriging Universal** é mais justificadamente aplicado quando se detecta nos dados amostrais uma forte tendência global.

Ora uma análise exploratória dos valores de *CO*, estimados pelo **CALINE-4**, revelam um forte tendência ao longo da direcção prevalecente do vento, motivo pela qual é justificável a aplicação do **Kriging Universal**, na estimação da distribuição espacial da concentração sobre a área em estudo.

6. O tema Atmosfera - Tratamento em SIG

Para avaliação da magnitude dos impactes sobre este tema, seleccionou-se o elemento ambiental **Qualidade do Ar** e dois indicadores ambientais. A **Concentração de CO** (monóxido de carbono) **sobre o Edifício A (CCOA)**, e a **Concentração de CO sobre o Edifício B (CCOB)**. Estes edifícios foram seleccionados apenas a título exemplificativo, mas preferencialmente devem ser equipamentos colectivos com funções centrais (Escolas, Hospitais, etc.). Também a existência legal de valores limite da concentração de **CO** (Portaria nº 286/93 e Decreto-Lei nº 352/90 de 9 de Novembro) constitui um bom motivo para a selecção deste indicador. Para estimar essa carga recorreu-se ao modelo **CALINE-4** e a um conjunto de operações SIG agrupadas num modelo SIG (**Edifício Poluído**), construído com recurso ao *ModelBuilder* do *ArcView*[®].

6.1. Modelo da qualidade do ar adoptado

O modelo de qualidade do ar adoptado no presente trabalho, refere-se apenas ao tipo de empreendimento em estudo – construção de estrada – pelo que, para outros tipos de empreendimentos, terá de haver as necessárias adaptações metodológicas e escolha de modelos mais ajustados. O fluxograma da Figura 6.1, mostra as etapas modulares para determinar e visualizar no SIG, a distribuição espacial da concentração de *CO* sobre a área em estudo e em particular sobre edifícios de referência.

Dados de Tráfego, Taxas de Emissão e Dados Meteorológicos - Nesta etapa, com base nos dados do projecto do empreendimento (rodoviário) determina-se o Volume de Tráfego Horário para o ano de início (2005) e horizonte de projecto (2025) para dois tipos de cenários. Um representando uma situação média normal de tráfego e outro uma situação extrema, obtida pela afectação dos valores médios de um factor de ponta.

Tabela 6.1 - Volume de tráfego Horário, (adaptado de ARQPAIS, 2001)

	2005		2025	
	Normal	Critico	Normal	Crítico
Ligação a Ílhavo	285	570	420	840

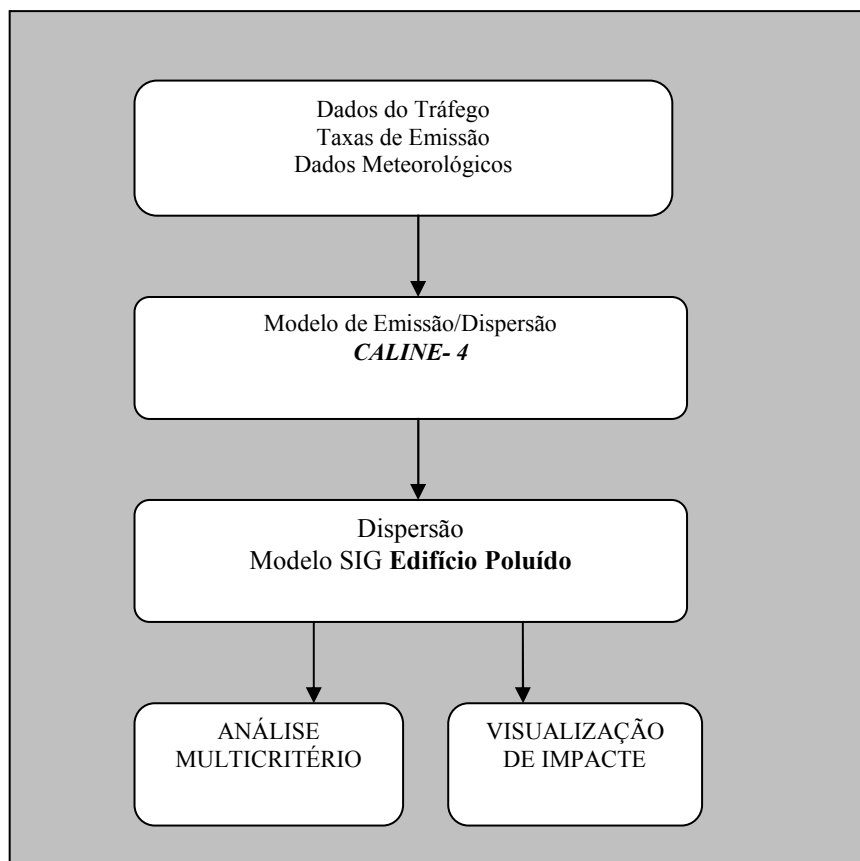


Figura 6.1 – Etapas modulares para predição da concentração espacial de CO

Na determinação dos dados meteorológicos adoptam-se dois cenários respeitantes a dois tipos de situação. Um correspondendo a parâmetros de ocorrência frequente, representativo dum cenário típico da região, e outro em que os parâmetros propiciam a pior situação da dispersão dos poluentes (opção *worst-case* disponibilizada pelo *CALINE-4*).

As taxas de emissão são obtidas a partir dos factores de emissão dos principais poluentes, para este tipo de empreendimento (SO_2 , NO_x , CO , Partículas e Pb) resultantes do tráfego. Dado que para o parque automóvel nacional estes dados são muito poucos, adopta-se a tabela adoptada pelo Ministério do Ambiente Holandês (ARQPAIS, 2001).

Tabela 6.2 – Cenários Meteorológicos, (adaptado de ARQPAIS, 2001)

	Cenário Típico	Cenário Meteorológico “worst-case”
Altura da Camada de Mistura	1.000 m	300 m
Velocidade do Vento	5 m/s	0,5 m/s
Direcção de Vento	norte	Direcção de vento mais desfavorável (“worst-case”)
Classe de Estabilidade	D	F

Tabela 6.3 – Factores de Emissão (g/Km/veiculo), (adaptado de ARQPAIS, 2001)

Poluentes	CO	HC	NO _x	SO ₂	Partículas	Pb
V.Ligeiros	14,4	1,8	3,6	0,06	0,018	0,017
V.Pesados	22,0	3,1	9,8	1,55	0,44	0,015
Média	18,2	2,35	6,7	0,815	0,229	0,016

Para entrada no *CALINE-4*, estes valores são convertidos em ppm (partes por milhão) através da equação (4.2). Todas estas tabelas poderão ser criadas no ambiente do *ArcView*® através do *ArcCatalog*® e depois editadas no *ArcMap*®. Estarão assim disponíveis para operações SIG que integrem um amplo modelo de qualidade do ar.

6.2. Modelo de emissão/dispersão – *Caline 4*

Como o EPA (USA) não disponibiliza o código fonte do *CALINE-4*, não foi possível fazer a sua integração com o *Arcview*®. No entanto, como ambos funcionam em ambiente *Windows*®, torna-se possível ter as duas aplicações em simultâneo na janela do ambiente de trabalho, o que facilita a transcrição dos dados entre aplicações. O *CALINE-4* será executado tantas vezes quantas as combinações de cenários possíveis. Assim, para cada ano (início ou horizonte de projecto) e por cada alternativa, serão corridos os seguintes cenários: **Tráfego Normal + Meteorologia Normal**; **Tráfego Normal +**

Meteorologia Crítica; Tráfego Crítico+Meteorologia Normal; Tráfego Crítico+Meteorologia Crítica (*worst-case*). Teremos assim $4 \times 2 \times 5 = 40$ execuções. Os receptores são dispostos perpendicularmente aos troços a distâncias que variam entre 50 e 500 metros.

Para a AMC, apenas se computou o pior cenário “*worst-case*” para o ano de início (2005), e para as alternativas 4 e 5 - adicionadas ao projecto rodoviário no âmbito do presente trabalho. Para valores da concentração para as alternativas 1,2, e 3 foram tomados os descritos em ARQPAIS (2001). Para estas alternativas, os receptores foram colocados a: 50; 100; 150 e 300 metros, e para as alternativas adicionais 4 e 5, foram colocados a: 100; 300 e 500 metros. Os dados de entrada do **CALINE-4** foram: **Parâmetros gerais** (tipo de cálculo [*Worst-Case, Wind Angle*], Coeficiente de rugosidade aerodinâmica [10 cm], Informação sobre o modelo [35 metros acima do nível médio do mar]); **Geometria dos Troços** (coordenadas x, y de cada troço e a altura h do receptor [1,80 m], e largura da zona de estrada [20 m]); **Actividades nos Troços** (volume de tráfego horário igual a 570 veículos / por hora, para o ano de início de projecto (2005), e Taxa de Emissão igual a 29.3 gramas/veículo/milha); **Condições Meteorológicas** (*worst-case*) (velocidades do vento [0,5 m/s], direcção do vento em graus [opção predefinida *worst-case*], desvio padrão da direcção do vento [10 graus], classe de estabilidade atmosférica [F(6)], altura da camada de mistura da atmosfera [300 metros], temperatura ambiente [20 graus centígrados], concentração preexistente de monóxido de carbono [114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]).

O Factor de Conversão foi estimado em (FPPM=1063) da equação (4.2). A Tabela 6.4 apresenta os valores da concentração de CO estimadas pelo **CALINE-4**, nas condições acima definidas.

Tabela 6.4 - Valores de concentração de CO, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Alternativa	A1	A2	A3	A4	A5
Receptor 1	684	1026	570	532	425
Receptor 2	1026	798	1140	638	532
Receptor 3	1368	1140	1368	851	1275
Receptor 4	1710	1368	1824	1383	1063
Receptor 5	684	1710	798	425	638
Receptor 6	798	1254	1254	320	532
Receptor 7	912	570	1368	532	425
Receptor 8	1254	684	1482	638	532
Receptor 9	912	684	912	851	956

Receptor 10	1254	1140	1254	851	850
Receptor 11	1254	1140	1254	425	532
Receptor 12	1368	912	1368	320	425
Receptor 13	570	456	684	425	425
Receptor 14	684	570	798	638	532
Receptor 15	684	684	912	1383	744
Receptor 16	798	798	912	532	1063
Receptor 17	684	798	684	425	532
Receptor 18	912	912	798	425	425
Receptor 19	1140	1026	912		
Receptor 20	1482	114	1254		
Receptor 21	570	1482	570		
Receptor 22	570	798	570		
Receptor 23	798	912	798		
Receptor 24	1482	912	1482		
Média					

6.3. Modelação em SIG da concentração de poluentes

Para estimar a dispersão espacial da concentração de *CO* sobre a área em estudo, adoptaram-se os seguintes procedimentos: (1) Criação de uma *shapefile* por cada alternativa com a localização dos receptores. A tabela dos atributos dessas *shapefile* dispõe ainda de um campo para a concentração de *CO* em cada receptor. Esse campo é preenchido com os dados da Tabela 8.26, facultados pelo *CALINE-4*; (2) Delimitação duma zona de estudo que engloba o espaço ocupado pelas alternativas mais uma faixa de 500 metros. Dentro dessa área, através da função *Clip* gerou-se uma *shapefile* **Ed_AR_Polu**, que alimenta um *map layer* com os polígonos representativos dos edifícios dentro da zona de estudo; (3) Recorrendo ao *ModelBuilder* do *ArcToolBox*[®], criou-se um modelo SIG para representação visual da dispersão de **CO** sobre a zona em estudo, e sobre os edifícios para cada alternativa. A esse modelo deu-se o nome de **Edifício_Poluído** (Figura 86.2) dentro da *Toolbox* **Modelo Qualidade Ar**.

Os parâmetros de entrada deste modelo são: **Recept_A5** - O utilizador define o *layer* que representa os receptores em cada alternativa *Ai*; **Z_Value Field** - Para definir o campo com os valores da

concentração de CO em cada receptor e para cada alternativa. O parâmetro de saída é o **Raster poluimapa** em que para cada alternativa se dá um nome específico.

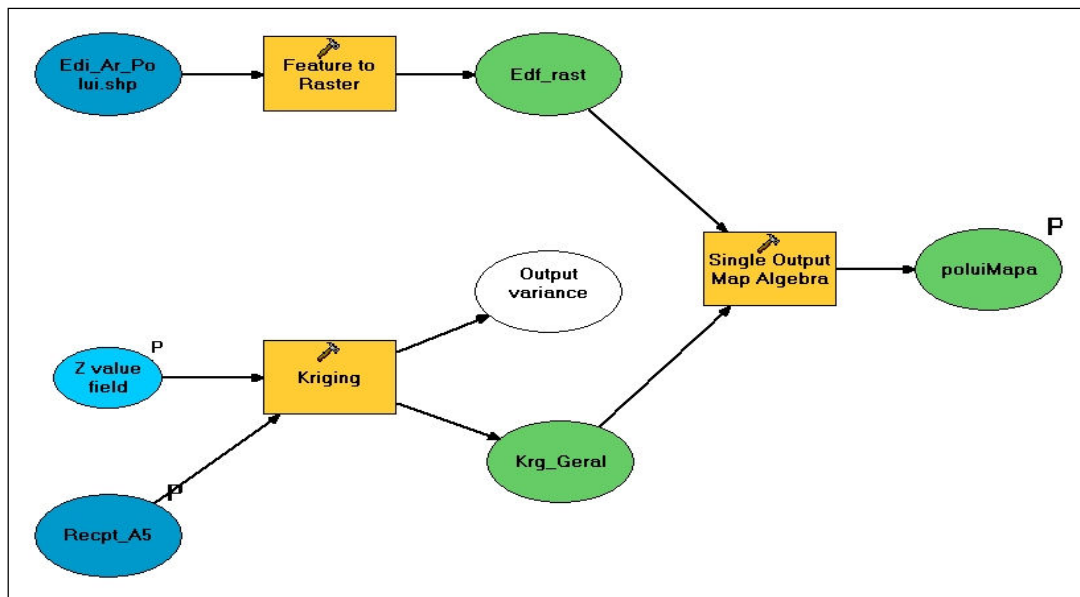


Figura 6.2 – Fluxograma do Modelo Edifício Poluído

O modelo começa por criar um *raster* **Krg_geral**, através do método de **Kriging Universal**, disponibilizado pelo SPA, a partir dos valores da concentração nos receptores. O valor associado a cada célula ou *pixel* dessa superfície *raster*, representa a predição do valor da concentração CO, nessa localização. Atribuindo uma cor a cada classe desses valores, pode-se visualizar um mapa com distribuição espacial da concentração de CO sobre a zona de estudo. É também gerado o *raster* **Edf_rast**, a partir da *shapefile* **Edif_Ar_Polui**, cujo valor de cada célula é a unidade.

Para obter os valores dos indicadores ambientais para a AMC, recorre-se à função *Map Álgebra* multiplicando o *raster* **Edf_rast** pelo *raster* **Krg_geral**, obtendo o *raster* **poluimapa** – ou outro nome que se crie cada vez que se execute o modelo (**pol_A1, pol_A2, pol_A3, pol_A4, pol_A5**) (Figura 6.3). Esse mapa *raster* apresenta apenas células sobre o polígono dos edifícios, dado que no espaço entre edifícios o valor de cada célula do *raster* **Edf_rast** é nulo, e logo associado a *Nodata* (sem valor) no *raster* final resultante da multiplicação. O valor máximo dos atributos das células, dentro do perímetro de cada edifício de referência, é tomado como a estimativa da concentração de CO, sobre esse edifício, para essa alternativa. Como a cada classe de valores desse *raster* é associado um padrão de cores, pode-se

também visualizar a variação espacial da concentração de CO sobre os edifícios dentro da zona em estudo. Para a AMC foram seleccionados dois edifícios, tomados como de referência, A e B (Figura 6.4). A concentração de CO , sobre eles, para cada alternativa, é mostrada na Tabela 6.5.

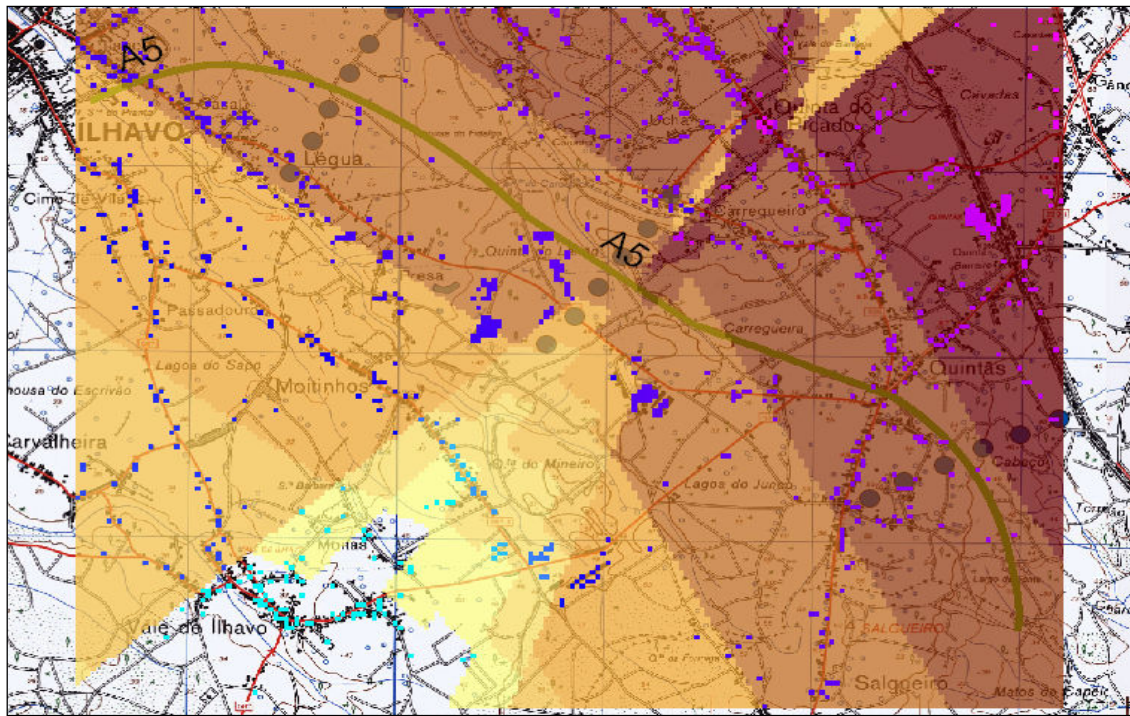


Figura 6.3- Distribuição espacial da concentração de CO gerada pela Alternativa 5

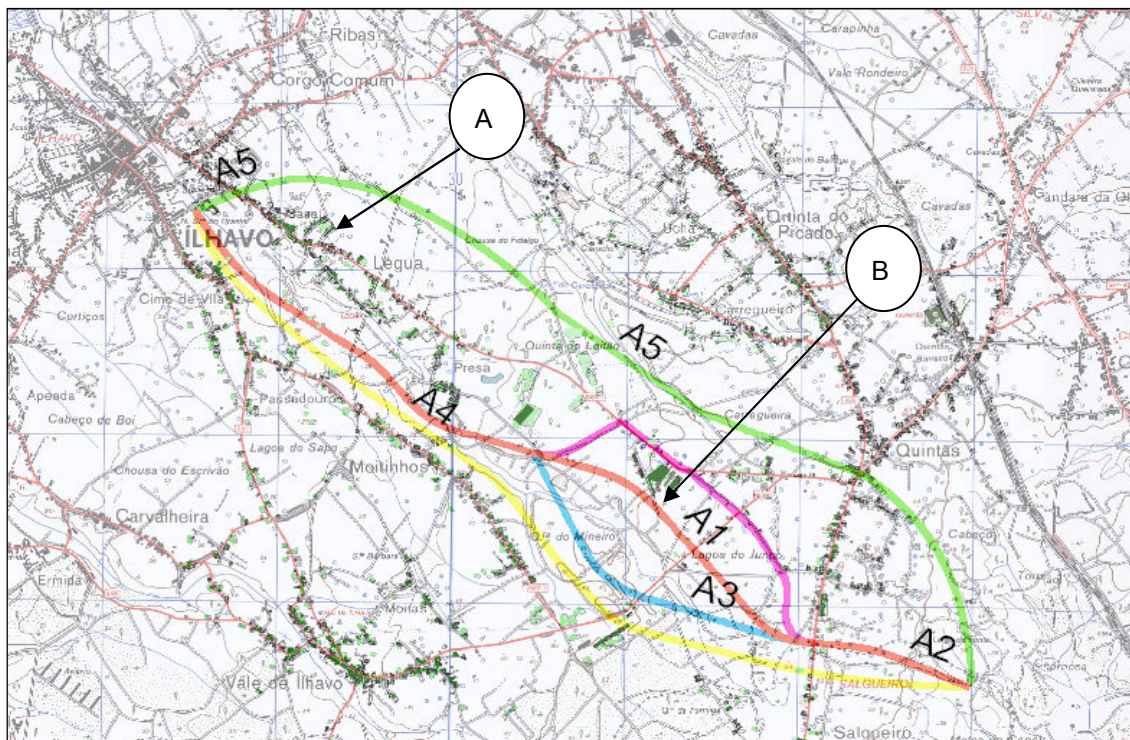


Figura 6.4- Localização dos edifícios de referência

Tabela 6.5 – Concentração de CO

	Concentração de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Layer
	Edifício A	Edifício B	
A1	715	1177	Pol_A1
A2	1305	934	Pol_A2
A3	698	1391	Pol_A3
A4	514	541	Pol_A4
A5	613	643	Pol_A5

7. Avaliação Multicritério de alternativas para o tema Atmosfera

A fase de avaliação de alternativas tem por objectivo a ordenação das alternativas desde a “Ambientalmente Mais Favorável” (AMF) até à “Ambientalmente Mais Adversa”(AMD), (ver Research Report INESC-Coimbra, nr 06/2008, em http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf). Essa ordenação é o culminar do processo da Avaliação Multicritério suportado pelos métodos formais de apoio à decisão, tais como o método TOPSIS e os da família ELECTRE. O primeiro permite essa ordenação final das alternativas (embora permita haver *ex aequos*) enquanto os segundos, designadamente os métodos ELECTRE I e IS, baseados numa filosofia algo diferente da do anterior, apenas permitem a identificação de um núcleo de alternativas ambientalmente mais favoráveis - discriminando-as das restantes - mas dentro do qual estas são incomparáveis entre si. Já os métodos ELECTRE III e IV da mesma família, permitem a constituição de uma preordenação parcial final das alternativas de acordo com a respectiva adversidade ambiental (Maystre *et al.*, 1994; Coutinho-Rodrigues, 2003).

No presente trabalho utilizou-se preferencialmente o ELECTRE III já que segundo Molines *et. al.* (2002), os métodos de agregação parcial ao integrarem os postulados de incomparabilidade e de não transitividade, permitem integrar a complexidade inerente ao EIA. Também, e ainda segundo este autor, a escolha de um método baseado na problemática de ordenação é defendida, já que assim “os brilhantes segundos” não são eliminados pelo uso de um método que identifique apenas a melhor solução, num contexto global do projecto técnico e do EIA. O uso do ELECTRE III é privilegiado já que permite o

estabelecimento de relações de prevalência com diferentes níveis de credibilidade, suportando a incerteza no sistema de preferências do agente de decisão.

7.1. Avaliação Temática

Conceptualmente o processo de avaliação de alternativas, inicia-se com a activação de um menu “Avaliação Multicritério” que dá acesso a uma caixa de diálogo onde se opta pela “Avaliação por Tema Ambiental” ou “Avaliação Geral”. A primeira opção faz executar uma rotina para preenchimento da matriz de decisão e definição dos pesos e limiares, parâmetros necessários ao ELECTRE III. A dimensão da matriz é previamente definida durante o desenrolar da rotina interactiva, ainda na fase de *Scoping* e Identificação de Impactes, onde o número de linhas (m) é igual ao número de alternativas e o número de colunas (n) é igual ao número de critérios ou atributos ambientais, representados pelos Indicadores de Impacte Ambiental seleccionados para esse tema. Os atributos ou desempenho de cada indicador segundo cada critério, a_{ij} , resultam da quantificação de impactes, através de um valor que traduza a sua magnitude, usando a modelação SIG ou valores directos em consulta ao projecto.

Similarmente ao tema “Geomorfologia e Geologia”, cuja proposta de metodologia de avaliação temática foi apresentada no anterior relatório (ver Research Report INESC-Coimbra, nr 12/2009, em http://www.inescc.pt/documentos/12_2009.PDF), também aqui, para o presente tema “**Atmosfera**” foi escolhido o elemento ambiental indicado na Tabela 2.1 (**Qualidade do ar**), e o respectivos indicadores ambientais “Concentração de CO sobre o edifício A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – **CCOA**” e “Concentração de CO sobre o edifício B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – **CCOB**”.

Em consequência desta simplificação a matriz de decisão terá uma dimensão de 5x2 (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 – Matriz de decisão, para o tema Atmosfera

TEMA		ATMOSFERA	
Elementos Ambientais		Qualidade do Ar	
SIGNIFICÂNCIA	Avaliação em relação	Σ	7,7
		Ao seu potencial ambiental (P. Amb.)	3
		A sua Sensibilidade à Introdução do Projecto (S.I.P.)	2
		Ao Risco de Impacte Após Mitigação (R .I.A.M.)	2(2-2/3)=2.7
		Peso dos Indicadores (%)	50
Indicadores		CCOA	CCOB
A1		715	1177
A2		1305	934
A3		698	1391
A4		514	541
A5		613	643
Limiar, q		158	170
Limiar, p		316	340
Veto, v		632	680

Assim, por exemplo, para o indicador “Concentração de CO sobre o edifício A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)” obtiveram-se os seguintes valores médios para as várias alternativas A_i ($i= 1$ a 5) em estudo, retirados das tabelas de atributos do *raster poluimapa* (Figura 6.3) e anteriormente apresentados na Tabela 6.5.

- 715 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a A1
- 1305 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a A2
- 698 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a A3
- 514 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a A4
- 613 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a A5

Será, assim, preenchida a primeira coluna da matriz de decisão. A outra foi preenchida usando a mesma metodologia.

A definição dos pesos é baseada na **significância** dos impactes (ver secção 2.5). Esta tem a ver com a importância que lhes é atribuída pelos técnicos, opinião pública, instituições, etc. Ou seja, para a tomada de decisão sobre qual a alternativa a escolher interessa ponderar esta importância. Na metodologia, o cálculo da importância dada a cada tema ou elemento ambiental, segundo determinados critérios, atenuada ou não pelas medidas de mitigação efectivamente a aplicar, vai servir de base à definição dos pesos a usar na Avaliação Multicritério.

Assim, todos os temas ou elementos ambientais vão ser avaliados sob uma base comum de comparação, i.e, todos eles são avaliados numa escala de 1 a 6, de acordo com (Molines *et al.*, 2002):

(1) **Potencial ambiental** - Tendo em conta a situação actual e a sua evolução na ausência da implementação do projecto, o aspecto (tema ou elemento) ambiental apresenta um potencial local, regional, nacional, ou mundial, em relação às preocupações ecológicas, urbanísticas, patrimoniais, culturais, sociais, estéticas, técnicas, económicas, etc. Esta quantificação tem em conta princípios científicos formais e, também, leva em atenção a consciência e importância que lhe são dados pela sociedade;

(2) **Sensibilidade à introdução do projecto** - É avaliado aqui o risco de impacte sobre o aspecto ambiental induzido pelo projecto;

(3) **Risco de impacte após mitigação** - Este peso é construído em duas etapas. A primeira corresponde à avaliação desses riscos de impacte, mesmo tendo em conta a introdução de todas as medidas de mitigação possíveis, independentemente do custo financeiro, numa escala de 1 a 3. Na segunda etapa este valor sofre uma transformação linear para a escala ponderada de 1 a 6, através do operador $(2-K)$, sendo K o factor de ponderação que é definido pela relação entre o número de medidas de mitigação seleccionadas, efectivamente a implementar, e o número total de medidas previstas na KB, para o tema ambiental em análise (Tabela 2.2). Isto é, $P_m = M \times (2 - K)$, sendo M a graduação do risco de impacte após a adopção de todas as medidas de mitigação possíveis, na escala de 1 a 3, e P_m a importância atribuída ao tema ou elemento ambiental, que cresce com a diminuição da implementação de medidas de mitigação, na escala comum de 1 a 6.

Assim, a partir de um nível 1 que caracteriza um elemento pouco sensível ou de importância apenas local, até ao nível 6 que põe em evidência a presença de uma componente tipo “património mundial”, são usados 6 valores. O peso para cada elemento dentro do tema ambiental é a correspondente proporção relativa do somatório dos três pesos anteriores, dentro do tema. Esse peso do componente é distribuído uniformemente pelos indicadores ambientais dessa componente. Computacionalmente estas operações podem ser realizadas pela rotina em código VB invocada a partir de uma caixa de diálogo de atribuição de pesos, sendo guardados numa tabela *dBase®* relacionada com as tabelas de temas e elementos ambientais. Opcionalmente aos pesos “técnicos”, definidos anteriormente, pode optar-se por atribuir pesos “voluntaristas” a cada componente baseados na sensibilidade do utilizador.

Para o presente tema em análise, tendo sido apenas selecionado o elemento ambiental anteriormente referido, os pesos foram definidos da seguinte forma:

- Potencial ambiental (escala de 1 a 6): 3;
- Sensibilidade à introdução do projecto (escala de 1 a 6): 2;
- Risco de Impacte após mitigação:
 - 1ª fase (escala de 1 a 3): $M=2$;
 - 2ª fase (escala 1 a 6): $K=2/3$ (Tabela 2.2); $P_m = 2 \times (M - K) = 2 \times (2 - 2/3) = 2,70$.

Como temos apenas dois indicadores, o peso de cada um deles será 50%. Os limiares do ELECTRE III (indiferença, preferência e veto) podem ser atribuídos de uma forma voluntarista, manualmente – atribuição de valores para esses parâmetros - ou através de uma rotina de cálculo em *VB*, traduzindo funções, como por exemplo para valores de $m \geq 3$:

Limiar de Indiferença $q_j = \frac{\max(A_i) - \min(A_i)}{m}$

Limiar de Preferência $p_j = 2 \times q_j$

Limiar de Veto $v_j = (m-1) \times q_j$

Por exemplo, para o indicador **CCOA** teremos:

Limiar de Indiferença $q_j = \frac{\max(A_i) - \min(A_i)}{m} = \frac{1305 - 514}{5} = 158$

Limiar de Preferência $p_j = 2 \times q_j = 2 \times 158 = 316$

Limiar de Veto $v_j = (m - 1) \times q_j = (5 - 1) \times 158 = 632$

Definida a matriz de decisão, o método ELECTRE III será aplicado, fornecendo duas preordenações parciais, uma para cada destilação, e uma preordenação final dada pela “intersecção” destas duas. Assim, a avaliação de alternativas, para este tema, baseada na matriz de decisão da Tabela 7.1 e recorrendo ao método ELECTRE III, é apresentada na Tabela 7.2. Nela aparecem as preordenações parciais das alternativas para a destilação descendente e para a ascendente, e também uma preordenação parcial (POP) final e uma coluna para atribuição duma pontuação às alternativas. Esta pontuação é definida recorrendo a uma escala comum que varia de 0 a 20. Trata-se da normalização linear, para uma escala comum, das classificações obtidas nas preordenações do ELECTRE III. Assim sendo r_{ij} o valor normalizado, x_{ij} a classificação ordinal da alternativa i na preordenação j , e m o número de alternativas, $r_{ij} = \left[\frac{20}{m-1} \right] \times x_{ij} - \left[\frac{20}{m-1} \right]$. Neste caso, como $m=5$, a expressão anterior toma a forma $r_{ij} = 5x_{ij} - 5$. Ou seja, o valor mínimo será $r_{ij} = 0$ para $x_{ij} = 1^\circ$ e $r_{ij} = 20$ para $x_{ij} = 5^\circ$ lugar na pré-ordenação respectiva. Assim, as alternativas A1 e A3 que aparecem em primeiro nas classificações obtidas nas preordenações do ELECTRE III são – para este tema - as “**ambientalmente mais favoráveis**”, ficando ambas com zero pontos, e a alternativa A5 que aparece em quarto lugar será a “**ambientalmente mais adversa**” e pontuada com 15 pontos.

Tabela 7.2 – Preordenação das alternativas

Descendente	Ascendente	POP Final	Pontuação
A2	A2	A2	0
A1,A3	A3	A3	5
A4,A5	A1	A1	10
	A4,A5	A4,A5	15

7.2. Avaliação Geral

Para a “Avaliação Geral”, a matriz de decisão terá as m linhas das alternativas e n colunas dos “critérios”, com $n=2T$, sendo T o número dos temas ambientais a avaliar. O presente relatório trata o quarto dos dez temas ambientais considerados no caso de estudo, tendo o primeiro sido apresentado no Research Report INESC-Coimbra, nr 12/2009, disponível em http://www.inescc.pt/documentos/12_2009.PDF. Os relatórios seguintes tratarão dos restantes temas ambientais.

Existem, assim, duas colunas por cada tema, uma para a ordenação de preferências das alternativas na destilação descendente e outra para a ordenação na destilação ascendente do ELECTRE III. No caso de estudo, foram seleccionados dez temas pelo que a matriz de decisão terá a dimensão 20x5 (Tabela 7.3). A alternativa “**ambientalmente mais favorável**” será a mais bem “classificada” na preordenação parcial resultante.

Para o presente tema “**Atmosfera**”, as duas preordenações parciais resultantes da aplicação do método ELECTRE III constantes da Tabela 7.2 vão dar origem à sétima e oitava colunas da matriz de decisão global da Tabela 7.3.

Para atribuição dos pesos procede-se de forma análoga à metodologia usada para os pesos dos elementos ambientais. Agora, a cada tema, atribui-se uma pontuação de 1 a 6 tendo em conta: o **potencial ambiental**; a sua **sensibilidade à introdução do projecto**; o **risco de impacte após mitigação**. O resultado do somatório desta pontuação obtida por cada tema vai servir de ponderação para a atribuição dos pesos “técnicos” a cada tema. Também aqui é possível optar pelos pesos “técnicos” ou “voluntaristas”. Na Tabela 7.3 os pesos temáticos apresentados (10 para o tema GEO, 12 para o tema RH, e 9 para o tema ATMF) são, neste fase do trabalho, valores estimados e a ponderar quando a matriz de decisão global estiver completamente preenchida. Os pesos são distribuídos igualmente pelas duas pré-ordenações (ascendente e descendente), dentro de cada tema.

Os limiares podem ser definidos de forma “voluntarista” ou “técnica”, também através de uma rotina de cálculo em VB. Nesta última opção pode-se definir uma função baseada no seguinte premissa: Para um critério j a alternativa A_i é indiferente a outra A_k se pertence ao mesmo nível da ordenação por

tema ou se está no lugar imediatamente antes ou depois. Isto pode traduzir-se através da expressão, $q_j = 20/(m-1)$. Para os limiares de preferência e de veto pode-se optar pelas seguintes expressões derivadas da primeira: Limiar de preferência: $p_j = 2 \times q$; Limiar de veto: $v_j = (m - 2) \times q_j$

O resultado final são duas preordenações parciais, uma para a destilação ascendente e outra para a destilação descendente. Uma preordenação final é também devolvida. Essa preordenação final pode então ser confrontada com os seguintes postulados (Maystre, et al., 1994): (1) *Se a alternativa “A” é preferida à “B” nas duas preordenações, então também o será na preordenação final;* (2) *Se a alternativa “A” é equivalente a “B” numa das preordenações, mas é-lhe preferida na outra, então “A” é preferida a “B” na preordenação final;* (3) *Se a alternativa “A” é preferida a “B” na primeira preordenação e, na segunda, “B” é preferida a “A”, então as duas são incomparáveis na preordenação final.*

Tabela 7.3 – Matriz de decisão global, 20 critérios

Temas Ambientais			GERAL																	
			GEO.		RH		SOLOS		ATMF.		S.ECO		OCUPA. SOLO		AESTET.		RUIDO		COND.	
SIGNIFICÂNCIA	Avaliação em relação a	∑	7,8		8,3		7,7													
		P.Amb.	2		2		3													
		S.I.P.	3		3		2													
		R.I.A.M.	2,8		3,3		2,7													
		Pesos(%)	10		12		9													
Indicadores (Destilações)			D	A	D	A			D	A										
A1			0	0	15	15			5	10										
A2			10	10	5	0			0	0										
A3			0	0	0	0			5	5										
A4			5	5	15	10			10	15										
A5			15	15	5	10			10	15										
Limiar, q (20/m-1)			5	5	5	5			5	5										
Limiar, p (2q)			10	10	10	10			10	10										
v(veto) (3q)			15	15	15	15			15	15										

onde “P. Amb”, “S.I.P.”, “R.I.A.M.”, têm o mesmo significado que o expresso na Tabela 7.1.

Com base nesta matriz – depois de totalmente preenchida – é executado o método ELECTRE III, para as seguintes situações:

- (1) - pesos temático e limiares definidos;
- (2) - pesos iguais e limiares definidos;
- (3) - pesos iguais e limiares ($q=0$, $p=5$ e v desactivado).

O resultado das preordenações parciais finais para cada um dos casos preencherá a Tabela 7.4

Tabela 7.4 – Preordenação geral

(1)	(2)	(3)

Alternativamente, também se pode gerar outra matriz de decisão final apenas com 10 critérios (atributos) (Tabela 7.5), resultante da normalização da classificação das preordenações parciais finais dos 10 temas apresentada na Tabela 7.2 . Com esta transformação também a alternativa “**ambientalmente mais favorável**” será a melhor “classificada” na preordenação parcial resultante, já que todos os critérios são considerados *benefícios* (a maximizar). A matriz de decisão resultante da normalização da classificação das preordenações parciais finais dos 2 (de entre os 10) temas ambientais tratados até agora, é a seguinte:

Tabela 7.5 – Matriz de decisão Final, 10 critérios

			GERAL									
Temas Ambientais			GEO	RH	SOLOS	ATMF	S.ECO	OCUPA	Estética	RUIDO	C.ORD.	SECON
SIGNIFICÂNCIA	Avaliação do Elemento em relação a	Σ	7,8	8,3	7,7							
		Ao seu potencial ambiental	2	2	3							
		A sua sensibilidade à introdução do projecto	3	3	2							
		Ao Risco de Impacte após mitigação	2,8	3,3	2,7							
		Pesos (%) dos Indicadores	10	12	9							
Indicadores												
A1			0	20	10							
A2			10	5	0							
A3			0	0	5							
A4			5	15	15							
A5			15	10	15							
Limiar, q			5	5	5							
Limiar, p			10	10	10							
Veto, v			15	15	15							

Também aqui é executado o método ELECTRE III, para as mesmas situações, sendo o resultado das preordenações parciais finais apresentado numa similar à Tabela 7.4.

8. Referências

Agrawal, M., Dikshit, A., Ghose, M., 2003 – Impact Assessment on Soil Erosion due to Highway Construction using GIS, in *Electronic Journal of Geotechnical Engineers*. Disponível em <http://www.ejge.com/2003/Ppr0339/Ppr0339.htm> . Acesso em 10.06.04

Almeida, J.P., e Coutinho-Rodrigues, J., 2011– Modelling environmental impacts over urban areas and facilities , in *Municipal Engineer - Institution of Civil Engineers*, vol. 164, n° 2, pp.103 –116.

Antunes, P., Santos, R., Jordão, L., 2001 – The Application of Geographical Information Systems to determine environmental impact significance, in *Environmental Impact Assessment Review*. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/eiar> . Acesso em 26.06.04.

ARQPAIS, 2001 – Consultores de Arquitectura Paisagista e Ambiente, Lda. Estudo de Impacte Ambiental da SCUT da Costa de Prata. Lanço ICI * Mira/Aveiro. Sublanço Vagos /Aveiro Sul. Ligação a Ílhavo. Lisboa, 2001.

Booth, B., 2002 – Using ArcGis® 3D Analyst. ESRI Press. Redland, California, USA.

Burke R., 2003 - Getting to know ArcObjects' Programing ArcGis® with VBA. ESRI Press. Redland, California, USA..

Cabral, P., 2001 – Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão. O Sistema de Apoio ao Licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. Disponível em http://www.isegi.unl.pt/labnt/tese/TeseMaio2001_pedrocabral.pdf . Acesso em 23.07.04

Câmara, G., Queiroz, G., 2001 – Arquitectura de Sistemas de Informação Geográfica
Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em 17.03.05

Campos, L., Vilar S., Lúcio, L., 1999 – Programação em Visual Basic 6. FCA - Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.

Chakhar, S., 2001– Toward a Spatial Decision Support Sytem: Multi-Criteria Evaluation Functions into Geographical Information Sytems. Disponível em http://www.lamsade.dauphine.fr/~chakhar/file/master_thesis.pdf. Acesso 22.09.04.

Chakhar, S., e Martel, J.M.,2003 – Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluations Functions, in *Journal of Geographic Information and Decisions Analysis*, 2003, Vol,7,No.2,pp.47-11. Disponível em <http://www.geodec.org/Chakhar.pdf>. Acesso em 22.09.04.

Coe, D., Eisinger, D.,Prouty, J., Kear,T., 1998 – User’s Guide for CL4. US. Environmental Protection Agency. URL: <http://www.epa.gov/scram001/index.htm>. Acesso em 12.10.04

Coutinho-Rodrigues, J., 2003 – Gestão de Empreendimentos. IDTec, Engenharia e Inovação, Lda. Coimbra, Portugal.

Edwards, J., 2004 – EIA methods. University of Nottingham, UK. Disponível em [http://www.nottingham.ac.uk/scheme/general/EIA%20methods%20\(final2\).ppt](http://www.nottingham.ac.uk/scheme/general/EIA%20methods%20(final2).ppt). Acesso em 29.09.04.

Erickson, P., 1994 – A Pratical Guide to Environmental Impact Assessment. Academic Press, UK.

ESRI Portugal, 2004 – Sistemas de Informação Geográfica. Sebenta do Curso de Introdução ao ArcGis, Nível I. Lisboa, Portugal.

ESRI Portugal, 2005 – Sistemas de Informação Geográfica. Sebenta do Curso de Introdução ao ArcGis, Nível II. Lisboa, Portugal

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations - Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. URL: <http://www.fao.org/>. Acesso em 18.08.04

Félix-Filho, J., 1994a – Integração e concretização de Medidas Mitigadoras no Projecto Rodoviário. Seminário sobre a Avaliação de Impacte Ambiental de Projectos Rodoviários. Espinho, Portugal. 16 a 19 de Março de 1994.

Félix-Filho, J., 1994b – Método Simples de Previsão de Impactes na Qualidade da Água Associados às Águas de Escorrência de Estradas. Seminário sobre a Avaliação de Impacte Ambiental de Projectos Rodoviários. Espinho, Portugal. 16 a 19 de Março de 1994

Félix-Filho, J., 1995 – Controlo de Impactes Ambientais de obras de Engenharia Civil. Seminário Luso-Brasileiro de Geotécnica Ambiental. Lisboa, Portugal. 30 e 31 de Março de 1995.

Gasser M., Varlet J., Bakalowicz M., 2004 - Autoroutes et aménagements. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, CH.

Gonçalves, A. Coutinho-Rodrigues, J., 2008 - Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e Avaliação Multicritério. PARTE I – Metodologia Geral, Arquitectura do Sistema e Descrição de um Caso de Estudo, no Domínio das Infra-estruturas de Transporte Rodoviário.

Research Report INESC-Coimbra, nr 06/2008. Disponível em http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf.

Gonçalves, A. Coutinho-Rodrigues, J., 2009 - Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e Avaliação Multicritério. PARTE II – Aplicação da Proposta Metodológica em Infraestruturas Rodoviárias: O Tema Ambiental Geomorfologia e Geologia.

Research Report INESC-Coimbra, nr 12/2009. Disponível em http://www.inescc.pt/documentos/12_2009.PDF

Gonçalves, A. Coutinho-Rodrigues, J., 2009 - Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e Avaliação Multicritério. PARTE III – Aplicação da Proposta Metodológica em Infraestruturas Rodoviárias: O Tema Ambiental Recursos Hídricos.

Research Report INESC-Coimbra, nr 01/2010. Disponível em http://www.inescc.pt/documentos/01_2010.PDF

Johnston, K., Ver Hoef, J., Krivoruchko, K., Lucas, M., 2001- Using ArcGis ® Geostatistical Analyst (ESRI®). ESRI Press. Redland, California, USA.

Keleagetse, S., 2001 – Exploring the linkage of Environmental Impact Assessment and Geographic Information Systems: A Case Study of the Run Expressway, Morgantow, Monongalia County, West Virgínia. Tese de Mestrado em Geografia, West Virgínia University, USA. Disponível em https://etd.wvu.edu/etd/etdDocumentData.jsp?j_sp_etdId=2255. Acesso em 11.12.04.

Kiely, G.,1998 - Environmental Engineering. McGraw –Hill International(UK) Limited.

Looijen, M. J., 2004 - Environmental Impact Assessment using GIS and MCE. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands. Disponível em www.itc.nl/. Acesso em 23.04.04

Loureiro, H., 2004–Curso Avançado de Programação em Access com VBA. FCA -Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.

Malczewski, J., 1999 – GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc, USA.

Maystre, L., Pictet, J., Simos,J.,1994 – Méthodes multicritères ELECTRE. Press Polytechniques et Universitaires Romandes. Laussane, CH.

McCoy, J., Johnston, K. 2002 – Using ArcGis ® Spatial Analyst (ESRI®). ESRI Press, Redland, Califórnia,USA.

Molines N., Chevallier, J.,(2002) - Système d'information géographique et analyse multicritère: une association novatrice au service du processus d'évaluation des grandes infrastructures linaires. Disponível em <http://www.lamsade.dauphine.fr/GeoAD/molines.pdf>. Acesso em 26.06.04.

Nina, P., 1999 – Visual Basic 6, Curso Completo. FCA– Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.

Ormsby, T., Napoleon, E., Burke, R., Groessl, C., Feaster, L., 2004 – Getting to Know ArcGis® desktop, update for ArcGis 9.0. ESRI Press. Redland, California, EUA.

Pamanikabud, P. e Tansatcha, M.2001– Geographical information system for traffic noise analysis and forecasting with the appearance of barriers, in Environmental Modeling & Software Journal. Disponível www.sciencedirect.com. Acesso em 17.02.05.

Pimenta, M., 1998 – Directrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K. Disponível em <http://snirh.inag.pt/>. Acesso em 03.02.05

Pompêo, C., 2004 – Estimativa de Vazões de Pico em Projectos de Drenagem Urbana. Método de Ven Te Chow. Disponível em http://www.labdren.ufsc.br/drenagem/docs/Ven_Te_Chow.pdf. Acesso em 12.02.05.

Portela, M., Silva, A., Melin, C., 2000 – O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheia naturais em pequenas bacias hidrográficas. Disponível em http://meteo.ist.utl.pt/~jjdd/LEAMB/LEAmb%20TFC%20site%20v1/1999-2000/CMalim_ASilva%20Artigo.PDF. Acesso em 02.02.05.

Potoglou, D. e Kanaroglou, P.,2004– Carbon Monoxide Emissions from Passenger Vehicles: Predictive Mapping with an Application to Hamilton, Canada: Working Paper Series,Centre for Spatial Analysis, McMaster University,Canada. Disponível em <http://sciwebservice.science.mcmaster.ca/cspa/papers/CSpA%20WP%20002.pdf>. Acesso em 14.0.2.05.

Raimundo, C., Raposo, V., Valentim, P., 2004 – Ruído de Tráfego Rodoviário: Relação entre LAeq, Parâmetros Estatísticos (L10,L50, e L90, Lden, Lnight). Sua Importância na Avaliação da Incomodidade. 4º Congresso IberoAmericano de Acústica – Guimarães, Portugal. Disponível em: <http://www.ia.csic.es/Sea/4350lj.html>. Acesso em 26.01.05.

Roberto, A., 2001–O Modelo Chuva Vazão do Soil Conservation Service. Disponível em <http://www.fcth.br/>. Acesso em 02.03.05.

Rodrigo, N., 2003–Curso de ArcGis II. Disponível em http://www.cibergeografia.org/arcgis/tav_pesq.htm. Acesso em 16.05.04.

Rodrigues-Bachiller, A., with Glasson, J., 2004 – Expert Systems and Geographical Information Systems for Impact Assessment. Taylor and Francis, Inc. London, UK.

Rodrigues, J., Isidoro, J., 2000- Sistemas de Informação Geográfica na Gestão de Recursos Hídricos. Disponível em, http://www.us.es/ciberico/archivos_acrobat/portocomu.rodrigues.pdf. Acesso em 10.02.05.

Rodrigues, P., Pereira, P., Sousa, M., 1998 – Programação em C++, Conceitos básicos e algoritmos. FCA- Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.

Sharma, N.,2002–GIS applications in air pollution modelling. *The Geospatial Resource Portal*, URL: <http://www.gisdevelopment.net/> . Acesso em 25.02.05.

Sharma, N.,2004 -Vehicular pollution prediction modelling: A review of highway dispersion models, *in Journal of Transports*, Vol 24, pp.409-435. Disponível em <http://www.gisdevelopment.net/application/environment/air/mi03220abs.htm>. Acesso em 17.02.05.

Stamm R. H., 2003 – Método para Avaliação de Impacto Ambiental em Projectos de Grande Porte: Estudo de caso de uma Usina Termelétrica. Tese de Doutoramento em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Disponível em <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3732.pdf>. Acesso em 07.06.04.

Tam, C., Tong, T., Lau,C., 2002 – Electre III in evaluating performance of construction plants. University of Hong Kong, Hong Kong. Disponível em <http://www.extenza-eps.com/extenza/loadHTML?objectIDValue=17345&type=abstract>. Acesso em 28.04.05.

Tomás, P.,2003 - Erosão Hídrica do Solo em Pequenas Bacias Hidrográficas. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo. Disponível em, <http://unidyne.uni.pt/~ptommas/R-EUPS1.pdf>. Acesso em 12.02.05. Acesso em 22.02.04

Vlado, V., 2002 – Knowledge Based GIS for Site Suitability. Disponível em <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1185/p1185.htm>. Acesso em 28.06.04.

Zeiler, M.,1999 – Modeling Our World. The Esri® Guide to Geodatabase Design. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, Califórnia, USA.

Zhan., X., Huang, M., 2004 - ArcCN-Runoff: an ArcGis tool for generating curve number and runoff map, *in Journal of Environmental Modelling & Software*:Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 26.01.05.

9. Sites visitados

Agencia Europeia do Ambiente, URL: <http://local.pt.eea.eu.int/>

Environmental Systems Research Institute, Inc. URL: www.esri.com

Instituto do Ambiente de Portugal. URL: <http://www.iambiente.pt/>

Instituto de Estrada de Portugal. URL: www.iestradas.pt/

Instituto Geográfico do Exército. URL: <http://www.igeoe.pt/>

Instituto Superior de Agronomia. URL: <http://www.agricultura.isa.utl.pt/>

Serviço Nacional de Informação Geográfica. URL: <http://snig.igeo.pt/>

Priberam Informática Lda. URL: <http://www.priberam.pt/>

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. URL: <http://snirh.inag.pt/>

LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Place du Maréchal de Lattre de Tassigny, F-75775 PARIS CEDEX

16. URL: <http://www.lamsade.dauphine.fr/logiciel.html>

NaturaLink, S.A. URL: <http://www.naturlink.pt/>