



***ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE CRITÉRIOS
DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE
VIÁRIA EM ÁREAS DE MONTANHA***

Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE CRITÉRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE VIÁRIA EM ÁREAS DE MONTANHA

Dissertação orientada por

Professor Doutor Nuno Alexandre de Sousa Neves

e

Professor Doutor Jorge Gustavo Pereira Bastos Rocha

Novembro 2007

AGRADECIMENTOS

Nunca poderei exprimir na totalidade a gratidão pelo apoio prestado, a excelente orientação científica e a transmissão de conhecimento, a disponibilidade constante e acima de tudo a relação amiga e fraterna demonstrada pelos meus orientadores, Professor Doutor Nuno Neves e Professor Doutor Jorge Gustavo Rocha.

Gostaria de agradecer à minha entidade patronal – ARDAL, aos presidentes de direcção, Dr. Francisco Rodrigues de Araújo e ao Dr. Pedro Teixeira, que desde o primeiro instante me apoiaram na realização deste trabalho. Aos meus companheiros de trabalho, Jorge Miranda, Otília Xavier, Catarina Brito e Cristina Rodrigues agradeço a colaboração prestada nos meus períodos de ausência e os constantes incentivos para o desenvolvimento deste estudo. Ao Jorge Miranda (Coordenador da ARDAL) cabe-me reconhecer todo o apoio prestado ao longo deste período de formação académica e expressar um agradecimento pela sua conduta de incentivo ao empreendedorismo e à liberdade de acção dos seus colaboradores.

Agradeço à Câmara Municipal de Arcos de Valdevez e à Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, a cedência da informação geográfica, sem a qual não poderíamos conceber e realizar este trabalho, bem como o apoio sempre demonstrado ao longo do desenvolvimento do mesmo. À Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte reconheço a amabilidade demonstrada também na cedência da informação geográfica.

Ao Professor Doutor Ernesto Figueiredo (Docente da Universidade Fernando Pessoa) e à Professora Doutora Ana Cristina Braga (Docente da Universidade do Minho), estou igualmente muito grato pela disponibilidade evidenciada e pelos conselhos e comentários oportunos no campo da estatística.

Por último um reconhecimento à minha família. À minha esposa Fernanda, aos meus filhos Afonso e Gonçalo e à minha sogra agradeço os diversos gestos realçados, de compreensão e de amor, de apoio absoluto, de serenidade emocional e de contínua motivação para que este trabalho chegasse a bom porto.

Aos meus pais, a quem dedico este trabalho, agradeço o amor e a nobreza dos seus actos ao longo de toda a minha formação.

A todos obrigado,

Bem hajam.

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE CRITÉRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE VIÁRIA EM ÁREAS DE MONTANHA

RESUMO

No processo de implementação de vias de comunicação, uma das principais variáveis que condiciona o traçado é a acção ou influência da topografia. No entanto, é frequentemente desconhecida e escasseiam métricas que permitam avaliar a dependência desta variável na construção de traçados de vias rodoviárias, com particular impacto em territórios de montanha.

A aplicação das técnicas de Análise Exploratória de Dados Espaciais, numa estrutura de dados, ajuda a identificar as propriedades espaciais dos dados, a detectar padrões e a formular hipóteses, assim como a avaliar aspectos de modelação espacial. A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica, nomeadamente as operações de análise espacial, pode ser considerada como um ponto de partida para o processo de análise exploratória de relações espaciais, com o intuito de gerar informação derivada crucial que permitam desenvolver processos de descoberta de conhecimento espacial.

Este trabalho descreve um processo de descoberta de conhecimento espacial baseado em análise espacial exploratória, destinado a avaliar a dependência do declive nos diferentes tipos de estradas, desde as nacionais aos caminhos brandeiros, em território montanhoso.

Os processos de modelação geográfica desenvolvidos visaram a identificação e formalização de relações entre a informação derivada produzida e a localização e percurso efectivo de vias de comunicação, permitindo assim a geração de modelos de avaliação de elevada aplicabilidade, quer na compreensão da variabilidade existente na área de estudo, quer em termos da sua replicabilidade em áreas e contextos de relações espaciais diversos.

IMPLEMENTATION CRITERIA EXPLORATORY ANALYSIS OF ROAD NETWORKS IN MOUNTAIN AREAS

ABSTRACT

Slope influences the geometry of road networks, especially in mountain areas, where more complex terrain occurs. Although this is convincing evidence, there is a lack of formal descriptions or measurements to fully assess the slope impact in road design.

In Geographical Information Systems, Exploratory Spatial Data Analysis can be considered as the start point to discover new spatial relations in the data, to recognize patterns and to formulate hypotheses, and to improve the coherence of the models.

This dissertation describes a process of spatial knowledge acquisition well-founded in exploratory spatial analysis, to fully evaluate the slope impact in road design, in mountain territory, applied to different kind of roads, ranging from national roads to pedestrian ones.

The impact is evaluated by establishing possible relations between the derived information and the actual road geometry. The reliability of the derived information and the established relations indicates the possible application to other road networks, with or without similar characteristics.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Espacial Exploratória

Modelação Geográfica

Modelos de Regressão

Sistemas de Informação Geográfica

Traçado de Estradas de Montanha

KEYWORDS

Exploratory Spatial Analysis

Geographic Modeling

Regression Model

Geographical Information System

Mountain Road Design

ACRÓNIMOS

ARDAL – Associação Regional de Desenvolvimento do Alto Lima

BD – Base de Dados

CBR – Caminhos Brandeiros Romeiros

CEE – Comunidade Económica Europeia

CF – Caminhos Florestais

CM – Caminhos Municipais

CMAV – Câmara Municipal de Arcos de Valdevez

DCBD – Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados

DRAP-N – Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte

DWG – Drawing file (AutoCad)

EM – Estradas Municipais

EN – Estradas Nacionais

ESAPL – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

GPS – *Global Position System*

GWR - *Geographically Weighted Regression*

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

MDE – Modelos Digitais de Elevação

MDT – Modelos Digitais de Terreno

OLAP – *Online Analytic Processing*

PNPG – Parque Nacional da Peneda-Gerês

PRN – Plano Rodoviário Nacional

RE – Regressão Exponencial de Crescimento

RLM – Regressão Linear Múltipla

SGDBR – Sistemas de base de dados relacionais

SHP – Shapefile

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TIN – *Triangulated Irregular Network*

UUID – Universal Unique Identifier

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
PALAVRAS-CHAVE	vi
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 BREVE PERSPECTIVA HISTÓRICA DA REDE VIÁRIA EM PORTUGAL	3
1.2.1 As origens	3
1.2.2 Vias do Império Romano	4
1.2.3 Da Idade Média à Contemporaneidade	8
1.2.4 Evolução da rede viária no concelho de Arcos de Valdevez	10
1.3 OBJECTIVOS GERAIS	12
1.4 ASPECTOS PRINCIPAIS DA PROPOSTA METODOLÓGICA	14
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2 DESCOBERTA E FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO	17
2.1 DESCOBERTA DE CONHECIMENTO	17
2.1.1 Fases do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados	18
2.2 MODELAÇÃO ESTATÍSTICA	20
2.2.1 Modelos de regressão	23
2.2.2 Validação dos modelos	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 CAMINHOS DE MENOR CUSTO	32
3.2 CRIAÇÃO DE UMA BASE GEOGRÁFICA	36
3.2.1 Área de estudo	37
3.2.2 Base informativa	39

3.3	PROCESSOS DE ANÁLISE ESPACIAL	40
3.3.1	Modelo digital de elevação (MDE)	40
3.3.2	Orientações do declive (Aspect)	42
3.3.3	Declives do terreno (Slope)	43
3.4	ESTRUTURA DE AMOSTRAGEM	44
3.5	PRODUÇÃO DE VARIÁVEIS A INCLUIR NO PROCESSO DE DESCOBERTA DA CONHECIMENTO	45
3.5.1	Declive Funcional	45
3.5.2	Simulação de novos traçados	47
3.6	IMPLEMENTAÇÃO ESTATÍSTICA	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	52
4.2	MODELOS DE REGRESSÃO	53
4.2.1	Validação dos modelos	55
4.3	FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO	55
4.4	NOTA FINAL	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	74
	ANEXO 1. FONTE DE DADOS GERAIS	75
	ANEXO 2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA	76
	ANEXO 3. PARÂMETROS ESTIMADOS	77
	ANEXO 4. ANÁLISE DE RESÍDUOS	79
	ANEXO 5. FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO	85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Fonte de dados e tipos de informação integrada.....	40
Tabela 4.1 - Médias marginais de declive funcional das vias de comunicação em estudo	53
Tabela 4.2 - Equações dos modelos gerados para cada via e o valor do coeficiente de determinação	54
Tabela A.1.1 – Fonte de dados compilados	75
Tabela A.2.1 – Estatística descritiva das variáveis presentes no estudo, ao nível das medidas de localização e de dispersão.....	76
Tabela A.3.1- Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla, erro padrão, t-student, valor prova, coeficiente de determinação e expressão de declive funcional para cada estrada.....	77
Tabela A.3.2 - Parâmetros do modelo de regressão exponencial de crescimento, erro padrão, t-student, valor prova, coeficiente de determinação e expressão de declive funcional para cada estrada.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Via Romana: a) via – calçada; b) marco miliário (Fonte: SOUTINHO, 2007).	7
Figura 1.2 – Caminhos serranos do concelho de Arcos de Valdevez [a) caminho brandeiro; b) calçada dos Bicos).....	11
Figura 1.3 -Esquema metodológico de desenvolvimento do estudo	14
Figura 2.1 - Etapas do processo de DCBD (Fonte: FAYYAD <i>et al</i> , 1996).....	18
Figura 2.2 - Método de mínimos quadrados (Fonte: Adaptado de CLARK e HOSKING, 1986)	26
Figura 2.3 - Overall Plot – a) Gráfico da Probabilidade Normal; b) Frequência de Distribuição (Fonte: STATSOFT, Inc. 2006).....	30
Figura 2.4 - Configurações básicas dos gráficos de resíduos (Fonte: adaptado de DRAPER e SMITTH, 1980).....	30
Figura 3.1 - Três tipos de padrão de vizinhança, mais conhecidos, em modelos de dados raster (Fonte: YU <i>et al</i> , 2003).....	34
Figura 3.2 - Área de estudo.....	38
Figura 3.3 - Distribuição da rede viária	39
Figura 3.4 - Esquema de formação de uma rede irregular triangular (TIN).....	41
Figura 3.5 - Esquema de cálculo da orientação do declive (Aspect).....	42
Figura 3.6 – Esquema de cálculo do declive (Slope).....	43
Figura 3.7 - Esquema do processo de concepção da estrutura de amostragem.	44
Figura 3.8 - Esquema do processo de geração de informação derivada – Declive Funcional	46
Figura 4.1 – Ficha de Caracterização da EN 202, de Giela ao Mezio.	59
Figura 4.2 - Ficha de Caracterização da EM 530-6, de Rouças a S. Bento do Cando (Concelho de Arcos de Valdevez).	60
Figura 4.3 - Ficha de Caracterização do CM 1289 (Concelho de Arcos de Valdevez).	61

Figura 4.4 - Ficha de Caracterização do CF, dos Bicos à Travanca (Concelho de Arcos de Valdevez).....	62
Figura 4.5 - Ficha de Caracterização do CBR, de Rouças à Branda de Gorbelas (Concelho de Arcos de Valdevez).	63
Figura A.4.1 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente às Estradas Nacionais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.	80
Figura A.4.2 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente às Estradas Municipais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.	81
Figura A.4.3 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Municipais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.	82
Figura A.4.4 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Florestais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.	83
Figura A.4.5 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Brandeiros Romeiros: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.	84
Figura A.5.1 – Esquema de levantamento das condições de uma estrada não pavimentada (Fonte: ODE, 1995).	85
Figura A.5.2 – Caracterização de uma estrada de terra batida (Fonte: ODE, 1995).	86
Figura A.5.3 – Resumo de uma caracterização de uma estrada de terra batida, com diferentes sectores de avaliação (Fonte: ODE, 1995).	86

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial reúne os elementos introdutórios à dissertação.

Começou-se por enquadrar o estudo no âmbito da avaliação de traçados rodoviários e a adaptação destes às condições do terreno. É apresentada uma breve resenha histórica da evolução da rede viária ao longo dos sucessivos períodos da civilização humana, Pré-história, Antiguidade, Idade Média e Contemporaneidade. Depois de anunciados os objectivos gerais, a metodologia também é aqui abordada de uma forma preliminar, com a apresentação das fases que compõem o desenvolvimento do estudo: concepção de um modelo de dados e a elaboração de modelos de avaliação. Por último, apresenta-se a estrutura da dissertação.

1.1 ENQUADRAMENTO

A forma como um traçado rodoviário se adapta às condições fisiográficas traduz por um lado a importância da relação que se procurou estabelecer com a construção de uma determinada via e, por outro, com a capacidade/dificuldade em vencer os obstáculos impostos pelas mesmas. Assim a avaliação do traçado de uma via é susceptível de permitir a identificação, qualificação e quantificação de um conjunto de valores de variáveis que podem ser utilizados como métricas caracterizadoras de um traçado rodoviário.

Uma das maiores dificuldades na avaliação de um traçado rodoviário está associada à construção de superfícies de custo, que integrem a acção do relevo ou da gravidade (directamente associável ao valor do declive) conforme o sentido de atravessamento. Esta limitação não está frequentemente devidamente caracterizada, nem avaliada a dimensão e importância deste factor no processo de concepção e implementação de uma via rodoviária.

A aplicação do conceito de “declive funcional” (NEVES, 2001; NEVES *et al*, 2001) como uma superfície de custo traduzindo uma avaliação da relação entre a direcção de deslocação, a orientação do terreno e o valor do declive permite o desenvolvimento de modelos de caracterização de traçados de vias rodoviárias integrando a sua dependência do relevo e expressando formalmente essa relação, num contexto de possibilidade de integração com outras condicionantes e limitações de natureza biofísica e/ou socio-económica.

A extracção de relações espaciais fornece novas e aplicáveis bases de conhecimento apresentadas de uma forma explícita sendo considerados os principais factores intervenientes e/ou condicionantes ao processo de concepção e escolha de traçado para a implementação de vias de comunicação rodoviária.

Nesta dissertação é descrito um processo de descoberta de conhecimento¹, no qual se apresenta um estudo de caso relacionado com a implementação e descrição de vias de comunicação – rede viária, em espaços montanhosos, especificamente no complexo montanhoso das Serras da Peneda e Soajo, concelho de Arcos de Valdevez.

O território apresenta uma diversidade de traçados, propondo-se a identificação e formalização de relações entre a informação derivada produzida e a localização e percurso efectivo de vias de comunicação, permitindo assim a definição de um modelo de avaliação que melhor quantifique a importância do relevo na execução de uma rede viária.

Este estudo pretende também contribuir para a compreensão e valorização dos territórios montanhosos, nomeadamente no conhecimento das suas vias de comunicação que permitiam a acessibilidade entre as várias comunidades de montanha, unindo-as numa unidade territorial integradora e singular.

¹ Expressão inglesa *Knowledge Discovery in Databases*, também frequentemente associada ao conceito *Data Mining Techniques*.

1.2 BREVE PERSPECTIVA HISTÓRICA DA REDE VIÁRIA EM PORTUGAL

A evolução da rede viária acompanha o processo de civilização do Homem desde a Época Pré-Histórica até à Época Contemporânea, sendo de destacar esta última e o período Romano como os dois momentos de maior dinamismo.

O estudo e o conhecimento do traçado da rede viária, nomeadamente das vias romanas e dos caminhos medievais, principalmente em zonas acidentadas tornam-se difíceis. Por diversas razões, como a erosão, os desvios dos marcos miliários, entre outras, a localização em absoluto do traçado original é uma tarefa complexa. COSTA (2003), MACIEL e MACIEL (2004) e VIEIRA (2004) apontam que a investigação arqueológica recorre a determinados critérios para a identificação dos principais eixos, nomeadamente: o estudo e localização de pontes; a análise de itinerários escritos (textos da antiguidade romana e medieval); a análise dos marcos miliários; a topografia (estudo dos declives); a análise detalhada da toponímia; levantamentos arqueológicos (sinais e indícios de romanização) e recentemente o uso de fotografias aéreas (foto interpretação) e teledetecção.

A aplicação dos SIG num contexto de descoberta de conhecimento, tendo como suporte redes viárias, poderá colaborar na compreensão histórica dos territórios. Na perspectiva de VIEIRA (2004) *“o conhecimento das vias é de fulcral importância para a compreensão do povoamento, pois, através destas, circulavam pessoas, bens e ideias”*.

1.2.1 As origens

A presença de caminhos idealizados pelo Homem remonta ao período do Paleolítico (cerca de 2 milhões de anos atrás), o mais antigo e o maior período da história humana, quando os caçadores-recolectores estabeleceram rotas para a prática de comunitarismo primitivo. RAPOSO (1983) aponta que os caçadores acheulenses (Paleolítico Inferior) já deveriam ter uma certa organização espacial do seu mundo. No decorrer do Paleolítico, do período pós-Würn (Mesolítico) e das primeiras comunidades Neolíticas, os caminhos serviram para a ligação entre os locais de

habitat e os locais de caça, bem como para fugir dos inimigos e também para a descoberta de novos territórios. Venciam subidas e ultrapassavam outros obstáculos naturais adaptando-se espontaneamente, às curvas de nível, como afirma Chevallier citado por COSTA (2003). Estas comunidades primitivas, com dedicação à caça, à pesca e à recollecção nómada, e as últimas já com um carácter semi-sedentário e com formas elementares de agricultura, marcaram a sua presença no território que é hoje Portugal em diversos locais: Vale do Forno (Alpiarça); Parque Arqueológico do Vale do Côa (Vila Nova de Foz Côa); jazida epipaleolítica do Cabo de Sines; povoado de Salema (Santiago do Cacém), entre outras.

No final do Neolítico (4000 a.C.) ocorreu uma grande transformação económica e social, as comunidades tornaram-se sedentárias e constituíram sociedades agropastoris, conhecido como fenómeno megalítico. Neste período dolménico o desenvolvimento foi autónomo mas aberto ao exterior (SILVA, 1983). No norte de Portugal, Almeida citado por COSTA (2003) afirma a existência de caminhos e que os povos megalíticos conheciam perfeitamente as técnicas de empedramento, construção do lajeado. A presença do megalitismo ocorre desde o Algarve à Galiza, muito caracterizado por espólios sepulcrais, *tumulus*.

Na idade dos metais (desde os 3000 a.C. até ao início da romanização), Cobre, Bronze e Ferro, a circulação de pessoas também se fazia sentir por todo o território nacional em virtude da riqueza em jazidas metalíferas. Todos estes movimentos Pré-históricos vêm demonstrar a existência de caminhos, ainda que rudimentares, que permitiam a ligação entre vários aglomerados, muito antes do desenvolvimento do Império Romano.

1.2.2 Vias do Império Romano

É no decorrer do desenvolvimento do Império Romano, que a população ibérica fica servida de uma rede de caminhos com um âmbito que ultrapassa a esfera local (ABREU, 2005). A romanização da Península Ibérica foi um processo muito gradual, dada a grande instabilidade que se fazia sentir, com constantes guerras. Os romanos entraram na *Hispania* por volta de 218 a.C envolvidos na Segunda Guerra Púnica

que opôs Roma a Cartago. Mas só em 19 a.C. com a pacificação do Norte e Noroeste Peninsular, o Imperador Augusto conseguiu que o domínio romano se intensificasse (CENTENO, 1983). O espaço encontrava-se dividido administrativamente por três províncias, *Tarraconensis*, *Lusitania* e *Baetica*. É neste âmbito geográfico que Roma constitui paulatinamente importantes *Conventus* como: *Asturica Augusta* (Astorga), *Bracara Augusta* (Braga), *Scallabis* (Santarém), *Pax Iulia* (Beja), *Emérita Augusta* (Mérida), *Tarraco* (Tarragona), entre outros. À medida que se estabelecem as bases romanas, administração e política, surge uma proliferação de vias ligando os diversos locais. O Império decide dotar a *Hispania* de uma vasta rede viária, no princípio com fins meramente políticos e militares que, posteriormente representa um eixo essencial para o desenvolvimento económico, social (CENTENO, 1983) e organizacional do território. Servia fundamentalmente para a deslocação de pessoas a pé, montadas ou em carros puxados por animais, e de pequenos volumes de mercadorias (ABREU, 2005).

Para o actual território português, o *Itinerarium Antonini Augusti* (Itinerário de Antonino), provavelmente do séc. III, representa o referencial de conhecimento das fundamentais vias romanas, com 34 vias citadas para a Península Ibérica, onze das quais cabe a Portugal. Segundo CENTENO (1983) a principal via do Portugal romano seria a via XVI que ligava *Olisipo* (Lisboa) a *Bracara Augusta*, com uma extensão de 244 milhas ($\approx$ 360 km). O mesmo autor indica que esta terá sido construída até metade do séc. I e sob uma grande parte de antigos caminhos indígenas, anteriormente utilizados pelos exércitos romanos nas conquistas. A ideia de utilização de antigos caminhos, também é partilhada por José Caamaño Gesto citado por COSTA (2003), que admite que na Galiza tal como noutros locais do Império, os romanos utilizaram caminhos já existentes do período pré-romano.

Poderíamos enunciar mais vias para outros locais, mas é digno de referenciar a posição estratégica de *Bracara*. COSTA (2003), aponta que Braga pela sua posição geográfica e importância económica e política constituiu um grande centro rodoviário onde partiam seis vias, cinco referenciadas no Itinerário de Antonino. É notável, havendo já uma via que ligava a Astorga construída por Augusto, foi necessário traçar uma nova via, mais rápida entre *Bracara Augusta* e *Asturica*

Augusta, esta edificada na dinastia dos Flávios. Falamos da *Via Nova*, via XVIII do Itinerário Antonino, também conhecida por Geira Romana. Alguns troços estão situados numa zona isolada de montanha (Gerês-Xures), o que contribuiu para que seja um dos caminhos melhor preservados e com um número de marcos miliários sem paralelo no mundo romano, entre as milhas XXIX e XXXIV (LEMOS e BAPTISTA, 1996). Tem sofrido várias campanhas arqueológicas, contribuindo assim para a descoberta de conhecimento da arte romana de abertura de estradas de montanha no Noroeste Peninsular.

Regra geral, o traçado da via seguia um critério baseado em ligações no menor tempo possível entre as importantes cidades. São vias suaves, com oscilações de cotas muito diminutas, perfeitamente adaptadas às condições do terreno, topografia e geomorfologia, com uma configuração de contorno das encostas das serras. A segurança representava uma norma muito importante, evitavam-se os vales e o traçado deveria alcançar rapidamente o planalto, de forma a obterem uma maior visibilidade, o que também diminuía os custos de construção. Sempre que necessário os Romanos procediam à execução de obras para a construção da via e superarem assim os obstáculos presentes (COSTA, 2003). Entre a milha XXIX e XXX da *Via Nova*, o traçado nos locais de maior declive, apresenta calçada, enquanto que nas zonas planas, o lajeado é diminuto e até inexistente. Em alguns pontos do trajecto os afloramentos rochosos (granito) foram cortados e afeiçoados a pico de ferro (LEMOS e BAPTISTA, 1996).

A anterior descrição, relata apenas as vias principais (*viae publicae* e *viae militares*), os principais eixos rodoviários do Império Romano, aquelas que mereciam uma atenção redobrada na construção e manutenção. Estas permitiam um acesso fácil e rápido das capitais de província e dos *conventus* a Roma. Com o progresso da conquista romana, os territórios ocupados foram povoados e explorados economicamente, o que levou a uma expansão da rede viária, agora de âmbito regional e local. Surgem as vias secundárias (*viae vicinales*), que ligavam as povoações a burgos de segunda ordem, os caminhos privados (*privatae*) e os caminhos agrícolas (*viae agrarie*) (CAPELA, 1987). A diferença entre as vias principais e secundárias, assentam no tipo de estrutura, na dimensão e

funcionalidade, mas também no tipo de infra-estruturas que lhes estavam associadas (Figura 1.1).

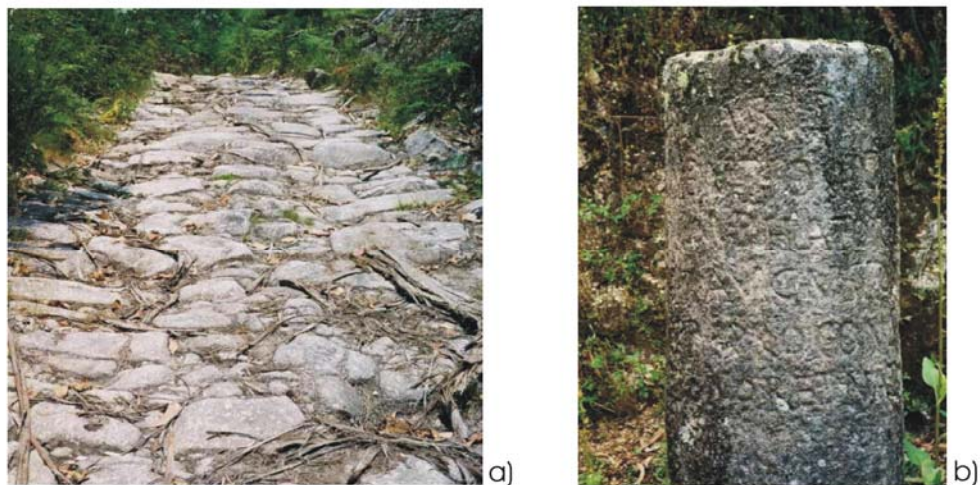


Figura 1.1 - Via Romana: a) via – calçada; b) marco miliário (Fonte: SOUTINHO, 2007).

COSTA (2003) indica que apenas as principais, nas suas margens, continham marcos miliários colocados de milha em milha, estruturas cilíndricas, no caso português de granito, que transmitiam o nome do Imperador que mandou construir ou restaurar, bem como informavam a distância entre a cidade de origem da via e o local onde se encontravam. Nelas circulava o Imperador, pessoal administrativo, oficial, exército, magistrados, entre outras individualidades, rapidamente foram erigidas unidades de alojamento (*mansiones*) e estações de muda (*mutationes*). Estes centros de apoio à movimentação das diversas classes, impulsionaram o desenvolvimento dos aglomerados. Dada a grandeza destas vias, não podemos considerar as vias secundárias menos importantes. Segundo VIEIRA (2004) serviam a população local, permitindo as ligações regionais e transregionais, tão importantes para o estabelecimento de redes comerciais e para a estruturação das *civitates*.

1.2.3 Da Idade Média à Contemporaneidade

Após várias tentativas de invasões, os bárbaros instalaram-se definitivamente no Império Romano no século IV, o que vem abalar a solidez da civilização romana, cooperando para o seu término, dando origem a uma nova época da história – Época Medieval (séc. V ao séc. XIV).

Relativamente ao meio de deslocação de pessoas e bens, CASTRO (1983) é da opinião que a sociedade medieval estava dotada de uma precária rede viária, independentemente das degradadas vias romanas. Na Idade Média, a construção dos eixos viários deixam de ter uma visão estratégica, como na época anterior que estavam sub a tutela da administração pública. As vias medievais passaram a ser regidas numa lógica regional e local e a sua configuração aproxima-se mais das vias secundárias do que dos eixos estruturantes do Império Romano, como alude VIEIRA (2004).

Durante esta época estabelecem-se novas rotas motivadas pela fé das populações. Roma, Santiago de Compostela, são alguns dos destinos, locais sagrados, que os peregrinos percorriam por diferentes e renovados trajectos. O Caminho de Santiago, dividido em etapas e com muitas variantes, representa na Europa o principal percurso da Idade Média, movimentando um elevado número de peregrinos. Com o aparecimento das ordens monásticas, inicialmente a Beneditina seguida da Cisterciense, surge uma rede de mosteiros espalhados por todo o continente, o que fomenta a necessidade dos monges comunicarem de uma forma mais impetuosa, pelo que patenteiam novos traçados.

Toda a precedente rede de caminhos gerada durante a Época Romana foi sofrendo processos de reconstrução/renovação ao longo dos tempos, particularmente na Idade Média. Também se procedeu à construção de novos caminhos e de pontes, estas agora sob um estilo Românico. Este processo de manutenção e conservação prevaleceu até ao século XIX, altura em que se inicia um procedimento de total renovação e expansão da rede viária, e em alguns casos até aos dias de hoje.

A modernização da rede de estradas em Portugal é iniciada em 1849, com o processo de Mac-Adam (ALEGRIA, 1990). Inicialmente procurava servir a mala-posta, as carruagens e outros carros de tracção animal, e só depois já no século XX, é que se começa a adaptar às necessidades das viaturas de tracção motorizada (ABREU, 2005). Mais tarde, em 1927, e sob a tutela do Engenheiro Duarte Pacheco, é criada a Junta Autónoma das Estradas (JAE), entidade responsável pela construção e manutenção da rede de estradas.

Diversos condicionalismos determinaram a evolução da rede viária, que apareceram como causa ou consequência de factores físicos ou humanos, económicos ou políticos. No entanto, foi marcadamente a geografia física que condicionou a fixação das populações e a distribuição e natureza das vias de comunicação (MATOS, 1980). ABREU (2005), realça que a JAE na sua fase inicial planeou e concretizou a rede de estradas com base em considerações de raiz topográfica e a partir de um certo sentido de equilíbrio territorial.

O actual traçado da rede viária portuguesa, está muito dependente dos Planos Rodoviários Nacionais (PRN), nomeadamente o PRN de 1945, o PRN de 1985 e o PRN de 2000. O primeiro é o grande impulsionador do crescimento da rede de estradas no território continental, com a definição e divisão hierárquica das seguintes estradas: estradas nacionais, estradas municipais e caminhos públicos (municipais e vicinais).

A rede sofre a real e profunda reforma com a implantação do PRN de 1985, este idealizado segundo as necessidades do país, face à possibilidade de entrada de Portugal na CEE, nomeadamente ao nível de auto-estradas. O PRN de 2000, actual instrumento de planeamento da rede rodoviária nacional do continente, constata a melhoria realizada na rede de estradas e as novas exigências no transporte de pessoas e mercadorias, tendo em atenção o aumento vertiginoso de tráfego na década de 90, traduzindo-se num incremento de itinerários principais e complementares. Este plano é constituído por duas redes: a nacional fundamental e a nacional complementar.

1.2.4 Evolução da rede viária no concelho de Arcos de Valdevez

Nesta região permanecem caminhos que remontam a tempos imemoriais, pensando-se até que alguns destes possam ter sido edificadas durante o Império Romano. No entanto, devido à ausência de marcos miliários não se confirma a existência de vias principais, contudo poderão ter existido vias secundárias (CALDAS, 1994).

A existência de caminhos medievais é assumida, pelo facto de estarem documentadas pontes da Idade Média. Citamos o caminho que fazia a ligação de Arcos de Valdevez a Monção pelo Extremo. Partia dos Arcos, transpondo o rio Vez, provavelmente nas poldras da Valeta e circulava pela margem esquerda até Vilela, com passagem obrigatória na Ponte de Ázere, cruzando o rio para a margem direita na Ponte de Vilela. Indo agora em direcção a Choças, Portela do Extremo e seguidamente até Monção. Este velho caminho medieval foi palmilhado por exércitos em trânsito, com referência aos soldados de Afonso Henriques aquando do celebrado recontro de Valdevez, bem como pela população do vale do Vez e por peregrinos compostelanos. Um outro caminho, este de carácter mais serrano, está associado à Ordem de Cister dada a presença de dois Mosteiros nas imediações da Serra da Peneda e Soajo, Ermelo e Fiães (Melgaço).

No ano de 1800 a rede de transportes era basicamente constituída por caminhos de terra batida ou por calçadas de pedras graníticas, Calçada de Meães, Calçada dos Bicos, de acordo com o relevo do terreno. Nos finais do séc. XIX, a rede viária do concelho de Arcos de Valdevez, estava circunscrita a alguns trajectos, estradas adaptadas à circulação de carruagens, nomeadamente na ligação: Arcos de Valdevez - Monção (via Extremo) e Arcos de Valdevez - Ponte de Lima. No restante território a circulação de pessoas e bens operava por uma rede de caminhos maioritariamente serranos, de origem ancestral, que apenas permitiam a passagem a pé, a cavalo e alguns carros de bois, (Figura 1.2). Esta realidade é descrita por José Augusto Vieira, nas diversas viagens que efectuou ao território e à restante província do Minho, relatadas na sua obra “O Minho Pittoresco” de 1886.



Figura 1.2 – Caminhos serranos do concelho de Arcos de Valdevez [a) caminho brandeiro; b) calçada dos Bicos).

CALDAS (1994), refere que em 1900, do esquema de estradas existentes, o município apresentava 38 Km de estradas reais de “macadame” e 20 Km de estradas municipais, e nos anos subsequentes o esquema não se alterou muito. O autor refere que a estrada “moderna” que ligava Braga a Monção pela Portela do Extremo foi concluída em 1900, tendo sido iniciadas as obras de ligação Ponte da Barca aos Arcos no ano de 1859.

O concelho assiste a uma forte mudança na malha da rede viária em meados do séc. XX, isto em consequência da implementação de estradas enquadradas no PRN de 1945 e no Projecto de Arborização do Perímetro Florestal das Serras do Soajo e Peneda, aprovado em 1944 e iniciado no ano seguinte com a criação das estruturas locais. Surgem as estradas nacionais 101, 202, 301, 303 e 304, bem como estradas municipais e estradas florestais. Estas vêm contribuir para uma melhor mobilidade da população, com grande destaque para as comunidades serranas, até aqui, fortemente impedidas de circularem por meios motorizados.

Desde essa época até aos dias de hoje a evolução tem sido gradual e tem acompanhado os restantes planos rodoviários, com maior dinamismo após o 25 de Abril de 1974, e por iniciativa da Câmara Municipal de Arcos de Valdevez. Com acções muito vocacionadas para o melhoramento da mobilidade concelhia, que se traduz no crescimento de estradas e caminhos municipais.

A ligação com os grandes centros populacionais e industriais como Braga, Porto, Viana do Castelo e Galiza, numa perspectiva de uma melhor acessibilidade e mobilidade de um maior volume de tráfego, acontece em 2003, com a construção de um itinerário complementar (IC 28), cooperando em grande parte para a expansão industrial do concelho de Arcos de Valdevez.

1.3 OBJECTIVOS GERAIS

A dicotomia existente entre Norte e Sul do Tejo, ao nível das condições topográficas, geológicas, climatéricas e de vegetação, explicam o acentuado contraste da rede viária entre as duas zonas. Por vezes, uma estrada ou um caminho nem sempre acompanha o relevo, tanto no Norte como no Sul de Portugal. A presença de rectas no traçado, construídas inicialmente ou posteriormente, é prova da tendência do homem em libertar-se dos laços que o ligam à natureza (MATOS, 1980).

É nesta perspectiva que a implementação de processos de análise exploratória em contextos de modelação geográfica poderão transmitir informações relevantes para a compreensão da rede viária em territórios mais adversos à sua implementação, tais como os de montanha.

A presente dissertação tem como principal objectivo a definição de um modelo de avaliação de vias de comunicação, que demonstre o comportamento das diferentes vias existentes num território de montanha. Deste modo analisaremos as seguintes vias de comunicação:

- Estradas Nacionais (EN);
- Estradas Municipais (EM);

- Caminhos Municipais (CM);
- Caminhos Florestais (CF);
- Caminhos Brandeiros Romeiros (CBR)².

Propõe-se a identificação e formalização de relações entre a informação derivada produzida e a localização e percurso efectivo de vias de comunicação, permitindo assim a geração de modelos de avaliação de elevada aplicabilidade, quer na compreensão da variabilidade existente na área de estudo, quer em termos da sua replicabilidade e validade geral.

As operações de análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) realizadas podem frequentemente ser consideradas como fases iniciais no processo de análise exploratória de relações espaciais, visando gerar informação derivada considerada pertinente no estabelecimento dos sistemas de descoberta de conhecimento.

No decorrer de um processo de descoberta de conhecimento, a análise exploratória de dados irá permitir descobrir padrões e regularidades nos dados, que contribuem para a definição de modelos explicativos e predictivos num contexto de aquisição e formalização de conhecimento espacial. Neste sentido a concepção de processos e modelação geográfica tendentes a criar informação derivada adequada assume uma importância central na medida em que frequentemente os dados de *per si* não permitem o estabelecimento de relações que adequadamente descrevam complexos cenários e sistemas espaciais.

² São trajectos associados ao sistema agro-silvo-pastoril (uso dos lugares e das brandas – escalonamento em altitude dos recursos) e aos percursos que os peregrinos provenientes de vários locais utilizam para um dos principais santuários marianos existente na região, Santuário da Nossa Senhora da Peneda.

1.4 ASPECTOS PRINCIPAIS DA PROPOSTA METODOLÓGICA

No âmbito dos espaços geográficos, muitas vezes caracterizados por cenários e relações espaciais de difícil entendimento, a constituição de modelos que transmitam conhecimento inovador sobre os territórios representam um constante desafio.

Os processos de análise espacial e de modelação geográfica implementados neste estudo tiveram como objectivo a geração de informação derivada, a utilizar como variáveis independentes num contexto de análise exploratória. Neste sentido um conjunto de processos de análise e de modelação foi desenvolvido visando nesta primeira aproximação a extracção de variáveis derivadas tais como o declive funcional, variável integradora fundamental no processo de estabelecimento de descoberta de conhecimento, aqui descrito.

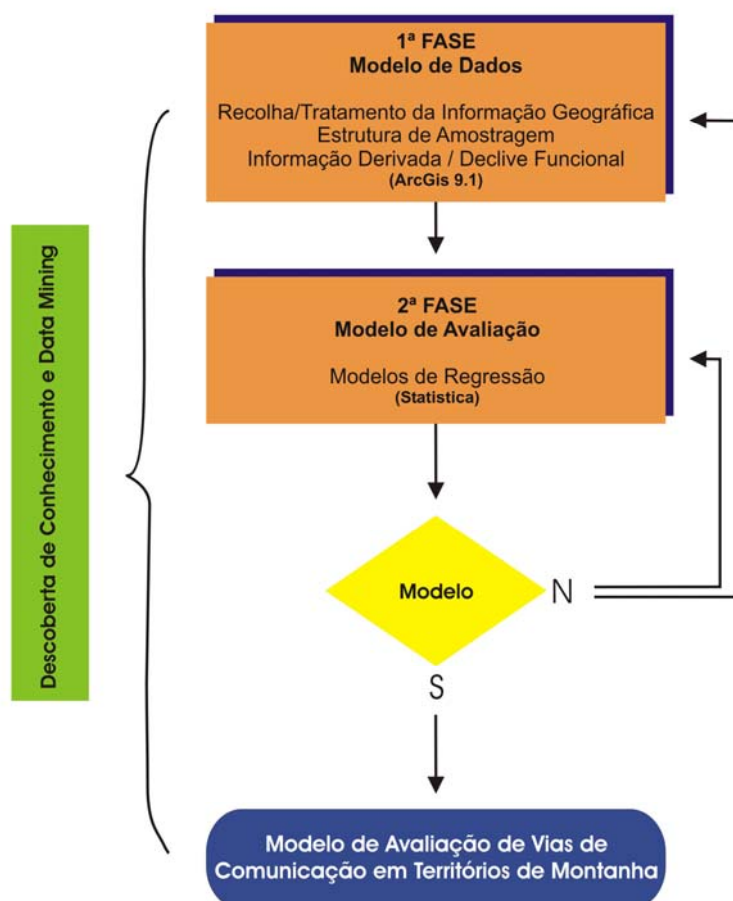


Figura 1.3 -Esquema metodológico de desenvolvimento do estudo

Considerando o objectivo de aquisição e formalização de conhecimento espacial que possibilite a caracterização da importância do relevo no traçado de uma rede viária, este estudo desenvolveu-se em duas fases distintas (Figura 1.3):

- Concepção e implementação de uma base informativa para a realização de processos de análise espacial e análise exploratória de relações espaciais, integrando o desenvolvimento de processos de aquisição e formalização de conhecimento espacial;
- Concepção de um modelo de avaliação de vias de comunicação em territórios de montanha.

Estas duas fases, que constituem a base metodológica deste estudo de investigação, reúnem duas componentes de implementação independentes. A primeira reflecte o desenvolvimento inicial do estudo num ambiente SIG, onde se processa o tratamento da informação geográfica, a realização de uma estrutura de amostragem e a produção de informação derivada. A segunda incide na concepção de um modelo de avaliação elaborado estatisticamente, tendo como suporte modelos de regressão e modelos exponenciais de crescimento.

As operações de tratamento e validação da informação geográfica e as posteriores acções de análise espacial e de modelação geográfica foram realizadas em ambiente de sistemas de informação geográfica - ArcGis[®], versão 9.1, da Environmental Systems Research Institute (ESRI). A componente estatística foi desenvolvida através do programa Statistica[®], versão 6, da StatSoft, Inc.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução e exposição geral da dissertação. Começa-se com um pequeno enquadramento, ao qual se segue uma evolução histórica da rede viária em Portugal, depois enumeram-se os objectivos, faz-se uma

abordagem geral à metodologia adoptada e, por último, explicita-se a estrutura adoptada.

De seguida, no capítulo dois, apresentam-se conceitos teóricos que serviram de base ao desenvolvimento deste estudo. A revisão bibliográfica incide fundamentalmente no conceito de descoberta de conhecimento e modelação estatística, com destaque para os modelos de regressão.

No terceiro capítulo, intitulado Materiais e Métodos, tem lugar uma descrição metodológica do estudo, com realce para a modelação geográfica e produção de informação derivada, destacando-se o processo de obtenção do declive funcional. Acrescenta-se, também, uma explicação sobre a simulação de novos traçados, com o objectivo de demonstrar que os actuais traçados procuram minimizar o declive funcional.

O quarto capítulo engloba a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Provenientes dos modelos de regressão e aplicados aos diferentes tipos de traçado, os resultados evidenciam e quantificam a dependência dos traçados em relação ao declive funcional. Apresenta-se uma proposta de uma ficha de caracterização de uma via de comunicação, centrada na principal variável do estudo – declive funcional. Por fim apresenta-se uma nota final do estudo. Enumera-se uma síntese da dissertação e perspectivam-se algumas questões/metasp consideradas pertinentes para futuros trabalhos.

2 DESCOBERTA E FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO

O desenvolvimento deste estudo assenta em conceitos teóricos e em áreas de investigação relacionadas com o espaço físico e com processos de descoberta de conhecimento nomeadamente com o recurso a métodos de estatística multivariada. Este capítulo pretende contextualizar alguns dos principais conceitos científicos associados aos objectivos do estudo.

O capítulo termina com a descrição das fases do processo de DCBD, tarefas e técnicas de Data Mining, no presente caso com destaque para a modelação estatística baseada em modelos de regressão.

2.1 DESCOBERTA DE CONHECIMENTO

O avanço computacional tem permitido um armazenamento e uma manipulação cada vez maior de uma grande quantidade de dados (base de dados (BD) e data warehouse). Na presença de um de grande volume de dados recolhidos, as técnicas de pesquisa em BD não eram suficientes para observar e extrair informação desses dados. Neste sentido surge a necessidade de gerar novas tecnologias computacionais e ferramentas para extrair informação de uma grande base de dados, a qual se torna valiosa para as tomadas de decisão. Tendo por base os sistemas de suporte à decisão, foram desenvolvidas ferramentas de análise de dados, *OnLine Analytic Processing* (OLAP) (FRIEDMAN, 1997) e ferramentas associadas à descoberta de conhecimento. HAN e KAMBER (2001), referem que data mining pode ser considerado como uma etapa avançada de OLAP, isto numa perspectiva de Data Warehouse.

Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (DCBD) é definida por FAYYAD *et al*, 1996 como “ *nontrivial process of identifying valid, novel, potentially useful, and ultimately understandable patterns in data*”.

É uma área de estudo em constante evolução e suportada pela interligação de vários campos de investigação, o que permite conjugar teorias, métodos e ferramentas para extrair elevados índices de conhecimento em grandes bases de dados (FAYYAD *et al*, 1996). As ferramentas utilizadas para identificar padrões nos dados estão associadas às técnicas de data mining.

2.1.1 Fases do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados

O processo de Descoberta de Conhecimento é interactivo e iterativo (FAYYAD *et al*, 1996; MILLER e HAN, 2001; HAN e KAMBER, 2001), requer o envolvimento dos utilizadores nas tomadas de decisão, e iterativo porque permite voltar às etapas anteriores. O processo é desenvolvido por uma sequência de etapas (Figura 2.1), não necessariamente por uma ordem linear, podendo ser realizadas por diversas vezes, bem como voltar aos passos anteriores para uma revisão do processo. A obtenção de informação e de conhecimento válido e potencialmente útil só é possível com uma participação activa dos utilizadores, ao nível das tomadas de decisão nas diferentes etapas que compõem o processo.

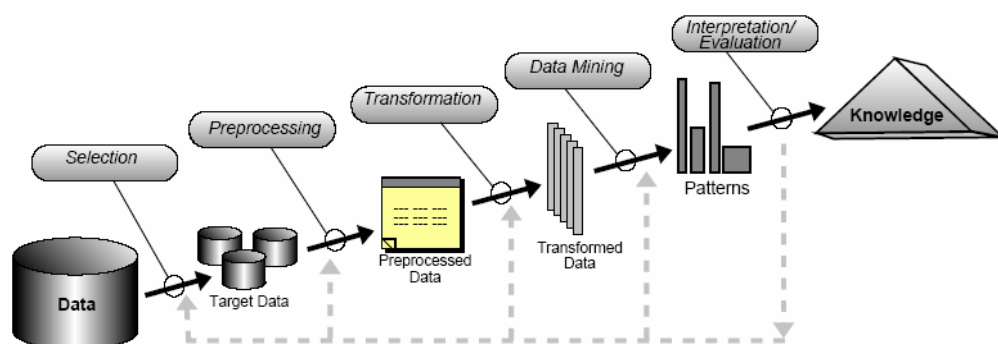


Figura 2.1 - Etapas do processo de DCBD (Fonte: FAYYAD *et al*, 1996)

As etapas que constituem o processo de descoberta de conhecimento, abarcam a selecção, pré-processamento e transformação dos dados, escolha e aplicação dos algoritmos de Data Mining e interpretação dos resultados. Sendo de destacar que a etapa de data mining é ponto central de todo este processo, por vezes conectada como sinónimo de DCBD (HAN e KAMBER, 2001).

2.1.1.1 Data mining

HAND (1999) descreve data mining como “the *discovery of interesting, unexpected, or valuable structures in large data sets*”. Constitui apenas um passo do processo anteriormente descrito, com o intuito de aplicar métodos e técnicas em grandes bases de dados, para encontrar padrões, os quais poderemos associar à descoberta de conhecimento.

Os processos de Data mining assumem uma elevada interdisciplinaridade, com uma componente estatística e de análise exploratória de dados. Também está fortemente associada a métodos e técnicas de outras disciplinas, com ligação à área computacional como: aprendizagem automática, inteligência artificial, reconhecimento de padrões, visualização de dados, entre outras (FAYYAD *et al*, 1996; HAN e KAMBER, 2001; HAND *et al*, 2001). Esta multidisciplinaridade causa tensões naturais entre os diversos investigadores, mas que se tornam produtivas levando ao aparecimento de novas perspectivas e pontos de vista, tendo como resultado o desenvolvimento de ferramentas capazes de extrair informação potencialmente valiosa em montanhas de dados.

A descrição e a previsão representam os dois grandes grupos de tarefas associadas a data mining (HAN e KAMBER, 2001). O uso da descrição numa análise de dados centra a sua actuação na detecção de padrões, descrevendo os dados de uma forma perceptível para o utilizador. Por outro, o recurso à previsão permite construir modelos, com a capacidade de estimar valores. Em regra as tarefas associadas aos algoritmos de data mining compreendem: classificação e predição; associação, segmentação; sumariação, visualização e detecção de desvios. Como técnicas mais

usadas temos indução de regras, redes neuronais, algoritmos genéticos e aproximação de vizinhanças.

O crescimento explosivo de dados também se verifica com dados georreferenciados em áreas diferentes como: marketing, biologia, transporte, entre outras. As tradicionais ferramentas de análise espacial tornaram-se insuficientes para a obtenção de conhecimento, e dada a especificidade dos dados ao nível da dependência e heterogeneidade espacial, estrutura de medição geográfica, complexidade dos objectos e regras espaço-temporais e a diversidade de dados, contribui para a emergência de uma subárea de data mining e de DCBD – Geographic data mining (MILLER e HAN, 2001). São variadas as teorias e as técnicas desenvolvidas por diversos investigadores, que incluem, dependência espacial, métodos de *clustering* espacial, classificação espacial, métodos de generalização espacial, ferramentas de visualização geográfica, etc. Embora seja uma área de estudo jovem, o campo de aplicação é vasto e com resultados, ao nível, da interpretação de mapas e extracção de informação, extracção de informação de imagens de detecção remota e extracção de padrões espaço-temporais. Esta disciplina pode ser encontrada e analisada em BAÇÃO *et al* (2005), MILLER e HAN (2001), MUSTIERE (2005), GROSSMAN *et al* (2001), OPENSHAW (1999), QUI e ZHU (2003), SESTER (2000), YUAN *et al* (2001).

2.2 MODELAÇÃO ESTATÍSTICA

A modelação estatística assenta no desenvolvimento de um conjunto de tarefas visando o estabelecimento de relações formais capazes de representar de uma forma abstracta um processo ou um sistema do mundo real. O modelo traduz a descrição global de um conjunto de dados, que poderá ser descritivo ou inferencial (HAND *et al*, 2001).

Em SIG, a modelação estatística de processos espaciais tem ganho um espaço de relevo, nomeadamente na modelação ambiental (tráfego, demografia, epidemiologia), na exactidão espacial (análise espaço-temporal e incerteza,

propagação da incerteza), bem com no desenvolvimento da geoestatística, área que emergiu no seio da geologia.

Estamos na presença de dados espaciais que apresentam uma natureza distinta dos restantes dados. A análise destes é influenciada pelo papel da sua localização, uma vez que assume uma importância acrescida na compreensão dos fenómenos observados no espaço (BAÇÃO, 2005). Este aspecto foi considerado por WOLTER TOBLER (1970) que expressou a Primeira Lei da Geografia “*everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*”. Esta noção origina um conceito chave na compreensão e análise de fenómenos espaciais, a dependência espacial³, que ao nível computacional é expressa como autocorrelação espacial. Dever-se-á também ter em atenção a um segundo efeito espacial, a heterogeneidade espacial, que está relacionada com a diferenciação espacial como resultado da originalidade intrínseca de cada local (BAÇÃO, 2005), referencia à não estacionariedade⁴ da maior parte dos processos geográficos (MILLER e HAN, 2001).

Tendo em atenção a natureza dos dados espaciais, diversos investigadores centram os seus estudos numa estatística espacial, como forma de obterem melhores resultados, comparativamente com a estatística clássica, pois esta última, assume que os dados são independentes. CRESSIE (1991) relata esta situação da seguinte forma: “*Independence is a very convenient assumption that makes much of mathematical-statistical theory tractable. However, models that involve statistical dependence are often more realistic*”.

A característica não estacionariedade dos dados espaciais, motiva FOTHERINGHAM *et al* (2002), a desenvolverem uma ferramenta estatística, referida como *Geographically Weighted Regression* (GWR), capaz de examinar a presença da não estacionariedade espacial⁵ nas relações entre variáveis. Actualmente utilizada em diversos estudos que envolvem SIG e detecção remota.

³ Do termo spatial dependence. Exemplo: Junto de um foco de poluição, é provável que os locais mais próximos destes estejam mais poluídos, do que locais mais afastados.

⁴ Do termo non-stationarity.

⁵ Do termo *spatial non-stationarity*.

GWR é uma técnica de regressão local que através da desagregação da estatística clássica (regressão tradicional), permite ultrapassar o problema da não estacionariedade e calcula a relação entre variáveis para cada observação.

O método de análise da GWR assenta na técnica de “moving window”, construindo assim uma “moving window regression” sobre a área de estudo. Esta técnica cria uma grelha de pontos de regressão e à volta de cada um constitui uma região, composta por 4 células e o ponto de regressão no meio. O modelo gerado é calibrado para os dados que existem dentro da região descrita em torno do ponto de regressão, sendo o processo repetido para todos. Nestes pontos podemos mapear os parâmetros estimados, de modo a observar a não estacionariedade da relação em causa. O tamanho da célula é menor que o tamanho da região e pode variar de um ponto para o outro (FOTHERINGHAM *et al*, 2002).

A ferramenta mede o peso de cada dado a partir da sua distância ao ponto de regressão, sendo a pesagem geográfica calculada através da “spatial Kernel”. As pesagens das observações não são constantes mas uma função de localização. As funções de pesagem espacial podem ser calculadas por vários métodos, com destaque para um “spatial Kernels” fixo ou adaptativo, com a aplicação de uma função gaussiana.

No presente trabalho, tratando-se também de dados espaciais, a aplicação da modelação estatística, tem a finalidade de identificar modelos de avaliação de vias de comunicação em territórios de montanhas. Esta modelação segue o caminho da estatística multivariada clássica, como forma de comprovar uma teoria que fundamenta a natureza do fenómeno em estudo. Pretendeu-se demonstrar que o traçado das estradas adopta o princípio de minimização do declive funcional.

Neste sentido, sendo primordialmente relevante a característica local da dependência espacial nos dados obtidos, a não utilização da estatística espacial é aceitável. Foi possível demonstrar um forte relacionamento entre as variáveis presentes no estudo, podendo ser estabelecidos um conjunto de modelos de regressão.

2.2.1 Modelos de regressão

A comunidade científica considera a análise de regressão como uma importante ferramenta para a análise de dados. O seu uso poderá ser utilizado para descrição, predição e inferência (BERK, 2004). WEBSTER (1997) citado por LARK (2000) considera mesmo que a regressão é maioritariamente usada para estimar uma equação preditiva de uma variável dependente a partir de valores de uma ou mais variáveis independentes. No âmbito da descoberta de conhecimento, há necessidade de investigar como a mudança de uma variável afecta outra variável, estando as variáveis ligadas por uma forte relação linear (DRAPER e SMITH, 1980).

O campo de aplicação da análise de regressão é diverso e com numerosos exemplos. PORTELINHA *et al* (2000), utilizaram a regressão múltipla em comparação com redes neuronais para estudar a previsão da tenrura da carne de cordeiro. Tendo como base dados espaciais, encontramos a análise de regressão em mapeamentos urbanos de poluição do ar em várias cidades europeias (BRIGGS *et al*, 1997), simulação de estudos e aplicações para a elaboração de mapas sobre a ocupação de solo arável a partir de dados de detecção remota (LARK, 2000), em modelação de superfícies de acumulação de neve (CHANG e LI, 2000), em modelos de propagação de superfícies (NEVES *et al*, 2001), em análises de incerteza de dados de detecção remota (HAMM *et al*, 2006), em análises espaço-temporal e incerteza (PROPASTIN *et al*, 2006).

Poderemos classificar os modelos de regressão como lineares ou não lineares. Esta classificação é referida à linearidade ou não linearidade nos parâmetros (DRAPER e SMITH, 1980). Dentro desta classificação os modelos lineares manifestam a regressão simples, múltipla, factorial e polinomial. No caso não linear, são considerados os modelos de regressão *probit*, logísticos, exponenciais de crescimento e piecewise (STATSOFT, Inc. 2006).

Em termos teóricos, os casos de forte relacionamento entre várias variáveis podem ser avaliados por uma equação – equação de regressão, obtida na maior parte dos casos pelo método de estimação de mínimos quadrados (parâmetros).

A regressão linear simples envolve apenas a relação entre duas variáveis e a sua equação de 1ª ordem torna-se no modelo de regressão mais básico, sendo expresso da seguinte forma (CLARK e HOSKING, 1986; DRAPER e SMITH, 1980):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * X_i + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

onde

Y_i – Variável quantitativa dependente.

X_i – Variável quantitativa independente.

β_0 e β_1 – representam os parâmetros estimados (β_0 a constante ou intercepção e β_1 o coeficiente de regressão para a variável X_i).

ε_i – O erro aleatório associado ao valor observado Y_i .

Os valores observados da variável independente não se encontram associados a qualquer erro e deverão ser encarados como predeterminados, nunca observações de uma variável aleatória (GUIMARÃES e CABRAL, 1997). Relativamente aos erros (ε_i), o conceito teórico do modelo de regressão linear simples assume as seguintes hipóteses (CLARK e HOSKING, 1986; DRAPER e SMITH, 1980; GUIMARÃES e CABRAL, 1997): têm valor esperado nulo e variância constante; são mutuamente independentes e normalmente distribuídos.

2.2.1.1 Regressão linear múltipla

O modelo anterior apenas permite estimar a influência de uma variável sobre outra. Há situações, problemas em que é necessário considerar diversas variáveis para se obter um melhor entendimento acerca do comportamento de uma outra variável.

A regressão linear múltipla pode descrever tal comportamento, a variável dependente (Y_i) é confrontada contra duas ou mais variáveis independentes (X_i). O típico modelo

de regressão linear múltipla pode ser expresso pela equação de 1ª ordem (CLARK e HOSKING, 1986; DRAPER e SMITH, 1980; GUIMARÃES e CABRAL, 1997):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * X_{1i} + \beta_2 * X_{2i} + \dots + \beta_k * X_{ki} + \varepsilon_i \quad (2.2)^6$$

onde,

k – número de variáveis independentes

Aos restantes parâmetros atribui-se o significado apontado no modelo de regressão linear simples.

Os parâmetros desconhecidos são estimados pelo método de mínimos quadrados, e deveremos ter presente que as hipóteses consideradas no modelo anterior também são válidas para este.

O método estimação de mínimos quadrados, caracteriza-se por minimizar a soma de quadrados dos erros entre os valores observados e esperados para a variável X_i . Os parâmetros das equações de regressão (2.1) e (2.2), $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_n$, estimados por este método tem como expressão S , que é igual à soma dos quadrados dos erros, que deverão ser minimizados. A expressão da soma dos quadrados dos erros toma a forma:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.3)$$

Onde,

n corresponde à dimensão da amostra

Substituindo pela equação (2.1),

⁶ O software *Statistica*® versão 6, descreve a equação de regressão linear múltipla:
 $y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n + \varepsilon$

$$S = \sum_{i=1}^n [Y_i - (\beta_0 + \beta_1 * X_i)]^2 \quad (2.4)$$

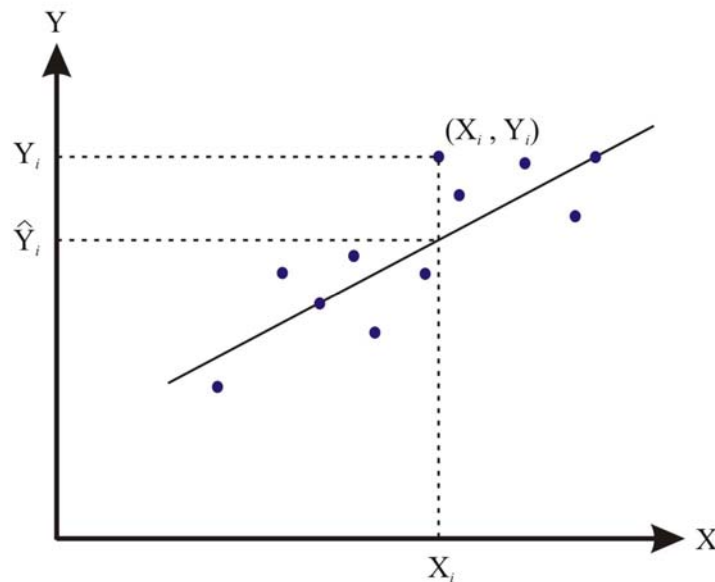


Figura 2.2 - Método de mínimos quadrados (Fonte: Adaptado de CLARK e HOSKING, 1986)

A figura 2.2, ilustra graficamente os desvios minimizados.

2.2.1.2 Regressão exponencial de crescimento

Em muitas áreas do domínio das ciências exactas e das ciências sociais muitos problemas não são compreendidos com o uso dos modelos lineares. O conhecimento sugere o uso de modelos menos empíricos, isto é, a partir de suposições importantes sobre um problema podemos trabalhar no sentido de obter uma relação mais teórica, entre as variáveis observáveis de interesse, nomeadamente o uso de modelos não lineares (DRAPER e SMITH, 1980; MYERS, 1990). DRAPER e SMITH (1980), afirmam que qualquer modelo que não configure a forma dada pelas equações (2.1) e (2.2), será chamado como um modelo não linear, não linear nos parâmetros.

A regressão exponencial de crescimento, esta tipicamente não linear, poderá ser expressa por diversas equações:

$$Y_i = \exp(\theta_1 + \theta_2 t_i^2 + \varepsilon_i) \quad (2.5)^7$$

$$Y_i = \alpha e^{\beta x_i} + \varepsilon_i \quad (2.6)^8$$

$$Y_i = c + \exp(b_0 + b_1 * X_{1i} + b_2 * X_{2i} + \dots + b_m * X_{mi}) \quad (2.7)^9$$

Onde, c e b_k são parâmetros estimados (para m variáveis independentes).

O método de estimação dos parâmetros para os modelos não lineares difere dos modelos lineares. MYERS (1990), considera que o método de mínimos quadrados traz complicações para os modelos não lineares, nunca encontrados nos outros modelos. O referido autor aponta o método Gauss-Newton, também conhecido como método da linearização (DRAPER e SMITH, 1980), como sendo o mais utilizado pelas ferramentas estatísticas. Usa uma expansão em série de Taylor para aproximar o modelo de regressão não linear com termos lineares e, então, aplica o método de mínimos quadrados ordinário para estimar os parâmetros. Aproveitando os resultados dos mínimos quadrados lineares em fases sucessivas (DRAPER e SMITH, 1980), este método tem um procedimento iterativo e necessita de dar valores iniciais aos parâmetros (MYERS, 1990), este é o seu procedimento básico no entanto tem sofrido muitas modificações.

2.2.2 Validação dos modelos

Após a obtenção dos modelos de regressão é crucial confirmar se os modelos estão adaptados à realidade, bem como constatar se os procedimentos não foram ultrapassados. Poderemos validar os modelos pelos valores do teste de significância

⁷ DRAPER e SMITH (1980)

⁸ MYERS (1990)

⁹ STATSOFT, Inc. (2006)

para os parâmetros e pelos valores do coeficiente de determinação, tendo como suporte o Teste de Hipóteses e a Análise de Variância. Análise residual é um outro instrumento importante na validação dos modelos.

2.2.2.1 Teste de hipóteses e Análise de Variância

Nos modelos de regressão, a leitura dos testes de hipóteses acerca dos parâmetros do modelo são de grande ajuda para a aceitação do modelo. Os procedimentos teóricos requerem que os erros (ϵ) no modelo tenham uma distribuição normal e aleatória com média nula e variância constante.

O que determina se há uma relação entre a variável dependente Y e as variáveis independentes $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{Ki}$, é o teste de significância da regressão, dado pelo teste de hipóteses.

Para tratar a significância estatística dos parâmetros associados ao modelo de regressão em causa, a hipótese nula considera que este pode ser nulo, tomando como regra de decisão 5%, os parâmetros tornam-se estatisticamente significantes se o valor de p associado à estatística do teste for $<0,05$. A ANOVA na regressão permite avaliar a validade do modelo em causa. Um valor de $p < 0,05$ permite dizer que o modelo em estudo se ajusta aos dados e esse ajuste é estatisticamente significativo.

O Coeficiente de Determinação R^2 é uma medida de qualidade do ajuste que permite verificar a redução da variabilidade de Y_i devido ao uso das variáveis independentes $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{Ki}$ no modelo. Esta medida é-nos dada pela análise de variância aplicada no contexto da regressão, e define a proporção da variância total de Y_i explicada pela equação da regressão. Os valores situam-se entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1 melhor é o ajuste do modelo.

$$R^2 = \text{variação explicada} / \text{variação total} \quad (2.8)$$

$$R^2 = \text{SQR} / \text{SQT} = 1 - (\text{SQR} / \text{SQT}) \quad (2.9)$$

2.2.2.2 Análise residual

Os resíduos e_i indicam as diferenças entre o actual valor da variável dependente Y_i e o valor da variável dependente $\hat{Y}_i$ obtida pela equação de regressão (CLARK e HOSKING, 1986; DRAPER e SMITH, 1980), definido por:

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

A análise dos resíduos é válida para qualquer tipo de modelo de regressão, linear, não linear e análise de variância (DRAPER e SMITH, 1980). O método de exame mais usual corresponde à visualização dos gráficos (Plot) de resíduos, especialmente para séries temporais, elaborados de diferentes maneiras:

1. Overall Plot de valores numéricos para analisar a normalidade – Probabilidade normal dos resíduos e frequências de distribuição dos resíduos (Histograma).
2. Gráficos de resíduos em sequência de tempo, se uma ordem de sequência for conhecida
3. Gráficos de resíduos versus valores obtidos $\hat{Y}_i$
4. Gráficos de resíduos versus variáveis independentes X_{ij}
5. Gráficos de resíduos versus valores actuais Y_i

A interpretação dos gráficos obedece a determinados princípios. Relativamente ao gráfico da probabilidade normal dos resíduos (Figura 2.3a), a verificação da distribuição normal dos resíduos é satisfeita quando a curva dos resíduos se aproxima de uma linha recta. Este gráfico também permite observar a presença de *outliers*¹⁰

¹⁰ São dados atípicos, observações infrequentes. Não aparecem no seguimento da restante distribuição.

(STATSOFT, Inc. 2006). A leitura do gráfico da frequência de distribuição dos resíduos também nos indica se os resíduos estão distribuídos de uma forma normal (Figura 2.3b).

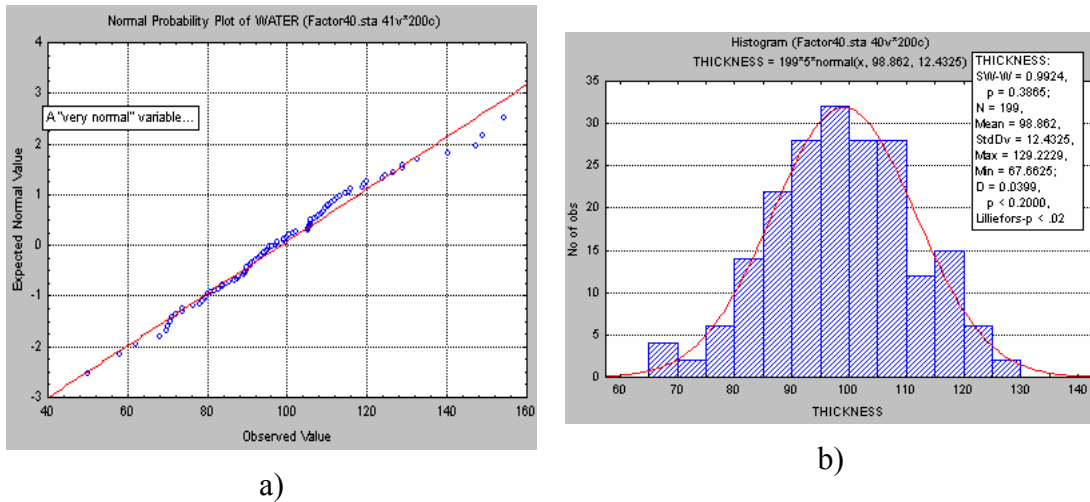


Figura 2.3 - Overall Plot – a) Gráfico da Probabilidade Normal; b) Frequência de Distribuição (Fonte: STATSOFT, Inc. 2006).

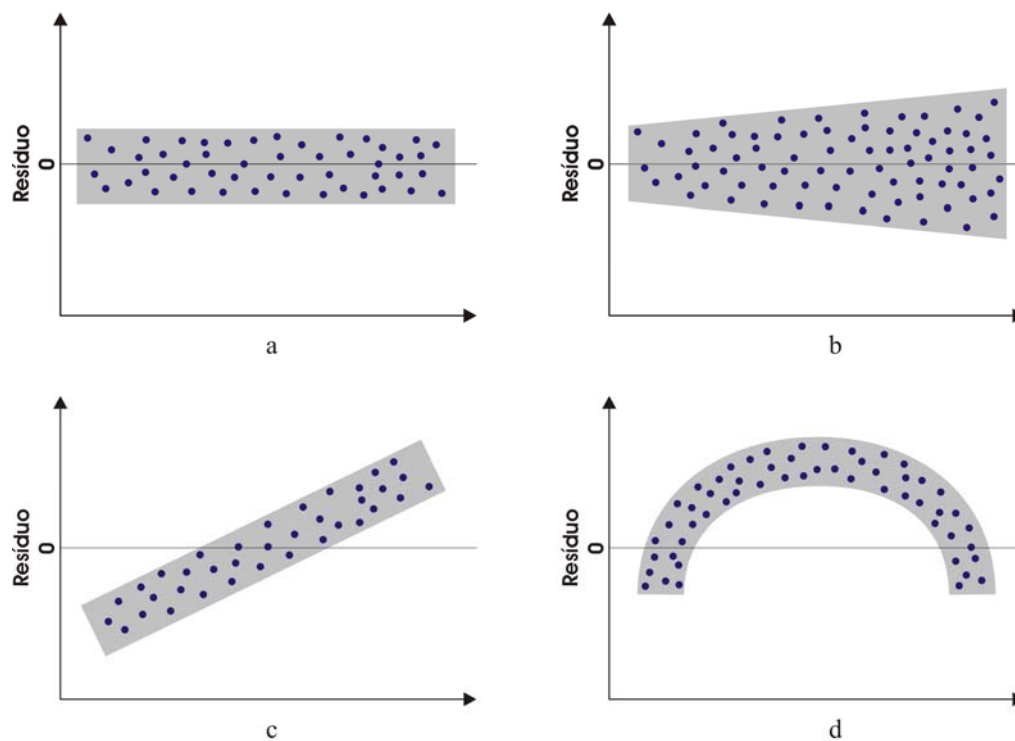


Figura 2.4 - Configurações básicas dos gráficos de resíduos (Fonte: adaptado de DRAPER e SMITTH, 1980)

A configuração dos gráficos (para os pontos 2 a 5, mencionados em cima) podem tomar algumas formas. Se a configuração impressa mostrar uma banda horizontal (Figura 2.4a), indica que o efeito do tempo a longo termo não está a influenciar os dados, forma desejada. Caso contrário, as outras formas (Figura 2.4) não indicam deficiências no modelo, apenas concluímos que o efeito do tempo não é considerado, evidenciando os seguintes problemas:

- b) Variância não constante, aumenta com o tempo, torna-se necessário usar uma análise de mínimos quadrados ponderados.
- c) O termo linear deverá ser incluído no modelo.
- d) O termo quadrático deverá ser incluído no modelo, ou transformação da variável Y_i .

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Após o enquadramento e apresentação do problema em estudo e de se terem revisto um conjunto de conceitos teóricos relacionados com a descoberta e formalização de conhecimento, neste capítulo, serão abordadas as descrições dos principais métodos utilizados para elaborar modelos de avaliação de vias de comunicação em territórios de montanha.

No contexto da análise de relações espaciais, é referida a importância do modelo de dados e os processos de análise espacial e modelação geográfica que visam descrever adequadamente o fenómeno em causa. Aborda-se a concepção de uma estrutura de amostragem e a realização de procedimentos de análise fisiográfica para posteriormente destacar os métodos de produção de informação derivada, declive funcional e a simulação de novos traçados, como fontes de variáveis a incluir na modelação estatística, com o objectivo de criar um procedimento de descoberta de conhecimento.

Por fim, é descrita a componente de implementação estatística, nomeadamente a aplicação de modelos de regressão, com a finalidade de fornecer indicadores quantitativos de um processo de avaliação de vias de comunicação em territórios de montanha.

3.1 CAMINHOS DE MENOR CUSTO

Nesta dissertação existe uma preocupação de caracterização de vias rodoviárias considerando as opções de definição de traçado subjacentes à sua construção. De alguma forma considera-se que o caminho ou traçado escolhido revela uma definição optimizada do melhor caminho possível considerando as limitações e objectivos que presidiram a essa definição.

Não sendo objectivo desta dissertação a criação de um modelo de geração de percursos ou caminhos “óptimos” não deixa contudo de ser relevante um pequeno enquadramento centrado em alguns importantes desenvolvimentos nesta área, com especial ênfase para aqueles que integram procedimentos de análise espacial e modelação geográfica.

Encontrar o caminho de menor custo é uma prática comum em SIG. A computação do caminho de menor custo não é um conceito novo, no entanto, é com o avanço do poder computacional que este fenómeno evolui ao nível da sua aplicabilidade e da sua performance de uma forma rápida (LEE e STUCKY, 1998). É uma área de estudo que tem merecido uma atenção especial de muitos outros campos de investigação, como a Cartografia, Inteligência Artificial, Engenharia Civil, Ciência Computacional (STEFANAKIS e KAVOURAS, 2002; YU *et al*, 2003), Robótica (STEFANAKIS e KAVOURAS, 2002). Neste universo verifica-se uma grande aplicabilidade do conceito nos sistemas de transportes, actividades militares, construção de estradas e de caminhos-de-ferro, sistemas de irrigação, circuitos turísticos, entre outras aplicações.

Os modelos existentes em SIG, vectoriais e raster podem ser utilizados na definição de caminhos de menor custo. SAHA *et al* (2005), aponta que nos modelos raster a flexibilidade na selecção dos padrões de vizinhança é um pouco limitada em comparação com os modelos vectoriais. Todavia, a computação do custo temático é mais fácil de conceber e de manipular em raster. Quando estamos na presença de vias e pretendemos encontrar o caminho óptimo (e.g. Sistemas de transporte de substancia tóxicas), o problema é mais facilmente resolvido num modelo vectorial, onde a dificuldade de avanço ou tempo de deslocamento, são válidos apenas para os segmentos de via que unem dois pontos.

Em raster, cada célula está associada a um valor de custo, que é usado como peso para o cálculo do caminho de menor custo (COLLISCHONN e PILAR, 2000). Existem diversos movimentos, também conhecidos como padrões de vizinhança que permitem o atravessamento entre células com o objectivo de otimizar rotas. Estes estão relacionados com os movimentos num jogo de xadrez (Figura 3.1),

nomeadamente, Rook's pattern (4 células), Queen's pattern (8 células) (YU *et al*, 2003; LONGLEY *et al*, 2005) e Knight's pattern (16 células) (YU *et al*, 2003; SAHA *et al*, 2005), sendo Queen's pattern o mais utilizado nos pacotes de software SIG (LONGLEY *et al*, 2005). Para além destes, SAHA *et al* (2005) enuncia um outro Bishop's pattern e dois novos padrões que derivam do Knight's pattern, Knight's 31 pattern e o Knight's 32 pattern.

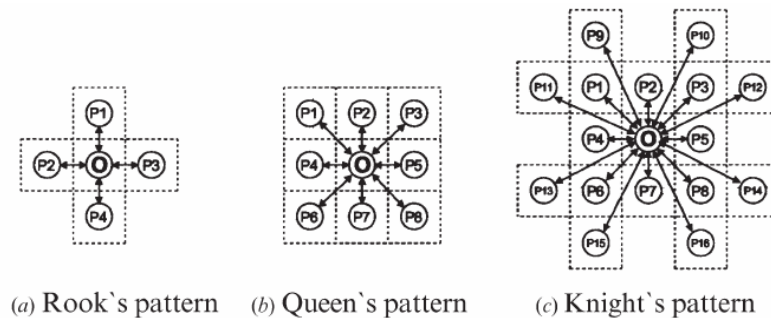


Figura 3.1 - Três tipos de padrão de vizinhança, mais conhecidos, em modelos de dados raster (Fonte: YU *et al*, 2003).

Os algoritmos para encontrarem o caminho de menor custo, em ambientes raster, processam este problema em fases distintas, como descreve COLLISCHONN e PILAR (2000):

- Elaboração de uma *superfície de custo* – é uma grelha, em que cada célula contém valores usados com pesos para o cálculo e representam a resistência, fricção ou dificuldade em atravessar a célula, podendo ser expressos em termos de custo, tempo distância ou risco. O valor final da superfície de custo pode representar apenas uma fonte de informação ou várias, como usos do solo, densidade populacional, declive;
- Cálculo de uma *superfície de custo acumulada*, tendo por base a superfície de custo – é um processo iterativo e por etapas, que requer uma função de propagação começando no ponto final do caminho. Para cada célula, o custo de passagem é acrescentado, e o mais pequeno é gravado como o custo acumulado da célula;

- *Percorrer a superfície de custo acumulada* desde o ponto inicial ao final – quase sempre, este percurso parte do ponto final do caminho para o início, sempre na direcção da célula vizinha com o menor custo acumulado. A melhor direcção é usada para desenhar o caminho de menor custo (LEE e STUCKY, 1998).

De acordo com a homogeneidade ou não da superfície, YU *et al* (2003) referencia a construção de superfícies de custo acumuladas isotrópicas (valores iguais em todas as direcções) e superfícies de custo acumuladas anisotrópicas (em diferentes direcções os valores não são constantes), focando que na realidade as primeiras raramente existem.

Uma estrutura raster pode ser entendida como uma rede, na qual cada célula representa um nó da rede ligada a oito nós vizinhos. Esta superfície vista como uma rede apresenta alguns problemas relacionados com o peso ou resistência para cada ligação. Adaptando algoritmos de rede a uma estrutura raster poderemos resolver os três tipos de problemas que ocorrem, descritos por COLLISCHONN e PILAR (2000):

- *Isotrópicos* – são os problemas mais simples, onde os custos estão referidos aos nós de localização e apresentam valores iguais para todas as direcções;
- *Anisotrópicos com direcções prevaletentes* – os custos estão relacionados com a direcção, esta prevaletente sobre a superfície total. É um método utilizado para modelar propagação de fogos, onde a direcção prevaletente corresponde à direcção do vento;
- *Anisotrópicos* – os custos de atravessamento são variáveis sobre a superfície e dependentes da direcção, mas sem nenhuma direcção prevaletente. YU *et al* (2003) aconselha a utilização de superfícies de custo acumuladas anisotrópicas, quando as condições do terreno são complexas (declives em diferentes direcções e de valores não constantes), nomeadamente na construção de estradas onde estas diferenças evidenciam uma importância acrescida.

Depois de construída a superfície de custo acumulada, para encontrar o caminho é necessário recorrer à aplicação de um algoritmo. O “Dijkstra’s algorithm”, concebido para encontrar o caminho mais curto sobre redes é o mais usado (LEE e STUCKY, 1998; COLLISCHONN e PILAR, 2000; STEFANAKIS e KAVOURAS, 2002; YU *et al*, 2003; ARENTZE e TIMMERMANS, 2004; SAHA *et al*, 2005), tendo sido aplicado em diversas áreas e sofrido adaptações, nomeadamente na resolução dos problemas anteriormente referidos.

3.2 CRIAÇÃO DE UMA BASE GEOGRÁFICA

O “mundo real”, pode ser representado num ambiente computacional. Esta representação passa obrigatoriamente por um método designado “construção do modelo de representação”, e o seu sucesso está fortemente dependente de como o espaço físico é apresentado e ordenado, pelas características e elementos que o constituem. É indispensável que o conhecimento do mundo real que temos esteja adequadamente representado pelo nível de abstracção, pela estrutura e pelo comportamento do modelo num SIG.

Qualquer estudo/projecto que recorre ao uso de informação espacial, na sua primeira fase atende ao registo do fenómeno do espaço geográfico que pretendemos estudar e transformá-lo num modelo de dados espaciais (NEVES *et al*, 2006), sendo o modelo de dados considerado por LONGLEY *et al* (2005) como o coração de qualquer SIG. Um modo mais simples e apropriado que considera o processo de construção de modelos corresponde à visualização do modelo como uma tentativa de estabelecer ou enquadrar os principais elementos do fenómeno/sistema de interesse.

A aplicação do modelo permite obter um conhecimento parcelar do mundo real, o que leva a identificar os pontos mais frágeis do modelo e a proceder às respectivas alterações, demonstrando assim que a construção de modelos é um processo contínuo e interactivo com uma componente prospectiva (NEVES, 2004).

A modelação espacial é essencialmente uma variante do processo de modelação. No conjunto de procedimentos que integra, os dados espaciais acerca das relações

espaciais do mundo real figurando os elementos de um sistema geográfico, são relacionados através de um conjunto de operações espaciais (NEVES, 2004).

A base de um modelo de dados assenta na sua estrutura, que tem origem no tipo de informação requerida para a construção do modelo de dados espacial, replicando os processos do mundo real que tenta modelar.

O comportamento do fenómeno geográfico que pretendemos estudar, em termos de ambiente SIG, é no transmitido pela modelação de dados através duma simulação computadorizada no ambiente referido. Assim, um modelo de dados espaciais descreve um conjunto específico de elementos e das relações entre estes conjuntos de entidades. NEVES *et al* (2006) são da opinião que uma concepção bem sucedida de um modelo de dados espaciais em SIG deve considerar as seguintes condições:

- Que elementos do território ou cenário geográfico, ou ainda descrições espaciais de fenómenos, são necessários para correctamente representar o sistema em estudo;
- Que aproximação (modelo de dados espaciais) deve ser usada para gerir e representar estas entidades espaciais;
- Que conjunto particular de instruções e informação (estrutura de dados) irá ser necessária em termos computacionais para construir o modelo de dados espaciais em formato digital.

3.2.1 Área de estudo

A área sobre a qual incide o estudo insere-se maioritariamente no complexo montanhoso das Serras da Peneda e Soajo, no concelho de Arcos de Valdevez (NUTS III – Minho-Lima), Distrito de Viana do Castelo, Norte de Portugal (NUTS II – Norte).

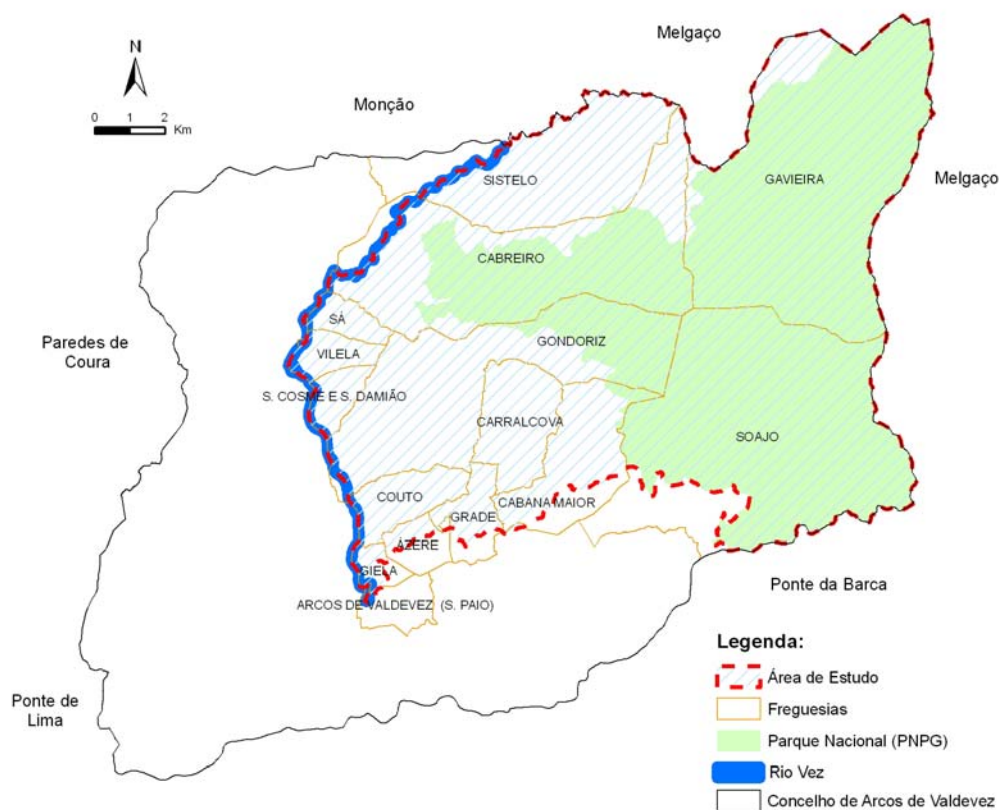


Figura 3.2 - Área de estudo

A área de estudo (Figura 3.2), com uma superfície aproximada de 245 Km², é demarcada a Norte e a Este pelos limites de fronteira entre os concelho de Arcos de Valdevez e de Melgaço, a Sul pela margem direita do Rio Lima e Estradas Nacionais 202 e 304 e a Oeste/Noroeste pela margem esquerda do Rio Vez. Esta superfície, maioritariamente englobada no Parque Nacional da Peneda-Gerês, compreende na maior parte dos casos a totalidade das áreas geográficas das freguesias de Gavieira, Soajo, Cabana Maior, Carralcova, Grade, Azere, Giela, Arcos de Valdevez (S. Paio), Couto, Gondoriz, S. Cosme e S. Damião, Vilela, Sá, Cabreiro e Sistelo.

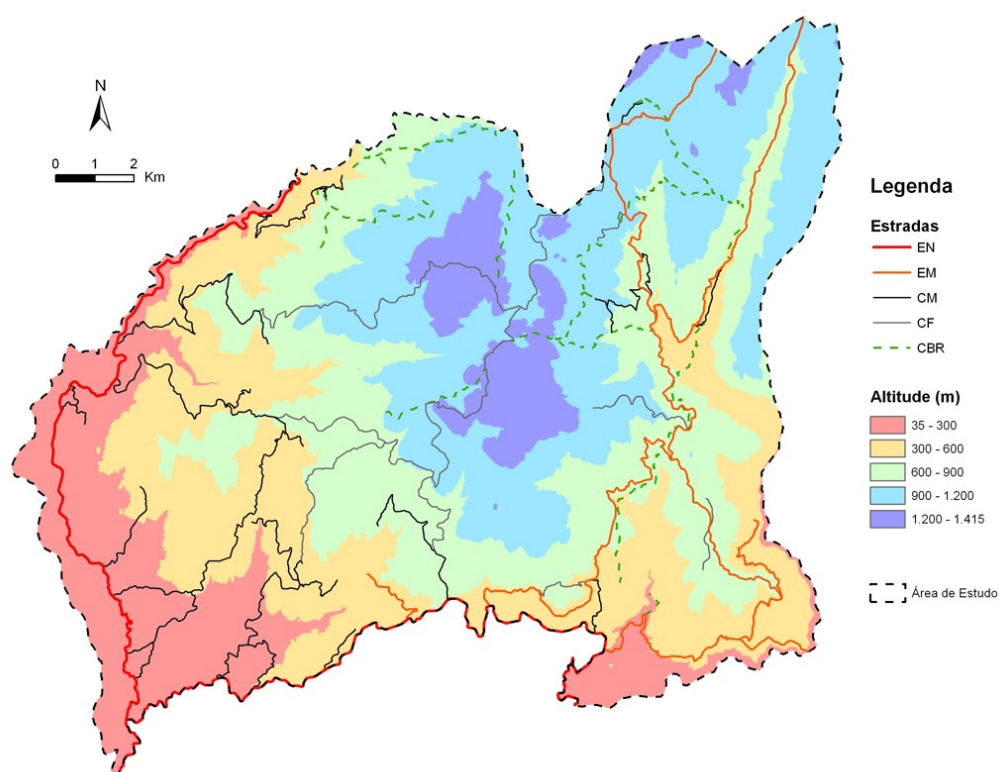


Figura 3.3 - Distribuição da rede viária

É uma zona montanhosa, com fortes declives e uma altitude compreendida entre os 35 e os 1415 metros. É neste espaço (Figura 3.3) que ao longo dos tempos evoluiu uma rede viária densa e diversificada.

3.2.2 Base informativa

A concepção e implementação de um modelo de dados orientado para a realização de processos de análise espacial e análise exploratória de relações espaciais, integrando o desenvolvimento de processos de aquisição e formalização de conhecimento espacial permitiu a criação de uma estrutura de informação geográfica visando a realização de processos de análise espacial considerados pertinentes no contexto do estudo que se pretenda desenvolver.

Após a definição do modelo de dados pretendido a inventariação ocorreu sobre os dados mais relevantes, tendo sido abordadas várias instituições para a cedência dos

mesmos (Anexo 1).

Título	Características	Geometria	Proprietário
Carta Topográfica de Portugal	Layer: Rede viária e Rede Hidrográfica Escala – 1:10 000 Ano: 1998 Formato: vectorial (dwg)	Polyline	CMAV
Altimetria 3D	Realizada a partir da Carta Topográfica de Portugal Escala – 1:10 000 Equidistância das curvas 5 metros Formato: vectorial (dwg)	Polyline Z	CMAV
Carta de Campo Serra da Peneda e Serra do Soajo	Layer: Rede viária Escala – 1: 25 000 Ano: 2002 Formato: vectorial (dwg)	Polyline	ARDAL
Carta Administrativa de Portugal	Limites administrativos do distrito de Viana do Castelo Escala – 1:25 000 Ano: 2004 Formato: vectorial (shp)	Polygon	IGP

Tabela 3.1 - Fonte de dados e tipos de informação integrada

Na Tabela 3.1, apenas citamos a informação digital integrada no estudo, curvas de nível, rede de estradas, rede hidrográfica e limites administrativos. Esta sofreu um tratamento de validação e de manipulação normal num ambiente SIG, tanto mais que a informação provinha de diferentes instituições.

3.3 PROCESSOS DE ANÁLISE ESPACIAL

De seguida descrevemos sumariamente um conjunto de processos de análise espacial e modelação geográfica relevantes para o desenvolvimento da explanação da metodologia utilizada.

3.3.1 Modelo digital de elevação (MDE)

Os MDE representam um formato de dados relevante para o conhecimento e gestão do território. São, em BURROUGH (1986), uma representação digital de uma variação contínua do relevo sobre o espaço. Por vezes também denominado como

Modelo Digital de Terreno (MDT) quando são considerados outros atributos da paisagem, e não somente dados de elevação. O mesmo autor aponta um vasto campo de aplicação dos MDE. No início, apenas com a preocupação de armazenar dados de elevação num formato digital, mais tarde utilizados na resolução de problemas de escavação e aterro na construção de estradas; de planeamento de rotas de estradas; elaboração de mapas de declive e de orientação de declives; entre outros.

A representação do MDE pode ser conseguida por dois caminhos: baseada numa estrutura *raster* ou numa estrutura vectorial, sobre uma plataforma SIG. A fonte de dados para o seu desenvolvimento é diversa, sendo a informação topográfica (curvas de nível e pontos cotados) o recurso mais utilizado (HEYWOOD, *et al*, 2002).

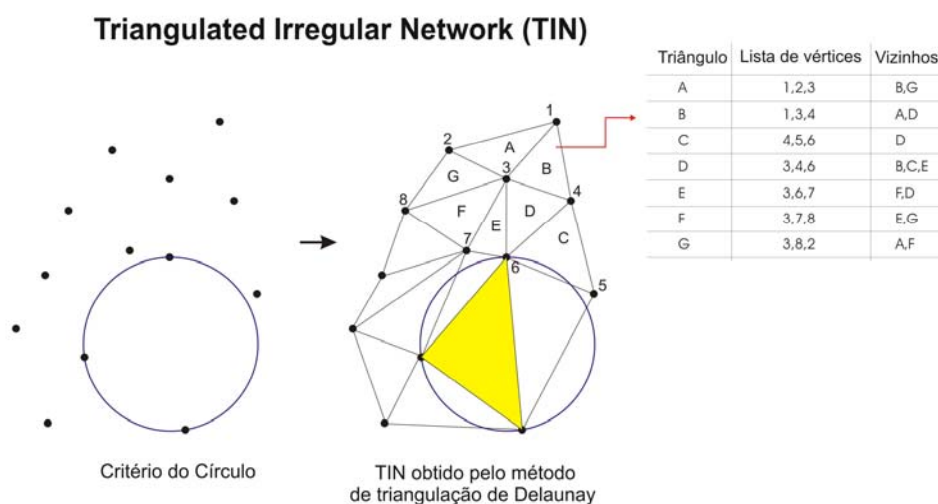


Figura 3.4 - Esquema de formação de uma rede irregular triangular (TIN)

A estrutura vectorial é uma opção muito usada (MATOS, 2001), recorrendo a um método avançado e complexo para criação do MDE (HEYWOOD *et al*, 2002) originando a formação de uma rede irregular triangular (Figura 3.4), conhecida como *Triangulated Irregular Network* (TIN). É uma estrutura topológica criada por um conjunto de pontos com valores de x , y e z , ligados por linhas, o que permite gerar triângulos irregulares. O modelo produzido transmite a seguinte leitura: os vértices representam cumes ou depressões e as arestas caracterizam cumeadas ou vales; as faces de cada triângulo representam áreas de declive e de orientação de declives. A

Triangulação de Delaunay é um método muito usado na formação do TIN (MATOS, 2001). Os triângulos constituídos obedecem a um critério que é determinado por um círculo, que apenas pode conter três pontos (vértices) da vasta rede de pontos existente.

A criação de um TIN para a área de estudo permitiu o estabelecimento de uma componente informativa fundamental visando a produção de informação derivada de nível intermédio, nomeadamente declives e orientações de encosta.

Considerando que este estudo integra uma perspectiva de avaliação de processos de análise espacial exploratória era particularmente importante que esta componente informativa de caracterização pudesse descrever com a maior precisão possível o terreno de forma a não comprometer os resultados das análises subsequentes.

3.3.2 Orientações do declive (Aspect)

A orientação do declive expõe a direcção da face do terreno, expressa em graus no sentido dos ponteiros do relógio a partir do Norte (0-360°). Frequentemente visualiza-se esta análise do terreno em cinco ou nove classes referentes aos quatro pontos cardeais, aos quatros pontos colaterais e a uma superfície plana. Sempre que o declive for de 0°, estamos na presença de uma superfície plana, que assume um valor concertado de -1 (Figura 3.5).

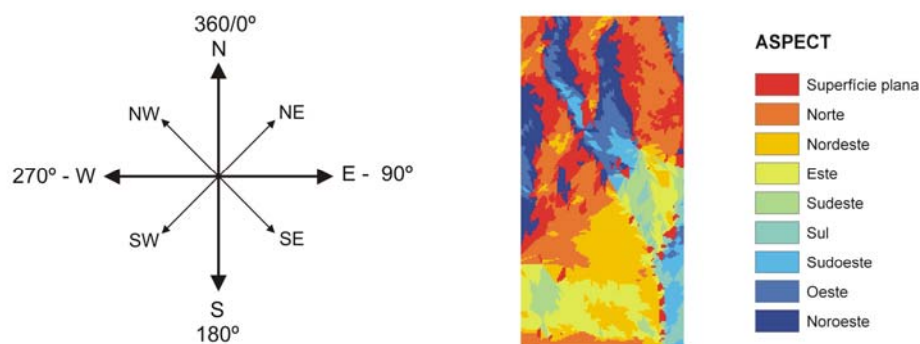


Figura 3.5 - Esquema de cálculo da orientação do declive (Aspect).

A componente informativa de orientações de encosta era constituída por valores segundo a estrutura de dados típica resultante deste procedimento analítico. Os valores variavam entre 0° e 360° sendo o terreno plano sem orientação definida representado pelo valor -1. Esta componente informativa foi posteriormente objecto de um processo de conversão de valores (valores calculados em radianos) e reclassificação do valor -1 visando a sua integração no procedimento de cálculo do declive funcional.

3.3.3 Declives do terreno (Slope)

O declive representa um gradiente da unidade de terreno podendo ser medido como um ângulo em graus entre 0 e 90 ou como percentagem, indicando a inclinação do terreno (Figura 3.6).

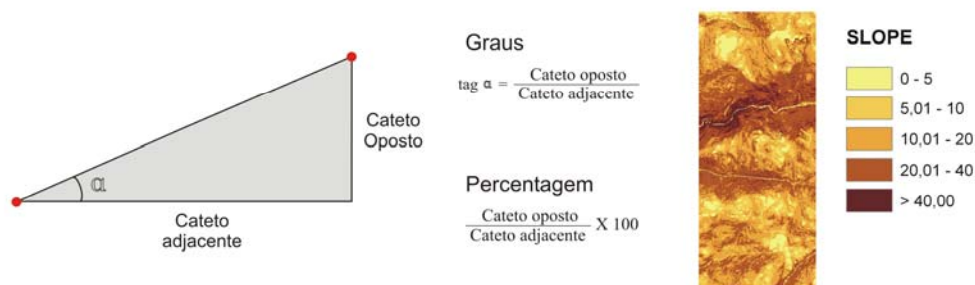


Figura 3.6 – Esquema de cálculo do declive (Slope)

Em ambiente raster o declive pode ser definido como a máxima taxa de variação entre os valores de uma célula e as suas oito células vizinhas. O cálculo em graus é representado pela tangente de um ângulo, ou seja, a divisão da diferença de altitude entre dois pontos (cateto oposto) e a distância entre esses dois pontos (cateto adjacente). Em percentagem, obtêm-se pela divisão entre a diferença de altitude entre dois pontos e a distância entre esses dois pontos e posterior multiplicação por cem. Uma área com um declive de 0° corresponde a uma superfície plana e um declive de 90° a zonas escarpadas. Quando o declive de um ângulo é de 45°, indica que o cateto oposto é igual ao cateto adjacente, transmitindo também um declive de 100%.

O cálculo dos valores de declive permitiu a geração de uma componente informativa fundamental no desenvolvimento dos processos analíticos subsequentes uma vez que esta é uma variável fundamental no cálculo do declive funcional.

3.4 ESTRUTURA DE AMOSTRAGEM

Um dos aspectos fundamentais do modelo de dados no contexto de análise de relações espaciais, diz respeito à capacidade de descrever o fenómeno geográfico em estudo.

Dos objectivos do estudo decorreu a concepção de uma estrutura de amostragem constituída por pontos, permitindo assim uma descrição da ocorrência da variável dependente e também um relacionamento com as variáveis independentes, consideradas pertinentes e associadas posteriormente.

Na presença de uma rede viária (entidade-linha) representativa da área em estudo o passo seguinte compreendeu a criação de uma estrutura de amostragem regular.

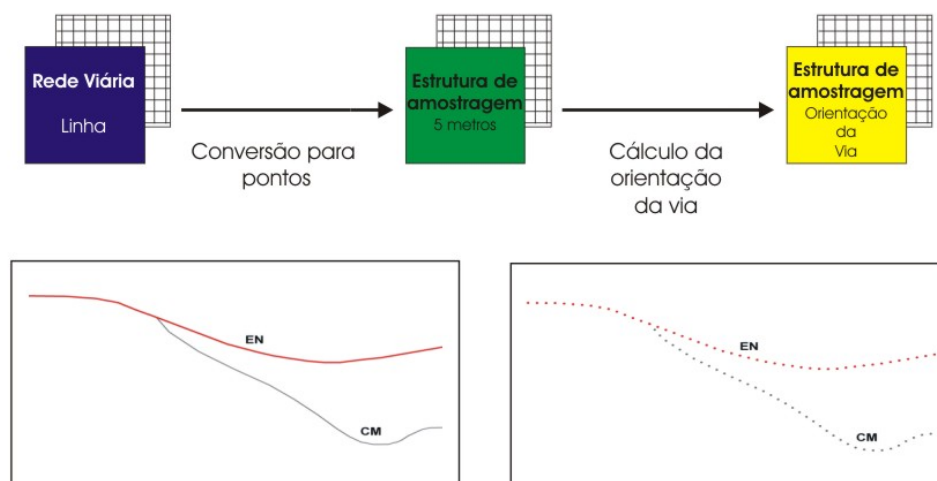


Figura 3.7 - Esquema do processo de concepção da estrutura de amostragem.

A Figura 3.7, expõe o processo de criação da estrutura de amostragem e o seu progresso, em que todas as vias sofreram uma transformação para pontos com uma distância de 5 metros. De seguida, foi calculado para cada ponto a orientação da via.

3.5 PRODUÇÃO DE VARIÁVEIS A INCLUIR NO PROCESSO DE DESCOBERTA DA CONHECIMENTO

3.5.1 Declive Funcional

O conceito de declive funcional (Df) descreve uma avaliação da acção do declive segundo uma orientação. Traduz um processo de avaliação quantitativa da potencial acção da gravidade (associada ao declive) conforme a “utilidade” ou “funcionalidade” desta acção decorrente da comparação entre a direcção angular do declive e a direcção ou orientação que estamos a considerar.

A comparação da orientação (a função Aspect é na verdade a direcção do declive) do terreno com a direcção de deslocação obtida pela comparação posicional de pontos gerados a partir de uma entidade linear (via de comunicação) a uma distância entre si considerada adequada permite obter uma medida da acção do declive segundo cada direcção de propagação.

Assim o declive funcional pode ser descrito pela fórmula:

$$Df = (\cos (A-B)) * D \quad (3.1)$$

Sendo:

A a orientação de deslocação da via, representa a direcção entre dois pontos expressos como azimuth (0-360°) – valores em radianos;

B a orientação do declive (Aspect) é a direcção de uma face do terreno, expressa em graus no sentido dos ponteiros do relógio a partir do Norte – valores em radianos;

D o declive do terreno (Slope) é o gradiente da unidade de terreno medido como um ângulo em graus entre 0 e 90.

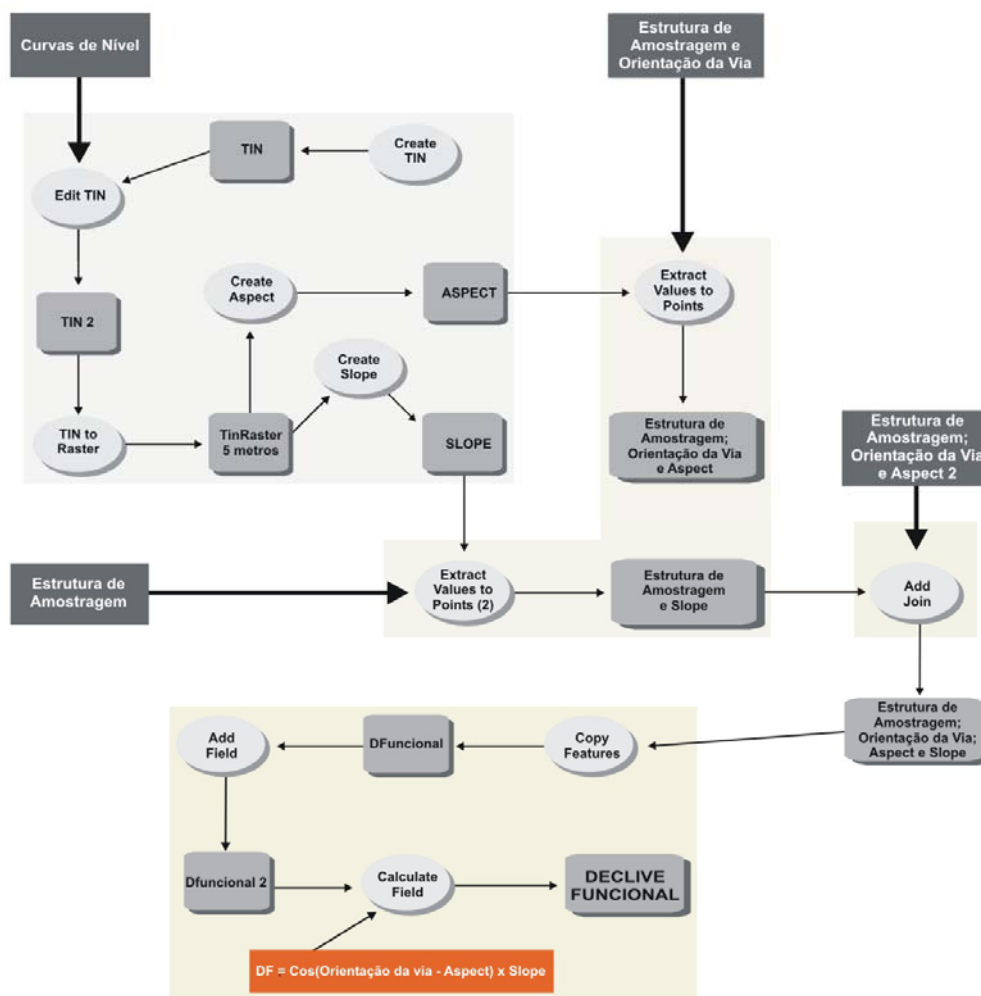


Figura 3.8 - Esquema do processo de geração de informação derivada – Declive Funcional

O cálculo do declive funcional esteve associado a um conjunto de etapas e processos bem definidos, que foi automatizado através do ModelBuilder. A Figura 3.8 demonstra as principais operações de análise espacial e modelação geográfica, constituindo as seguintes fases:

- Elaboração de um modelo digital de elevação (MDE): a altimetria era constituída por curvas de nível com uma equidistância de cinco metros, que permitiram construir o MDE através Triangulated Irregular Network (TIN), sendo este convertido numa superfície raster (grid) com uma resolução de 5 metros. Esta estrutura raster serviu de base para a concepção da Carta de

Orientações do Declive (Aspect) e da Carta de Declives do Terreno (Slope);

- Processos de conversão de dados, nomeadamente conversão para radianos e reclassificação dos valores de orientação de encosta visando a realização de procedimentos intermédios no cálculo do declive funcional.
- Agregação de informação, inicialmente extracção da informação referente às cartas anteriores e posteriormente junção desta informação com a estrutura de amostragem;
- Cálculo do Df, efectuado na estrutura de amostragem. O cálculo do declive funcional foi efectuado em ambiente tabular uma vez que, sendo a informação a exportar para o desenvolvimento de processos de análise exploratória constituída por tabelas, não era necessário efectuar esse procedimento num processo de álgebra de mapas clássico e posteriormente integrar os resultados na referida base tabular.

3.5.2 Simulação de novos traçados

A fase decisiva no processo de construção do modelo foi a tentativa de estabelecimento da relação existente entre a variável dependente e a lista das variáveis independentes.

Considerando que a fórmula de cálculo de declive funcional nos permite apenas medir a sua intensidade em cada ponto do percurso da estrada, importava saber em que medida a direcção da estrada estaria conforme uma maior adequação ao objectivo de minimização do declive funcional. Por outras palavras estabelecer um processo que avaliasse em cada ponto não apenas a acção do relevo sobre a estrada (declive funcional) mas em que medida a direcção da estrada seria a ideal considerando o objectivo de minimização do declive funcional.

Uma avaliação da medida em que a direcção de uma estrada se aproxima da direcção ideal considerando o objectivo de minimização do declive funcional pode ser obtida

pela comparação dos valores resultantes do cálculo do declive funcional para direcções alternativas à direcção real da estrada.

Das características da fórmula de cálculo do declive funcional ($Df = (\cos(A-B)) * D$) decorre que, um afastamento da direcção “ideal” terá como resultado um proporcional (linearmente) aumento do declive funcional.

Decorre igualmente que, nas situações em que essa variação não seja linear ou não tenha de todo o comportamento esperado, que estamos na presença de situações em que a estrada não segue (pelos múltiplos outros factores implicados na definição de um percurso) a direcção ou percurso de minimização do declive funcional.

Numa situação hipotética em que a variação dos valores de declive funcional para direcções alternativas à direcção real da estrada varie linearmente com o aumento do afastamento a essa direcção (medido pelo $\cos(A-B)$) poderíamos escrever a fórmula de cálculo do declive funcional como uma regressão linear múltipla (equação 2.2). Assim teríamos:

$$Df = a + b_1 * \cos(A-B) + b_2 * \text{Slope} \quad (3.2)$$

Numa outra situação hipotética em que a variação dos valores de declive funcional para direcções alternativas à direcção real da estrada varie exponencialmente com o aumento do afastamento a essa direcção (medido pelo $\cos(A-B)$) poderíamos escrever a fórmula de cálculo do declive funcional como um modelo exponencial (equação 2.7). Assim teríamos:

$$Df = c + \exp(b_0 + b_1 * \cos(A-B) + b_2 * \text{Slope}) \quad (3.3)$$

Em ambos os casos anteriores para situações de comportamento “perfeito” do modelo iríamos ter valores de $R^2 = 1$, significando uma correlação de 100% entre os valores observados e o modelo utilizado. Naturalmente que, se efectuamos uma simulação considerando direcções alternativas dificilmente obteremos estes valores

de correlação, devido aos múltiplos outros factores (a começar pelo objectivo de destino) que implicam que uma estrada raramente siga exactamente o percurso ideal de minimização do declive funcional.

Assim, o valor da correlação entre os valores simulados para as direcções alternativas e o modelo utilizado traduzem uma aderência da “realidade” observada ao referido modelo. Desta forma, sendo o modelo uma transformação de um conceito teórico tomado como válido, o valor da correlação não traduz a validade do modelo mas sim a aderência ao conceito. O valor da correlação traduz em que medida o percurso de uma estrada segue os princípios de minimização do declive funcional.

O afastamento do valor observado em cada ponto da estrada e o valor previsto pelo modelo (valores residuais) traduz a dependência local da direcção nesse ponto face ao objectivo de minimização do declive funcional. Traduz a dependência do traçado da estrada em relação ao relevo.

A simulação de um novo traçado com a intenção de compreender o comportamento da via em função das novas direcções, seguiu o ensaio metodológico proposto por SILVA *et al*, 2006, tendo em consideração os seguintes passos:

- Selecção de uma via, esta escolha incide numa via que permita a ligação entre dois lugares e sem bifurcações;
- Simulação de uma direcção proposta entre 10 a 90° no sentido positivo e negativo (Nova Orientação de Deslocação na Via);
- Cálculo de um novo declive funcional.

3.6 IMPLEMENTAÇÃO ESTATÍSTICA

O presente trabalho na sua componente estatística compreende dois tipos de análise: estatística descritiva e a construção de modelos regressão, estes com o objectivo de constituir modelos de avaliação de vias de comunicação em territórios de montanha. A estrutura de amostragem contempla uma população finita de 55 000 observações

do mapa da rede estradas seleccionadas para o estudo, que serviu de base de cálculo do valor efectivo de declive funcional em cada ponto da estrada.

A estatística descritiva foi efectuada sobre uma amostra de 25503 pontos retirados de uma forma aleatória da população finita, onde estão representadas todas as vias de comunicação situadas em diferentes zonas da área de estudo. A análise recaiu sobre medidas de localização, de dispersão, intervalos de confiança e valores mínimos e máximos, das principais variáveis presentes: Orientação da Via, Aspect, Slope, declive funcional e a altitude, transmitindo assim o comportamento destas.

MURTEIRA (1993) comunica que a investigação das relações é um dos principais propósitos da ciência, e somente o entendimento daquelas permite atingir o objectivo desta, nomeadamente o aumento de conhecimento e a previsão. O mesmo autor aponta três questões, que tentaremos responder:

- Existe alguma correlação ou relação estatística entre as variáveis observadas?
- Se existe, qual a sua forma tendencial?
- Qual a intensidade da relação estatística, isto é, a correlação?

Neste sentido, foram elaborados modelos de regressão para objectar as anteriores questões e expressar o comportamento da via face ao relevo existente (minimização do declive funcional), tendo por base a amostra proveniente da simulação de novos traçados. O desenvolvimento dos modelos assentaram numa estimativa linear e não linear, tendo como variável dependente o declive funcional e como variáveis independentes o cos (A-B) e o Slope. A modelação concebida incidirá em modelos de regressão linear múltipla e em modelos de regressão exponencial de crescimento, para cada via.

O software utilizado, na sua componente de estimativas não lineares permite o desenvolvimento de uma típica regressão linear múltipla pelo método de mínimos quadrados (STATSOFT, Inc. 2006), tendo por base a equação (2.2). É um modelo linear na sua estrutura e eventualmente não linear ao nível das variáveis

independentes consideradas, expresso pela equação (3.2), que se traduzirá numa aproximação efectiva de um classificador de vias de comunicação (estradas).

O modelo exponencial de crescimento, este tipicamente não linear, assentou no conceito teórico expresso pela equação (2.7), tendo sido aplicado o método de estimação Quasi-Newton e a equação (3.3), na tentativa de explorar uma característica exponencial do fenómeno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da metodologia descrita noutros pontos desta dissertação, foi possível obter uma estrutura de amostragem representativa das vias de comunicação (estradas) do ambiente montanhoso da área de estudo.

A estrutura de amostragem, posteriormente sujeita a uma modelação estatística, com o intuito de transmitir conhecimento quantitativo do comportamento das vias de comunicação face às condições topográficas, permite avaliar a influência do relevo no desenho das vias estudadas. Os resultados aqui apresentados e discutidos têm como base dois tipos fundamentais de análises estatísticas: estatística descritiva e análise de regressão.

Os resultados obtidos permitem-nos considerar que esta metodologia pode ser utilizada na avaliação/caracterização de vias de comunicação em qualquer tipo de condições de terreno.

É apresentado um novo modelo de avaliação de estradas, expresso numa ficha de caracterização para cada via apreciada no âmbito deste estudo.

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os resultados apresentados na Tabela 4.1 (e no Anexo 2), resultam da amostragem regular, de 5 em 5 metros, efectuada para cada um dos tipos de estrada. Transmite-nos uma ideia inicial sobre o comportamento do declive funcional afecto a cada via. A dimensão da amostra para cada via aparece na coluna ‘N’ da Tabela 4.1.

Constata-se que o valor médio de declive funcional é baixo para o universo de todas as via de comunicação em estudo. É possível observar que as Estradas Nacionais (EN) são as vias que apresentam o menor valor de declive funcional médio (-

0,48771), comparativamente com as restantes vias. Esta situação vem demonstrar o peso socio-económico e político que elas representam, pois são os principais eixos rodoviários do território.

Via	Média	Erro Padrão	Limite inferior do IC a 95%	Limite superior do IC a 95%	N
EN	-0,48771	0,084599	-0,65353	-0,32189	5416
EM	-1,23466	0,080524	-1,39249	-1,07682	5978
CM	-2,19334	0,092667	-2,37497	-2,01171	4514
CF	1,39451	0,089344	1,21940	1,56963	4856
CBR	-1,75134	0,090440	-1,92861	-1,57407	4739

Tabela 4.1 - Médias marginais de declive funcional das vias de comunicação em estudo

Seguindo a hierarquia das vias de comunicação, as Estradas Municipais (EM) mostram o segundo valor mais baixo de declive funcional, tendo valores muito próximos dos Caminhos Florestais (CF). Por último os Caminhos Municipais e os Caminhos Brandeiros Romeiros são as vias que evidenciam os valores mais elevados de declive funcional, assentes em locais de relevo bastante severo e com diminutos recursos, moldam-se de uma forma mais insistente às condições do terreno.

4.2 MODELOS DE REGRESSÃO

Complementarmente à análise estatística descritiva, desenvolveram-se modelos de regressão que nos permitem aferir com rigor a relação entre as variáveis. Para cada via foram estimados parâmetros de regressão (Tabela A.3.1 e Tabela A.3.2 - Anexo 3) tendo como base de cálculo duas estimativas, uma linear e uma outra não linear, centradas em dois métodos de regressão: regressão linear múltipla e exponencial. Os resultados apresentados (Anexo 3) permitem-nos verificar e discutir o comportamento das diferentes estradas face ao relevo, na tentativa de minimização do declive funcional.

Analisando os resultados (Tabela 4.2) provenientes da regressão linear múltipla (RLM) e levando em consideração a posição hierárquica das estradas, verificamos que as EN, EM e CM têm valores próximos uns dos outros, entre 69,2% e 73,6%, mas que depois diminui acentuadamente para CF e para CBR, com valores de 60,3% e 46,8%, respectivamente. Os valores muito próximos das três primeiras estradas (EN, EM, CM) revelam-nos que são vias que usufruem de um maior número de recursos técnicos, económicos e políticos para as suas construções, permitindo assim vencer com maior facilidade a influência do relevo. Por outro lado, referentes às duas últimas estradas (CF e CBR), os modelos gerados têm valores de R^2 mais baixos, com maior relevância para CBR, e correspondem a vias criadas com poucos recursos.

Via	Modelo	Equação	R^2
EN	RLM	$Df = 5,00137 - 8,91466 * \cos \alpha + 0,68442 * \text{Slope}$	69,2 %
	RE	$Df = -19,9356 + \exp(3,2266 - 0,3044 * \cos \alpha + 0,0223 * \text{Slope})$	70,84 %
EM	RLM	$Df = 10,2405 - 18,128 * \cos \alpha + 0,6891 * \text{Slope}$	73,6 %
	RE	$Df = -22,0864 + \exp(3,4735 - 0,4454 * \cos \alpha + 0,01695 * \text{Slope})$	75,46 %
CM	RLM	$Df = 10,6496 - 18,7874 * \cos \alpha + 0,6882 * \text{Slope}$	72,4 %
	RE	$Df = -28,3536 + \exp(3,6610 - 0,3916 * \cos \alpha + 0,01454 * \text{Slope})$	73,44 %
CF	RLM	$Df = 4,84132 - 8,80268 * \cos \alpha + 0,68581 * \text{Slope}$	60,3 %
	RE	$Df = -10,8522 + \exp(2,78166 - 0,4168 * \cos \alpha + 0,03157 * \text{Slope})$	62,05 %
CBR	RLM	$Df = 1,18896 - 2,66031 * \cos \alpha + 0,66485 * \text{Slope}$	46,8 %
	RE	$Df = -28,3516 + \exp(3,42486 - 0,0801 * \cos \alpha + 0,01667 * \text{Slope})$	47,08 %

RLM – Regressão Linear Múltipla; RE – Regressão exponencial de crescimento

Tabela 4.2 - Equações dos modelos gerados para cada via e o valor do coeficiente de determinação

A modelação obtida pela regressão exponencial (RE) de crescimento reforça a dependência do declive funcional (variável dependente) no $\cos \alpha$ e no declive (variáveis independentes). Comparando os dois métodos de cálculo, verificamos que

os valores de R^2 são idênticos e apresentam o mesmo comportamento para cada via. No entanto, destaca-se um ganho ainda que ligeiro para o modelo de regressão exponencial de crescimento.

Neste conjunto de modelos gerados para cada via, o modelos afectos aos Caminhos Brandeiros Romeiros, são aqueles que mais se afastam do modelo considerado, isto é que revelam uma menor dependência do relevo, pois este tipo de via tem uma construção ancestral, vocacionada para uma movimentação pedonal e animal (cavalos e carros de bois) muito relacionada com o sistema agro-pastoril. A técnica de construção não permitia o corte do relevo, apenas se concentrava num caminho rápido, potenciador dos recursos existentes e o mais rápido possível.

4.2.1 Validação dos modelos

A validade dos modelos foi analisada tendo em consideração os valores do teste de significância para os parâmetros, os valores do coeficiente de determinação e a análise residual. Neste sentido, todos os modelos gerados são considerados validados, pois os parâmetros estimados são estatisticamente significativos com valores de p inferiores ao nível de significância adoptado ($p < 5\%$) e apresentam uma forte expressão de relação, evidenciada pelos elevados valores de R^2 . O coeficiente de determinação, indicou-nos também uma reduzida variabilidade do declive funcional (y), devido ao uso das variáveis independentes (x), o $\cos \alpha$ e o declive, no modelo, demonstrando assim uma forte relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

A análise residual para cada modelo reforça a validade destes, pois os pressupostos associados a um modelo de regressão, como a normalidade e homogeneidade da variância, são verificados (Anexo 4).

4.3 FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO

A avaliação/caracterização de vias de comunicação transmite um conjunto de conhecimentos sobre uma rede viária. Tendo em atenção a área de aplicação,

sistemas de transporte, engenharia civil, entre outros, uns elementos caracterizadores tornam-se mais relevantes do que outros. Entendemos que as variáveis e a modelação presente neste estudo, poderão ser apresentadas como novos dados para a caracterização de uma rede viária de um território.

A formalização destes conceitos, numa ficha de caracterização permite constatar a variabilidade de estradas nesse território. A replicação do estudo noutros espaços e contextos geográficos não-similares, parece-nos indicada, mas carece ainda de confirmação.

Recentemente, no âmbito de um projecto europeu, EURORoads (2007) procedeu-se à constituição de uma infra-estrutura de dados sobre estradas, para utilização a nível europeu. É uma base de trabalho fundamental para o desenvolvimento de áreas como os sistemas inteligentes de transportes, gestão de tráfego, manutenção de estradas e muitas outras. Os atributos que compõem esta infra-estrutura de dados, registados na rede de estradas podem ser classificados como obrigatórios e opcionais. Na verdade, são ainda contemplados atributos condicionais, necessários em determinados contextos de aplicação como, por exemplo, o apoio à navegação assistida por GPS. Nos obrigatórios, alistam-se dados como, por exemplo, um identificador único (UUID – Universal Unique Identifier), a geometria da estrada, o tipo e a classe funcional da estrada. A lista de atributos opcionais é extensa, podendo ser inseridas localidades, o nº de linhas, obstruções, restrições para veículos, limites de velocidade, etc.

Anteriormente, ODA (1995) elaborou uma caracterização de uma rede municipal de estradas em terra, a partir de um método de avaliação das condições superficiais de circulação (Anexo 5). Obteve assim um índice em função da extensão e do grau de defeitos presentes no traçado (buracos, poeiras, ondulações, profundidade dos trilhos das rodas, etc). Esta caracterização pretendia ser parte integrante de um sistema de gestão de vias.

Os resultados obtidos neste estudo permitem considerar que as variáveis e a modelação desenvolvida, bem como a sua expressão sintetizada na ficha de

caracterização poderiam constituir um contributo importante para projectos de caracterização a nível europeu como o projecto EURORoads.

A avaliação de uma rede viária, considerando as diversas fontes consideradas tais como o projecto EURORoads, inclui uma panóplia de atributos, desde dados sobre o traçado até às características mais relacionadas com a própria funcionalidade da via.

Complementando esta diversidade de elementos caracterizadores, sugerimos que os resultados provenientes deste estudo, o valor de declive funcional efectivo do traçado e a dimensão da capacidade de minimização do declive funcional, demonstrada pelos modelos exploratórios, poderão constituir novos dados para caracterizar uma rede viária. Em territórios mais adversos, como os de montanha, uma das variáveis mais influentes na definição de um traçado é assumida pelo relevo. Neste sentido estes resultados permitem quantificar a importância deste aspecto.

As fichas de caracterização apresentadas (Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4 e Figura 4.5) dizem respeito às vias estudadas no âmbito deste trabalho, respectivamente a Estrada Nacional 202, a Estrada Municipal 530-6, o Caminho Municipal 1289, o Caminho Florestal dos Bicos e o Caminho Brandeiro Romeiro para a Branda de Gorbelas. O conteúdo de cada ficha divide-se da seguinte forma:

- **Via** – apontamos um ligeiro reconhecimento da via, com referência ao tipo de via, identificação, ano de construção e breve descrição. A imagem da estrada comenta um pormenor ou uma panorâmica da via;
- **Localização** – referimos apenas as freguesias onde se insere a via e o local (início e fim), complementando com uma imagem de implantação da via sobre a Carta Militar de Portugal 1:25 000;
- **Pavimento** – descrição ao nível da plataforma, largura e tipo de estrutura;
- **Caracterização de critérios de implantação** – este campo insere os resultados mais significativos do estudo, derivados do processo de descoberta de conhecimento. Começamos por citar uma caracterização da

via tendo em atenção o valor efectivo do declive funcional. Os resultados estatísticos apresentados evidenciam a influência do declive funcional no traçado existente, nomeadamente a intensidade média no percurso da estrada, sendo complementados com duas imagens: uma mais geral com a implantação da via sobre as curvas de nível e a altitude, e uma outra descrevendo o comportamento pontual da estrada tendo como referência o valor da moda. Por fim é apresentada uma caracterização segundo os modelos exploratórios, anteriormente descritos. Estes pretendem indicar o princípio de minimização de declive funcional adoptado por um traçado, transmitido pelo valor do coeficiente de determinação. Os restantes dados (a , b_1 , b_2 , etc) não são de fácil leitura para quem não estiver familiarizado com o estudo aqui efectuado. A sua inclusão ou não numa ficha de caracterização dependeria muito do público-alvo. Para o cidadão comum, estes dados não serão necessários, sendo apenas apresentada uma interpretação dos resultados. Para um público mais técnico, todos estes parâmetros permitem a avaliação e comparação de traçados com base em dados estatísticos.

Ficha de Caracterização

Rede Viária do Concelho de Arcos de Valdevez

Via

Tipo: Estrada Nacional

Identificação: EN 202

Ano de Construção: Entre 1940 a 1953

Descrição: Construída sob o PRN de 1940, foi a primeira EN a servir a freguesia do Soajo, sendo mais tarde complementada com a EN 304.



Estrada Nacional 202



Localização

Freguesia: Giela, Ázere, Carralcova e Cabana Maior

Local: Entre Giela (Cruzamento) e o Mezio

Extensão: 11,3 km

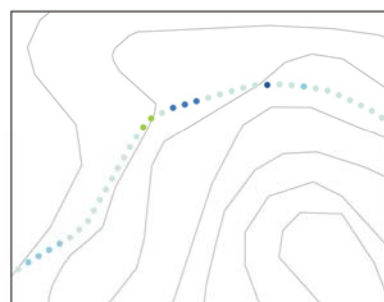
Pavimento

Largura: 9 m (faixa de rodagem: 6 m)

Estrutura: Betuminosa

Caracterização de critérios de implantação

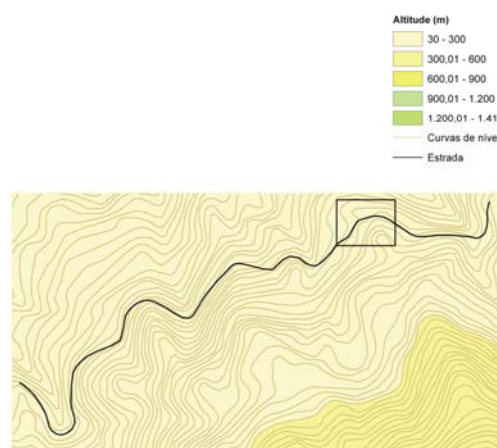
Caract. pelo declive funcional	Caracterização por modelos exploratórios	
<i>Declive funcional (Df)</i> $Df = (\cos(A-B)) \cdot D$ Observações = 2251 Média = 3,76 Moda = 0,00 Frequência = 120 Desvio padrão = 3,58 A - Orientação da via; B - Orientação; D - Declive	<i>Modelo de regressão múltipla</i> $R^2 = 69,2\%$ $a = 5,00137$ $b_1 = -8,91466$ $b_2 = 0,68442$ $Df = a + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope}$ a - intercepção; b_1 e b_2 - coef. de regressão para as variáveis	<i>Modelo exponencial de crescimento</i> $R^2 = 70,84\%$ $c = -19,9356$ $b_0 = 3,2266$ $b_1 = -0,3044$ $b_2 = 0,0223$ $Df = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope})$ c e b_i são parâmetros estimados, para as variáveis independentes



Declive funcional
Valores efectivos

- 0,00
- 0,01 - 5,00
- 5,01 - 10,00
- 10,01 - 15,00
- > 15,00

— Curvas de nível



Altitude (m)

- 30 - 300
- 300,01 - 600
- 600,01 - 900
- 900,01 - 1.200
- 1.200,01 - 1.415

— Curvas de nível
— Estrada

Análise Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha
Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva



Figura 4.1 – Ficha de Caracterização da EN 202, de Giela ao Mezio.

Ficha de Caracterização

Rede Viária do Concelho de Arcos de Valdevez

Via

Tipo: Estrada Municipal

Identificação: EM 530-6

Ano de Construção: Rectificação e pavimentação em 1992

Descrição: Anteriormente possuía as características de uma estrada de terra batida.



Estrada Municipal 530-6



Localização

Freguesia: Gavieira

Local: Entre os lugares de Rouças e de S. Bento do Cando

Extensão: 4,5 km

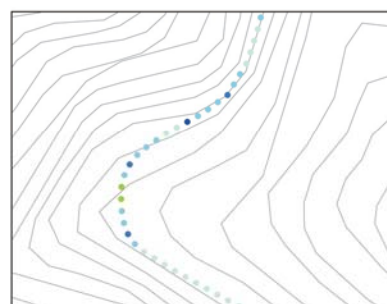
Pavimento

Largura: 7 m (faixa de rodagem: 5,4m)

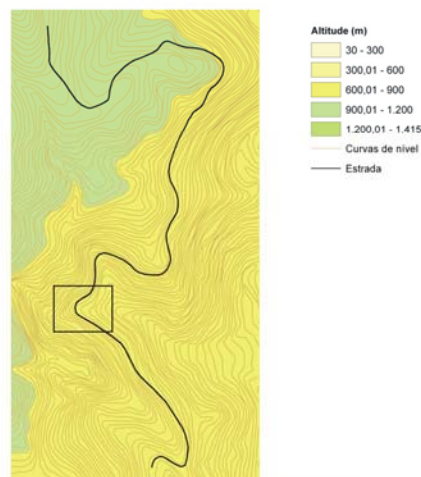
Estrutura: Semi-penetração betuminosa

Caracterização de critérios de implantação

Caract. pelo declive funcional	Caracterização por modelos exploratórios	
Declive funcional (Df) $Df = (\cos(A-B)) \cdot D$ Observações = 855 Média = 5,18 Moda = 0,00 Frequência = 12 Desvio padrão = 3,94 A - Orientação da via; B - Orientação; D - Declive	Modelo de regressão múltipla $R^2 = 73,6\%$ $a = 10,2405$ $b_1 = -18,128$ $b_2 = 0,6891$ $Df = a + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope}$ a - intercepção; b ₁ e b ₂ - coef. de regressão para as variáveis	Modelo exponencial de crescimento $R^2 = 75,47\%$ $c = -22,0864$ $b_0 = 3,4735$ $b_1 = -0,4454$ $b_2 = 0,01695$ $Df = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope})$ c e b ₁ são parâmetros estimados, para as variáveis independentes



Declive funcional
Valores efectivos
● 0,00
● 0,01 - 5,00
● 5,01 - 10,00
● 10,01 - 15,00
● > 15,00
— Curvas de nível



Altitude (m)
30 - 300
300.01 - 600
600.01 - 900
900.01 - 1.200
1.200.01 - 1.415
— Curvas de nível
— Estrada

Análise Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha
Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva



Figura 4.2 - Ficha de Caracterização da EM 530-6, de Rouças a S. Bento do Cando (Concelho de Arcos de Valdevez).

Ficha de Caracterização

Rede Viária do Concelho de Arcos de Valdevez

Via

Tipo: Caminho Municipal

Identificação: CM 1289

Ano de Construção: 1995

Descrição: Construção do município, representa o único acesso rodoviário aos lugares de Padrão e Porto Cova



Caminho Municipal 1289



Localização

Freguesia: Sistelo

Local: Entre os lugares da Igreja e de Porto Cova

Extensão: 5,2 km

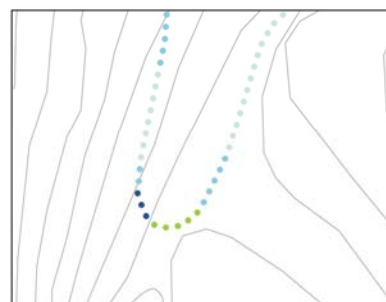
Pavimento

Largura: 5 m (faixa de rodagem: 3,5 m)

Estrutura: Semi-penetração betuminosa

Caracterização de critérios de implantação

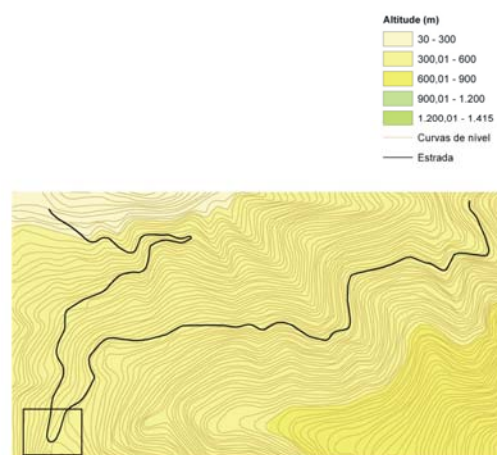
Caract. pelo declive funcional	Caracterização por modelos exploratórios	
<i>Declive funcional (Df)</i> $Df = (\cos(A-B)) \cdot D$ Observações = 1038 Média = 5,27 Moda = 0,00 Frequência = 6 Desvio padrão = 4,03 A - Orientação da via; B - Orientação; D - Declive	<i>Modelo de regressão múltipla</i> $R^2 = 72,4\%$ $a = 10,6496$ $b_1 = -18,7874$ $b_2 = 0,6882$ $Df = a + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope}$ a - intercepção; b₁ e b₂ - coef. de regressão para as variáveis	<i>Modelo exponencial de crescimento</i> $R^2 = 73,45\%$ $c = -28,3536$ $b_0 = 3,661$ $b_1 = -0,3916$ $b_2 = 0,01454$ $Df = c + \exp(b_1 + b_2 \cdot \cos(A-B) + b_3 \cdot \text{Slope})$ c e b₁ são parâmetros estimados, para as variáveis independentes



Declive funcional
Valores efectivos

- 0,00
- 0,01 - 5,00
- 5,01 - 10,00
- 10,01 - 15,00
- > 15,00

— Curvas de nível



Análise Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha
Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva



Figura 4.3 - Ficha de Caracterização do CM 1289 (Concelho de Arcos de Valdevez).

Ficha de Caracterização

Rede Viária do Concelho de Arcos de Valdevez

Via

Tipo: Caminho Florestal

Identificação: CF

Ano de Construção: após 1944

Descrição: Provavelmente construído sob o Projecto de Arborização das Serras do Soajo e Peneda. Até à construção da EM 530, representava o principal acesso rodoviário para a Gavieira e Castro Laboreiro



Localização

Freguesia: Gondoriz e Cabana Maior

Local: Entre os Bicos e a Branda de Berzavó

Extensão: 3,9 km

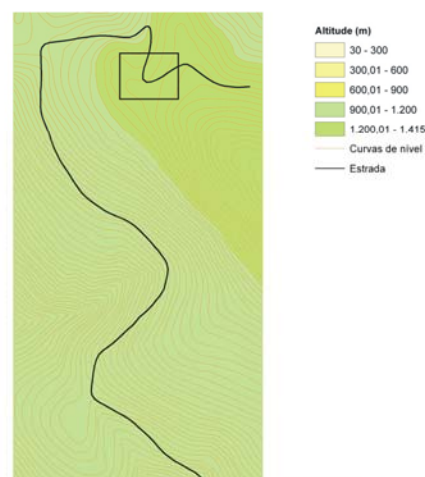
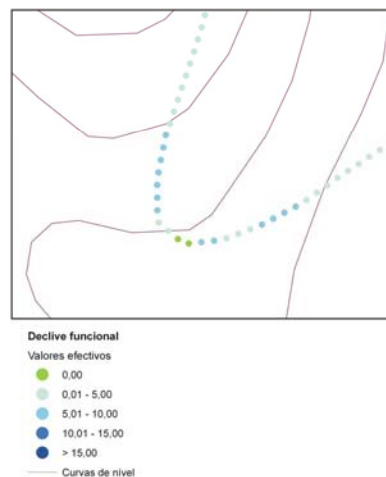
Pavimento

Largura: 4 m

Estrutura: Terra batida

Caracterização de critérios de implantação

Caract. pelo declive funcional	Caracterização por modelos exploratórios	
<i>Declive funcional (Df)</i> $Df = (\cos(A-B)) \cdot D$ Observações = 777 Média = 5,02 Moda = 0,00 Frequência = 6 Desvio padrão = 3,07 A - Orientação da via; B - Orientação; D - Declive	<i>Modelo de regressão múltipla</i> $R^2 = 60,3\%$ $a = 4,84132$ $b_1 = -8,80268$ $b_2 = 0,68581$ $Df = a + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope}$ a - intercepção; b₁ e b₂ - coef. de regressão para as variáveis	<i>Modelo exponencial de crescimento</i> $R^2 = 62,05\%$ $c = -10,8522$ $b_0 = 2,78166$ $b_1 = -0,4168$ $b_2 = 0,03157$ $Df = c + \exp(b_1 + b_2 \cdot \cos(A-B) + b_3 \cdot \text{Slope})$ c e b₁ são parâmetros estimados, para as variáveis independentes



Análise Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha
Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva



Figura 4.4 - Ficha de Caracterização do CF, dos Bicos à Travanca (Concelho de Arcos de Valdevez).

Ficha de Caracterização

Rede Viária do Concelho de Arcos de Valdevez

Caminho Brandeiro Romeiro

Via

Tipo: Caminho Brandeiro Romeiro

Identificação: CBR

Ano de Construção: Ancestral

Descrição: Percurso ainda utilizado pela comunidade agro-silvo-pastoril de Rouças. Permite a ligação à Branda de Gorbelas (Br. de Habitação) e à Branda da Seida (Br. de Gado). Este caminho faz parte de um percurso pedestre sinalizado.



Localização

Freguesia: Gavieira

Local: Entre o lugar de Rouças e a Branda de Gorbelas

Extensão: 2,3 km

Pavimento

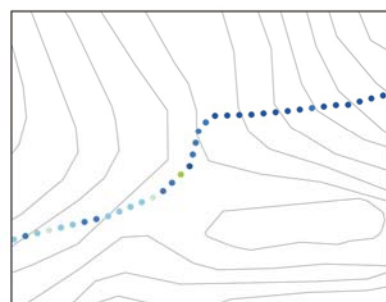
Largura: 1,5 m

Estrutura: Em terra batida nas zonas planas e em calçada nas zonas mais declivosas.



Caracterização de critérios de implantação

Caract. pelo declive funcional	Caracterização por modelos exploratórios	
<i>Declive funcional (Df)</i> $Df = (\cos(A-B)) \cdot D$ Observações = 457 Média = 9,91 Moda = 0,00 Frequência = 11 Desvio padrão = 6,3 A - Orientação da via; B - Orientação; D - Declive	<i>Modelo de regressão múltipla</i> $R^2 = 46,8\%$ $a = 1,18896$ $b_1 = -2,66031$ $b_2 = 0,66485$ $Df = a + b_1 \cdot \cos(A-B) + b_2 \cdot \text{Slope}$ a - intercepção; b₁ e b₂ - coef. de regressão para as variáveis	<i>Modelo exponencial de crescimento</i> $R^2 = 47,08\%$ $c = -28,3516$ $b_0 = 3,42486$ $b_1 = -0,0801$ $b_2 = 0,01667$ $Df = c + \exp(b_1 + b_2 \cdot \cos(A-B) + b_3 \cdot \text{Slope})$ c e b₁ são parâmetros estimados, para as variáveis independentes



Declive funcional
Valores efectivos

- 0,00
- 0,01 - 5,00
- 5,01 - 10,00
- 10,01 - 15,00
- > 15,00

— Curvas de nível

Altitude (m)

- 30 - 300
- 300,01 - 600
- 600,01 - 900
- 900,01 - 1.200
- 1.200,01 - 1.415

— Curvas de nível
— Estrada



Análise Exploratória de Critérios de Implementação de uma Rede Viária em Áreas de Montanha
Mário João de Sousa Barbosa Araújo e Silva



Figura 4.5 - Ficha de Caracterização do CBR, de Rouças à Branda de Gorbelas (Concelho de Arcos de Valdevez).

4.4 NOTA FINAL

Nesta dissertação foi descrito um processo de descoberta de conhecimento visando caracterizar, qualificando e quantificando a importância do relevo na construção de vias de comunicação num espaço montanhoso.

Considerando que as condições fisiográficas influenciam a forma como um traçado rodoviário se define espacialmente, procurou-se estabelecer uma relação entre a implementação de uma via com a capacidade/dificuldade em vencer os obstáculos impostos.

A utilização de sistemas de informação geográfica, nomeadamente no processo de modelação de dados espaciais e na realização de operações de análise espacial, constituiu o ponto de partida para o desenvolvimento de processos de análise exploratória de relações espaciais, com o intuito de gerar informação derivada crucial que permitisse desenvolver processos de descoberta de conhecimento espacial.

A análise desenvolvida, assente na formalização e construção de um modelo geográfico baseada nos processos de análise espacial exploratória e modelação estatística, buscaram a compreensão do traçado de uma rede viária na área de estudo, extraindo métricas caracterizadoras que pudessem permitir uma completa replicabilidade em áreas e contexto de relações espaciais diversos.

A literatura existente sobre a definição de traçados ou caminhos óptimos, sobre um espaço anisotrópico em que a importância do relevo pode variar conforme a direcção de atravessamento está associada à tentativa de sistematizar e replicar computacionalmente, um procedimento de análise espacial complexo desde sempre empreendido pelas comunidades humanas e por planeadores de estradas em particular.

Um traçado rodoviário, na sua fase de definição e avaliação, associa-se à construção de superfícies de custo. No entanto, subsistem dificuldades na estruturação das mesmas, nomeadamente quando estas devem inteirar o relevo ou a gravidade

(directamente associável ao valor do declive) conforme o sentido de atravessamento. No processo de concepção e implementação de uma via rodoviária, esta restrição ainda não se encontra convenientemente descrita, nem avaliada a dimensão e importância deste factor.

Um dos contributos mais significativos da metodologia implementada assentou na construção de uma superfície de custo associada ao atravessamento do relevo de uma forma simples e eficaz. Teve como base a aplicação do conceito de declive funcional, que permitiu explicar a acção do declive segundo a orientação de uma via. Como decorre da metodologia descrita nesta dissertação, essa variável informativa constituiu um elemento chave na caracterização da acção do relevo sobre o delineamento de uma via de comunicação.

Inicialmente, após a compilação da informação geográfica disponível e tendo em consideração a concepção de um modelo de dados, foi possível inventariar dados relevantes para o ensaio em causa e perfeitamente adaptados a uma correcta análise espacial do território e de descoberta de relações entre as variáveis.

A explicação e identificação dos processos de análise espacial considerados pertinentes no contexto do estudo permitiu desde logo apontar os requisitos essenciais à informação geográfica a integrar, bem como a definição de estruturas e processos de relacionamento. Assim foi possível a criação de uma estrutura de informação geográfica que possibilitou a realização dos métodos de análise espacial considerados relevantes.

Foi concebida uma sequência coerente de funções de análise em SIG, com a descrição das principais operações de análise espacial e modelação geográfica a serem implementadas, naturalmente adaptadas ao modelo de dados utilizado. Destacam-se nesta fase de produção de informação derivada no contexto de descoberta de conhecimento, os processos de cálculo do declive funcional e o processo de simulação de novos traçados, que constituíram elementos fundamentais no desenvolvimento das análises efectuadas.

O uso da modelação estatística, nomeadamente de modelos de regressão (múltipla e exponencial de crescimento), sobre uma base de amostragem simulada que descreve para as diferentes possibilidades a aderência do traçado efectivo ao modelo considerado, veio comprovar a dependência dos traçados em relação ao relevo, acrescentando valores quantitativos dessa influência. Mostrou-se ainda que, de uma forma ligeira, os modelos de regressão exponencial de crescimento apresentam resultados superiores, relativamente aos modelos de regressão múltipla aplicados a todos os traçados em estudo.

As fichas de caracterização concebidas, ao contemplarem o campo de caracterização de critérios de implantação no qual é pormenorizada a variável principal deste estudo, declive funcional e os resultados dos modelos exploratórios, configuram uma nova forma de descrever uma rede viária. Estes elementos podem ser associados a um contexto de descoberta de conhecimento dos territórios, até aqui não abordados desta forma.

Considera-se que o trabalho desenvolvido permite efectivamente uma melhor caracterização de um traçado rodoviário. O aprofundamento deste conhecimento constituirá o programa de futuros trabalhos assente na exploração da componente prospectiva dos modelos desenvolvidos.

A caracterização das vias de comunicação rodoviárias assente nas métricas estabelecidas permite avaliar a sua relação com as condicionantes de implementação, podendo contribuir decisivamente para uma melhor compreensão dos espaços de relação geográficos, integrando múltiplas componentes biofísicas e socio-económicas.

Considerando a dimensão temporal da evolução de uma rede viária, esta abordagem integra ainda a possibilidade de contribuir para uma melhor compreensão da sua evolução no tempo e no espaço de relações geográficas em que estão inseridos. Os resultados da adaptação dos modelos em diversos contextos espaciais constitui pois, uma base para a geração de novos modelos que permitam integrar novas variáveis e dimensões de análise, e, assim, contribuir para um melhor conhecimento de

processos espacio-temporais complexos de grande importância na organização do território.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, D., 2005, Os transportes. In *Geografia de Portugal – Volume 3 Actividades económicas e espaço geográfico*, Direcção de Carlos Alberto Medeiros (Lisboa: Circulo de Leitores), pp. 333-365.
- ALEGRIA, M., 1990, *A organização dos transportes em Portugal (1850-1910) – As Vias de tráfego* (Lisboa: Centro de Estudos Geográficos).
- ARENTZE, T., e TIMMERMANS, H., 2004, Multistate supernetwork approach to modelling multi-activity, multimodal trip chains [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 18, 7, 631-651.
- BAÇÃO, F., 2005, Textos de Apoio à Disciplina de Data Mining Geo-Espacial do Mestrado em Ciência & Sistema de Informação Geográfica. ISEGI-UNL. Lisboa.
- BAÇÃO, F., LOBO, V., e PAINHO, M., 2005, *The self-organizing map, the GeoSOM, and relevant variants for geosciences*. (URL: http://www.isegi.unl.pt/ensino/docentes/fbacao/bacao_GCAGEO05.pdf, consulta em 17-10-2005).
- BERK, R., 2004, *Regression analysis: a constructive critique* (Thousand Oaks: Sage Publications).
- BRIGGS, D., COLLINS, S., ELLIOTT, P., FISCHER, P., KINGHAM, S., LEBRET, E., PRYL, K., REEUWIJK, H., SMALLBONE, K., VAN DER VEEN, A., 1997, Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 11, 7, 699-718.
- BURROUGH, P., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* (Oxford: Oxford University Press).
- CALDAS, E., 1994, *Terras de Valdevez e Montaria do Soajo – Memória Monográfica do Concelho de Arcos de Valdevez* (Lisboa: Editora Verbo).

- CAPELA, J., 1987, *Miliários do Conventus Bracaugustanus em Portugal*, Câmara Municipal de Terras de Bouro, Braga.
- CASTRO, A., 1983, Desenvolvimento das Actividades Produtivas. In *História de Portugal, 1245-1640*, dirigida por José Hermano Saraiva (Lisboa: Publicações Alfa), pp. 209-232.
- CENTENO, R., 1983, A Dominação Romana. In *História de Portugal, Origens-1245*, dirigida por José Hermano Saraiva (Lisboa: Publicações Alfa), pp. 149-212.
- CHANG, KANG-TSUNG e LI, Z., 2000, Modelling snow accumulation with a geographic information system [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, 7, 693-707.
- CLARK, W., e HOSKING, P., 1986, *Statistical methods for geographers* (New York: John Wiley & Sons).
- COLLISCHONN, W., e PILAR, J., 2000, A direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, 4, 397- 406.
- COSTA, J., 2003, *Os Caminhos de Descoberta do Passado. A via romana (Via Nova) entre Bracara e Asturica*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Património e Turismo. Instituto de Ciências Sociais – Universidade do Minho. Braga
- CRESSIE, N., 1993, *Statistics for spatial data*, revised edition (New York: John Wiley & Sons).
- DRAPER, N., e SMITH, H., 1980, *Applied regression analysis* (2ª ed.) (New York: John Wiley & Sons).
- EURORoads, 2007, Página da EuroRoads - a pan-European Road Data Solution (URL: <http://www.euroroads.org/php/start.php>, consulta em 10-01-2007).
- FAYYAD, U., PIATETSKY-SHAPIO, G., e SMYTH, P., 1996. *Knowledge discovery and data mining: towards a unifying framework*. (URL: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/4848/ftp:zSzzSzftp.research.microsoft.comzSzpubzSzdtgzSzsfayyadzSkdd96zSzsfayyad-intro.pdf/fayyad96knowledge.pdf/>, consulta em 29-02-2006).

- FOTHERINGHAM, A., BRUNSDON, C., CHARLTON, M., 2002, *Geographically Weighted Regression – the analysis of spatial varying relationship* (Chichester: John Wiley & Sons).
- FRIEDMAN, J., 1997, *Data Mining and Statistics: What's the Connection?* (URL: <http://www-stat.stanford.edu/~jhf/>, consulta em 29-02-2006).
- GROSSMAN, R., KAMATH, C., KEGELMEYER, P., KUMAR, V., e NAMBURU, R., 2001, *Data mining for scientific and engineering applications* (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers)
- GUIMARÃES, R., e CABRAL, J., 1997, *Estatística* (Lisboa: McGraw-Hill).
- HAMM, N., ATKINSON, P., MILTON, E., 2006, On dealing with spatially correlated residuals in remote sensing and GIS. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences* (Accuracy 2006), editado por Caetano, M., Painho, M., (Lisboa: Instituto Geográfico Português) , pp. 603-613.
- HAN, J., e KAMBER, M., 2001, *Data Mining: Concepts and Techniques* (San Francisco: Morgan Kaufman Publishers).
- HAND, D., 1999, *Why data mining is more than statistics writ large* (URL: <http://www.stat.fi/isi99/proceedings.html>, consulta em 29-02-2006)
- HAND, D., MANNILA, H., e SMYTH, P., 2001, *Principles of Data Mining* (Cambridge: The MIT Press).
- HEYWOOD, I., CORNELIUS, S., e CARVER, S., 2002. *An introduction to geographical information systems* (2ª ed.) (Harlow: Prentice Hall).
- LARK, R., 2000, Regression analysis with spatially autocorrelated error: simulation studies and application to mapping of soil organic matter [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, 3, 247-264.
- LEE, J., e STUCKY, D., 1998, On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on Digital Elevation Models [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 12, 8, 891-905.
- LEMOS, F., e BAPTISTA, A., 1995/96, Estudo de um troço da via XVIII do Itinerário Antonino na Serra do Gerês (a Geira Romana). In *Cadernos de Arqueologia*, Série II, 12-13, pp. 113-133.

- LONGLEY, P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D., e RHIND, D., 2005. *Geographic information systems and science* (2ª ed.) (Chichester: John Wiley & Sons).
- MACIEL, T., e MACIEL, M., 2004, *Estradas Romanas no Território de Vinhais -A Antiga Rede Viária e as suas Pontes*, Vinhais Património (Vinhais: Câmara Municipal de Vinhais).
- MATOS, A., 1980, *Transportes e Comunicações em Portugal, Açores e Madeira* (Ponta Delgada: Universidade dos Açores).
- MATOS, J., 2001, *Fundamentos de informação geográfica* (Lisboa: Lidel).
- MILLER, H., e HAN, J., 2001, Geographic data mining and knowledge discovery: an overview, In *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, editado por Harvey J. Miller and Jiawei Han (London: Taylor & Francis), pp. 3-32.
- MURTEIRA, B., 1993, *Análise Exploratória de Dados: Estatística Descritiva* (Lisboa: McGraw Hill).
- MUSTIERE, S., 2005, Cartographic generalization of roads in a local and adaptive approach: a knowledge acquisition problem [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, 8-9, 937-955.
- MYERS, R., 1990, *Classical and Modern Regression with Applications* (2ª ed.) (California: Duxbury Press).
- NEVES, N., 2001, *Knowledge discovery method for propagation phenomena modeling*. In *16th ESRI-EMEA User Conference*. Lisboa, Outubro, 17-19.
- NEVES, N., JULIÃO, R., CONDESSA, B., FONSECA, A. e SANTOS, H., 2001, *Modelo de dados do projecto geometa e a sua utilização em análise exploratória de relações espaciais*. (URL: http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP_files/esig2001/papers/esig35.pdf, consulta em 19-10-2005).
- NEVES, N., 2004, Textos de Apoio à Disciplina de Dados Geo-Espaciais: Modelos e operações do Mestrado em Ciência & Sistema de Informação Geográfica. ISEGI-UNL. Lisboa.
- NEVES, N., FREIRE, M., CABEZAS, J., BUYOLO, T., FERNÁNDEZ, L., FERNÁNDEZ, I., e BATISTA, T., 2006, Gesta – Concepção e desenvolvimento do modelo de dados espaciais. In *GEOALEX: Gestão*

Ambiental e Territorial para a Área Transfronteiriça Alentejo-Extremadura, editado por Martín, J., Martín, V., e Guerrero, E., (Badajoz: AMDE Junta de Extremadura), pp. 253-280.

ODA, S., 1995, *Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não-pavimentadas*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos.

OPENSHAW, S., 1999, *Geographical data mining: key design issues* (URL: http://www.geocomputation.org/1999/051/gc_051.htm, consultado em 29-02-2006).

PORTELINHA, M., CORTEZ, P., RODRIGUES, S., CADAVEZ, V., e TEIXEIRA, A., 2005, *Previsão da Tenrura da Carne de Cordeiro via Redes Neurais Artificiais e Análise de Sensibilidade* (URL: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3395/1/capsi84.pdf>, consulta em 02-04-2006).

PROPASTIN, P., MURATOVA, N., e KAPPAS, M., 2006, Reducing uncertainty in analysis of relationship between vegetation patterns and precipitation. In *Proceedings of the Seventh International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences* (Accuracy 2006), editado por Caetano, M., Painho, M., (Lisboa: Instituto Geográfico Português), pp. 459-468.

QI, F., e ZHU, A-Xing, 2003, Knowledge discovery from soil maps using inductive learning [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 17, 8, 771-795.

RAPOSO, R., 1983, As Comunidades de Caçadores-Recolectores do Paleolítico. In *História de Portugal, Origens-1245*, dirigida por José Hermano Saraiva (Lisboa: Publicações Alfa), pp. 31-62.

SAHA, A., ARORA, M., GUPTA, R., VIRDI, M., e CSAPLOVICS, E., 2005, GIS-based route planning in landslide-prone areas [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, 10 1149-1175.

SESTER, M., 2000, Knowledge acquisition for the automatic interpretation of spatial data [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, 1, 1-24.

- SILVA, C., 1983, O Megalitismo e os Primeiros Metalurgistas. In *História de Portugal, Origens -1245*, dirigida por José Hermano Saraiva (Lisboa: Publicações Alfa), pp. 83-100.
- SILVA, M., NEVES, N., e ROCHA, J., 2006, Análise espacial exploratória de critérios de implementação de uma rede viária em áreas de montanha – Declive funcional como variável explicativa fundamental [CD-ROM]. In *Proceedings IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, ESIG2006*, Oeiras.
- STATSOFT, Inc. (2006). Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>, consultado em 10-07-2006.
- STEFANAKIS, E., e KAVOURAS, M., 2002, Navigating in Space under Constraints. In *International Journal of Pure and Applied Mathematics* (IJPAM), Vol. 1(1), pp 71-93, Academic Publications.
- SOUTINHO, P., 2007, *Vias Romanas* (URL: <http://viasromanas.planetaclix.pt/#vianova>, consulta em 18/06/2007).
- TOBLER, W., 1970, *A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region* (URL: http://www.geog.ucsb.edu/~tobler/publications/pdf_docs/geog_analysis/ComputerMovie.pdf,
- VIEIRA, J., 1886. *O Minho Pittoresco* Tomo I, (Lisboa: Livraria de António Maria Pereira).
- VIEIRA, M., 2004, *Alto Paiva. Povoamento nas Épocas Romana e Alto-Medieval*, Trabalhos de Arqueologia 36 (URL: <http://www.ipa.min-cultura.pt/pubs/TA/folder/36>, consulta em 12-06-2007).
- YU, C., LEE, J., and MUNRO-STASIUK, M., 2003, Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 17, 4, 361-376.
- YUAN, M., BUTTENFIELD, B., GAHEGAN, M., MILLER, H., 2001, Geospatial Data Mining and Knowledge Discovery (URL: http://www.ucgis.org/priorities/research/research_white/2000%20Papers/emerging/gkd.pdf), consulta em 29-02-2006).

ANEXOS

ANEXO 1. FONTE DE DADOS GERAIS

Título	Características	Primitiva	Proprietário
Carta Topográfica de Portugal	Projecção de Gauus, Elipsóide de Hayford, Datum 73 Escala – 1:10 000 Equidistância das curvas 5 metros Cobertura aerofotográfica de 1998 Formato: vectorial (dwg)	Polyline	CMAV
Altimetria 3D	Realizada a partir da Carta Topográfica de Portugal Projecção de Gauus, Elipsóide de Hayford, Datum 73 Escala – 1:10 000 Equidistância das curvas 5 metros Formato: vectorial (dwg)	Polyline Z	CMAV
Carta de Campo Serra da Peneda e Serra do Soajo	Projecção de Gauus, Elipsóide de Hayford, Datum 73 Escala – 1: 25 000 Equidistância das curvas 5 metros Ano: 2002 Formato: vectorial (dwg)	Polyline	ARDAL
BDUSO: Ocupação e Usos do Solo	Projecção de Gauus, Elipsóide de Internacional, Datum Lisboa Escala – 1:25 000 Formato: vectorial (shp)	Polygon	ESAPL
Carta de Solos	Projecção de Gauus, Elipsóide de Internacional, Datum Lisboa Escala – 1:25 000 Formato: vectorial (shp)	Polygon	DRAP-N
Carta de Aptidão da Terra	Projecção de Gauus, Elipsóide de Internacional, Datum Lisboa Escala – 1:100 000 Formato: Vectorial (shp)	Polygon	DRAP-N
Carta Geológica de Portugal	Folha 1-D Escala – 1:50 000 Ano: 1988 Formato: Raster (papel)	Polygon	INETI
Trilhos dos Romeiros da Sr ^a da Peneda (GPS)	Projecção de Gauus, Elipsóide de Internacional, Datum Lisboa Ano: 2003 Formato: vectorial (shp)	Polyline	ARDAL
Carta Administrativa de Portugal	Limites administrativos do distrito de Viana do Castelo Escala – 1:25 000 Ano: 2004 Formato: vectorial (shp)	Polygon	IGP

CMAV – Câmara Municipal de Arcos de Valdevez; ARDAL – Associação Regional de Desenvolvimento do Alto Lima;
ESAPL – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima; DRAP-N – Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte;
INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação; IGP – Instituto Geográfico Português

Tabela A.1.1 – Fonte de dados compilados

ANEXO 2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Variáveis	N	Média	Limite inferior do IC a 95%	Limite superior do IC a 95%	Mediana	Moda	Frequência da Moda	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão
Orientação da via	24419	153,9520	152,5261	155,3777	124,7124	312,9934	21	0,0081	360,000	113,6642	0,727377
Aspect	24419	198,7089	197,4401	199,9778	215,8760	249,9450	22	0,2058	360,000	101,1643	0,647386
Slope	24419	17,0208	16,9142	17,1275	15,7010	2,971750	22	1,8399	59,594	8,5030	0,054414
Declive Funcional	24419	-0,8784	-0,9597	-0,7972	-0,8619	Multiple	-	-59,5791	52,774	6,4809	0,041474
Altitude	24419	639,4396	635,3459	643,5333	617,2950	1218,070	5	38,8712	1293,91	326,3857	2,088657

Tabela A.2.1 – Estatística descritiva das variáveis presentes no estudo, ao nível das medidas de localização e de dispersão.

ANEXO 3. PARÂMETROS ESTIMADOS

Estrada	Direcção proposta	Parâmetros estimados		Erro padrão	T-value	p-level	R ²	N
EN	[-90°, 90°] Intervalos de 10 ° Valores absolutos	a	5,00137	0,062213	80,391	0,00	69,2%	30127
		b ₁	-8,91466	0,065072	-136,996	0,00		
		b ₂	0,68442	0,003091	221,432	0,00		
		DF = 5,00137 - 8,91466*Cos α + 0,68442*Slope						
EM		a	10,2405	0,143752	71,237	0,00	73,6%	15390
		b ₁	-18,128	0,134511	-134,769	0,00		
		b ₂	0,6891	0,004378	157,401	0,00		
		DF = 10,2405 - 18,128*Cos α + 0,6891*Slope						
CM		a	10,6496	0,141651	75,181	0,00	72,4%	18684
		b ₁	-18,7874	0,118747	-158,213	0,00		
		b ₂	0,6882	0,004455	154,478	0,00		
		DF = 10,6496 - 18,7874*Cos α + 0,6882*Slope						
CF		a	4,84132	0,111468	42,215	0,00	60,3%	13896
		b ₁	-8,80268	0,099764	-88,235	0,00		
		b ₂	0,68581	0,005919	115,865	0,00		
		DF = 4,84132 - 8,80268*Cos α + 0,68581*Slope						
CBR		a	1,18896	0,188626	6,303	0,00	46,8%	8226
		b ₁	-2,66031	0,193656	-13,737	0,00		
		b ₂	0,66485	0,007921	83,935	0,00		
		DF = 1,18896 - 2,66031*Cos α + 0,66485*Slope						

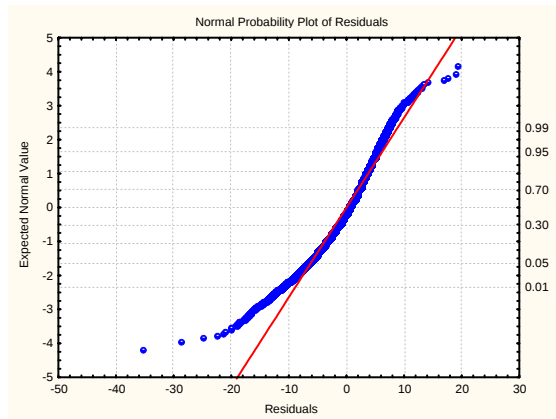
Tabela A.3.1- Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla, erro padrão, t-student, valor prova, coeficiente de determinação e expressão de declive funcional para cada estrada.

Estrada	Direcção proposta	Parâmetros Estimados		Erro Padrão	T-value	p-level	R ²	N
EN	[-90°, 90°] Intervalos de 10 ° Valores absolutos	c	-19,9356	0,5920	-33,6724	0,00	70,84%	30127
		b ₀	3,2266	0,0231	139,7161	0,00		
		b ₁	-0,3044	0,0063	-48,3861	0,00		
		b ₂	0,0223	0,00042	53,44124	0,00		
		DF = -19,9356 + exp (3,2266 -0,3044*Cos α + 0, 0223*Slope)						
EM		c	-22,0864	1,0357	-21,3257	0,00	75,47%	15390
		b ₀	3,4735	0,0318	109,3081	0,00		
		b ₁	-0,4454	0,0114	-39,2053	0,00		
		b ₂	0,01695	0,00042	40,31669	0,00		
		DF = -22,0864 + exp (3,4735 -0,4454* Cos α + 0,01695*Slope)						
CM		c	-28,3536	1,2235	-231737	0,00	73,45%	18684
		b ₀	3,6610	0,0312	117,2365	0,00		
		b ₁	-0,3916	0,0101	-38,7901	0,00		
		b ₂	0,01454	0,00037	39,17	0,00		
		DF = -28,3536 + exp(3,6610 -0,3916* Cos α + 0,01454*Slope)						
CF		c	-10,8522	0,7572	-14,3314	0,00	62,05%	13986
		b ₀	2,78166	0,04526	61,46625	0,00		
		b ₁	-0,4168	0,0150	-27,7979	0,00		
		b ₂	0,03157	0,00106	29,83524	0,00		
		DF = -10,8522 + exp(2,78166 -0,4168* Cos α + 0,03157*Slope)						
CBR		c	-28,3516	2,5985	-10,9107	0,00	47,08%	8226
		b ₀	3,42486	0,08214	41,69693	0,00		
		b ₁	-0,0801	0,0077	-10,4070	0,00		
		b ₂	0,01667	0,00109	15,30784	0,00		
		DF = -28,3516 + exp(3,42486 -0,0801* Cos α + 0,01667*Slope)						

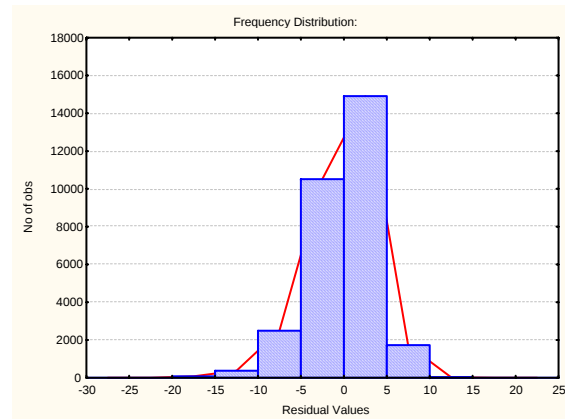
Tabela A.3.2 - Parâmetros do modelo de regressão exponencial de crescimento, erro padrão, t-student, valor prova, coeficiente de determinação e expressão de declive funcional para cada estrada.

ANEXO 4. ANÁLISE DE RESÍDUOS

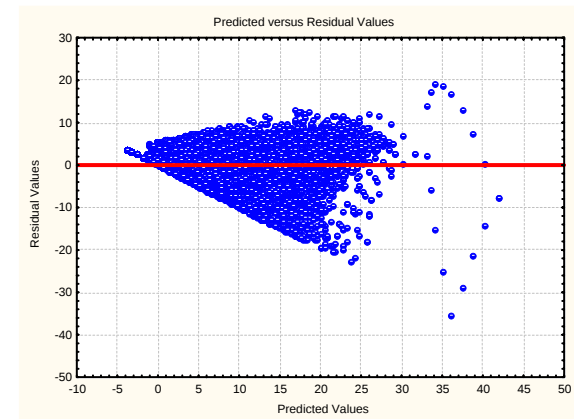
Regressão Linear Múltipla



a)



b)



c)

Regressão Exponencial

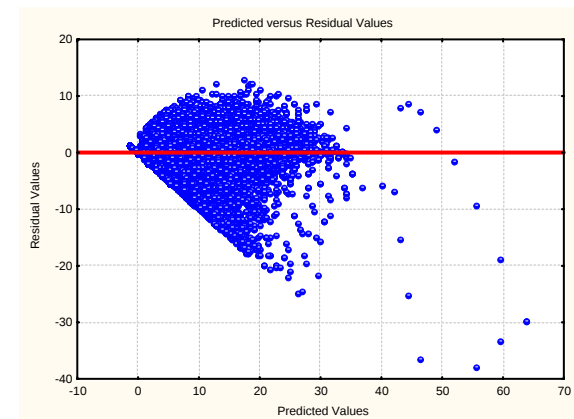
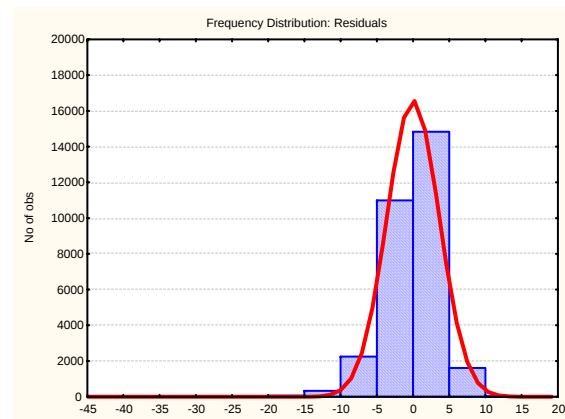
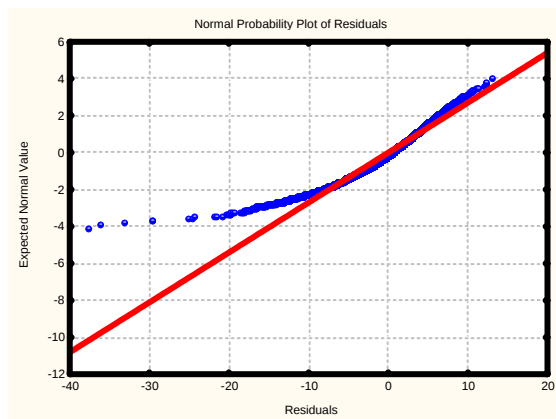
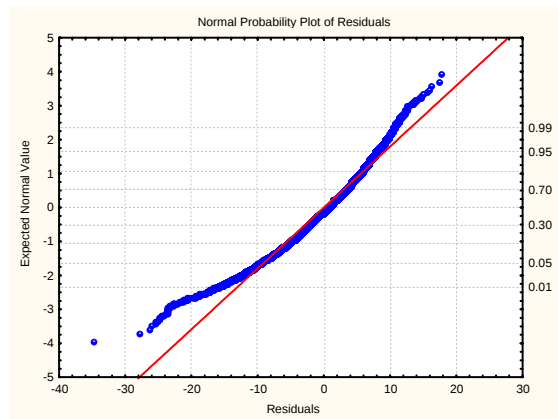
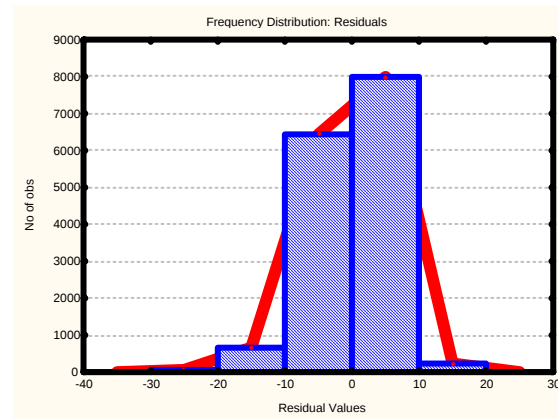


Figura A.4.1 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente às Estradas Nacionais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.

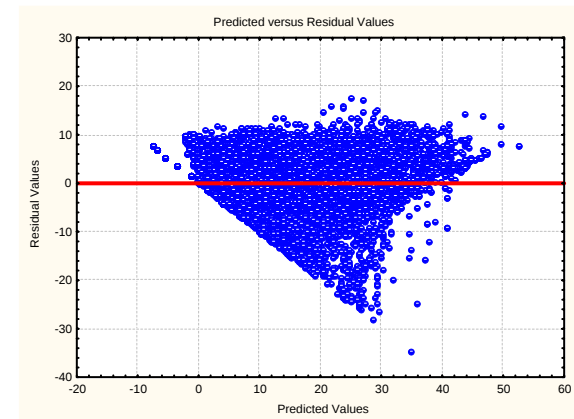
Regressão Linear Múltipla



a)



b)



c)

Regressão Exponencial

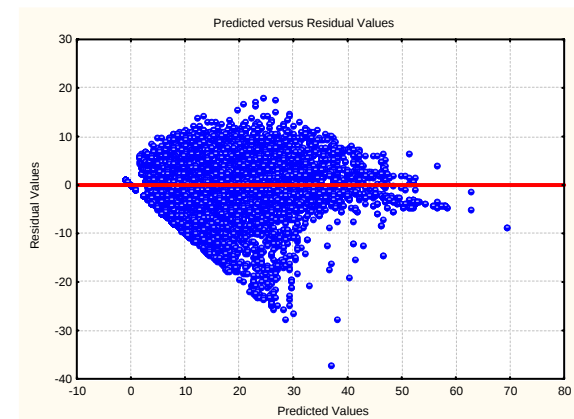
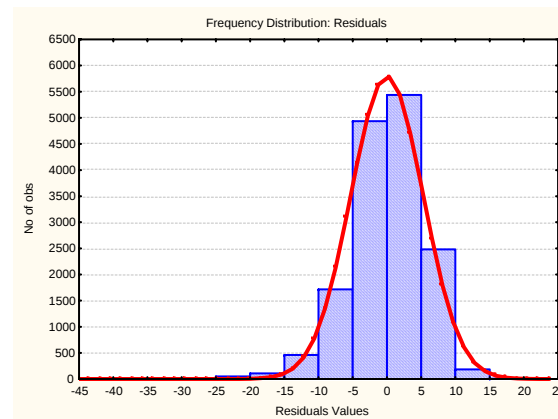
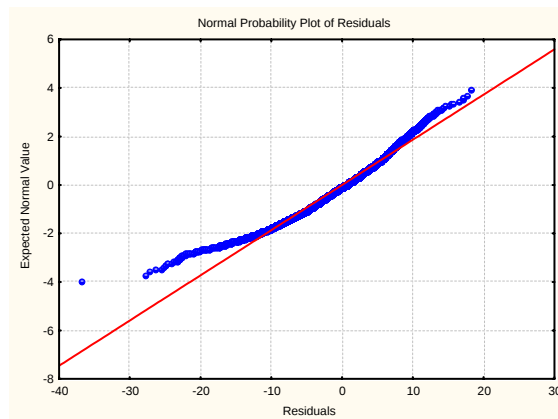
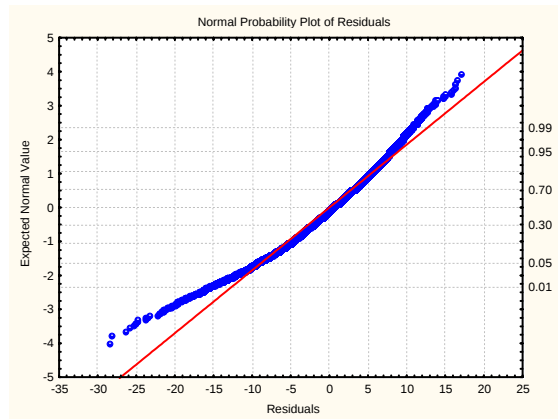
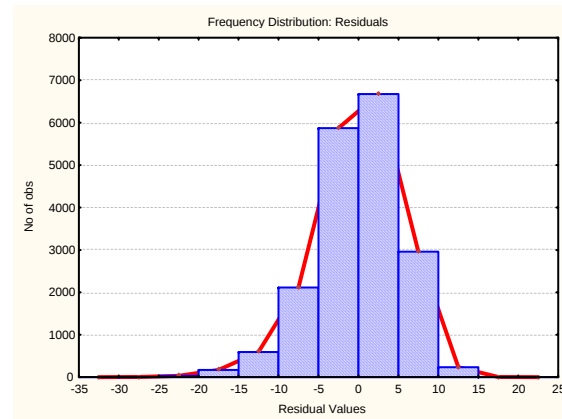


Figura A.4.2 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente às Estradas Municipais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais

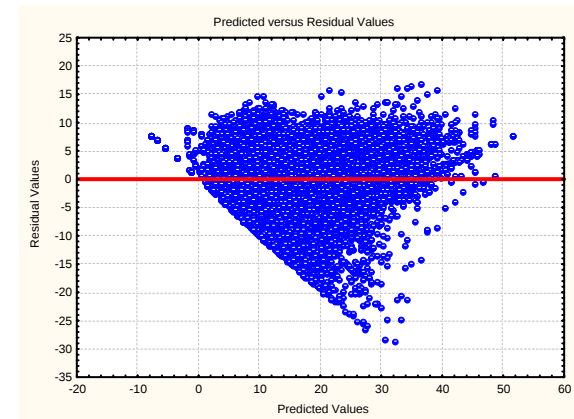
Regressão Linear Múltipla



a)



b)



c)

Regressão Exponencial

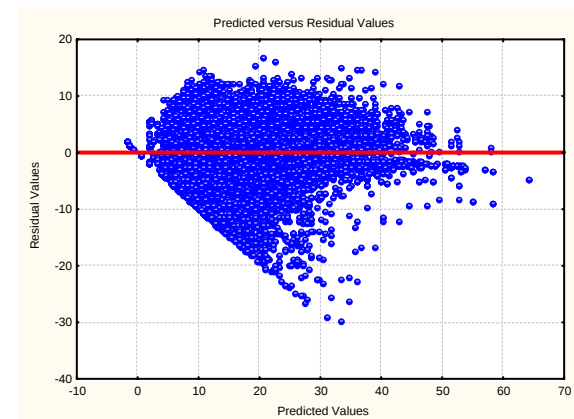
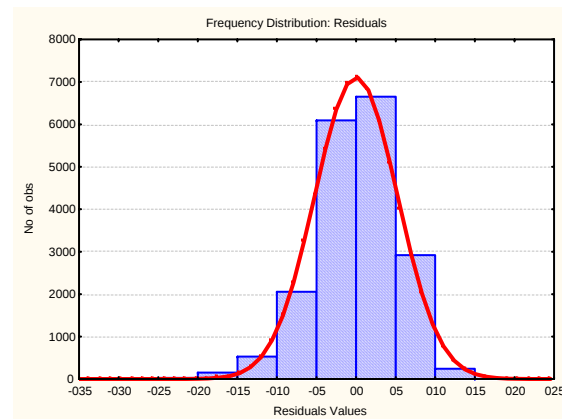
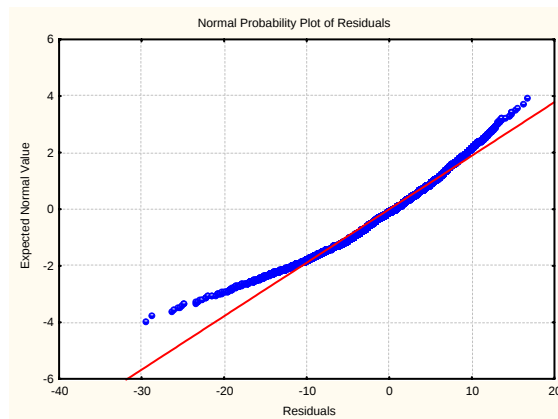
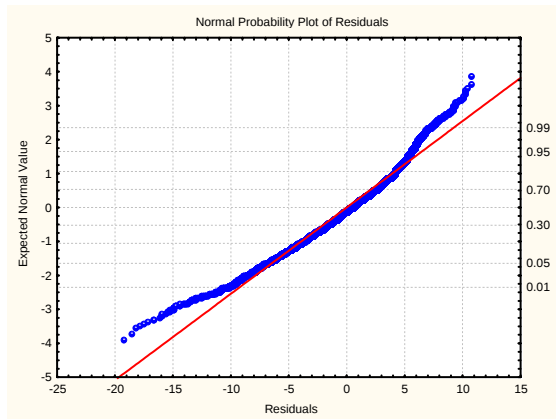
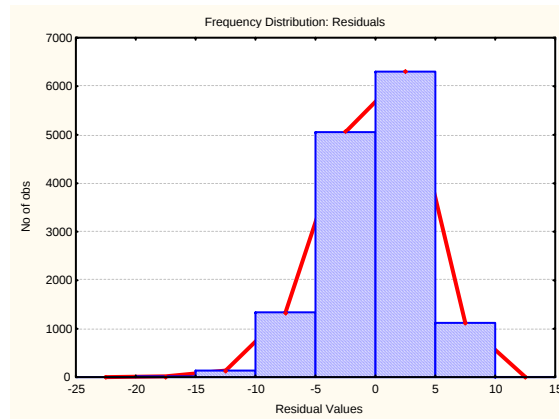


Figura A.4.3 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Municipais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.

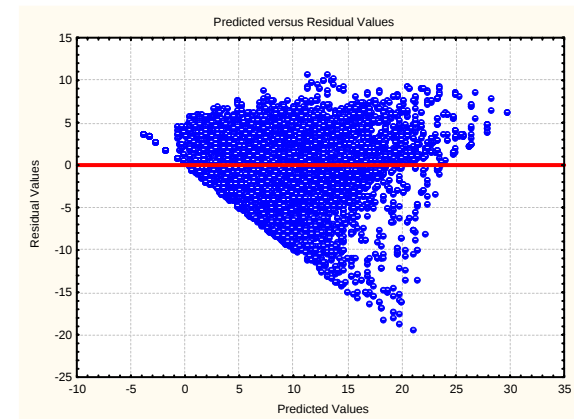
Regressão Linear Múltipla



a)



b)



c)

Regressão Exponencial

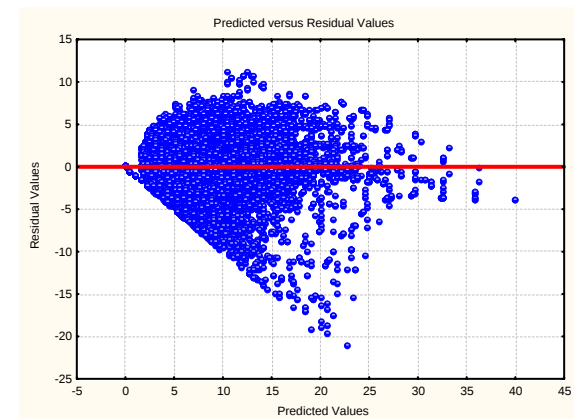
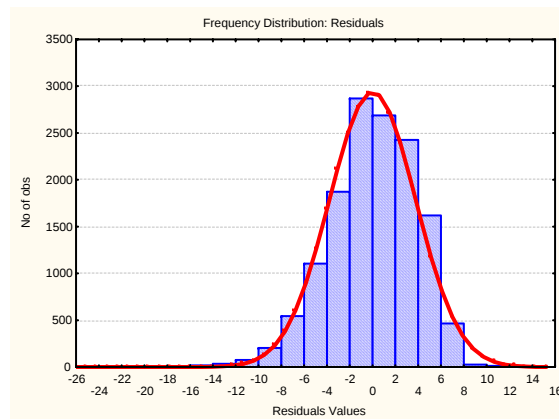
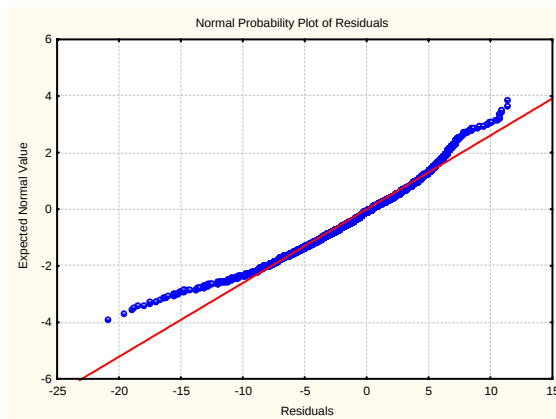
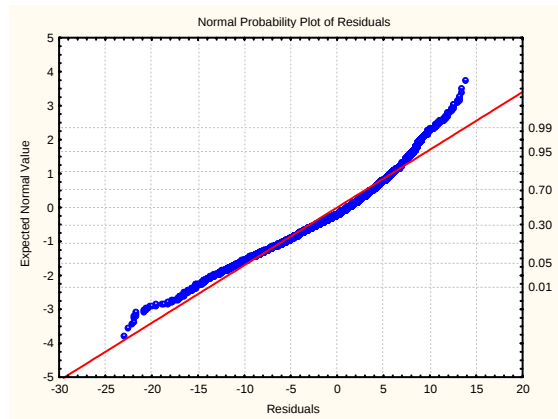
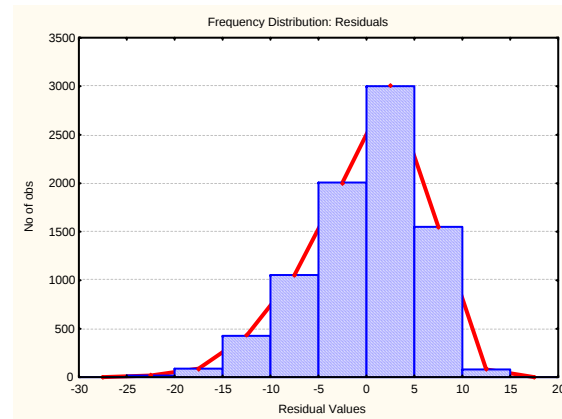


Figura A.4.4 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Florestais: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.

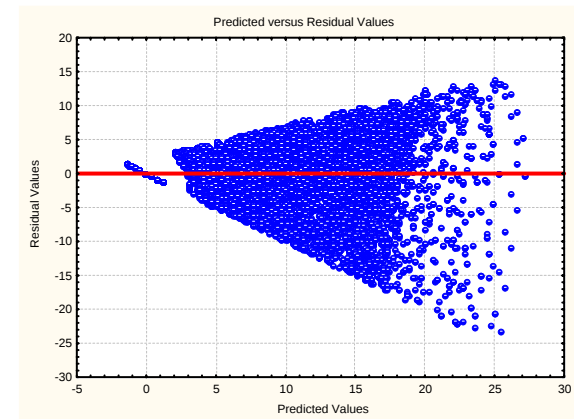
Regressão Linear Múltipla



a)



b)



c)

Regressão Exponencial

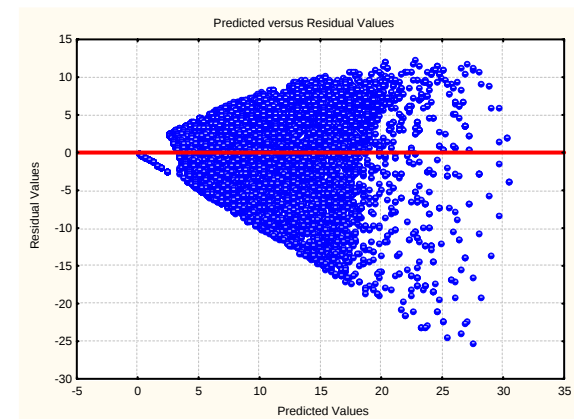
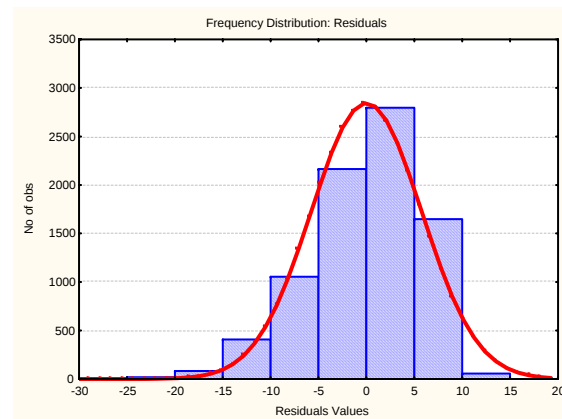
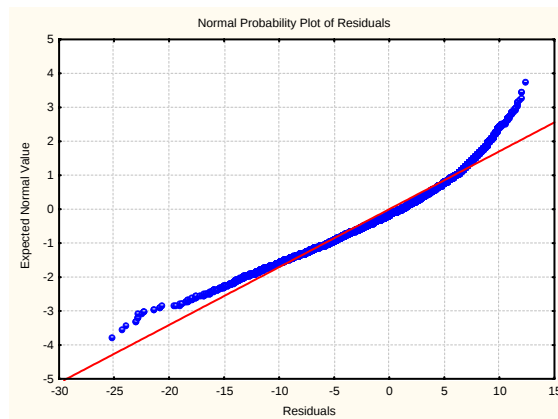


Figura A.4.5 – Gráficos dos resíduos da regressão linear múltipla e exponencial referente aos Caminhos Brandeiros Romeiros: a) Gráfico da Probabilidade Normal dos Resíduos; b) Frequência de Distribuição dos Resíduos; c) Gráfico dos valores Previstos versus Residuais.

ANEXO 5. FICHAS DE CARACTERIZAÇÃO

FOLHA DE INSPEÇÃO DAS ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS								
1. Estrada		2. Seção		3. Data				
4. Trechos Seleccionados		5. Área do Trecho		6. Avaliador				
7. Desenho				8. Tipos de Defeitos 8.1. Seção Transversal Inadequada 8.2. Drenagem Lateral Ineficiente 8.3. Corrugações / Ondulações 8.4. Poeira 8.5. Buracos 8.6. Trilhas de Rodas 8.7. Agregados Soltos				
8. Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipos		8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7
Quantidade e Severidade	B							
	M							
	A							
9. Cálculo do URCI								
Tipo de Defeito	Densidade	Severidade	DV	10. Anotações				
TDV	CDV	q =	URCI	Classificação				

Figura A.5.1 – Esquema de levantamento das condições de uma estrada não pavimentada (Fonte: ODE, 1995).

Estrada: SCA 010 (Guilherme Scatena)							
Localização: entrada da Fazenda Canchim até Represa do Vinte e Nove							
Extensão da Estrada: 8,1 km (avaliado)				Data: 06/10/95			
Velocidade constante: 40 km/h				Avaliador: Sandra/ Manoel/ Eliane			
Número de Trechos: 06				Condições Climáticas: nublado			
Início: 424,1		Fim: 432,2		Tráfego: caminhões (cana/ frango) e automóveis			
Início: 15:00 hs.		Fim: 16:30 hs.		Rampa: máxima de 11% *			
Localização: Represa do Vinte e Nove até Usina Hidrelétrica Capão Preto							
Extensão da Estrada: 2,1 km				Data: 26/10/95			
Velocidade constante: 40 km/h				Avaliador: Sandra			
Número de Trechos: -				Condições Climáticas: nublado			
Início: 59497,6		Fim: 59499,7		Tráfego: caminhões (cana/ frango) e automóveis			
CARACTERÍSTICAS DA ESTRADA SCA 010							
Código PMSC	Classe Pedológica	Rampa (%)	Extensão (km)	Código PMSC	Classe Pedológica	Rampa (%)	Extensão (km)
SCA 010	LE	0	0,90	SCA 010	LR	4	0,10
SCA 010	LE	1	0,55	SCA 010	LV	4	0,40
SCA 010	LV	1	3,32	SCA 010	LE	6	0,23
SCA 010	LV	2	0,43	SCA 010	LR	6	0,26
SCA 010	LE	3	1,44	SCA 010	LR	8	0,26
SCA 010	LR	3	0,24	SCA 010	LR	10	0,18
SCA 010	LV	3	0,47	SCA 010	Li	15	0,57
SCA 010	AQ	4	0,72	SCA 010	Li	20	0,16
SCA 010	LE	4	0,45				
TOTAL			8,52	TOTAL			2,16

Figura A.5.2 – Caracterização de uma estrada de terra batida (Fonte: ODE, 1995).

Trecho	Odômetro	Largura	Área	TDV	q	URCI	Classificação
01	424,1	6,90	207,00	38,5	4	81	MUITO BOA
02	424,5	5,50	165,00	47,0	4	75	MUITO BOA
03	424,8	8,00	240,00	45,5	4	78	MUITO BOA
04	426,3	7,00	210,00	33,0	1	68	BOA
05	429,3	9,00	270,00	11,5	1	84	MUITO BOA
06	429,6	6,50	195,00	17,5	2	87	EXCELENTE
07	-	6,00	180,00	52,0	3	68	BOA
TOTAL	-	48,9	1467	-	-	541	-
MÉDIA	-	6,99	219,59	-	-	77,3	MUITO BOA

Figura A.5.3 – Resumo de uma caracterização de uma estrada de terra batida, com diferentes sectores de avaliação (Fonte: ODE, 1995).