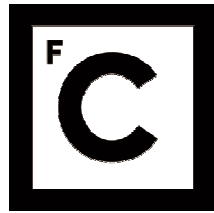


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Ciências
ULisboa**

**Validação de uma estrutura vetorial 3D da Carta Militar de
Portugal, com recurso a Sistemas de Gestão de Dados
Espaciais de acesso livre**

Mestrado em Engenharia Geográfica

Pedro Manuel Cardoso da Costa

Trabalho de Projeto orientado por:
Professora Doutora Cristina Catita

(Página intencionalmente deixada em branco)

Resumo

A Carta Militar de Portugal, série M888, escala 1:25 000 é uma carta topográfica produzida pelo Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE), entidade produtora de cartografia que provê, com informação geográfica, as Forças Armadas e a comunidade civil.

As cartas topográficas são representações planas, generalizadas e reduzidas à escala, de zonas da superfície terrestre, cujo objetivo é a descrição geométrica rigorosa do terreno, contendo símbolos e informação textual para a descrição dos objetos. As cartas topográficas são produzidas por restituição estereoscópica (tridimensional) a partir de imagens aéreas, sendo posteriormente completada no terreno pelas equipas topográficas do CIGeoE.

Para garantir a coerência semântica e morfológica da informação restituída que vai integrar a Base de Dados Geográfica (BDG), os dados são submetidos a um processo de validação. O CIGeoE tem implementado um complexo mas eficiente processo de validação realizado em *Computer-Aided Design* (CAD) que valida dados apenas em duas dimensões.

O presente trabalho desenvolveu uma metodologia semiautomática que permite fazer a validação dos dados em três dimensões (3D), para eventualmente, ser integrada na cadeia de produção do CIGeoE. Com recurso exclusivo a Sistemas de Gestão de Dados Espaciais de acesso livre, são realizadas um conjunto de operações de processamento e de tratamento da informação vetorial diretamente na BDG, detetando e corrigindo automaticamente os erros geométricos de cada objeto.

Este trabalho desenvolvido vem melhorar o processo de validação, tornando-o mais eficiente por garantir a validação dos dados em 3D, mais simples por recorrer a um único Sistema de Gestão de Dados Espaciais e de acesso livre e mais célere por decorrer diretamente na BDG.

Palavras-chave: Validação digital, Processamento de Dados, Base de Dados Geográfica

Abstract

The Military Map of Portugal, 1:25 000 scale (Series M888), is a topographic map made by the Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE), a cartography agency that provides geographic information to the Armed Forces and the civil community.

Topographic maps are plane and generalized representations, reduced to scale, of earth surface zones, whose objective is a precise geometric description, containing symbols and textual information to describe objects. The topographic maps are generated by stereoscopic restitution (three-dimensional coordinates) from aerial images, later completed on the ground by the topographic teams of CIGeoE.

To guarantee semantic and morphologic coherence of the collected information that will also join the Geographic Data Base (BDG), the data are subjected to a validation process. CIGeoE has implemented a complex but efficient validation process, performed on Computer-Aided Design (CAD), which only validates two-dimensional data.

The current work has developed a semi-automatic process that allows the data validation in three-dimensional coordinates (3D), which eventually will be integrated into CIGeoE production chain. With the exclusive use of the open source Spatial Data Management Systems, are performed a set of processing and treatment operations of vector information directly the BDG, automatically detecting and correcting geometric errors of each feature.

This work will improve the validation process, making it more efficient for ensuring the validation of data in 3D, making it more easily simply using a single open source Spatial Data Management System and faster still to run directly on the BDG.

Keywords: Digital Validation, Data Processing, Geographic Database

Agradecimentos

À Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, especialmente ao Corpo Docente do Curso de Engenharia Geográfica, pela qualidade da formação ministrada ao longo do curso.

À Professora Doutora Cristina Catita, orientadora do projeto de mestrado, agradeço o apoio, a partilha do saber e as valiosas contribuições para o trabalho.

Ao Nuno Vicente e ao Jorge Santos pela vossa amizade, camaradagem e ajuda ao longo de todo o curso.

Ao CIGeoE por ter proporcionado as condições necessárias para a realização deste projeto.

Ao Tenente-Coronel Rui Dias pelo acompanhamento, aconselhamento e pela forma profissional como me orientou.

Ao TCOR Tenente-Coronel Paulo Domingos, Chefe do Centro de Produção Cartográfica, pelos esclarecimentos técnicos sobre o processo de validação implementado no CIGeoE e ao Major Paulo Pires pelo aconselhamento técnico na arte de programar.

Aos colaboradores das Secções de Fotogrametria e de Topografia e Geodesia do CIGeoE, pela dedicação e disponibilidade na colaboração sempre que por mim foi solicitada.

À minha família, em especial aos meus Pais, um enorme obrigado por todos os ensinamentos de vida e por sempre acreditarem em mim.

À Leontina, minha esposa, um agradecimento especial pelo apoio e carinho diários, pelas palavras doces e pela transmissão de confiança e de força, em todos os momentos.

Aos meus filhos Gonçalo e Guilherme, que muitas vezes privei da minha companhia, espero que com esta etapa agora terminada, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que merecem.

Índice

Resumo.....	i
Abstract	ii
Agradecimentos.....	iii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Enquadramento Institucional.....	4
1.4 Contribuição deste projeto	5
1.5 Organização do Documento.....	5
CAPÍTULO II - A VALIDAÇÃO NO CIGEOE	6
2.1 O Processo de Validação na cadeia de produção do CIGeoE.....	6
2.1.1 Restituição digital.....	6
2.1.2 Completagem de campo	7
2.1.3 Validação digital	7
2.1.4 Erros dos dados.....	7
2.1.5 Topologia	9
2.2 Evolução da Validação no CIGeoE	11
2.3 Processo de validação em CAD	18
2.3.1 Dados de base	18
2.3.2 <i>Software</i> e meios utilizados.....	19
2.3.3 Metodologia.....	19
2.3.4 Validação de Estrutura	20
2.3.5 Validação Geométrica	21
2.3.6 Validação da Integridade Espacial.....	23
2.4 Processo de validação em SIG.....	25
2.4.1 Dados de base	26
2.4.2 <i>Software</i> e meios utilizados.....	26

2.4.3	Metodologia.....	27
2.4.4	Preparação dos dados e validação de estrutura	28
2.4.5	Validação Geométrica	29
2.4.6	Validação da Integridade Espacial.....	32
2.5	Análise comparativa dos processos de validação em CAD e em SIG.....	34
CAPÍTULO III - O PROJETO		36
3.1	Dados de base	36
3.2	<i>Software</i> e meios utilizados	38
3.3	Manuseamento da informação espacial em ambiente <i>PostGIS</i>	40
3.4	Metodologia.....	42
3.5	Execução	44
3.5.1	Preparação dos dados	44
3.5.2	Validação Geométrica	45
3.5.3	Validação de Integridade Espacial.....	66
3.6	Análise de resultados.....	68
3.6.1	Processo de análise e preparação dos dados	68
3.6.2	Apresentação dos resultados	69
3.6.3	Considerações finais sobre os resultados alcançados.....	83
CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES.....		84
Bibliografia		86
Anexos.....		88

Índice de Figuras

Figura 1 - Etapas do processo de produção da Carta 1:25 000	1
Figura 2 - Tempos relativos de execução durante a aquisição.....	2
Figura 3 - Organização do Centro de Informação Geoespacial do Exército	4
Figura 4 - A Cadeia de Produção do CIGeoE.....	6
Figura 5 - Fases da construção do “Desenho Digital”	14
Figura 6 - Correções automáticas executadas por duas UCMD	15
Figura 7 - Metodologia do processo de validação em CAD.....	19
Figura 8 - Ficheiros <i>Batch</i> utilizados para validação de estrutura	20
Figura 9 - Separação do ficheiro CAD por temas	21
Figura 10 - Sequência de procedimentos para validação geométrica do tema Vias	22
Figura 11 - Exemplo de ficheiro <i>batch</i> e respetivos mdl utilizados numa correção	22
Figura 12 - Exemplo de <i>queries</i> utilizadas na Validação de Integridade Espacial.....	24
Figura 13 - Metodologia do processo de validação em SIG	27
Figura 14 - Fragmento de modelo criado para preencher o campo “Elevation”	29
Figura 15 - Exemplos de <i>toolboxes</i> criadas para a validação.....	29
Figura 16 - Modelos para reparação automática da geometria.....	30
Figura 17 - Fragmento do Modelo “ <i>Delete Identical</i> ”	30
Figura 18 - Modelo “Resolve Dangles”	31
Figura 19 - Exemplo de <i>batch jobs</i> utilizados no <i>Data Reviewer</i>	32
Figura 20 - Exemplo de verificações de integridade espacial para Vias.....	33
Figura 21 - Enquadramento da Folha nº 307 da Carta 1:25 000	36
Figura 22 - BDG da folha nº 307 da Carta 1:25 000	36
Figura 23 - Apresentação em forma de gráfico dos dados de base.....	37
Figura 24 - Apresentação gráfica dos dados de base - Rede Viária da Folha nº 307	38
Figura 25 - Exemplo da representação da geometria de uma <i>linestring</i>	40
Figura 26 - Fluxo da metodologia do projeto	42
Figura 27 - Metodologia do processo de validação (Fases)	43
Figura 28 - Fluxo do Processo de Validação	43
Figura 29 - Fluxo geral da preparação dos dados	44
Figura 30 - Ferramentas utilizadas na “Função Separa Subtipos”	44
Figura 31 - Conteúdo da base de dados e da diretoria dos ficheiros de entrada.....	45
Figura 32 - Fluxo geral da validação geométrica	46
Figura 33 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Valida Estrutura”	46

Figura 34 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Remove Duplicados”	47
Figura 35 - Excerto do código SQL da “Função Remove Duplicados”	47
Figura 36 - Aparência de erros do tipo 6	48
Figura 37 - Fluxo da “Função Remove <i>Kickbacks</i> ”	48
Figura 38 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Remove <i>Kickbacks</i> ”	48
Figura 39 - Excerto do código SQL da “Função Remove <i>Kickbacks</i> ”	49
Figura 40 - Aparência de erros do tipo 7	50
Figura 41 - Fluxo da “Função Repara <i>Loops</i> ”	50
Figura 42 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Repara <i>Loops</i> ”	50
Figura 43 - Exemplo de falso erro de <i>Loop</i> (quarteirão)	51
Figura 44 - Sequência de procedimentos da remoção do erro <i>Loop</i>	52
Figura 45 - Excerto do código SQL da “Função Repara <i>Loops</i> ”	52
Figura 46 - Aparência dos erros do tipo 1 e 2 respetivamente	53
Figura 47 - Fluxo da “Função Repara <i>Dangles</i> ”	54
Figura 48 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Repara <i>Dangles</i> ”	54
Figura 49 - Vértices iniciais e finais das <i>linestrings</i> da entidade Estradas	55
Figura 50 - Aplicação do <i>Buffer</i> aos vértices terminais	57
Figura 51 - Centroide criado	57
Figura 52 - Vértices criados na correção de erros do tipo 1 e 2 da entidade EstradasL	58
Figura 53 - Excerto do código SQL da “Função Repara <i>Dangles</i> ”	58
Figura 54 - Resultado da correção do erro	59
Figura 55 - Aparência dos erros do tipo 3 e 4 respetivamente	60
Figura 56 - Fluxo da “Função Repara <i>Over/Undershoots</i> ”	60
Figura 57 - Funções do <i>PostGIS</i> utilizadas na “Função Repara <i>Over/Undershoots</i> ”	60
Figura 58 - Identificação nos erros tipo 3 e 4 das <i>linestrings</i> da entidade Estrada larga	62
Figura 59 - Identificação de todas as <i>linestrings</i> que intersejam o <i>buffer</i>	63
Figura 60 - Excerto 1 do código SQL da “Função Repara <i>Over/Undershoots</i> ”	63
Figura 61 - Identificação do <i>node2change</i> e da <i>linestring</i> onde unir	64
Figura 62 - Excerto 2 do código SQL da “Função Repara <i>Over/Undershoots</i> ”	64
Figura 63 - Identificação do <i>node2change</i> e do <i>node_changed</i> onde unir	64
Figura 64 - Resultado da substituição dos <i>node2change</i> pelos <i>node_changed</i>	65
Figura 65 - Exemplos de correções efetuadas a erros do tipo 3 e 4	65
Figura 66 - Ferramentas utilizadas na “Função Integridade Espacial”	67
Figura 67 - Avaliação do subtipo de via Autoestrada	72

Figura 68 - Avaliação do subtipo de via Estrada com separador	73
Figura 69 - Avaliação do subtipo de via Estrada larga	74
Figura 70 - Erro não corrigido no subtipo de via Estrada larga	75
Figura 71 - Avaliação do subtipo de via Estrada estreita	75
Figura 72 - Erro não corrigido no subtipo de via Estrada estreita	76
Figura 73 - “Falso erro” de <i>dangle</i> no subtipo de via Estrada estreita	76
Figura 74 - Avaliação do subtipo de via Caminho carreteiro.....	77
Figura 75 - Exemplos de erros não corrigidos no subtipo de via Caminho carreteiro	77
Figura 76 - Avaliação do subtipo de via Caminho a pé posto.....	78
Figura 77 - Avaliação do subtipo de via Acesso auto	79
Figura 78 - Erro de <i>dangle</i> não corrigido no subtipo de via Acesso auto.....	80
Figura 79 - Erro de <i>self-intersect</i> corrigido no subtipo de via Acesso auto	80
Figura 80 - Avaliação do subtipo de via Arruamento.....	81
Figura 81 - Exemplo de erro não corrigido no subtipo de via Arruamento.....	82
Figura 82 - Sequência de correções que originaram um erro de <i>dangle</i>	82
Figura 83 - Erro de <i>self-intersect</i> corrigido no subtipo de via Arruamento.....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Erros geométricos de entidades lineares para correção automática	8
Tabela 2 - Exemplos de algumas tolerâncias (m) admitidas para correções automáticas no CIGeoE..	9
Tabela 3 - Entidades geográficas lineares dos dados de base.....	37
Tabela 4 - Tempo de execução do processamento (segundos)	70
Tabela 5 - Resultados da validação da regra topológica “ <i>Must Not Have Dangles</i> ”	71
Tabela 6 - Resultados da validação da regra topológica “ <i>Must Not Self-Intersect</i> ”	71
Tabela 7 - Avaliação do subtipo de via Autoestrada.....	72
Tabela 8 - Avaliação do subtipo de via Estrada com separador	73
Tabela 9 - Avaliação do subtipo de via Estrada larga.....	74
Tabela 10 - Avaliação do subtipo de via Estrada estreita.....	75
Tabela 11 - Avaliação do subtipo de via Caminho carreteiro.....	76
Tabela 12 - Avaliação do subtipo de via Caminho a pé posto	78
Tabela 13 - Avaliação do subtipo de via Acesso auto	79
Tabela 14 - Avaliação do subtipo de via Arruamento	81

Índice de Anexos

Anexo A - Extrato das Normas de Aquisição da Carta 1:25 000	89
Anexo B - Resenha evolutiva do processo cartográfico (analógico) do CIGeoE	97
Anexo C - Processo de Validação em CAD.....	101
Anexo D - Processo de Validação em SIG	102
Anexo E - Esquema comparativo da Validação em CAD vs Validação em SIG	103
Anexo F - Processo de Validação em <i>PostgreSQL/PostGIS</i>	104
Anexo G - Esquema comparativo da Validação em CAD vs Validação em <i>PostgreSQL/PostGIS</i>	105

Em anexo ao documento é apresentado um CD que contém em formato digital:

- Pasta com ficheiros do tipo *Shapefile* dos dados de base originais;
- Pasta com código SQL das Funções de Validação desenvolvidas;
- Pasta com ficheiros do tipo *Shapefile* dos dados de base validados.

Lista de Acrónimos

CAD – *Computer Aided Design*

CIGeoE – Centro de Informação Geoespacial do Exército

DGN – *Design*

FC – *Feature class*

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

IGC - Instituto Geográfico e Cadastral

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

ISSD – *ImageStation Stereo Display*®

IT – Instrução de Trabalho

MDL – *Microstation Development Language*

MDT – Modelo Digital de Terreno

MGCP – *Multinational Geospatial Co-Production Program*

MS – *MicroStation*

SCE – Serviço Cartográfico do Exército

SERVIR – Sistema de Estações de GNSS de Referência Virtuais

SFotog – Secção de Fotogrametria

SGBD - Sistema de Gestão de Bases de Dados

SHP – *Shapefile*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SQL – *Structured Query Language*

STopoGeo – Secção de Topografia e Geodesia

UCMD – *User Commands*

VMAP1 – Vector Smart Map – Level 1

WNB – *Well-known binary*

WNT – *Well-known text*

3D – Três dimensões

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Uma carta é uma representação plana, generalizada e reduzida à escala, de uma zona da superfície terrestre, contendo símbolos e informação textual para a descrição dos objetos. As cartas podem-se dividir em dois grandes grupos: cartas geográficas e cartas temáticas. As cartas topográficas, um subdomínio das cartas geográficas, têm como objetivo a descrição geométrica rigorosa do local com todo o seu pormenor (Redweik, 2013).

A Carta Militar de Portugal, série M888, escala 1:25 000 doravante designada por Carta 1:25 000, é uma carta topográfica produzida pelo CIGeoE, através de um processo de produção que engloba um conjunto de etapas (Figura 1) complexas e rigorosas que permitem a obtenção de uma vasta gama de produtos cuja qualidade é reconhecida por todos os seus utilizadores (CIGeoE, 2015).



Figura 1 - Etapas do processo de produção da Carta 1:25 000

A excelência e a qualidade dos serviços e produtos cartográficos disponibilizados pelo CIGeoE requerem um constante e rigoroso controlo de qualidade. Sendo o último procedimento efetuado na etapa de aquisição dos dados, a validação é uma das mais importantes fases na cadeia de produção da informação cartográfica, pois é esta que garante a precisão e a coerência dos produtos do CIGeoE.

A validação efetuada no CIGeoE consiste num procedimento parcialmente automatizado, assente em programas e sub-rotinas que permitem o acesso à estrutura dos dados, possibilitando eliminar e modificar a geometria das entidades geográficas ou criar outras necessárias para que se verifique a correção adequada. Esta correção de erros perfeitamente tipificados é efetuada de forma automática, sem intervenção do operador, segundo um determinado parâmetro. As correções desses erros que ultrapassem os parâmetros estabelecidos são identificados e assinalados por este processo e cabe ao operador efetuar a avaliação e respetiva correção manual. Apesar de complexo, o processo representa um enorme contribuindo para a melhoria dos produtos cartográficos, fornecendo resultados mais

estruturados e sem erros geométricos. O processo de validação que está implementado é efetuado em função do processo de aquisição de dados em formato *design* (DGN) que se realizava até 2012 e com o objetivo de adequar os dados para o produto final, a Carta 1:25 000. Atualmente a informação é adquirida em Sistema de Informação Geográfica (SIG), cuja mudança exige a exportação para ficheiros em formato DGN e a transformação dos dados para 2D para que a informação geográfica possa cumprir o extenso, exigente e complexo processo de validação.

Embora se consiga resumir o processo de produção a três etapas apresentadas na Figura 1, na realidade, cada etapa decorre em várias fases. Na etapa de Aquisição de dados estão presentes as seguintes fases:

- Apoio fotogramétrico;
- Aerotriangulação;
- Restituição;
- Trabalhos de campo (completagem, toponímia, cadastro militar);
- Validação.

Na execução destas tarefas estão empenhados grandes recursos materiais e humanos, a tempo inteiro, podendo este ciclo, desde que se inicia a aquisição até à disponibilização do produto final, demorar entre 3 e 6 meses (dependendo da área geográfica de trabalho). A aquisição é a etapa que exige mais tempo, numa razão de aproximadamente de 3/5 de todo o processo. Conforme se pode observar na

Figura 2, é a fase restituição fotogramétrica que mais tempo consome durante a etapa da aquisição. No entanto, a fase de validação ainda apresenta um consumo de tempo significativo, equivalente aos trabalhos de completagem no campo. O tempo de execução da validação de uma folha pode representar 20 a 30 dias de trabalho/operador/folha, justificada pela complexidade do processo de validação implementado.

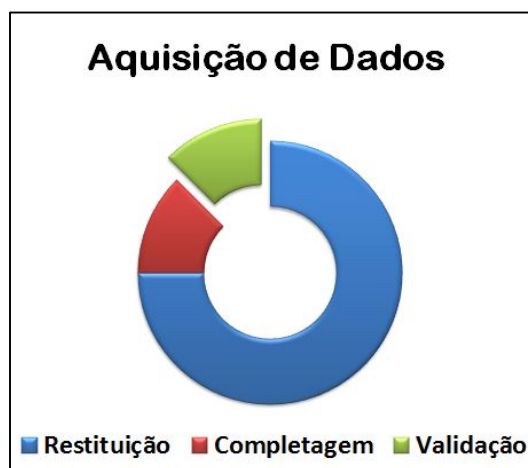


Figura 2 - Tempos relativos de execução durante a aquisição

Este processo que realiza uma validação em CAD, requer a constante intervenção do operador para a execução sequencial dos inúmeros procedimentos, recorrendo a uma diversidade de *software* que vai sendo utilizado no decorrer do processo. O resultado deste processo apenas garante a validação dos dados em 2D, negligenciando assim dados adquiridos em 3D potencialmente relevantes para inúmeras aplicações. São estas características do processo de validação que materializam o problema que se pretende melhorar neste projeto.

A implementação de qualquer melhoria a este processo vai traduzir-se diretamente numa redução de tempo de produção global e, conseqüentemente, na redução de intervenção humana e de utilização de recursos, que poderão ser libertados para outras tarefas minimizando assim o custo de produção. Se a melhoria for implementada ao nível da validação a 3D, traduz-se na obtenção da potencialidade da terceira dimensão, um ganho ao nível da qualidade do processo de validação – esta é a motivação para o desenvolvimento do presente tema.

1.2 Objetivo

Com este projeto pretende-se implementar um processo de validação digital da informação tridimensional através de um conjunto de operações de processamento e tratamento da informação vetorial diretamente da Base de Dados Geográfica (BDG) com *software* gratuito e de código aberto. Pretende-se detetar e corrigir os erros geométricos das entidades geográficas da Carta 1:25 000 e analisar a sua integridade espacial na BDG, garantindo que no final os dados validados garantem o rigor, qualidade, precisão e coerência desejados, inclusivamente na terceira dimensão.

Atendendo à dimensão da tarefa proposta limitou-se este projeto, apenas aos dados de base relativos às entidades do tipo linha pertencentes à Rede Viária da Carta 1:25 000, na expectativa de que os resultados aqui apresentados contribuam para o desenvolvimento de um sistema de validação global a 3D no CIGeoE.

A utilização de *software* livre, o automatismo, a eficiência e a redução do número de operações usadas para a validação cartográfica, em objetos 2D e 3D, são o foco principal deste estudo. O sucesso dos resultados gerados no âmbito deste projeto, servem como prova de conceito necessária para que o CIGeoE transite para métodos semelhantes no domínio da edição e validação da cartografia que produz, podendo aplica-los a outros temas de informação que não são investigados neste projeto por limitações de tempo para a sua realização.

1.3 Enquadramento Institucional

O CIGeoE é o órgão responsável pela cartografia do Exército com dependência hierárquica e funcional atribuída ao Comando da Logística. Criado a 1 de agosto de 2015, com base no Decreto Regulamentar nº 11/2015 de 31 de julho, o CIGeoE sucedeu ao Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), sendo o herdeiro natural do espólio e das tradições cartográficas militares portuguesas.

O CIGeoE está organizado numa estrutura hierárquica em diferentes centros, com funções específicas (Figura 3). Cada centro está estruturado em departamentos de acordo com os processos de produção cartográfica e apoio à mesma, bem como centros e departamentos responsáveis por assegurar as restantes atividades relacionadas com o funcionamento do CIGeoE, nomeadamente o apoio geral, a parte logística, a componente da informática e dos recursos humanos e financeiros.



Figura 3 - Organização do Centro de Informação Geoespacial do Exército

O Centro de Produção Cartográfica tem a missão de planear e executar todos os trabalhos destinados à obtenção e produção de cartas, plantas e outra documentação e informação geográfica necessárias ao Exército, aos outros ramos das Forças Armadas e, se necessário, a outras autoridades. É constituído por três Departamentos:

- Departamento de Aquisição de Dados;
- Departamento de Processamento de Dados;
- Departamento de Controlo e Saída de Dados.

No Departamento de Aquisição de Dados são executadas as atividades de restituição digital, que decorrem na Secção de Fotogrametria (SFotog) e as atividades de completagem de campo e validação de dados efetuadas pela Secção de Topografia e Geodesia (STopoGeo).

1.4 Contribuição deste projeto

Com este projeto implementou-se um processo de validação digital da informação tridimensional, adquirida por métodos fotogramétricos e armazenada na Base de Dados Geográfica (BDG), através de um conjunto de operações de processamento e de tratamento da informação vetorial. Esta validação é feita diretamente na BDG de modo a detetar e corrigir os erros de estrutura e de geometria de cada objeto, e a analisar a integridade espacial desses mesmos objetos. Para o efeito deste estudo, será tratado apenas o tema “Rede Viária”. A metodologia desenvolvida visa a automatização do processo de deteção de candidatos a erro assim como a sua correção, dentro das tolerâncias definidas. Elementos não corrigidos automaticamente, serão sempre corrigidos pelo operador. Este processo de validação resulta numa sequência de procedimentos semiautomáticos, realizados diretamente sobre a BDG, utilizando ferramentas de validação disponíveis em *software* gratuito e de código aberto e de outras que foram desenvolvidas especificamente para atingir os objetivos propostos neste projeto.

1.5 Organização do Documento

O presente documento está organizado em 4 capítulos. No primeiro capítulo fez-se um enquadramento do problema e apresentaram-se os objetivos do projeto no âmbito do trabalho que é realizado pelo CIGeoE. No segundo capítulo são abordados conceitos necessários para a compreensão do processo de validação e a sua integração na cadeia de produção da Carta 1:25 000. É de seguida descrita a evolução dos processos cartográficos ao longo do tempo no CIGeoE que dão origem ao processo de validação. Depois são apresentados dois processos de validação distintos implementados no CIGeoE e realizada, no final do capítulo, uma análise comparativa entre eles.

O terceiro capítulo descreve pormenorizadamente o trabalho realizado, começando pela apresentação dos dados de base e do *software* utilizado no projeto. São descritos alguns processos para manuseamento de informação espacial com o *software* utilizado e descrita a metodologia seguida para a resolução do problema. Segue-se ainda uma descrição pormenorizada da implementação da metodologia, materializada nas diferentes validações desenvolvidas. Este capítulo termina com a avaliação dos resultados obtidos através de uma validação topológica utilizada no processo de validação em SIG implementado no CIGeoE.

No quarto capítulo apresentam-se as principais conclusões e algumas perspetivas futuras.

CAPÍTULO II - A VALIDAÇÃO NO CIGEOE

2.1 O Processo de Validação na cadeia de produção do CIGeoE

O processo de validação que está implementado no CIGeoE tem como objetivo garantir a qualidade da informação vetorial. Esta qualidade é conseguida através duma metodologia de validação digital baseada num modelo conceptual sustentado, com a aplicação de inovações tecnológicas, sempre numa lógica de otimização dos recursos disponíveis. Este processo, de elevada importância e dimensão, é o responsável pela qualidade de toda a informação georreferenciada disponibilizada por esta Instituição.

O processo de validação digital está implementado através de uma sequência complexa de passos que permitem o manuseamento da informação existente na Base de Dados Geográfica (BDG) destinada à construção da Carta 1:25 000. Inserido na cadeia de produção, constitui por si só uma fase desta cadeia de produção (Figura 4), sendo a última manipulação a que os dados estão sujeitos antes de serem inseridos na BDG.

A atual cadeia de produção da escala base 1:25 000 do CIGeoE inclui as fases sequenciais apresentadas na Figura 4.



Figura 4 - A Cadeia de Produção do CIGeoE

2.1.1 Restituição digital

A cadeia de produção do CIGeoE, até 2012, assentava essencialmente em ambiente CAD, desde a aquisição de dados na SFotog ao controlo de qualidade efetuado ao produto final. A partir de 2012, a aquisição de dados passou a ser efetuada em ambiente SIG, mantendo-se as restantes fases da cadeia de produção a ser executada em ambiente CAD.

A aquisição de dados por restituição fotogramétrica era, até então, efetuada em CAD através do *software ImageStation Stereo Display (ISSD)* da *Intergraph* na versão ISSD 5.0 que funcionava em ambiente *MicroStation (MS) V8*. Estes dados eram armazenados em ficheiros no formato DGN, formato suportado pela plataforma MS, que integravam a informação vetorial em 3D da Carta 1:25 000 do CIGeoE.

Com o surgimento das BDG e das vantagens que daí advêm na utilização dos dados, o então IGeoE a partir de 2012 iniciou o processo de aquisição de dados com ferramentas SIG (inicialmente passou por uma fase de testes desde 2009), com recurso ao *software* da *Summit*

Evolution Versão 7.0 da DAT/EM *Systems International*, em paralelo com o anterior processo em CAD. As vantagens da aquisição de dados em ambiente SIG foram essenciais para efetuar a alteração do processo de aquisição, sendo atualmente exclusivo o recurso a ferramentas SIG no processo de aquisição e completagem. Os processos aqui apresentados serão alvo de descrição pormenorizada nos parágrafos 2.3 e 2.4 deste capítulo.

2.1.2 Completagem de campo

A completagem de campo consiste numa operação complementar à restituição fotogramétrica efetuada pela STopoGeo após a restituição fotogramétrica da SFotog. Nesta fase da cadeia de produção é efetuada a aquisição de informação posicional e temática não perceptível nas fotografias aéreas, a verificação de pormenores restituídos, atualização da toponímia e elaboração do cadastro militar (CIGeoE, 2015).

2.1.3 Validação digital

A validação digital pode ser definida como o conjunto de operações de processamento e tratamento da informação vetorial, com a finalidade de corrigir os erros de estrutura, geométricos e de integridade espacial, entre todas as entidades da informação vetorial (Domingos, 2005). É executada na STopoGeo após os trabalhos de completagem no campo.

2.1.4 Erros dos dados

A necessidade de validação dos dados, independentemente do processo de aquisição dos dados (CAD ou SIG), prende-se pelo facto destes não cumprirem determinadas condições definidas como essenciais para garantir o seu rigor e qualidade. O facto dos dados não se encontrarem em conformidade com o Catálogo de Objetos, cujas especificações se encontram nas Normas de Aquisição de dados, geram um conjunto de erros que materializam a diferença entre o que se pretende adquirir e a informação digital que realmente é adquirida. A proveniência destes erros deve-se a fatores materiais como a resolução de rasterização dos diapositivos (14 μ m) ou o fator de *zoom* do monitor e/ou a fatores humanos como a acuidade estereoscópica dos operadores de fotogrametria (Domingos, 2005).

- **Erros de estrutura**

Erros típicos dos dados em formato CAD verificados quando os atributos gráficos das entidades geográficas divergem dos definidos nas normas de aquisição de dados. No Anexo A - Extrato das Normas de Aquisição da Carta 1:25 000 podem ser verificados os atributos gráficos e outras especificações de cada entidade pertencente ao tema Rede Viária.

- Erros de geometria

Os erros de geometria surgem aquando da aquisição dos dados por parte do operador. Estes erros normalmente estão associados ao início e fim da sua aquisição, mas também podem surgir durante o seu traçado. A Tabela 1 apresenta os erros geométricos mais comuns que ocorrem durante a aquisição de dados e que é necessário corrigir no processo de validação.

Tabela 1 - Erros geométricos de entidades lineares para correção automática

Nº Erro	Erro	Descrição do erro	Exemplo
1	<i>Dangle</i>	O end/start node de uma linestring não é o mesmo do start/end node da linestring seguinte.	
2	<i>Node mismatch</i>	A existência de vários start/end nodes não coincidentes (exemplo de um cruzamento).	
3	<i>Undershoot</i>	Uma linestring que termina/inicia antes de outra a que se deveria unir. O end/start node dessa linestring não é coincidente com a linestring à qual deveria ligar (exemplo de entroncamento).	
4	<i>Overshoot</i>	Uma linestring que cruza e ultrapassa outra a que se deveria unir. O start/end node dessa linestring não é coincidente com a linestring à qual deveria ligar (exemplo de entroncamento).	
5	Vértices duplicados	Vértices consecutivos de uma linestring exatamente com as mesmas coordenadas X,Y, Z.	
6	<i>Kick Back</i>	Vértices não consecutivos de uma linestring com as mesmas coordenadas X,Y,Z. Este erro resulta da inversão e posterior retoma do sentido de aquisição da linestring.	
7	<i>Loop</i>	Autointersecção da linestring. O “laço” criado é normalmente de dimensões muito reduzidas, indetetável a olho nu.	
8	<i>Spikes/Kinks</i>	Súbita variação numa sequência da localização de pontos que formam uma linestring. Similar ao <i>Kick Backs</i> , mas sem vértices com coordenadas coincidentes.	
9	Dimensão mínima	<i>Linestrings</i> cujo comprimento é inferior a determinada tolerância.	
10	Geometria nula	Registo na tabela sem o atributo geometria.	
11	Partes nulas	Semelhante à geometria nula. Uma das partes de uma geometria múltipla está vazia (nula).	

A correção automática dos erros de geometria depende da tolerância admissível que está estabelecida para as diferentes entidades geográficas da Carta 1:25 000 do CIGeoE. A adoção destas distâncias como tolerâncias a aplicar recai na experiência adquirida, fruto da tipologia dos erros e do mecanismo de correção dos mesmos. Da Tabela 2, onde estão apresentados alguns exemplos dessas tolerâncias, provém a tolerância admissível aplicada neste projeto. Estando os dados de base restringidos ao tema Rede Viária, é aplicada a distância de 3 metros na correção automática dos vários tipos de erro geométricos.

Tabela 2 - Exemplos de algumas tolerâncias (m) admitidas para correções automáticas no CIGeoE

Tema	<i>Extend line (undershoot)</i>	<i>Partial delete (overshoot)</i>	<i>Modify line (node mismatch)</i>
Rede viária	3	3	3
Hidrografia	4	4	4
Limites de vegetação	5	5	5
Altimetria	3	3	3

- **Erros de integridade espacial**

Estes erros consistem na existência de uma inconsistência lógica na disposição espacial das entidades geográficas. A Validação da Integridade Espacial recorre à topologia no seu processo.

2.1.5 Topologia

A topologia é o método matemático usado para descrever as relações espaciais entre entidades geográficas. A topologia identifica as entidades por elementos topológicos (Nó, Arco, Área) e reconhece a conectividade entre as entidades através de relações topológicas. A análise espacial de geometrias 3D verifica relações topológicas de adjacência, conectividade ou contiguidade recorrendo às seguintes operações topológicas 3D: *Equal*, *Meet*, *Covers*, *CoverBy*, *Contains*, *Inside*, *Disjoint* e *Overlaps* (Chen, Rahman, & Zlatanova, 2008).

A forma mais adequada para efetuar uma análise espacial complexa assenta em modelos topológicos, construídos com os elementos topológicos das entidades geográficas. (Zlatanova & Rahman, 2002). Existem diversos modelos topológicos que são utilizados em entidades geográficas 2D e 2,5D¹ no entanto, quando se passa para a próxima terceira dimensão), são muitas as dificuldades encontradas para estabelecer a topologia dos objetos. A utilização de

¹ Duas dimensões e meia (2,5D), também designada por pseudo-3D. Utilizado para descrever entidades que aparentam ser tridimensionais mas não o são completamente ou seja, não foram constituídos por entidades verdadeiramente tridimensionais. Normalmente são entidades 2D com z atribuído.

geometrias 3D é cada vez mais utilizada em diversas áreas mas, maioritariamente, é utilizada sem recurso a estruturas topológicas ou informação semântica pela complexidade de implementação (Ghawana & Zlatanova, 2012).

Os níveis de topologia variam quanto à sua complexidade, sendo o nível 1 é a estrutura mais simples de dados onde não existem nós nem áreas, o nível 2 onde as entidades geográficas são descritas por nós e arcos e o nível 3 que inclui nós, arcos e áreas, designada por *Full topology* (topologia completa). A topologia *on-the-fly* (atualizada em tempo real) acrescenta a orientação dos arcos e as fronteiras à estrutura dos dados. O CIGeoE utiliza, na sua validação de integridade espacial, topologia de nível 3 + (*on-the-fly*). Desta forma é possível determinar qual o lado direito e esquerdo de cada arco e a diferença entre a fronteira interior e exterior de cada entidade (Domingos, 2005).

2.2 Evolução da Validação no CIGeoE

A Carta 1:25 000 constitui-se como a carta base nacional pelo facto de ser a maior escala que cobre de forma sistemática, coerente e homogénea todo o território nacional.

O CIGeoE, herdeiro das tradições de cartografar o mundo português deixadas pelos seus antecessores, continua a dedicar o seu esforço de produção à Carta 1:25 000. A atividade do CIGeoE, que não se esgota na produção da Carta Militar 1:25 000, vai mesmo muito para além desse esforço. A produção da série M783, 1:50 000, assim como a execução de novas edições da série M586, 1:250 000, e da Carta Itinerária de Portugal, 1:500 000 a par dos projetos internacionais como o *Multinational Geospatial Co-Production Program* (MGCP) e o *Vector Smart Map – Level 1* (VMAP1), ou nacionais, nomeadamente, o SIDCarta, a cartAFRICA, os Sistemas de Visualização de Informação Geográfica CIGeoE-SIG e SIGOpMil, este orientado para Operações Militares e o Sistema de Estações de GNSS de Referência Virtuais (SERVIR), constituem alguns exemplos que demonstram bem a dinâmica desta instituição, onde a inovação está sempre presente (Gomes, 2011).

As tradições militares na Cartografia Portuguesa remonta a 1802, aquando da criação pela Rainha D. Maria I do Real Arquivo Militar. Desde então e até à atualidade, a inovação marcou transversalmente as técnicas cartográficas desenvolvidas por todas as entidades que deram origem ao atual CIGeoE. O resultado da evolução ao longo do tempo, desde as sucessivas reorganizações da estrutura orgânica da própria instituição à introdução de novos processos na cadeia de produção, estão presentes no atual processo cartográfico do CIGeoE. No Anexo A, Resenha evolutiva do processo cartográfico (analógico) do CIGeoE, é apresentada a evolução de todo o este processo desde o seu início até à introdução da automatização dos processos fotogramétricos na cadeia de produção.

O início da aplicação da Informática à Cartografia surgiu com a introdução no processo de trabalho das modernas técnicas de automatização que surgiam e que conduziram ao desenho automático. Essa automatização reconfigurava o processo fotogramétrico. Os dados passavam a ser extraídos das fotografias aéreas na forma de modelos e eram armazenados em fitas magnéticas que permitiam a constituição de uma “base de dados”. Foi em 1969 que o então Serviço Cartográfico do Exército (SCE) apresentou resultados francamente positivos nas primeiras tentativas em Portugal, da aplicação da Informática à Cartografia. A experiência que consistira na representação gráfica de um modelo fotogramétrico, previamente digitalizado, colocado num restituidor fotogramétrico *Wild A7* que, ligado a um registador de coordenadas EK5, permitia gravar as coordenadas x, y e z em banda magnética. No entanto, só em 1973,

com a aquisição de material eletrónico mais aperfeiçoado, foram retomadas a análise e o estudo do desenho automático que permitiriam, em 1974, iniciar os processos cartográficos apoiados por computador, recorrendo ao restituidor fotogramétrico *Wild A8* ligado a um registador de coordenadas EK8. Desde logo eram identificadas vantagens da automatização em relação aos processos convencionais, com economia de 46% por unidade, 58% em homens/hora e 75 a 80% em tempo de produção. O desenho automático também permitia minimizar o tempo que decorria entre o voo e a edição da carta, tornando a cartografia mais válida e eficiente pelo facto de ser mais atual (Geraldés & Bouça, 1974).

Com a entrega em 19 de setembro de 1977 do equipamento do Sistema de Cartografia Automática da firma Norueguesa *Kongsberg Vapenfabrikk*², o SCE inaugurou em finais de 1977 o primeiro sistema de cartografia assistida por computador no Exército e no País, o terceiro na Europa. Foi o primeiro sistema completo com intervenção direta do computador desde a fase de aquisição de dados, ao tratamento e correção, terminando na representação gráfica.

Foi com o Sistema de Cartografia Automática que surgiu, pela primeira vez, o conceito de “validar os dados”, embora ainda completamente orientado para a correção manual de erros. Nos métodos clássicos já existia a correção ao desenho, feita constantemente pelo desenhador e posteriormente numa fase de controlo de qualidade. Com este sistema, a informação era adquirida em formato digital, a deteção dos erros era efetuada visualmente pelo operador e corrigidos manualmente mas com alteração automática da informação digital.

Com o conseqüente tempo de montagem do equipamento, formação pela firma fornecedora do sistema e experiências de trabalho conjunto, em janeiro de 1978 tiveram início os trabalhos da Carta 1:25 000 com este equipamento e um ano depois, foi publicada a primeira folha obtida por via automática (435 - Vendas Novas). O processo de cartografia automática permitia efetuar a construção do desenho digital, assumindo o produto final o aspeto duma carta numérica registada em banda magnética e a sua transformação em desenho “gráfico”. Essa transformação, efetuada através de processos unicamente eletrónicos e mecânicos com um mínimo de intervenção humana, incluía tarefas de transformação de coordenadas

² O sistema integra 3 subsistemas:

- Aquisição de dados: Digitalização a 3 dimensões da informação significativa do modelo fotogramétrico através de um microprocessador PDS-M8.
- Processamento e correção de dados: Sistema gráfico interativo com um *software* que lhe permitia seleccionar, eliminar, mover, copiar, ampliar (zoom), intersectar, juntar, digitalizar, entre outras várias funções, o operador introduzia as correções através de periféricos de input, visualizando o resultado num monitor de fósforo.
- Desenho automático: Mesa de desenho DM 1216 da KV que veio reduzir drasticamente o tempo de desenho (SCE, 1977)

(originalmente coordenadas aparelho) e a ligação dos vários modelos que constituíam a folha, convertendo a carta numérica em elementos de reprodução que permitiriam uma posterior impressão gráfica. Depois de adquiridos, os dados passavam por uma fase intermédia de completamento e correção em que a intervenção do operador era determinante, sobrepondo-se claramente à participação da máquina que aqui ia apenas, a par e passo, executava as ordens recebidas do operador. Essa era uma fase mais demorada, pois a introdução das correções eram feitas uma a uma e suscetíveis a erros do operador, quer na deteção manual dos erros a corrigir, quer na correção efetuada.

Estando identificadas estas lacunas, O SCE direcionou toda a iniciativa de otimização do sistema para essa fase, tentando automatizar o maior número possível de correções. Para tal, fazia parte da Secção de Cartografia Automática uma Equipa de Análise e Pesquisa com a missão de preparar um conjunto de programas que permitissem, pouco ao pouco, retirar o controlo direto do operador dos diversos tipos de emendas. Esta equipa, consciente de que seria impossível automatizar todo o processo, pois havia correções que dependiam do critério do operador e não de uma lei passível de ser programada, assegurava que poderia ser automatizada a médio prazo uma grande parte das emendas, ganhando-se assim tempo e anulando a probabilidade de surgirem falhas traduzidas em erros que ficassem por corrigir. Este conceito, mesmo após 35 anos de evolução dos sistemas de cartografia automática, ainda vigora na atualidade e norteia este projeto. A Equipa de Análise e Pesquisa considerava que a automatização dessas emendas seria viável através de programação em FORTRAN ou ASSEMBLER e utilizando uma série de sub-rotinas próprias do sistema que permitiriam aceder ao ficheiro de dados e eliminar, modificar ou acrescentar os elementos necessários para que se executasse a correção desejada (Albuquerque, Fernandes, & Marnoto, 1979). Estas rotinas, designadas por *User Commands* (UCMD), passariam a fazer parte da biblioteca de programas, podendo ser executadas sempre que necessárias para efetuar automaticamente as tarefas anteriormente realizadas pelo operador. Os UCMD integrariam a subfase de Completamento e Correção da fase de Tratamento de Dados (Figura 5).

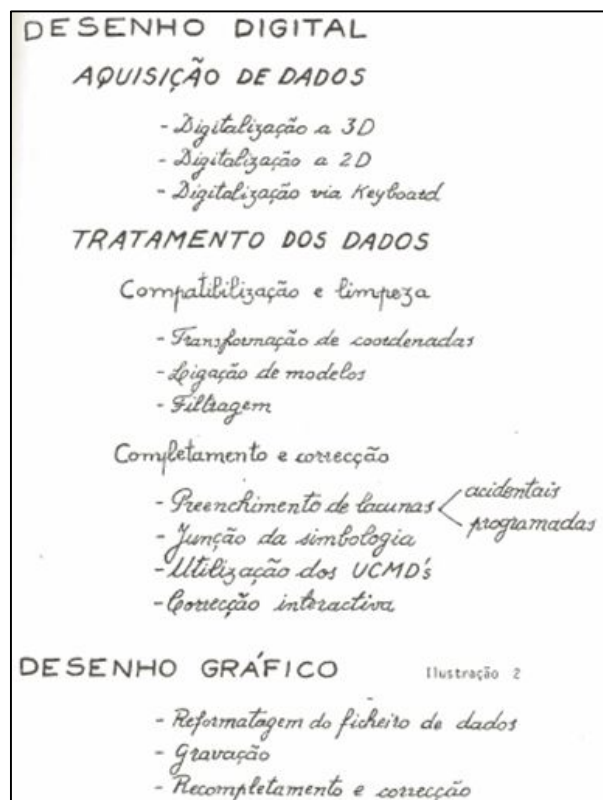


Figura 5 - Fases da construção do "Desenho Digital"

As correções efetuadas automaticamente por estes UCMD iniciais eram muito simples mas eficazes e podem ser visualizadas na Figura 6. Nesta Figura, composta por duas imagens, podemos verificar o resultado da correção automática implementada. Na imagem da esquerda, já com a simbologia atribuída, serão aplicadas duas correções automáticas. Uma correção executa o "quadrar" as paredes³ das casas e preenche o seu interior. A outra correção efetua a correção da estrada, que por ser de largura superior a 5,5 m, é representada por duas linhas paralelas. Essas duas correções são visíveis na imagem da direita que, apresenta também, através de um círculo, a localização dos erros que serão alvo de correção interativa, em que o operador interage com o sistema para proceder às respetivas correções.

³ Aplicou ângulos retos às paredes adjacentes das casas, sob determinado parâmetro.

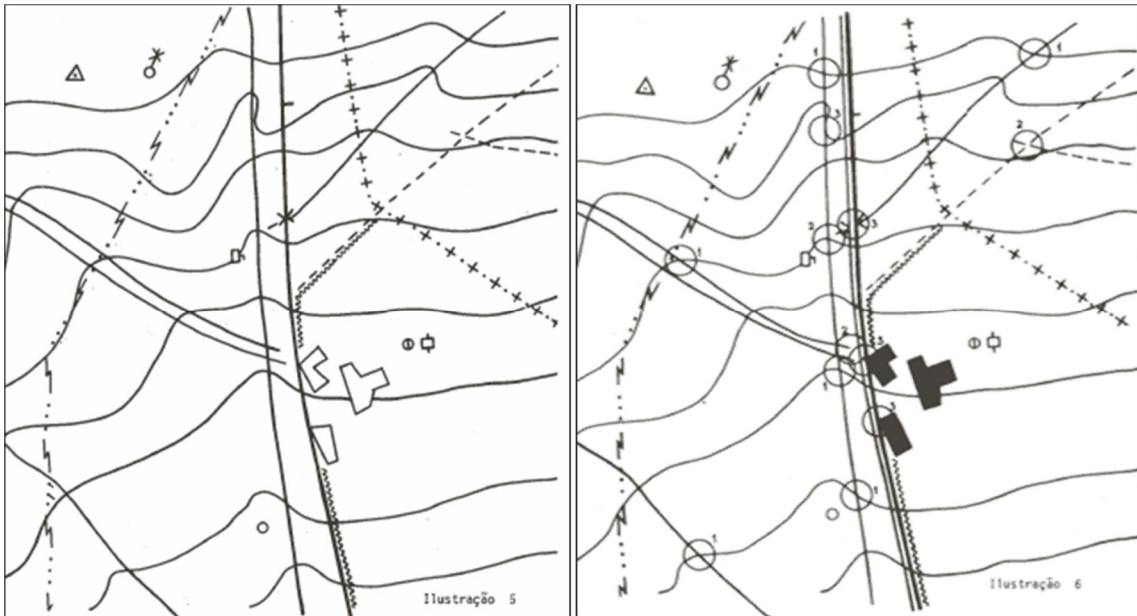


Figura 6 - Correções automáticas executadas por duas UCMD

O sistema de cartografia automática foi sofrendo aperfeiçoamentos, integrando progressivamente toda a cadeia de produção. A rápida evolução das tecnologias e principalmente as dificuldades de manutenção do Sistema *Kongsberg*, levam o SCE, no âmbito do reequipamento das Forças Armadas e conseqüentemente do seu próprio reequipamento, à instalação de uma nova configuração – O Sistema INTERGRAPH 200 -.

Instalado no dia 27 de março de 1986, o novo sistema de cartografia automática iniciava a era *Virtual Address Extension/Virtual Memory System (VAX/VMS)*⁴.

Este sistema permitia, entre outros, a (Malha, 1986):

- obtenção de bases de dados geográficos a partir das mais variadas origens;
- apresentação gráfica da cartografia pré-digitalizada em sobreposição com os modelos fotogramétricos;
- generalização a partir de bases de dados existentes;
- cartografia temática;
- criação de Modelos Digitais de Terreno (MDT).

⁴ À semelhança do anterior Sistema *Kongsberg*, era também constituído por três subsistemas:

- Subsistema de aquisição de dados: A aquisição de dados continuava a ser feita nos estereorestituidores analógicos, só que desta vez ligados às *Intergraph Mapping System (InterMaps)*.
- Subsistema de processamento de dados: Constituído por estações gráficas interativas, mas estas mais “inteligentes” e dotadas de dois ecrãs tipo raster (um deles a cores) que permitia o tratamento em bloco ou por via interativa da informação digitalizada.
- Subsistema de desenho: Continuou a ser o mesmo existente, baseado na mesa de desenho automático *Kongsberg*, que apresentava ainda as melhores características do mercado.

Muito mais potente e flexível, de superior *performance* e fiabilidade, este novo sistema permitia utilizar novas fontes de informação, como os registos de imagens de satélite e *input* de dados em novas estruturas como por exemplo o formato *raster*. Vinha assim apresentar extraordinárias vantagens quer na qualidade quer em rendimento de produção, relativamente ao anterior sistema (SCE, 1988).

Novos sistemas implicam novos procedimentos e o aparecimento de novas ferramentas, como as *multi-lines*, vinha alterar o modo de aquisição da informação, nomeadamente da rede viária. O uso dessa ferramenta implicava, que no momento da aquisição se fizesse também em simultâneo a edição, afastando os pormenores que se encontrassem dentro das *multi-lines* para fora destas. Esta mínima alteração posicional dos pormenores era insignificante pois o único objetivo da aquisição da informação era, nesta altura, unicamente a produção da Carta 1:25 000 em papel.

A “validação” dos dados é nesta altura materializada em tarefas de edição e revisão. Na edição, efetuada simultaneamente com a aquisição, são implementadas espontaneamente correções de erros topológicos como por exemplo “está contido”, “toca”. A sua deteção continuava a ser efetuada manualmente pelo operador, tal como o importante trabalho de revisão, que era baseado na observação comparativa entre a informação impressa e o processo digital proveniente das Secções de Topografia e de Fotogrametria e ainda a consulta dos documentos oficiais existentes (nomeadamente os respeitantes à rede viária e toponímia). Desta forma eram detetadas discrepâncias e erros para posterior correção (Dias & Rossa, 2007).

A 30 de junho de 1993 foi extinto o Serviço Cartográfico do Exército, herdeiro e percussor das ilustres tradições da Cartografia Militar que durante dezenas de anos ocupou posição de destaque no universo cartográfico nacional, referência ímpar pelo rigor técnico e científico e pelo pioneirismo dos seus métodos e tecnologias. Foi sucedido pelo IGeoE que dele recebeu a tradição, a prática, as responsabilidades e o património (despacho 72/MDN/93 de 30 de junho de 1993) (SCE, 1993).

Nesse ano aparecem as estações gráficas InterPro, com o sistema operativo UNIX e que dispunham do *software* de aquisição de dados MS da *Bentley System, Incorporated*. Este *software*, que foi evoluindo de versão em versão, foi o *software* utilizado na aquisição de dados por estéreo-restituição quase até à atualidade.

Em 1995, chegavam as primeiras estações digitais, as *ImageStation* da *Intergraph*. Este tipo de estéreo-restituidor permitia a sobreposição da informação vetorial à imagem. Os diapositivos

foram assim dispensados na restituição e passou a trabalhar-se com a imagem rasterizada do mesmo. Coexistindo pacificamente os dois tipos de estações na fotogrametria, pouco a pouco as estações digitais começaram a tomar o lugar dos velhos restituidores analógicos tendo-se abandonado por completo os aparelhos analógicos e analíticos, entrando por completo numa linha de produção digital (Fernandes, 2002).

Com o aparecimento dos SIG por esta altura, constatava-se que a informação geográfica recolhida pelo IGeoE para o Cadastro Militar e utilizada para a produção da Carta 1:25 000 constituiria uma mais-valia estando associada às cartas convencionais em formato digital, não só para apoio às operações militares, como para as atividades civis.

Em 2005, o IGeoE iniciou a participação num novo projeto de âmbito mundial, o MGCP⁵, desenvolvido no quadro das agências nacionais de defesa produtoras de informação geográfica. Este projeto possui normas de aquisição específicas e um sistema de validação dos dados adquiridos, estabelecido pelo próprio projeto, através de ferramentas características de um SIG com parametrização normalizada.

Ciente das capacidades das BDG e das vantagens presentes na exploração da informação geográfica, O IGeoE iniciou em 2009 os procedimentos para implementar o processo de aquisição de dados em SIG. Em função da alteração do processo de aquisição, está em desenvolvimento um processo de validação com ferramentas existentes no próprio SIG. Trata-se de um processo que visa garantir a integridade dos dados imediatamente após a restituição fotogramétrica e considerado um passo essencial para a evolução do processo de produção cartográfica tendo em vista a simplificação e o aperfeiçoamento de todo o processo.

Em 1 de agosto de 2015, com base no Decreto Regulamentar nº 11/2015 de 31 de julho, o Centro de Informação Geoespacial do Exército sucedeu ao IGeoE, sendo o herdeiro natural do espólio e das tradições cartográficas militares portuguesas tendo como referência da sua conduta a inovação, a excelência e a qualidade dos serviços e produtos cartográficos.

Este conteúdo resulta de uma pesquisa nos arquivos da biblioteca do CIGeoE, onde através dos boletins que esta instituição foi publicando desde a sua formação, foi possível encontrar datas de acontecimentos e artigos técnicos que permitiram elaborar esta resenha.

⁵ *Multinational Geospatial Co-Production Program* é um projeto desenvolvido no quadro das agências nacionais de defesa que visa a produção de informação geográfica, numa plataforma SIG, com exatidão posicional, pormenor e rigor geométrico que assegure uma resolução espacial compatível com as escalas 1:50 000 e 1:100 000, conforme o interesse geoestratégico de cada área de trabalho (Gomes, 2011).

2.3 Processo de validação em CAD

O processo de validação, no CIGeoE, decorre após o processo de aquisição de dados. Este processo é efetuado no formato DGN com o objetivo de conformar os dados para o produto final, a cartografia militar. É um processo de validação semiautomático executado pela STopoGeo. Existe uma componente automática de verificação e deteção de todas as inconformidades, sob a forma dos erros, que existem nos dados. Mas esta componente automática vai mais além do que apenas assinalar os erros. Estes são corrigidos também de forma automática de acordo com parâmetros pré-definidos. Os erros que excedem tais parâmetros são identificados automaticamente e têm uma interpretação e respetiva correção manual por parte do operador de validação.

O objetivo deste processo de validação é efetuar o tratamento dos dados para uma representação do terreno em duas dimensões (2D), sendo todos os procedimentos de validação dos dados são efetuados em 2D. O processo de validação assenta numa metodologia, num modelo conceptual (regras de validação) e tolerâncias admissíveis para correções automáticas. Aqui é efetuada, de forma sequencial, a validação de estrutura, de geometria e de integridade espacial da informação vetorial.

2.3.1 Dados de base

Os dados de base do processo de validação são as BDG de cada folha adquiridos em ambiente SIG, processo de aquisição de dados atual. No entanto, para continuar o processo de validação que se encontra ainda implementado, os dados vetoriais adquiridos em SIG e em 3D são convertidos para 2D e para o formato CAD.

No Catálogo de Objetos da Carta 1:25 000 estão definidas todas as entidades geográficas, o seu tipo de geometria (ponto, linha ou polígono) e os seus atributos respetivos. Os atributos, características gráficas típicas do formato DGN, são conjuntos de algarismos que definem o *level*, *color*, *style* e *weight* de cada entidade. Existe ainda o atributo *type*, que define o tipo de geometria e que pode variar entre 3 (*line*), 4 (*linestring*) ou 12 (*complex string*) para entidades lineares, 6 (*shapes*) e 14 (*complex shapes*) no caso de entidades do tipo área e por último, 17 (*text*) e 2 (*cell*), para o caso de entidades pontuais (Domingos, 2005).

São estas características que, através da sua combinação, se constituem como elementos identificadores das entidades geográficas, possibilitando a distinção entre as várias entidades e garantindo que apenas uma única entidade seja identificada por essa combinação. Este fator permite a separação da informação contida por entidades geográficas ou por temas para

posterior tratamento de modo diferenciado conforme as especificidades inerentes do objeto ou tema a que pertencem.

2.3.2 Software e meios utilizados

Este processo de validação emprega diversas aplicações *Batch*⁶ e *MicroStation Development Language* (MDL) desenvolvidas pelo CIGeoE ao longo do tempo para efetuar os processamentos necessários. Estas aplicações recorrem ao seguinte *software* para a sua execução:

- MicroStation SE ou 95;
- EDG (Edit Graphics);
- MRFClean (Versão 8.0);
- Geographics;
- DYNAMO (Versão 3.1.0.0).

2.3.3 Metodologia

Este processo está concebido para cumprir de forma sequencial um conjunto de procedimentos, uns automáticos outros manuais, que decorrem em três fases distintas. Conforme apresentado na Figura 7, inicialmente são verificados os dados de entrada na Validação de Estrutura, de seguida decorre a Validação Geométrica e por fim é verificada a Integridade Espacial dos dados.

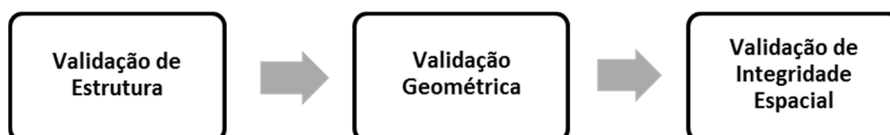


Figura 7 - Metodologia do processo de validação em CAD

Para auxílio e rigor do procedimento, o operador segue meticulosamente uma Instrução de Trabalho (IT) onde estão definidas, detalhadamente, as tarefas a executar. A IT de validação da informação vetorial é um documento interno que descreve cada um dos passos a seguir pelo operador que efetua a validação por forma a minimizar os possíveis erros humanos por ele cometidos. Durante todo o processo, o operador tem presente as Normas Técnicas de Aquisição de dados para a série M888 Escala 1:25 000 do CIGeoE, onde estão categorizados todos os objetos do catálogo e os seus critérios de aquisição. Geralmente, em cada passo da IT, é executado um ficheiro *Batch* que de forma automática verifica, corrige e identifica erros não corrigidos. De seguida o operador procederá à sua correção manual.

⁶ Ficheiro de texto (ascii) com comandos DOS utilizado para automatizar tarefas.

Antes de dar início ao processo de validação, os dados são convertidos do formato em que foram adquiridos (SIG) para formato DGN. Depois o operador executa todos os procedimentos com recurso a diversas aplicações comerciais e outras desenvolvidas especificamente por equipas especializadas como ficheiros *Batch* e MDL, desenvolvidas “a pedido” conforme a necessidade ao longo do tempo pelo CIGeoE. O processo de validação geral é um trabalho muito moroso pela sua dimensão e complexidade, exigindo um cumprimento sequencial das tarefas que recorrem a 48 ficheiros *Batch* e executam mais de 120 MDL.

Nos parágrafos seguintes são descritos todos os procedimentos executados em cada fase deste processo, focalizado apenas no tema Vias de Comunicação por englobar a Rede Viária, encontrando-se no Anexo C - Processo de Validação em CAD (Pormenor das Vias de Comunicação) esquematizado o *workflow* de todo este processo, onde aparece detalhado o processo de validação do tema Vias de Comunicação.

2.3.4 Validação de Estrutura

Nesta fase é realizada a primeira análise aos dados onde é preparado o ficheiro para a validação geométrica. É verificado se as entidades geográficas possuem os atributos gráficos corretos de acordo com o Catálogo de Objetos do CIGeoE⁷. Todas as entidades geográficas, que são identificadas pela combinação dos seus atributos *level*, *color*, *style* e *weight*, são comparadas com uma tabela de elementos do Catálogo de Objetos. Estas verificações são executadas através da sequência de ficheiros *batch* apresentadas na Figura 8.

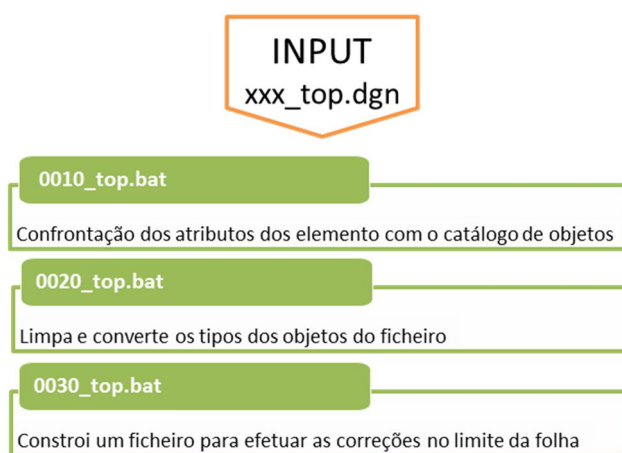


Figura 8 - Ficheiros *Batch* utilizados para validação de estrutura

⁷ As Normas de Aquisição (Anexo A) estabelecem os atributos das entidades deste catálogo de objetos.

2.3.5 Validação Geométrica

A validação geométrica visa detetar e corrigir diversos erros de geometria, como os duplicados, *overshoots*, *undershoots*, *node mismatch* entre outros, já descritos no ponto 2.1.4. Nesta fase são tidas em consideração as especificidades de cada objeto e do tema a que pertence, existindo um tratamento diferenciado conforme as suas particularidades. O tratamento genérico, ou seja, à totalidade dos dados, levaria incorretamente, à identificação automática de erros geométricos que na realidade não o seriam.

Para tal, a informação do ficheiro original é separada em diversos temas para permitir que sejam validados *per si* numa primeira fase. A separação cria subconjuntos de dados, organizados por afinidade do tipo de tratamento, dando origem às Vias (de comunicação), Hidrografia, Altimetria, Vegetação e Restante informação, conforme se apresenta na Figura 9. O tema Vias de Comunicação integra as vias de comunicação rodoviárias (Rede Viária) e as ferroviárias. Cada tema é validado individualmente, garantindo o cumprimento de regras e de parâmetros específicos.

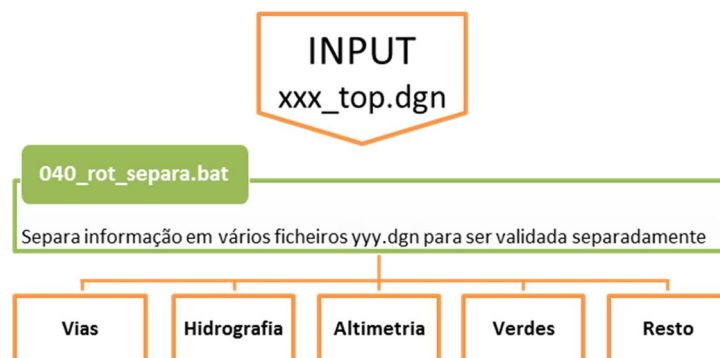


Figura 9 - Separação do ficheiro CAD por temas
(Fragmento do Anexo C)

Pelo facto de ter sido escolhido para o projeto em estudo a validação do tema Rede Viária, detalha-se apenas o seu processo. Este consiste na execução de um conjunto de aplicações (Figura 10) que permitem validar a geometria das entidades geográficas lineares correspondentes às vias de comunicação. As correções automáticas são efetuadas através destas aplicações que executam várias operações sobre a geometria da entidade geográfica. Algumas são de execução simples como efetuar um *extend line* e outras mais complexas como *insert vertex*, *delete vertex* e *modify line*.



Figura 10 - Sequência de procedimentos para validação geométrica do tema Vias (Fragmento do Anexo C)

Com estas operações é garantida a conectividade, a realização da interseção entre entidades geográficas, a eliminação de entidades cuja geometria fique eventualmente duplicada, ficando assinaladas todas as “pontas soltas”. Estas situações serão alvo de verificação e correção manual por parte do operador.

Na Figura 11 é apresentada de forma detalhada a estrutura de uma aplicação desenvolvida especificamente sob a forma de ficheiros *batch* para efetuar uma correção. Esta correção consiste na modificação dos elementos constituintes de um objeto (via) procedendo à sua junção, caso sejam do mesmo tipo e se encontrem a uma distância máxima de 3 metros (parâmetro de tolerância máxima admissível). Para isso a aplicação recorre a programas desenvolvidos em MDL, uns próprios do *software* MS e outros desenvolvidos para esse fim como os “*elemnos*”, “*intsect*” e “*dangle*”.

<p>0090_vias.bat</p> <p>Liga elementos do mesmo objeto</p>	elemnos	Liga elementos (linha) se distância < que tolerância (3m). (lv 20,22)
	intsect	Cria intersecções num ficheiro 2D com linhas
	mrfdup	Elimina duplicados
	mrfclean	mrfclean -id:\users\sgbd\tabelas\join_23_25.inf
	mrfclean	Remove vértices (simplificação) com o algoritmo Douglas Pecker.
	dangle	Assinala ou elimina pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.

Figura 11 - Exemplo de ficheiro *batch* e respetivos mdl utilizados numa correção (Fragmento do Anexo C)

A execução deste ficheiro *batch* garante a conectividade das entidades geográficas lineares, evitando a existência de entidades incorretamente isoladas, tendo em consideração que determinado tipo de via não existe isoladamente e que está ligado a outro(s) de forma coerente tal como no “mundo real”.

No tratamento das Hidrografia, Vegetação, Altimetria e Restante informação, são efetuados procedimentos semelhantes aos executados na validação das Vias, com as devidas salvaguardas e especificidades de cada tema.

Após a validação individualizada de cada tema, estes são agrupados por afinidades do “mundo real” e validados em conjunto. Um exemplo deste procedimento concretiza-se na Altimetria e na Hidrografia que, após a sua validação individualizada, são verificados os dois temas em conjunto. O objetivo é validar a consistência entre os dois tipos de informação, como é o caso da obrigatoriedade de as linhas de água cruzarem as curvas de nível na sua inflexão. Os vários temas são combinados sucessivamente entre si com vista a otimizar os resultados do trabalho.

2.3.6 Validação da Integridade Espacial

A Validação da Integridade Espacial, também designada por consistência lógica espacial ou topologia, visa analisar a distribuição espacial das várias entidades geográficas. Esta fase permite verificar se as entidades geográficas estão dispostas espacialmente de forma lógica e coerente, procedendo à sua identificação caso a integridade espacial não se verifique. Importa referir que esta fase da validação é apenas de verificação, não sendo permitidas quaisquer correções automáticas. A sua correção requer uma interpretação cuidada por parte do operador.

Esta validação é efetuada, sempre, após a validação geométrica, pois a sua realização antes de ser garantida a integridade geométrica, levará à apresentação de resultados supostamente errados em termos topológicos cuja origem está nos erros geométricos. Estando estes já corrigidos, deixam de ser apresentados como erros de integridade espacial.

A Validação da Integridade Espacial recorre à topologia no seu processo, utilizando o CIGeoE na sua validação topologia de nível 3 + (*on-the-fly*). Esta topologia é implementada sob a forma de um extenso conjunto de *queries* à BDG para interação com o *software* DYNAMO. As *queries* envolvem operadores espaciais e as entidades geográficas em questão permitindo analisar os dados sob o ponto de vista das relações espaciais que estabelecem assim como verificar o cumprimento de regras espaciais. Estas *queries* utilizam diversos operadores espaciais, uns mais simples disponibilizados pela aplicação, como os operadores “*touches*”, “*not_touches*”, “*contained_by*”, “*not_enclosed_by*” e outros operadores espaciais mais complexos

desenvolvidos, no CIGeoE, para casos particulares, como é o exemplo do operador “*line_not_terminate_at_area*”. A Figura 12 mostra um exemplo da sintaxe de *queries* que recorrem a operadores espaciais simples e desenvolvidos para os casos particulares.

48011	<code>not_touches(SQ_query, ` not_touches(SQ_query, ` select P_C205_Portagem_Via_Dupla from space 2 `;` select L_Auto_Estr from space 2 `, ` 1 `) `;` select L_Estr_mais_5_5_m_Piso_Duro from space 2 `, ` 1 `)</code>
48006_190	<code>contained_by(SQ_query, ` select P_Moinho from space 2 `;` select A_Lagoa from space 2 `, ` 1 `)</code>
1037001	<code>area_intersects_line (SQ_query, ` select A_Campo_Futebol from space 2 `;` select L_Cam_Ferro_Via_Larga_Dupla from space 2 `, ` 1 `)</code>
1061000	<code>touches (SQ_query, ` line_not_terminates_at_area (SQ_query, ` select L_Linha_agua_1_Ordem from space 2 `;` select A_Rio_Duas_Margens from space 2 `, ` 1 `) `;` select A_Rio_Duas_Margens from space 2 `, ` 1 `)</code>

Figura 12 - Exemplo de *queries* utilizadas na Validação de Integridade Espacial

No exemplo apresentado na Figura 12, estas *queries* identificarão, caso existam, as entidades geográficas que possuam os seguintes erros:

- uma portagem não estar ligada a uma autoestrada;
- um moinho estar localizado dentro de uma lagoa;
- um campo de futebol ser cruzado por uma linha de caminho-de-ferro;
- uma linha de água de 1ª ordem não desaguar em rio de duas margens.

As mais de 22000 *queries* em utilização no processo de validação dos dados vetoriais da Carta 1:25 000, permitem verificar o conjunto de regras espaciais que foram definidas através de um levantamento exaustivo e continuado ao longo de décadas de produção cartográfica. As *queries* são processadas de forma automática com recurso ao *software* DYNAMO, do qual resulta uma listagem de situações passíveis de serem erros ou eventuais erros.

A análise destes requer uma interpretação cuidada por parte do operador, não sendo permitidas quaisquer correções automáticas. Para interpretação da regra e proceder à respetiva correção, o operador pode apoiar-se na ortofoto correspondente, na anterior edição da carta (carta antiga), nos trabalhos de completagem, no campo, ou outro elemento de informação disponível. Terminada esta etapa, está finalizado o complexo processo de validação em CAD dos ficheiros de uma folha da Carta 1:25 000.

2.4 Processo de validação em SIG

O processo de validação em SIG decorre na SFotog do CIGeoE em função da alteração do processo de aquisição de dados com ferramentas SIG. Em 2009 motivado pelo surgimento das BDG e das suas vantagens na exploração da informação geográfica têm início as atividades de teste e implementação deste processo de aquisição. Em pleno funcionamento a partir de 2012, o processo de aquisição de dados visa garantir a integridade dos dados imediatamente após a restituição fotogramétrica, simplificando os restantes procedimentos da cadeia de produção.

Este processo não substitui a fase de validação digital da cadeia de produção da Carta 1:25 000 que é executada em CAD e já descrito anteriormente. Estando ainda em desenvolvimento, este processo de validação não contempla todos os procedimentos de validação estabelecidos, constituindo-se no entanto numa ferramenta que incrementa a qualidade da informação vetorial, reduzindo o número de erros a corrigir na fase seguinte da cadeia de produção, a validação digital.

Tratou-se de um passo essencial para a evolução do processo de produção cartográfica no CIGeoE tendo em vista a simplificação e o aperfeiçoamento de todo o processo da Carta 1:25 000. A informação adquirida por métodos fotogramétricos deixa de ser apenas um conjunto de elementos com geometria como era o caso do CAD, passando a usufruir de uma componente geográfica que vai muito para além da simples geometria. Os SIG realizam funções de gestão e manipulação da informação geográfica (Cosme, 2012), permitindo explorar as capacidades de análise espacial, de correção topológica, edição e geoprocessamento dos dados. Embora na fase de aquisição por processos fotogramétricos estas capacidades não provoquem um incremento de qualidade substancial, é nas fases de validação e edição que estas se podem materializar como uma mais-valia.

Os processos de validação através de ferramentas existentes nos SIG são bastante simplificados e eficazes de acordo com a finalidade com que foram implementados. Permitem, ainda, potenciar estas capacidades através da construção de processos semiautomáticos adequados à especificidade dos dados e validação pretendida.

Na edição, não abordada neste documento, é também possível automatizar parcialmente diversos processos para representação cartográfica devido à possibilidade de relacionamento espacial entre as diferentes entidades geográficas.

Este processo de validação em SIG pode ser encarado como o início da alteração do processo de validação do CIGeoE, atualmente em CAD, para ferramentas SIG, integrando-se

perfeitamente no conceito de simplificação e aperfeiçoamento de processos da cadeia de produção cartográfica no CIGeoE.

2.4.1 Dados de base

À semelhança do processo de validação em CAD, os dados de base são as BDG de cada folha da Carta 1:25 000 que provêm da restituição efetuada pelos operadores. Por sua vez e porque este processo de validação é executado com ferramentas dos SIG, os dados não sofrem qualquer tipo de conversão para outro formato, mantendo todas as características do formato original.

A informação é adquirida em ambiente estereoscópico em 3D e inserida em várias *feature classes*⁸ (FC) diferenciadas pelos temas estabelecidos, sendo eles as vias de comunicação, a hidrografia, as construções, a altimetria e a vegetação. A este conjunto, são adicionadas as FC dos limites e da toponímia, adquiridos por outros métodos, constituindo assim a BDG de cada folha 1:25 000. As FC serão validadas individualmente e combinadas entre si para garantir a integridade dos dados da BDG entregue à STopoGeo para execução dos trabalhos de completagem.

Cada FC tem um conjunto de atributos apropriado ao tema a que pertence e que irá permitir diferenciar as várias entidades que a constituem e por sua vez, identificar cada elemento do Catálogo de Objetos da Carta 1:25 000 do CIGeoE.

2.4.2 Software e meios utilizados

A validação neste processo é efetuada com recurso a várias ferramentas de geoprocessamento do *software ArcGIS* (ESRI®). Estas ferramentas têm capacidade de edição, de consulta e análise e de produção de documentos resultantes das análises efetuadas. Tal como no processo de validação em CAD, estas ferramentas são potenciadas de forma a otimizar o trabalho do operador na deteção e na correção automática de erros na BDG da folha. Para tal, à semelhança dos ficheiros *batch* e MDL desenvolvidos pelo CIGeoE no processo de validação em CAD, foram automatizados processos através de aplicações do *ArcGIS* como o *Model Builder* e *Data Reviewer* que permitem executar ferramentas de geoprocessamento devidamente encadeadas e com parâmetros pré-definidos.

⁸ Conjunto de objetos com o mesmo tipo de geometria (como o ponto, linha ou polígono), os mesmos atributos e a mesma referência espacial. As *feature classes* podem ser armazenadas em *geodatabases*, ficheiros do tipo SHP ou outros formatos de dados (ESRI, 2015).

Para além do ArcGIS, também é empregue o *software* de restituição “*Summit Evolution*” desenvolvido pela DAT/EM *Systems International*, o qual é plenamente compatível com o ArcGIS sendo assim possível identificar e executar as correções manuais em estereoscopia, como se explica no capítulo seguinte.

2.4.3 Metodologia

O processo de validação em SIG consiste numa aplicação sequencial das ferramentas de geoprocessamento do *software* ArcGIS, devidamente parametrizadas de acordo com as tolerâncias admissíveis que estão estabelecidas.

Para melhor apoiar o operador na execução desta tarefa de validação que pretende garantir uma melhor qualidade e rigor nos dados imediatamente após a sua aquisição, foram automatizados processos onde são encadeadas e parametrizadas as ferramentas de geoprocessamento do *software* ArcGIS.

Esta automatização está materializada através da construção de modelos com as aplicações *Model Builder* e *Data Reviewer* que foram criados à medida de cada classe e tipo de objeto, atendendo às suas especificidades.

A execução desta tarefa é apoiada ainda por um conjunto de documentação interna da SFotog, como as IT e as Normas de Técnicas de Aquisição que permitem ao operador executar os procedimentos com a sequência correta e sem omissões ou dúvidas.

Conceptualmente este processo contempla as regras de validação dos erros de estrutura, geométricos e de integridade espacial. Metodologicamente a validação decorre de forma sequencial, como apresentado na Figura 13.

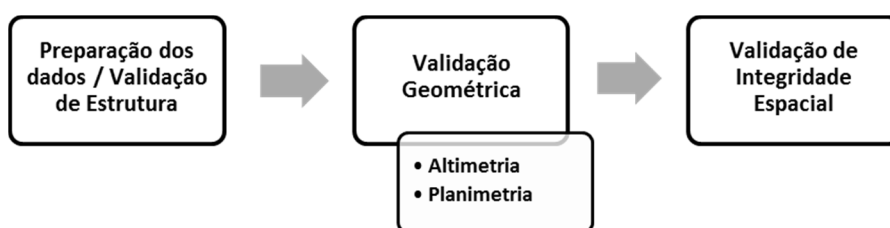


Figura 13 - Metodologia do processo de validação em SIG

Inicialmente é realizada a validação de estrutura que basicamente consiste na preparação dos dados para a validação da geometria. Segue-se a validação geométrica cuja implementação está dividida em dois processos distintos, a validação das entidades geográficas pertencentes à classe da altimetria e a validação das restantes entidades geográficas, a planimetria, que

contempla as restantes classes como a hidrografia, vias de comunicação, vegetação e outras. Esta separação baseia-se em questões técnicas e de recursos materiais e humanos. A validação geométrica da altimetria não exige correções em estereoscopia, podendo assim ser realizada apenas com recurso ao *software* ArcGIS. A validação da planimetria requer procedimentos estereoscópicos nas correções dos erros em 3D, sendo efetuada por outro operador com recurso ao *software Summit Evolution*. Por último realiza-se a validação de integridade espacial, em que já não há separação de procedimentos. As relações espaciais são analisadas não só entre entidades da mesma classe, mas também entre classes. Esta validação por necessidade do operador efetuar correções manuais em estereoscopia, é realizada com o *software Summit Evolution*.

No Anexo D - Processo de Validação em SIG é apresentado, sob a forma de *workflow*, o esquema do conceito geral deste processo. Devido à quantidade de processos envolvidos, seria impossível fazer de forma perceptível num único esquema uma representação na sua totalidade. Desta forma, apenas estão identificados neste esquema os processos que permitem validar as vias de comunicação, onde se encontra a Rede Viária.

Trata-se, à semelhança do processo de validação em CAD, de um processo de validação semiautomático, onde os erros são detetados automaticamente e a sua correção é automática dentro dos parâmetros estabelecidos ou realizada manualmente pelo operador se estes forem ultrapassados.

2.4.4 Preparação dos dados e validação de estrutura

Nesta fase são executados procedimentos de adequação dos dados para poderem ser corretamente validados em termos geométricos. Os dados existentes na BDG da folha a validar são copiados, movimentados e organizados de forma a poder seguir o processo de validação.

É verificada a estrutura através da tabela de atributos das FC, sendo esta modificada conforme as necessidades das ferramentas a utilizar na validação geométrica.

Um exemplo disto é a validação da altimetria. Ao longo do processo de validação geométrica é necessário aceder ao atributo "*Elevation*" (cota) de cada entidade geográfica. Este campo não é preenchido automaticamente aquando da restituição, pelo que é nesta fase que, através de um modelo construído para tal (Figura 14), é adicionado o valor da coordenada Z à tabela de atributos e em função dele preenchido o campo "*Elevation*" de forma automática.

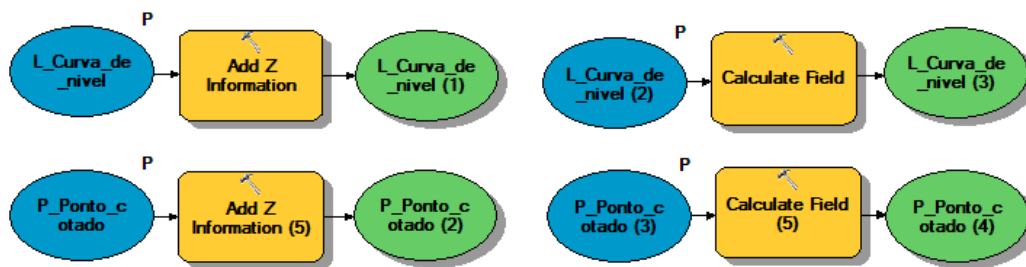


Figura 14 - Fragmento de modelo criado para preencher o campo “Elevation”

Finalizada esta validação garante-se que os dados estão preparados para serem validados ao nível da sua geometria.

2.4.5 Validação Geométrica

Esta validação pretende detetar os erros geométricos mais frequentes e já descritos em 2.1.4 e efetuar a sua correção. Aqui já existem alguns processamentos da validação diferenciados entre as entidades geográficas da altimetria e as restantes entidades geográficas pertencentes à planimetria. Foram desenvolvidos modelos específicos para cada tipo mas cujos procedimentos são concorrentes, estando organizados sob a forma de *toolboxes* (Figura 15) para simplificar a sua aplicação.



Figura 15 - Exemplos de *toolboxes* criadas para a validação

Existem *toolboxes* criadas para aplicação específica, como a *toolbox* “Altimetrias_GDB_1FC” para validação da altimetria e outras de aplicação geral como a *toolbox* “Revisao”. Com a execução dos modelos que compõem as *toolboxes* e de outros procedimentos são efetuadas correções geométricas dos dados onde se destacam:

- Reparação automática da geometria de cada FC da BDG;
- Eliminação de entidades geográficas duplicadas;
- Eliminação de entidades de dimensões abaixo do limiar definido para cada entidade;
- União de entidades geográficas da mesma FC que partilhem o mesmo vértice final (ferramenta *Unsplit*);

- Correção de erros do tipo *overshoot* e *undershoot*;
- Detecção de determinados erros topológicos.

A reparação automática da geometria é efetuada através dos modelos “Repara Geometria” da *toolbox* “Revisao” (Figura 16) que de forma iterativa e conforme o tipo de geometria, repara automaticamente erros de geometria através da ferramenta *Repair Geometry*.

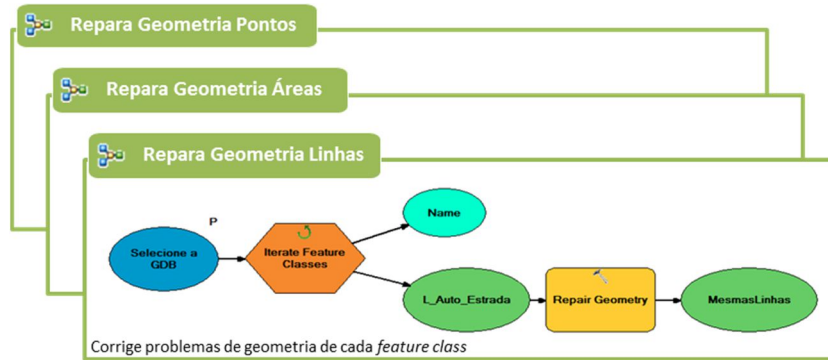


Figura 16 - Modelos para reparação automática da geometria (Fragmento do Anexo D)

A ferramenta *Repair Geometry* inspeciona os erros de geometria de cada entidade da FC e aplica a correção adequada, como por exemplo o erro de geometria nula.

A eliminação de entidades geográficas duplicadas é realizada através do modelo “Delete Identical” que executa operações como segmentação de entidades geográficas lineares pelos seus vértices (*Split*), eliminação dos troços duplicados e reconstrução da entidade linear sem os troços duplicados conforme apresentado na figura seguinte, um fragmento deste modelo a aplicado à altimetria.

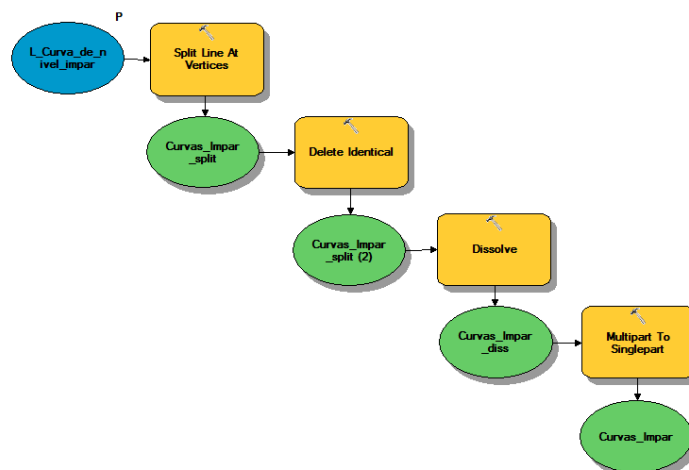


Figura 17 - Fragmento do Modelo “Delete Identical”

A correção de erros do tipo 3 e 4, *undershoot* e *overshoot*, é conseguida com o modelo “Resolve Dangles”, apresentado na Figura 18, onde são empregues ferramentas *Extend* e *Trim*

Line, devidamente parametrizadas em função da entidade geográfica a corrigir. Estas ferramentas não garantem a terceira dimensão na sua execução. Tal facto impede a sua implementação na execução da planimetria, sendo apenas executado na altimetria, exigindo uma correção posterior efetuada manualmente pelo operador nos casos que ultrapassem as tolerâncias admissíveis e para reatribuir a coordenada Z a todas as *linestrings* das curvas de nível corrigida.

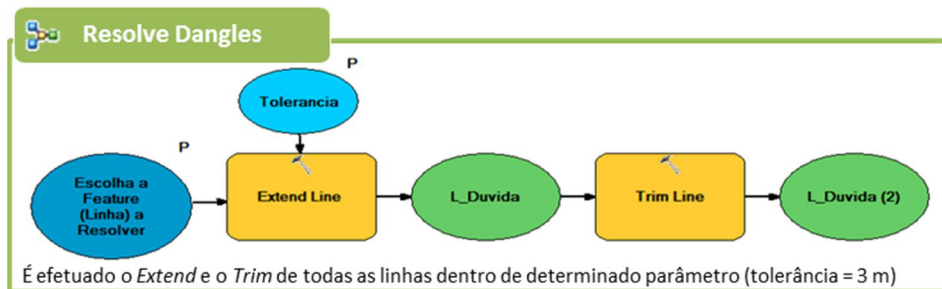


Figura 18 - Modelo "Resolve Dangles"
(Fragmento do Anexo D)

Durante a validação da geometria recorre-se também à correção de erros topológicos. Esta correção é obtida igualmente sob a forma de um modelo onde foram criadas regras topológicas adequadas a cada entidade geográfica. As regras mais comuns a verificar neste processo são as seguintes:

- *Must Not Overlap* - a *linestring* não pode sobrepor outra *linestring*;
- *Must Not Intersect* - a *linestring* não pode intercalar outra *linestring*;
- *Must Not Have Dangles* - a *linestring* não pode ter pontas soltas;
- *Must Not Self-Overlap* - a *linestring* não se pode sobrepor a ela própria;
- *Must Not Self-Intersect* - a *linestring* não se pode autointercalar.

Executado o modelo de correção da topologia, são apresentados numa FC específica os erros de topologia identificados automaticamente e diferenciados por tipo de erro. Este modelo apenas identifica os erros topológicos, não sendo realizada qualquer tipo de correção automática. Recorrendo à ferramenta *Error Inspector*, são analisados individualmente todos os erros topológicos pelo operador e efetuada a sua correção manual.

Outra ferramenta do *ArcGIS* utilizada na validação geométrica é o *Data Reviewer*. Esta *toolbar* consiste num conjunto de ferramentas de análise automática e visual dos dados permitindo detetar anomalias com as FC, os atributos e relações na BDG. Esta ferramenta é também utilizada para efetuar a validação de integridade espacial pela possibilidade de detetar anomalias nas relações espaciais entre entidades geográficas. As verificações efetuadas por

esta ferramenta podem ser organizadas e combinadas sob a forma de *batch job*⁹, permitindo efetuar a análise dos dados de forma repetida e consistente. O CIGeoE, para além de utilizar as verificações pré-definidas (*default*) da ferramenta, criou um vasto conjunto de *batch jobs* com as regras de validação devidamente parametrizadas conforme a especificidade das entidades geográficas a validar, sendo apresentados alguns exemplos na Figura 19. São efetuadas verificações de aplicação generalizada, como por exemplo a identificação de pontas soltas em entidades geográficas lineares como curvas de nível, vias de comunicação e linhas de água como também verificações que são mais específicas, efetuadas em conformidade com as normas de aquisição e organizadas por afinidades do tipo das entidades geográficas.

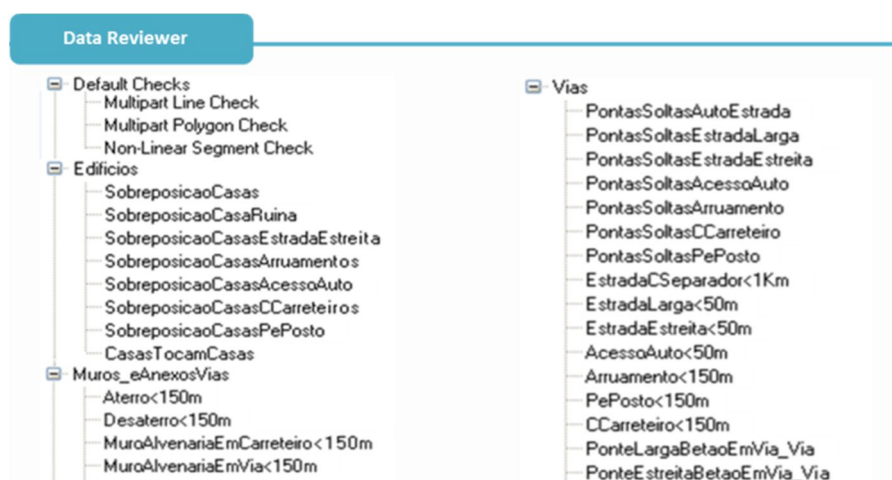


Figura 19 - Exemplo de *batch jobs* utilizados no *Data Reviewer* (Fragmento do Anexo D)

Finalizada a execução destes processos de verificação de erros, estes são apresentados sob a forma de tabela e organizados por tipo de erro. O operador procede à análise e correção manual destes erros.

2.4.6 Validação da Integridade Espacial

A implementação da validação da integridade espacial é materializada com verificações aos dados através da ferramenta *Data Reviewer* do ArcGIS. Os procedimentos são semelhantes aos descritos no parágrafo anterior no que se refere à aplicação desta ferramenta. Recorre-se à criação de regras que, acrescentadas a *batch jobs* já existentes da validação geométrica, ou criando *batch jobs* para a validação da integridade espacial, permitem detetar anomalias nas relações espaciais entre entidades geográficas.

⁹ As diferentes verificações disponíveis na *toolbar Data Reviewer* podem ser organizadas e combinadas em grupos, sendo esta combinação guardada sob a forma de *batch job*. Esta organização permite a simplificação e eficácia das verificações. Por exemplo, para a verificação de uma determinada entidade geográfica, é executado apenas um *batch job* que engloba todas as verificações específicas para essa entidade.

As verificações efetuadas nesta validação de integridade espacial são principalmente cruzamentos e sobreposições entre diferentes entidades geográficas cuja disposição espacial deve ser lógica e coerente à semelhança do mundo real. É analisada a integridade espacial entre a altimetria, a hidrografia e a planimetria bem como entre entidades geográficas pertencentes ao mesmo tema. A Figura 20 apresenta as validações efetuadas às Vias através de um de *batch job*.

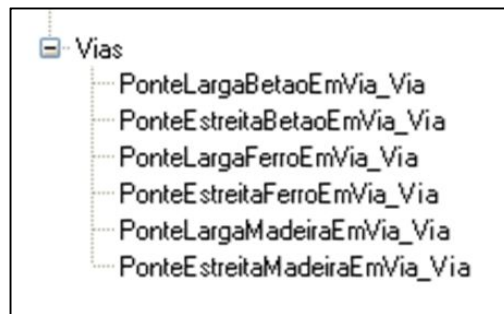


Figura 20 - Exemplo de verificações de integridade espacial para Vias
(Fragmento do Anexo D)

Outros *batch jobs* utilizados nesta fase executam um conjunto de verificações a efetuar e que permitem assinalar os erros com a seguinte tipologia:

- Entidades de tipo área, como os campos de futebol ou de jogos, lagoas ou albufeiras e o mar, que caracteristicamente são horizontais e planas, serem cruzadas por curvas de nível ou linhas de água;
- Pontos de cota localizados dentro de entidades de tipo área como construções, lagoas ou albufeiras e o mar;
- Divergência de cota nos cruzamentos entre entidades lineares como as linhas de água com as curvas de nível;
- A sobreposição entre entidades de tipo área como as construções, bem como a sua sobreposição com entidades lineares como as vias de comunicação;
- A localização de pontes desintegrada das vias de comunicação e da hidrografia.

Este procedimento, como foi explicado no ponto anterior, apenas permite identificar automaticamente diversas situações passíveis de erro, sendo necessária a sua posterior análise e correção manual por parte do operador, caso se justifique.

2.5 Análise comparativa dos processos de validação em CAD e em SIG

Esta análise visa fazer a identificação das principais características destes dois processos de validação. Em jeito de resumo, depois da anterior descrição pormenorizada, são expostas as capacidades e dificuldades apresentadas por cada processo.

Processo de Validação em CAD

- É um processo de validação muito completo, desenvolvido ao longo de mais de 15 anos e encontra-se já perfeitamente consolidado;
- Faz face às necessidades em termos de validação exigida e que confere um elevado rigor e qualidade aos dados que dão origem à Carta 1:25 000;
- É um processo de validação semiautomático, metódico, mas de enorme complexidade;
- Recorre a uma diversidade de *software* que se vai utilizando no decorrer do processo;
- Trata-se de uma validação em CAD, onde as entidades geográficas não têm associação de atributos alfanuméricos, permitindo apenas a sua distinção pelos atributos nível, cor, espessura e tipo de linha com que são representados;
- A validação deste processo é realizada em 2D.

Processo de Validação em SIG

- É um processo de validação em desenvolvimento, motivado pela mudança ao nível da metodologia do processo de aquisição da informação;
- O seu propósito é servir de complemento do trabalho de restituição dos operadores da SFotog, garantindo a máxima qualidade dos dados ainda na fase de aquisição. Não substitui o processo de validação em CAD.
- É um processo de validação semiautomático, metódico, de execução bastante simples;
- Recorre apenas a um *software* onde se realiza todo o processo de validação;
- É uma validação em SIG, com muita margem para evoluir através da exploração das capacidades de análise espacial, de correção topológica, edição e geoprocessamento dos dados detentores de variados atributos alfanuméricos;
- A validação deste processo apenas garante correções automáticas em 3D no tema altimetria, efetuando posteriormente uma correção manual para atribuir a coordenada Z às *linestrings*. A validação da planimetria, essencialmente voltada para a identificação dos erros, exige uma correção manual em estereoscopia de todos os erros detetados.

A análise comparativa do desempenho destes dois processos encontra-se esquematizada no Anexo E - Esquema comparativo da validação em CAD vs Validação em SIG. Esta comparação apenas reflete a validação efetuada das entidades do tema Vias de Comunicação.

Da análise e comparação destes dois processos de validação implementados no CIGeoE sobressai uma grande lacuna destes dois processos, a validação e correção a 3D. Outra característica não explorada, numa lógica de otimização dos recursos e atendendo à enorme evolução de ferramentas de acesso livres, é o emprego deste tipo de *software* para construir, todo ou em parte, o processo de validação.

CAPÍTULO III - O PROJETO

3.1 Dados de base

A informação que serviu de base ao trabalho desenvolvido proveio da BDG da folha nº 307 - Valado dos Frades (Nazaré), numa área de 160 km² (conforme Figura 21 correspondente à área geográfica de trabalho).

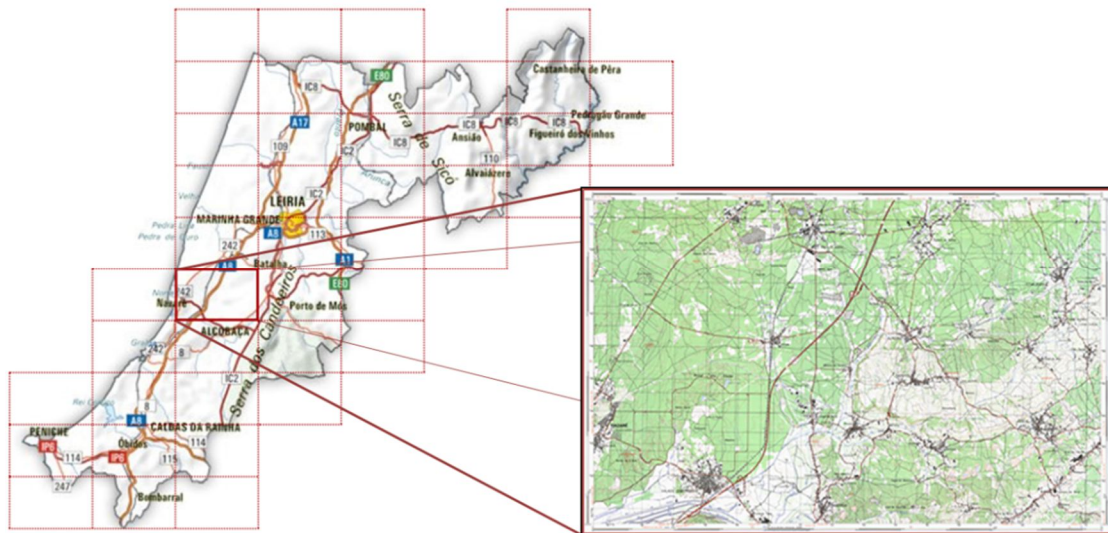


Figura 21 - Enquadramento da Folha nº 307 da Carta 1:25 000

Esta informação, extraída para formato *shapefile* (SHP), advém da restituição por processos fotogramétricos para execução da Carta 1:25 000. Trata-se de uma informação que não foi submetida ao processo de validação em SIG anteriormente descrito e em prática na SFotog, estando assim no seu formato “original” e isenta de qualquer tipo de correção.

Este projeto, por estar limitado à validação de entidades geográficas lineares da Rede Viária pertencentes ao tema Vias de Comunicação, apenas se servirá dos ficheiros desta BDG (Figura 22) referentes às entidades EstradasL e ViasOutrasL.

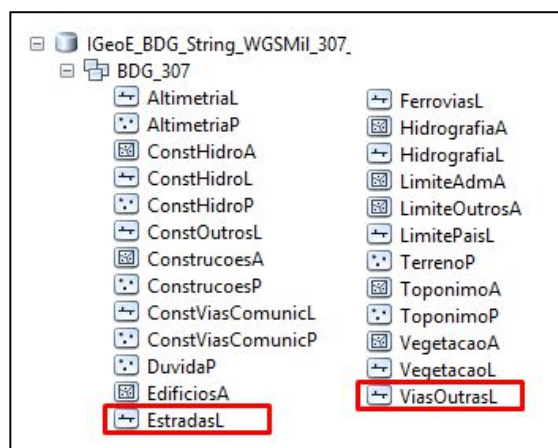


Figura 22 - BDG da folha nº 307 da Carta 1:25 000

A SHP EstradasL agrupa um conjunto de entidades geográficas lineares que são distinguidas pelo seu subtipo, sendo elas:

- Autoestrada;
- Estrada com separador;
- Estrada larga;
- Estrada estreita.

Na SHP ViasOutrasL estão agrupadas as restantes entidades geográficas lineares do tema estradas, que também são distinguidas pelo seu subtipo:

- Arruamento;
- Acesso auto;
- Caminho de carreteiro;
- Caminho de pé posto.

A Tabela 3 apresenta o número de entidades geográficas lineares que constituem os dados de base deste projeto. Estes valores podem também ser analisados sob a forma de gráfico na Figura 23.

Tabela 3 - Entidades geográficas lineares dos dados de base

	Subtipo	Entidades geográficas	Número de elementos	Comprimento
EstradasL	0	Autoestrada	22	26,711
	1	Estrada com separador	6	2,806
	2	Estrada larga	404	96,853
	3	Estrada estreita	443	82,984
ViasOutrasL	0	Caminho de carreteiro	5270	992,879
	1	Caminho de pé posto	60	10,319
	2	Acesso auto	678	125,903
	3	Arruamento	935	137,100
Total			7818	1475,555

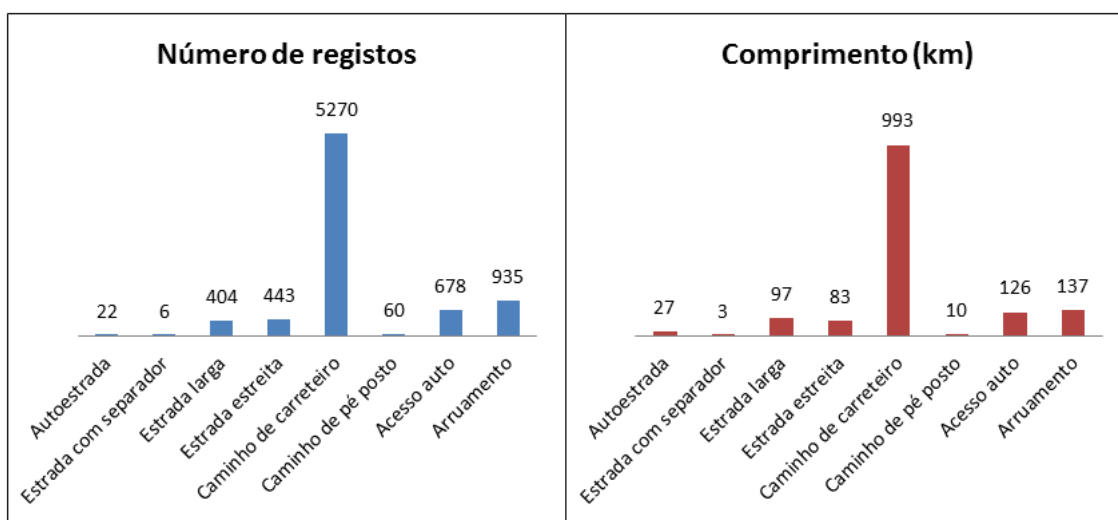


Figura 23 - Apresentação em forma de gráfico dos dados de base

Os dados de base deste projeto são constituídos por 7818 entidades geográficas lineares que perfazem um total de 1475,555 km distribuídas espacialmente como mostra a Figura 24, sendo diferenciado cada ficheiro SHP por cores. De cor vermelha estão representadas todas entidades geográficas da SHP EstradasL e com linha de cor violeta as entidades da SHP ViasOutrasL.



Figura 24 - Apresentação gráfica dos dados de base - Rede Viária da Folha nº 307

3.2 Software e meios utilizados

A opção do *software* utilizado no desenvolvimento deste projeto é um requisito do objetivo do projeto, onde se propõe a utilização de *software gratuito e de código aberto*, questão fundamental na definição deste projeto e complementar ao estudo do CIGeoE sobre a viabilidade de utilização de ferramentas livres para gestão das bases de dados geográficas e da sua compatibilidade com a cadeia de produção.

A utilização exclusiva de *software gratuito e de código aberto* obrigou a uma adaptação aos programas de Sistemas de Informação Geográfica e gestores de Base de Dados utilizados, fator que contribuiu para o conhecimento de uma área cada vez mais atual e essencial no âmbito das ciências geográficas.

A escolha recaiu no *PostgreSQL* (PostgreSQL, 2015), uma base de dados *open source*, que possui um *plugin* dedicado e otimizado ao tratamento de informação geográfica, o *PostGIS*

(PostGIS, 2015). Estes foram os recursos utilizados em todo o trabalho de carregamento e manuseamento dos dados ao longo dos procedimentos de validação:

- *PostgreSQL 9.2 com extensão PostGIS 2.1.9;*
- *PostGIS Shapefile Import/Export Manager.*

Para visualização dos dados a escolha também recaiu em *software open source*, utilizando para tal o *QGIS 2.4 Chugiak* (QGIS, 2015). Por limitação deste *software* para visualização do tipo de dados envolvidos em 3D, recorreu-se a um *software* de proprietário, o *ArcScene 10.2* da ESRI.

O *PostgreSQL* é um Sistema de Gestão de Bases de Dados (SGBD) objeto-relacional de código aberto. Trata-se de um sistema multiplataforma coordenado pelo *PostgreSQL Global Development Group*, que foi desenvolvido ao longo dos últimos 15 anos por uma comunidade de programadores, na sua maioria voluntários, espalhados por todo o mundo. Compatível com a maioria dos sistemas operativos, possui interfaces para programação em diversas linguagens como *C/C++*, *Java*, *Perl*, *Python*, entre outras e suporta a generalidade dos tipos de dados *Structured Query Language* (SQL). É um sistema robusto e muito eficiente, dispondo de diversas opções e recursos, como consultas complexas, chaves estrangeiras, integridade transacional, indexação por texto, estrutura de armazenamento de dados geográficos e muitos outros.

O *PostGIS* é uma extensão espacial *open source* para o SGBD *PostgreSQL* que permite o reconhecimento e gestão de dados geográficos. Esta atribui propriedades geoespaciais às bases de dados, permitindo que todo o manuseamento a interação come estas se realize por intermédio de *queries* SQL. Inclui suporte para índices espaciais e um vasto conjunto funções para análise básica e processamento de objetos geoespaciais.

O *QGIS* é um *software* de Sistemas de Informação Geográfica *open source* que possui capacidades de visualização, edição e análise de dados geográficos. Compatível com o SGBD *PostgreSQL*, permite estabelecer ligação à base de dados e interagir diretamente com as respetivas tabelas, quer na sua visualização quer na própria edição dos dados.

O *ArcScene*, *software* proprietário da ESRI, é um visualizador 3D de dados geográficos, quer em formato vetorial quer em formato *raster*, que permite navegar e interagir com os dados através das ferramentas de visualização e processamento típicas do *ArcGIS*.

entidade. Como mostra a Figura 25, a geometria da *linestring* é apresentada em sequência de caracteres que não transmitem qualquer informação ao utilizador (linha superior). Com a sua representação em WKB a geometria surge em codificação binária (linha central), enquanto a representação em WKT (linha inferior) identifica características da geometria, em formato texto, tal como sistema de coordenadas em que se encontra representado, o tipo de entidade geográfica e as coordenadas dos seus vértices. Devido ao volume de informação guardado por uma geometria, uma forma de incrementar a eficiência da manipulação de dados geoespaciais em bases de dados prende-se com a indexação da coluna da geometria, fazendo o armazenamento da informação em formato WKB.

A forma de retorno dos dados são exemplos de funções de output do *PostGIS*. Existem ainda, entre outras, os seguintes tipos de funções que importa referir:

- Funções de construção de geometria que criam novas entidades geográficas;
- Funções de acesso à geometria que devolvem informação sobre o tipo de geometria, as coordenadas, os vértices e outras inúmeras características;
- Funções de edição da geometria que permitem a sua modificação adicionando ou retirando vértices, a sua rotação, segmentação, etc.;
- Funções de processamento da geometria que executam processamentos como interseções, uniões, *buffers* e outras.

A forma de manuseamento dos dados assentou na criação de código SQL com uma sequência de *queries* que integram funções ou conjugações de funções que permitem aceder, modificar e devolver o resultado pretendido.

É essencial mencionar que nem todas as funções que fazem parte deste catálogo processam dados 3D. Muitas delas, particularmente nas funções de processamento, apenas utilizam as duas dimensões, “perdendo” a terceira. Isto constitui-se como uma limitação no desenvolvimento do projeto, exigindo que, quando utilizadas estas funções, sejam efetuados processamentos adicionais para garantir a terceira dimensão, foco deste projeto.

A interação com as entidades geográficas, tabelas geoespaciais, da BDG poderá ser feita através do importador/exportador de ficheiros SHP que permite a inserção de entidades na BDG, por *queries* SQL com a utilização de funções como as descritas ou através de um visualizador gráfico (por exemplo o QGIS utilizado no projeto) que permite a ligação à BDG do *PostGIS* e abrir as tabelas geoespaciais, onde podem ser criadas ou modificadas, graficamente, quaisquer entidades, sendo guardada essa alteração diretamente na BDG do *PostGIS*.

3.4 Metodologia

Os conceitos, abordagens, *software* e metodologias distintas dos processos de validação analisados no CAPÍTULO II constituíram-se a base para a definição da metodologia a seguir neste projeto. A tipologia dos erros presentes nos dados a validar, a sua frequência e gravidade e, principalmente, a sequência de correção desses erros, foram o pilar principal na arquitetura do projeto.

No processo de validação em CAD a validação é puramente a 2D. O processo de validação em SIG, essencialmente vocacionado para a identificação dos erros, apenas efetua correções automáticas em algumas entidades do tema Altimetria recorrendo a ferramentas de validação que não empregam a terceira dimensão no seu processamento, manipulando posteriormente de modo manual, a terceira dimensão para garantir a validação em 3D. Todas as restantes correções dos erros identificados requerem a sua correção manual em estereoscopia.

A construção deste processo visa a identificação e, em função da tolerância admissível, a correção automática nas 3 dimensões dos erros geométricos que foram apresentados em 2.1.4. O processo implementado verifica a qualidade dos dados onde são identificados os erros existentes. Seguidamente, caso o erro identificado seja menor que tolerância admissível, procede-se à sua correção automática. Caso contrário, o erro é identificado e a sua correção será efetuada manualmente pelo operador. A Figura 26 apresenta o fluxo das ações deste projeto.

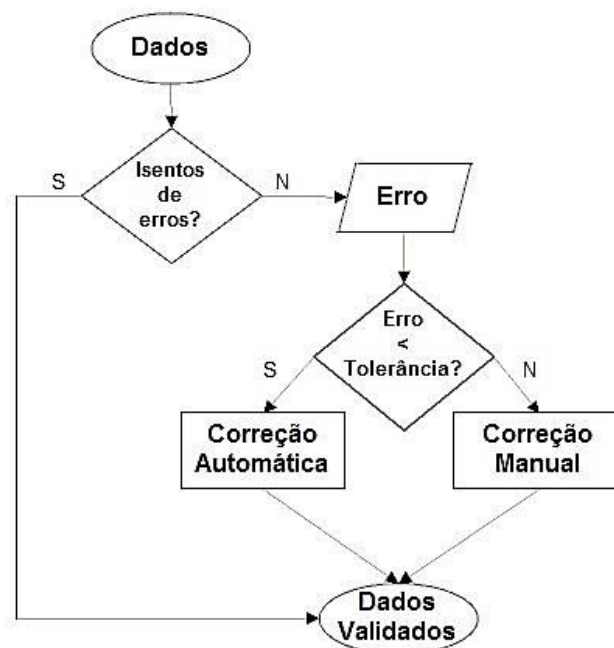


Figura 26 - Fluxo da metodologia do projeto

A implementação deste processo de validação decorre em três fases distintas:

- Fase 1 - Preparação dos dados;
- Fase 2 - Validação geométrica;
- Fase 3 - Validação da integridade espacial.

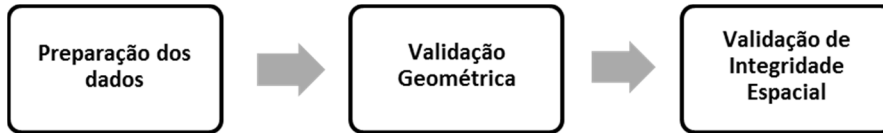


Figura 27 - Metodologia do processo de validação (Fases)

Na Fase 1 são efetuados os procedimentos de adequação dos dados para a fase da validação geométrica. É realizado o carregamento da base de dados e a separação dos dados por subtipos. Na Fase 2, parte principal de todo o projeto, são efetuados todos os processamentos aos dados de forma a corrigir automaticamente os erros identificados dentro da tolerância admissível. Na Fase 3 recorre-se à topologia para identificar erros de integridade espacial detetados neste conjunto de dados. Os procedimentos desenvolvidos em cada fase do processo são descritos de forma detalhada no parágrafo 3.5 - Execução, estando apresentados também sob a forma de fluxo na Figura 28.

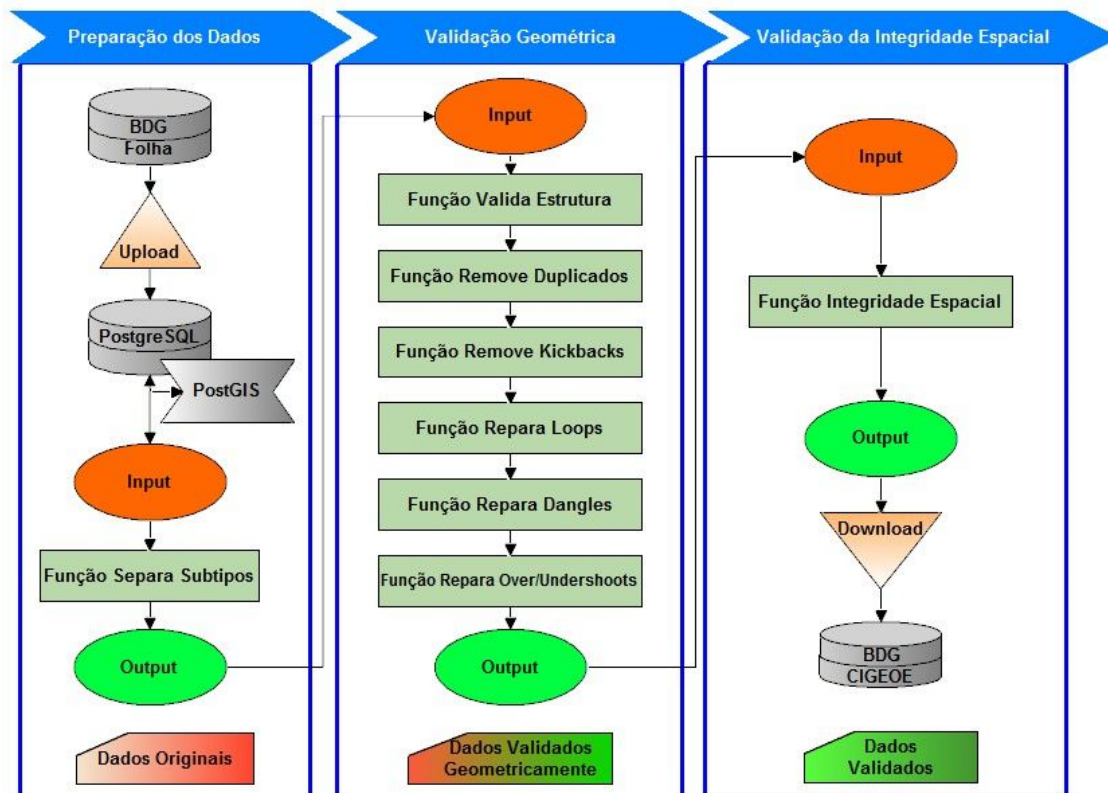


Figura 28 - Fluxo do Processo de Validação

Pode ainda ser consultado o Anexo F - Processo de Validação em PostgreSQL/PostGIS, onde se pormenoriza o fluxo deste processo.

3.5 Execução

3.5.1 Preparação dos dados

Esta fase consiste na importação dos ficheiros SHP pertencentes à BDG da folha a validar para a base de dados *PostgreSQL/PostGIS*. Este procedimento é executado através da função *shapefile importer* do *PostGIS*.

Uma vez carregados os dados, a sua adequação passa por separá-los em diferentes tabelas em função do subtipo de via. Esta separação irá permitir efetuar a sua validação individualizada de cada subtipo de via.

No final os dados estão prontos para iniciar a validação geométrica.

A Figura 29 apresenta, sob a forma de fluxo, as atividades desta fase.



Figura 29 - Fluxo geral da preparação dos dados

Separar dados por subtipos de vias

A necessidade de separação dos dados em subtipos surgiu durante a construção do processo de validação geométrica. Nas primeiras experiências, os algoritmos criados para a correção dos erros foram aplicados aos dados como um todo. Deste procedimento surgiram dificuldades aquando da atribuição do subtipo resultantes da modificação e criação de novas *linestrings* que envolvessem outras *linestrings* de subtipos diferentes.



Figura 30 - Ferramentas utilizadas na “Função Separa Subtipos”
(Fragmento do Anexo F)

A Figura 31 apresenta o conteúdo da base de dados e da diretoria dos ficheiros de entrada (*Schema Upload_PostgreSQL*) com 10 tabelas, as duas iniciais e também os subtipos já separados.

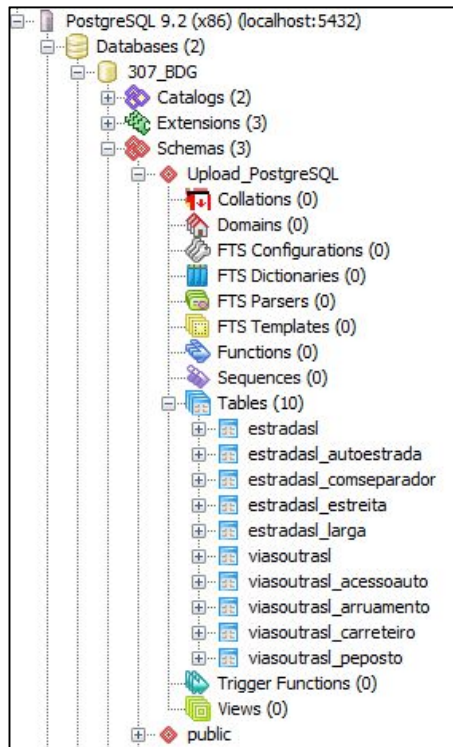


Figura 31 - Conteúdo da base de dados e da diretoria dos ficheiros de entrada

3.5.2 Validação Geométrica

A validação da geometria dos dados de base assenta na identificação e correção de forma sequencial dos erros geométricos mais frequentes e que foram apresentados no parágrafo 2.1.4.

É necessário referir que o erro do tipo 8 - *Spikes/Kinks* (cf. Tabela 1) não é contemplado neste processo de validação. A justificação desta decisão prende-se pela complexidade de deteção deste tipo de erros. Uma característica deste processo de validação é a simplicidade de processos e a velocidade de processamento dos dados. Por este motivo, nunca, ao longo deste processo, alguma *linestring* foi dividida nos seus segmentos constituintes noutras *linestrings*. A identificação deste tipo de erros implica a comparação do azimute de cada segmento com o azimute do segmento anterior da mesma *linestring*. Uma variação brusca deste azimute permitiria a identificação deste erro. O cálculo do azimute obriga à divisão em segmentos independentes, a identificação das coordenadas de cada vértice e a computação desse azimute para cada segmento. Tendo em conta o volume de dados a validar, foi considerado que este procedimento exigia uma complexidade de processos e reduziria drasticamente a velocidade de processamento, sendo a validação deste erro considerada como procedimento a desenvolver em trabalhos futuros.

A correção dos restantes erros geométricos é efetuada conforme a sequência que é apresentada na Figura 32.



Figura 32 - Fluxo geral da validação geométrica

É importante referir que o *PostGIS* possui um vasto catálogo de funções, desde funções de acesso à geometria, a funções de construção, processamento, edição e saída mas nem todas admitem dados em 3D. Um exemplo é a Função “*ST_Snap*”, que por si só efetuava, quase diretamente, a validação de pontas soltas. Esta função apenas manuseia dados em 2D, tornando-se uma limitação à construção deste projeto.

- **Verificar a qualidade dos dados**

Esta fase materializa o início do processamento dos dados onde é realizada uma inspeção à geometria dos dados, avaliando a sua consistência através de funções do *PostGIS*. Foi criada a “Função Valida Estrutura” que, nas suas *queries*, identifica a existência de erros geométricos do tipo 10 - Geometria nula e do tipo 11 - Partes nulas (cf. Tabela 1). São incluídas na construção desta função as funções do *PostGIS* “*ST_IsValid*” que verifica a existência de geometrias mal formadas (Geometria Nula) e a função “*ST_IsEmpty*” que avalia se a geometria está vazia, na sua totalidade, ou em partes, se se tratar de uma geometria composta.



Figura 33 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Valida Estrutura”
(Fragmento do Anexo F)

Esta função não executa correções. Em cada caso é criada, como resultados da avaliação, uma tabela com os erros encontrados. Dos processamentos efetuados aos dados deste projeto, nunca foram observadas este tipo de anomalias, pelo que estas duas tabelas foram sempre criadas vazias, ou seja, sem erros e sem necessidade de verificação por parte do operador. Tal facto prende-se pelo rigor dos procedimentos implementados no processo de aquisição de dados na SFotog, que de forma automatizada e com recurso a um “*KeyPad*”, são pré-definidas todas as características de cada entidade geográfica. Esta é uma validação que deverá ser avaliada a necessidade da sua integração num futuro processo de validação a implementar no CIGeoE.

- **Validar vértices duplicados**

Após a fase de verificação dos dados, é iniciada uma validação geométrica em que já existe alteração da geometria das entidades geográficas. É efetuada a remoção dos vértices duplicados, erro do tipo 5 - Vértices duplicados (cf. Tabela 1) que pode afetar as entidades geográficas lineares.

Foi criada a “Função Remove Duplicados” (Figura 34) que utiliza três funções do *PostGIS*.

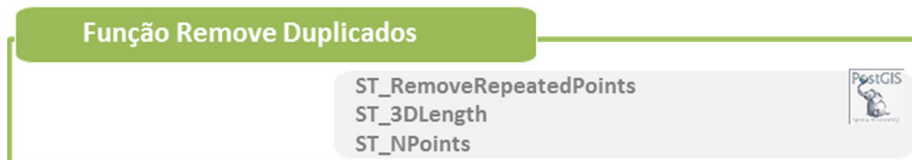


Figura 34 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Remove Duplicados”
(Fragmento do Anexo F)

A remoção de erros do tipo 5 é conseguida através do processamento da geometria da entidade geográfica com recurso à função “*ST_RemoveRepeatedPoints*” do *PostGIS*.

```
update shp_v set geom = st_removeRepeatedPoints(geom);
```

Figura 35 - Excerto do código SQL da “Função Remove Duplicados”

O excerto do código SQL desta função (Figura 35) demonstra que a geometria da entidade a validar (*shp_v*) é atualizada, sendo a nova geometria o resultado da execução da função “*ST_RemoveRepeatedPoints*” do *PostGIS*. Desta forma são removidos todos os vértices cuja posição X,Y,Z esteja duplicada.

A verificação da eficácia deste procedimento pode ser efetuada através da comparação “antes e depois”. Para tal, são comparados o número de vértices e o comprimento das *linestrings* recorrendo às funções do *PostGIS* “*ST_3DLength*” que devolve o comprimento medido em 3D e “*ST_NPoints*” que devolve o número de vértices que constituem a *linestring*. Da análise desta comparação verifica-se a redução do número de vértices, caso existissem vértices duplicados e constata-se que remoção de vértices não altera o comprimento da entidade geográfica linear.

Esta validação não requer qualquer correção manual por parte do operador.

- **Validar Kick Back**

Uma vez removidos os vértices duplicados, são de seguida removidos os erros do tipo 6 - *Kick back* (cf. Tabela 1) (Figura 36). A descrição deste erro está apresentada em 2.1.4 bem como a explicação da sua origem.

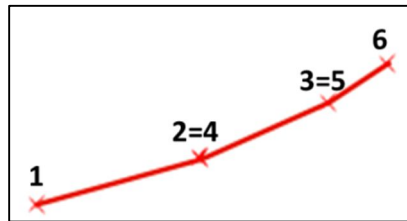


Figura 36 - Aparência de erros do tipo 6

Para esta validação foi criada a “Função Remove *KickBacks*”, composta por três procedimentos principais executados sequencialmente. O fluxo desta função (Figura 37) inicia na deteção dos erros, procede à correção desses erros e finaliza com a substituição nos dados originais.

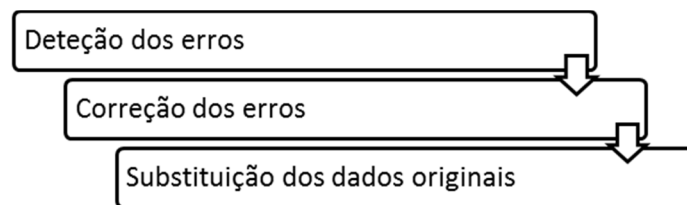


Figura 37 - Fluxo da “Função Remove *Kickbacks*”

A “Função Remove *KickBacks*”, à semelhança das anteriores e em função do tipo de erro, não necessita de correção manual pelo facto de não haver uma tolerância associada a este erro. Todos os erros que sejam identificados são corrigidos automaticamente. Esta função inclui nas suas *queries* funções do *PostGIS* que permitem aceder e processar a geometria dos dados. As funções utilizadas, descritas adiante, estão apresentadas na Figura 38.

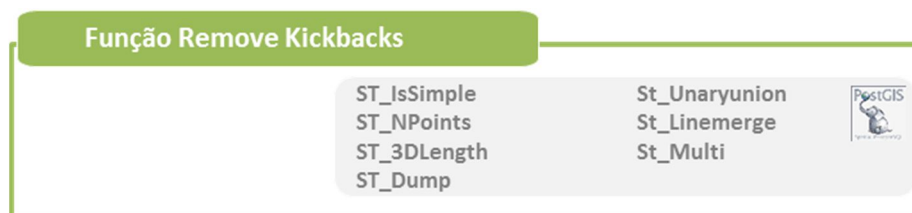


Figura 38 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Remove *Kickbacks*”
(Fragmento do Anexo F)

Deteção dos erros

A deteção dos candidatos a erro é efetuada identificando autointerseções de *linestrings*. É utilizada a função do *PostGIS* “*ST_IsSimple*” para este efeito. Esta função de acesso aos dados

devolve como resposta *true* ou *false* (caso identifique) na análise que faz à geometria da *linestring* onde procura vértices anómalos, autointerseções ou autotangências. Por seleção das respostas *false*, é criada uma tabela com os candidatos a erro existentes. Importa referir que, neste conjunto de candidatos a erros, foram também identificados por este procedimento os erros do tipo 7 - *Loop* (cf. Tabela 1). Apenas os erros do tipo 6 serão realmente erros para esta função e, embora sejam também processados os erros do tipo 7, não sofrem qualquer modificação por o processo de correção ser diferente.

Correção dos erros

A correção é efetuada sobre as *linestring* presentes na tabela de erros (*kb_3d_erros*) criada na deteção dos erros. O excerto do código desta função apresentado na Figura 39 permite criar um vértice na(s) autointerseção(ões) e efetuar a divisão em partes independentes (*linestrings* distintas).

```
select gid,
       shape_leng,
       (st_dump(st_unaryunion(st_linemerge(geom)))) .geom geom
into kb_3d_erros1
from kb_3d_erros;
```

Figura 39 - Excerto do código SQL da “Função Remove Kickbacks”

Recorrendo à Figura 36 para melhor perceber o resultado deste processamento, a *linestring* desta figura seria dividida em cinco *linestrings* distintas (1-2; 2-3; 3-4; 4-5 e 5-6) resultantes da sua quebra nas autointerseções. Neste tipo de erro, os vértices criados nas autointerseções coincidem com os vértices já pertencentes à *linestring* (vértices 2 e 3). Após esta separação, é reconstruída novamente a *linestring* por união das partes cuja geometria é distinta. Sendo a geometria das partes 2-3, 3-4 e 4-5 idênticas, recorrendo ao comando “*select distinct*” apenas uma desta *linestring* é selecionada e unida com as restantes 1-2 e 5-6. A união das partes é baseada no “*id*” comum a todas elas, proveniente da *linestring* original.

Substituição dos dados originais

Uma vez reconstruídas, procede-se à substituição das *linestrings* originais, pelas corrigidas, com comandos simples para eliminar e inserir dados na tabela.

- **Validar Loop**

Atendendo à semelhança dos erros, o procedimento aplicado para a correção dos erros do tipo 7 - *Loop* (cf. Tabela 1) (Figura 40) é também semelhante ao empregue anteriormente para a remoção dos erros do tipo 6 - *Kick back*.

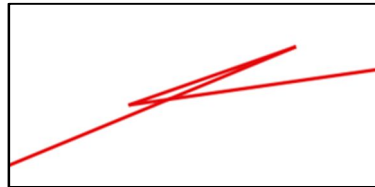


Figura 40 - Aparência de erros do tipo 7

O fluxo da “Função Repara *Loops*”, criada para validar este tipo de erros (Figura 41), à semelhança da função anterior, inicia na deteção dos erros, procede à correção desses erros e finaliza com a substituição nos dados originais.

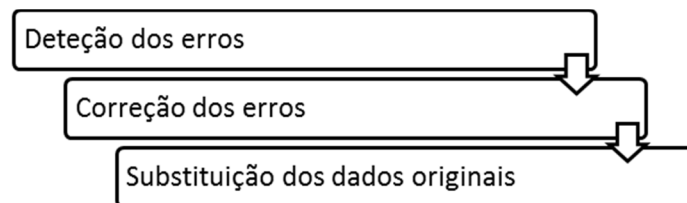


Figura 41 - Fluxo da “Função Repara *Loops*”

Todos os erros que sejam identificados por esta função são também corrigidos automaticamente, não necessitando de igual modo de correção manual. As funções do *PostGIS* utilizadas nesta função coincidem com as que são usadas na “Função Remove *Kickbacks*” pelo facto das fases 1 e 3, Deteção dos erros e Substituição dos dados originais respetivamente, serem idênticas.

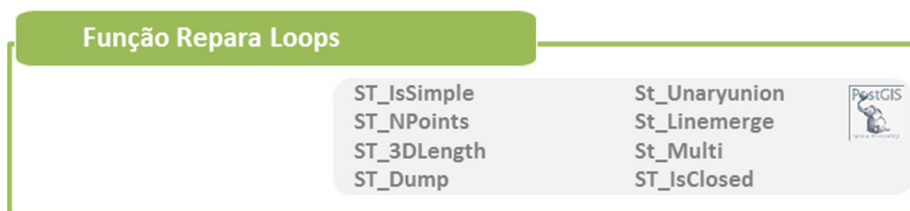


Figura 42 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Repara *Loops*” (Fragmento do Anexo F)

A diferença de procedimentos desta função perante a anterior reside na fase 2, Correção dos erros, onde é utilizada uma nova função do *PostGIS*, a função “*ST_IsClosed*”.

Deteção dos erros

Sendo esta fase idêntica à “Função Remove *KickBacks*” e já descrita, importa elucidar que nos erros identificados por autointerseções já não figuram os erros do tipo 6 por terem sido já corrigidos. Importa também referir que podem ser identificados nos candidatos a erro falsos erros. Poderá ser exemplo de um falso erro, o arruamento que contorna um quarteirão numa localidade se o operador, aquando da sua aquisição, criar uma única *linestring* que fecha sobre ela própria (Figura 43).

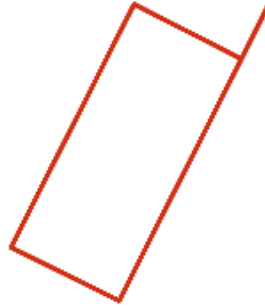


Figura 43 - Exemplo de falso erro de *Loop* (quarteirão)

Correção dos erros

A correção é efetuada igualmente sobre as *linestrings* presentes na tabela de erros (*erros_loop*) criada com os candidatos a erro detetados.

A Figura 44 ilustra a sequência dos procedimentos de remoção deste erro. Na coluna da esquerda são mostradas as imagens geradas pelo QGIS do processamento efetuado. Na coluna da direita, as imagens a 3D equivalentes geradas pelo *ArcScene* para auxílio à compreensão e ao enquadramento 3D da resolução do erro. As imagens da primeira linha apresentam uma *linestring* com um exemplo de um erro do tipo 7. Na segunda linha da figura são apresentadas imagens que representam um processamento intermédio em que é criado um vértice na autointerseção e efetuada a divisão em 3 partes independentes (*linestrings* distintas) resultantes da quebra no vértice criado. Este vértice é criado a 3D, resultando da verificação de autointerseção a 2D.

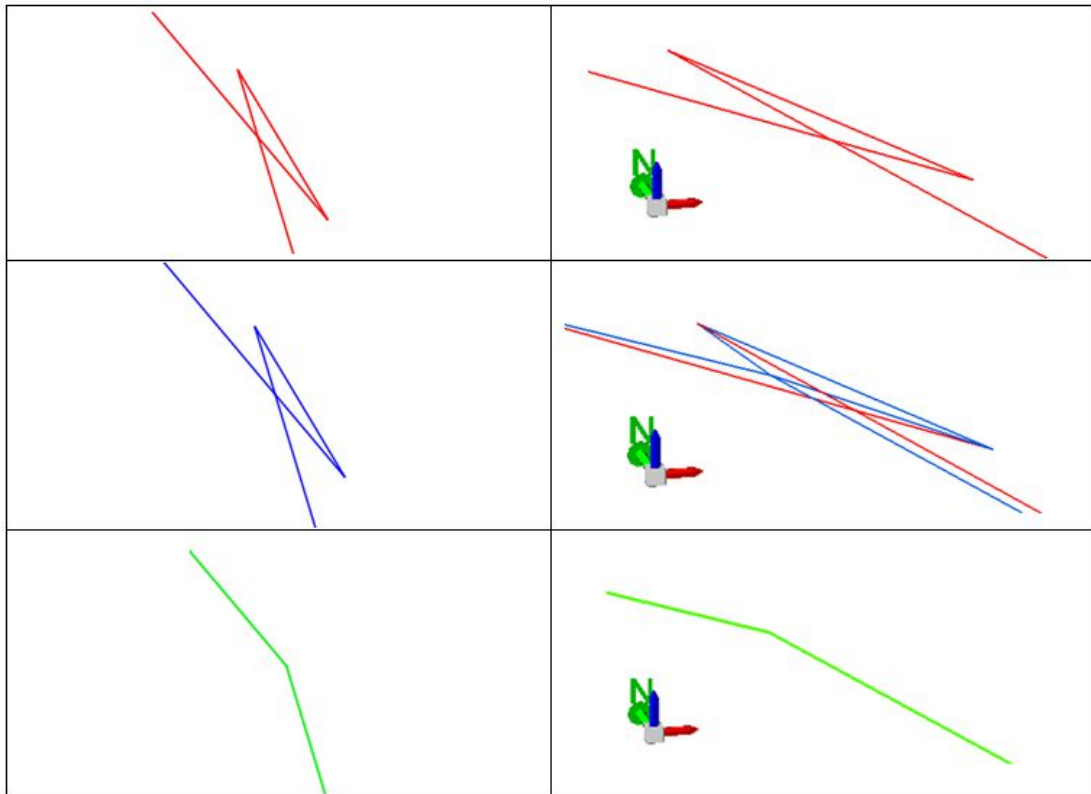


Figura 44 - Sequência de procedimentos da remoção do erro *Loop*

Cada *linestring* está agora dividida por três *linestrings* unidas no vértice. Uma das *linestrings* corresponde ao “laço” e a sua geometria é fechada. A resolução deste erro consiste em eliminar a *linestring* fechada, sendo identificada através da função do *PostGIS* “*ST_IsClosed*” (Figura 45).

```
delete from erros_loop_1
where st_isclosed(geom) = true
and st_3dlength(geom)<9;
```

Figura 45 - Excerto do código SQL da “Função Repara *Loops*”

A eliminação da *linestring* fechada tem um parâmetro de controlo. Este é utilizado pelo facto de existirem os falsos erros já apresentados. Estes não podem ser processados por esta função. Assim, apenas são eliminadas as *linestrings* fechadas cujo comprimento seja inferior a 9 metros. Este parâmetro corresponde ao triplo da tolerância admissível para correções automáticas da rede viária. Todos os Falsos erros têm um comprimento superior a este parâmetro. Após esta eliminação, é reconstruída novamente a *linestring* por união das restantes duas partes baseada no id comum, proveniente da *linestring* original. Caso a *linestring* corresponda a um falso erro, com a reconstrução retoma a geometria original, não sofrendo qualquer modificação. A terceira linha da figura apresenta a *linestring* corrigida.

Substituição dos dados originais

Uma vez reconstruídas, procede-se à substituição das *linestrings* originais, pelas corrigidas, com comandos simples para eliminar e inserir dados na tabela.

- **Validar pontas soltas**

Para a validação de “pontas soltas” foi criada a “Função Repara *Dangles*” que executa uma série de operações sobre os dados de entrada de modo a detetar e corrigir automaticamente em 3D os erros dos dados do tipo 1 e 2. São considerados erros de tipo 1 - *Dangle* e de tipo 2 - *Node Mismatch* (cf. Tabela 1) as “pontas soltas” resultantes de duas ou mais *linestrings* não se encontram unidas pelo facto de os seus vértices iniciais ou finais não serem coincidentes. A Figura 46 mostra exemplos da aparência destes erros, alertando para o facto de que estas distâncias, entre *linestrings* não unidas, são normalmente muito reduzidas, na ordem dos centímetros.

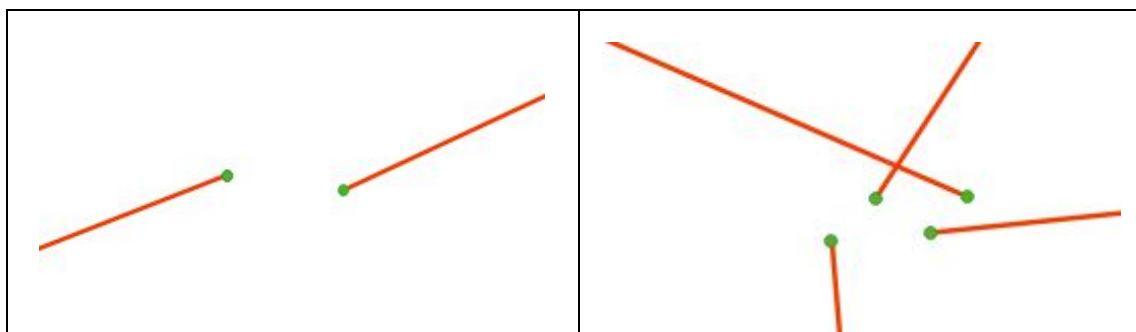


Figura 46 - Aparência dos erros do tipo 1 e 2 respetivamente

A origem destes erros provém dos fatores apresentados 2.1.4 e surgem normalmente quando o operador pretende iniciar ou terminar a aquisição de uma *linestring* noutra já existente. A correção automática deste tipo de erros apenas é efetuada se a distância entre a localização dos vértices a unir for inferior a 3 m (tolerância admitida para a rede viária).

O fluxo da “Função Repara *Dangles*” (Figura 47) materializa-se sob a forma de quatro procedimentos principais: o pré-processamento, a deteção dos erros, a correção desses erros e a sua substituição nos dados originais. Cada um destes procedimentos é descrito em pormenor ao longo desta secção.

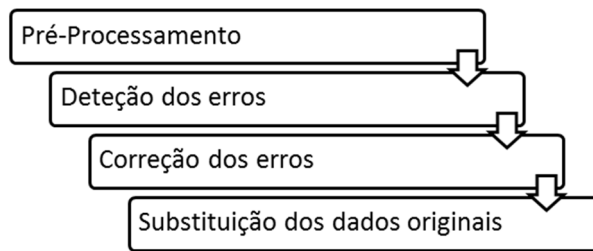


Figura 47 - Fluxo da “Função Repara *Dangles*”

Na Figura 48, um fragmento do Anexo F, são apresentadas as funções do *PostGIS* utilizadas por esta função e que serão descritas à medida que forem referenciadas.

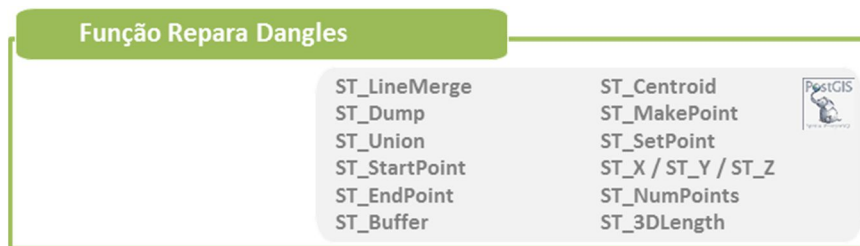


Figura 48 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Repara *Dangles*”
(Fragmento do Anexo F)

Pré-processamento

Na fase do pré-processamento, a “Função Repara *Dangles*” vai executar uma série de operações sobre estes dados de entrada por forma a otimizar o processamento subsequente, nomeadamente:

1. Clonagem da tabela da entidade geográfica a validar
É necessário executar a clonagem da tabela para poder efetuar todo o processamento e guardar as alterações, evitando assim, alterar a tabela inicial.
2. Alteração do tipo de geometria de *multilinestring* para *linestring*
Algumas das funções do *PostGIS* apenas processam dados do tipo *linestring*, como por exemplo a função “*ST_StartPoint*” que devolve a geometria do vértice inicial da *linestring*. Para poder executar esta função é realizada esta transformação recorrendo à função “*ST_LineMerge*” logo à partida. Assim, e também para otimizar o processo, evita-se fazer esta operação aquando de cada execução destas funções durante o processamento com recurso à combinação das funções “*ST_StartPoint(ST_LineMerge(geom))*”. No final da função converter-se novamente para o formato *multilinestring* para manter os dados no formato original.

3. Eliminação de *linestrings* com comprimentos inferiores a 3m.

A remoção destes elementos não significa que tenham sido mal adquiridos, mas tendo em conta que a tolerância admissível para fazer modificações é de 3 m, a correção do espaço vazio por estes deixado fica assegurada. Desta forma é reduzida a quantidade de dados a processar, otimizando o processo.

Deteção dos candidatos a erros

Os candidatos a este tipo de erro serão todas as “pontas” de cada *linestring*. A sua identificação e armazenagem são realizadas através das seguintes ações:

1. Encontrar *start nodes* e *end nodes*

A deteção dos candidatos a erros é conseguida recorrendo às funções “ST_StartPoint” e “ST_EndPoint” que devolvem, respetivamente, a geometria do vértice inicial e do vértice final de cada *linestring*.

Os 1734 círculos que são apresentados a vermelho na Figura 49 representam todos os vértices iniciais e finais (terminais) das *linestrings* pertencentes à entidade geográfica Estradas da folha 307 da Carta 1:25 000.

De notar que esta entidade engloba os subtipos Autoestrada, Estrada com Separador, Estrada Larga e Estrada Estreita.

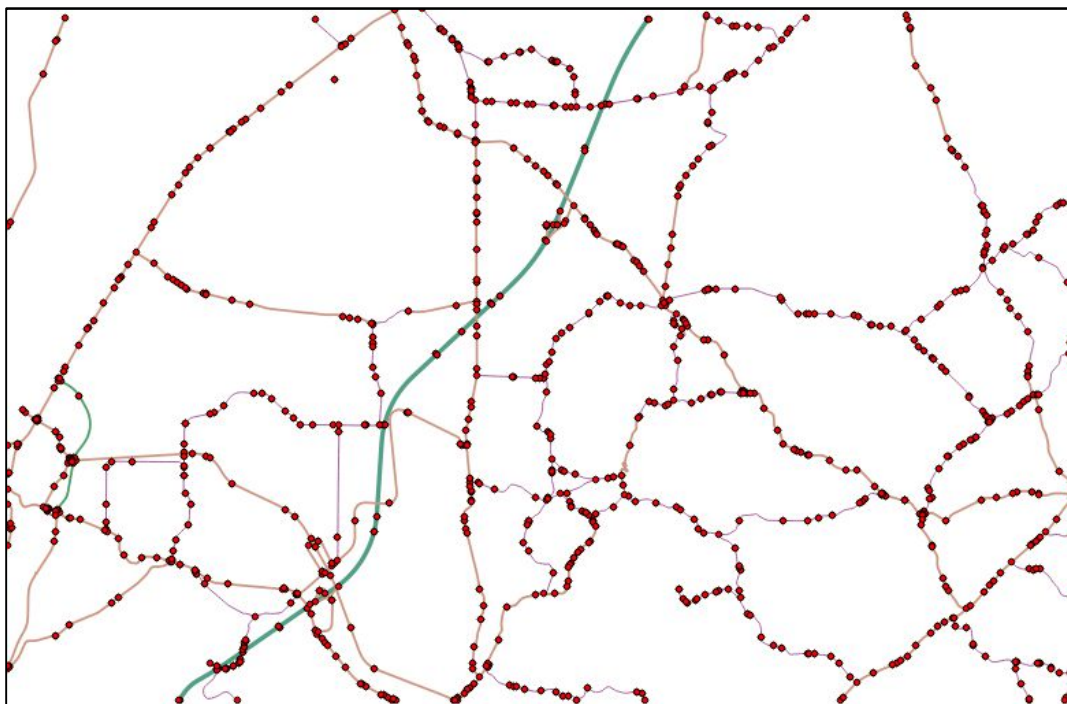


Figura 49 - Vértices iniciais e finais das *linestrings* da entidade Estradas

No entanto, não querem estes vértices dizer que estamos na presença de 1734 erros. O vértice terminal de uma *linestring* que represente o fim de uma via, como por exemplo o fim de um caminho a pé posto, não é realmente erro. Não o são também os vértices terminais que materializem o limite da folha, pelo que não devem sofrer qualquer tipo de correção. Não são ainda erros os vértices terminais de uma *linestring* que sejam coincidentes com os vértices terminais das *linestrings* contíguas (*linestrings* ligadas). Assim serão realmente erros as situações em que os vértices terminais de uma *linestring* não sejam coincidentes com os vértices terminais das *linestrings* contíguas (*linestrings* não unidas) como exemplificado na Figura 46.

2. Armazenar todos os vértices terminais numa tabela única (designada por `d_nodes_j`) para facilitar o processamento seguinte.

Correção dos erros

O conceito empregue para a correção destes erros consiste em criar um ponto cuja posição seja o centro geométrico (centroide) em 3D do conjunto de vértices que formam o erro *node mismatch*. Este novo ponto criado será o vértice comum a todas as *linestrings* que formam o erro. Substituirá os vértices terminais de cada *linestring*, criando desta forma uma ligação entre as *linestrings* e resolvendo o erro.

Para efetuar esta correção são executados os seguintes procedimentos:

1. Criação de uma zona de *buffer* a todos os vértices terminais

É necessário estabelecer uma “área de influência” de cada vértice terminal das *linestrings* dentro da qual poderá sofrer correções à sua geometria. Atendendo a que os dados a validar e as correções a fazer devem garantir a terceira dimensão, esta “área de influência” deveria ser materializada por uma esfera, centrada no vértice e cujo raio estaria definido em função da tolerância admissível para as correções automáticas (3 m). Da interceção dessas esferas seria calculado o centroide que se constituiria como o novo vértice terminal comum às várias *linestrings* e resolveria o erro. Do catálogo de funções do *PostGIS* que suportam operações em 3D não consta nenhuma que permita criar a esfera pretendida. Este problema é facilmente contornável aplicando às funções “*ST_Buffer*” e “*ST_Centroid*” em 2D, que permitem obter as coordenadas XY desse centroide, sendo necessário calcular a coordenada Z em função das cotas dos vértices envolvidos na correção.

A Figura 50 apresenta a aplicação do *buffer* a cada vértice terminal e a união desses mesmos buffers através da ferramenta “*ST_Union*”. Esta figura, à semelhança das seguintes, é composta por duas imagens. À esquerda é mostrada a imagem gerada pelo

QGIS do processamento efetuado. À direita, uma imagem a 3D equivalente (não criada pelo processamento do *PostGIS*) para auxílio à compreensão e ao enquadramento 3D da aplicação ideal da esfera (buffer a 3D) a cada vértice.

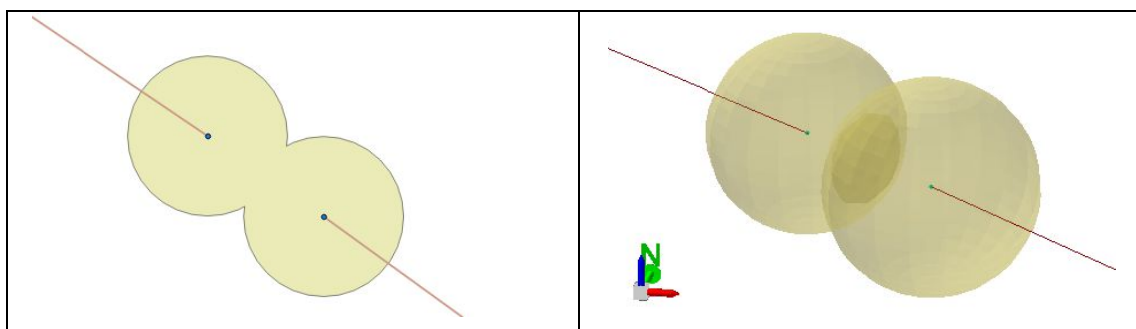


Figura 50 - Aplicação do *Buffer* aos vértices terminais

2. Criação do centroide da união dos *buffers*
3. Após a criação de um polígono gerado pela união dos vários *buffers* que se interseitam, é criado o centroide com a ferramenta “*ST_Centroid*”¹⁰. Este ponto encontra-se em 2D e as suas coordenadas XY darão origem ao vértice comum e final da ligação.

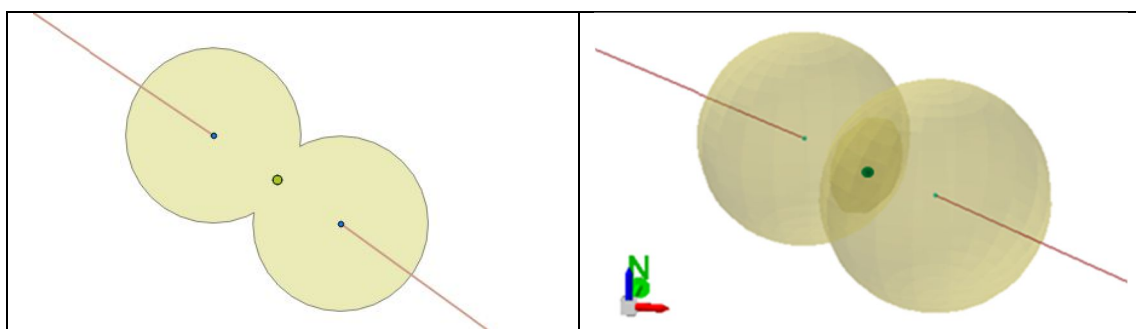


Figura 51 - Centroide criado

Para a determinação da coordenada Z (cota) deste ponto, é calculada a média aritmética das cotas dos vértices que interseitam cada união de *buffers*.

Este processamento descrito é aplicado em todos os vértices terminais, sendo que, aqueles onde não exista erro, ou seja, que estejam unidos ou sejam fim de via, não sofrem alteração de coordenadas. A Figura 52 apresenta os vértices criados onde era necessário efetuar correção. No caso apresentado, entidade *EstradasL*, foram corrigidos automaticamente 118 erros de tipo 1 e 2.

¹⁰ O centroide no *PostGIS* é calculado através da média aritmética das coordenadas para pontos e média pesada em função da área para polígonos. Neste caso, como se trata de um único polígono, resultante da união dos *buffers* de cada nó e com igual área, o resultado final é idêntico à média aritmética das coordenadas dos nós que lhe deram origem.

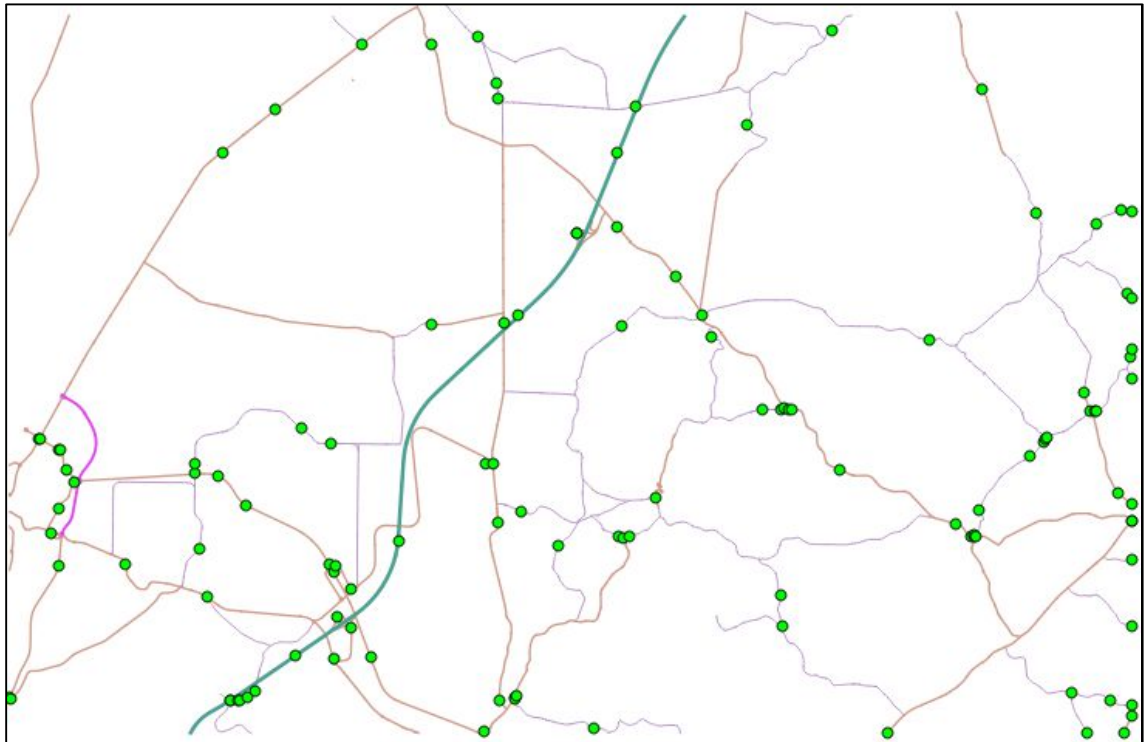


Figura 52 - Vértices criados na correção de erros do tipo 1 e 2 da entidade EstradasL

4. Substituição das coordenadas dos vértices terminais

Possuindo já as coordenadas XYZ do novo vértice, são atualizadas as tabelas dos vértices iniciais das *linestrings* com a sequência de comandos apresentados na Figura 53. Procedimento equivalente atualiza as coordenadas dos vértices finais das mesmas *linestrings*.

```

update d_nodes set startnode =
  st_makepoint(st_x(st_centroid((select geom from d_buffers where geom && startnode))),
    st_y(st_centroid((select geom from d_buffers where geom && startnode))),
    (select avg (z_value)
      from d_nodes_j
      where z_value in (select distinct z_value
                        from d_nodes_j
                        where (node && (select geom
                                       from d_buffers
                                       where (geom && startnode)
                                     )
                          )
    )
  );

```

Figura 53 - Excerto do código SQL da “Função Repara Dangles”

O excerto do código SQL demonstra uma forma de aceder à geometria das entidades geográficas utilizando algumas funções para a substituição das coordenadas dos vértices iniciais pelas coordenadas do novo vértice criado da seguinte forma:

- As coordenadas do vértice inicial (startnode) da tabela auxiliar d_nodes é atualizado pelas coordenadas do ponto criado pela função “ST_MakePoint”;

- Para criar esse ponto, a função “ST_MakePoint” é alimentada pelas coordenadas X e Y (“ST_X” e “ST_Y”) do centroide do(s) *buffer(s)* (já unidos anteriormente) e pela média das cotas dos vértices abrangidos por esse *buffer*.

Substituição dos dados originais

Uma vez atualizada a tabela auxiliar *d_nodes* que possui as coordenadas dos vértices iniciais e finais de cada *linestring*, são substituídas na tabela inicialmente clonada dos dados originais os vértices iniciais e finais das *linestrings*. As novas coordenadas destes vértices são provenientes da tabela auxiliar *d_nodes* que se relacionam através de um identificador único comum.

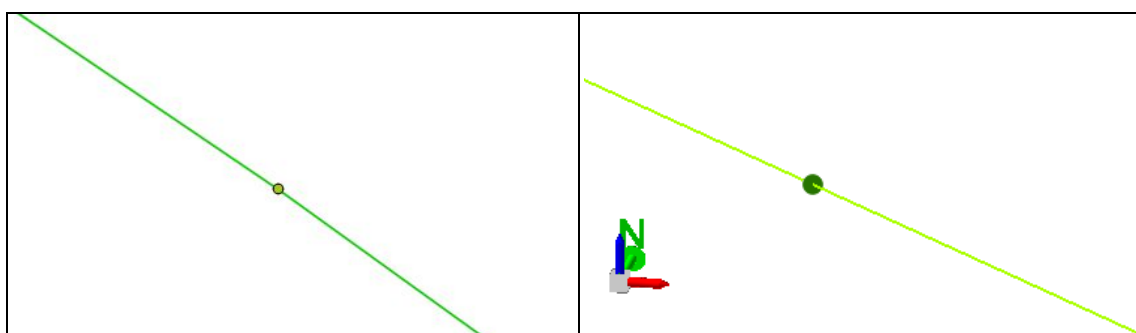


Figura 54 - Resultado da correção do erro

A Figura 54 mostra o resultado final, onde o vértice visualizado é simultaneamente vértice final da *linestring* antecedente e vértice inicial da *linestring* subsequente. Possuindo os vértices exatamente as mesmas coordenadas, estas duas *linestrings* outrora não unidas, estão agora isentas de erro.

- **Validar *undershoots/overshoots***

A validação dos erros do tipo 3 e 4, respetivamente *undershoots* e *overshoots* (cf. Tabela 1), é realizada no seguimento da validação de pontas soltas onde foram corrigidos os erros de tipo 1 e 2 (*dangles* e *node mismatch* respetivamente). Sendo estes erros semelhantes e com a mesma origem, quando o operador pretende iniciar ou terminar a aquisição de uma *linestring* noutra já existente, os erros do tipo 3 e 4 diferenciam-se dos erros de tipo 1 e 2 por não existir, na proximidade do vértice terminal da *linestring* não unida, um vértice terminal da *linestring* à qual deveria ligar (Figura 55). Tal diferença não permitiu a sua correção automática aquando da validação anterior com a “Função Repara *Dangles*”.

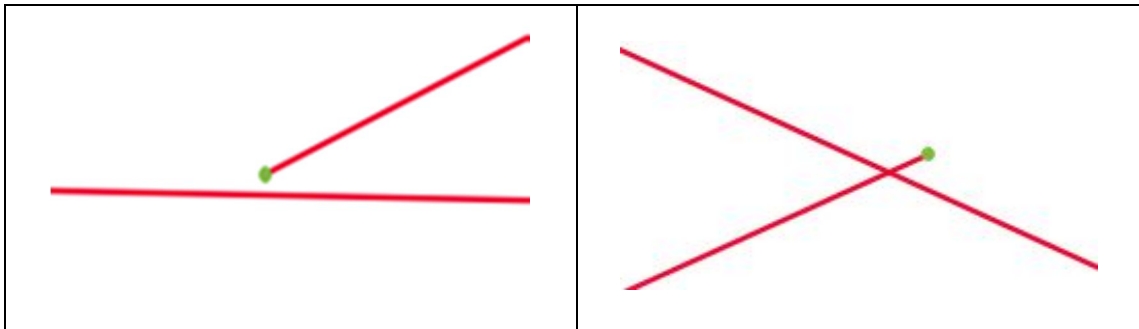


Figura 55 - Aparência dos erros do tipo 3 e 4 respectivamente

Para efetuar a correção automática deste tipo de erros, apenas se a distância entre a localização do vértice terminal da *linestring* não unida à *linestring* à qual deveria ligar for inferior a 3 m (tolerância admitida para a rede viária), foi construída a “Função Repara *Over/Undershoots*”.

O fluxo da “Função Repara *Over/Undershoots*” (Figura 56) assenta em quatro procedimentos principais: o pré-processamento, a deteção dos erros, a correção desses erros e a sua substituição nos dados originais.

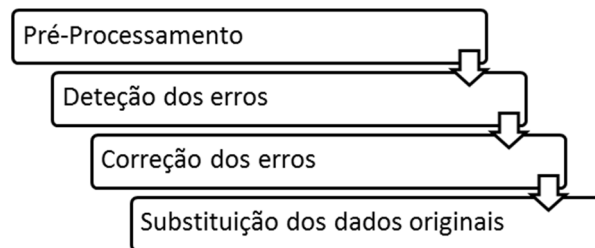


Figura 56 - Fluxo da “Função Repara *Over/Undershoots*”

Os procedimentos executados por esta função são semelhantes aos executados pela “Função Repara *Dangles*” devido à semelhança do tipo de erro. No entanto, as fases de deteção e correção desses erros apresentam diferenças significativas na metodologia utilizada. A Figura 57, um fragmento do Anexo F, apresenta as funções do *PostGIS* utilizadas por esta função.

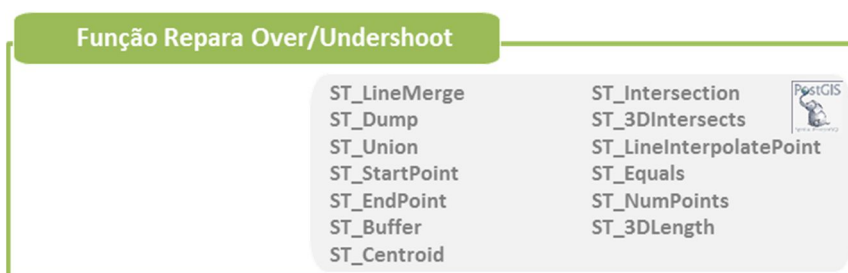


Figura 57 - Funções do *PostGIS* utilizadas na “Função Repara *Over/Undershoots*” (Fragmento do Anexo F)

Na explicação das várias fases do fluxo desta função apenas serão descritos procedimentos distintos dos já apresentados em validações anteriores ou quando estes recorram a funções do *PostGIS* ainda não referidas. Tratando-se de um procedimento já exposto anteriormente, como tal não será descrito, mas apenas mencionado quando necessário.

Pré-processamento

Na fase do pré-processamento, são executadas uma série de operações sobre estes dados de entrada por forma a otimizar o processamento subsequente, idênticas na função anterior (“Função Repara *Dangles*”):

1. Clonagem da tabela da entidade geográfica a validar;
2. Alteração do tipo de geometria de *multilinestring* para *linestring*.
3. Eliminação de *linestrings* com comprimentos inferiores a 3m.

Deteção dos erros

Os candidatos a este tipo de erro serão todos os vértices terminais de cada *linestring*. De todos estes possíveis erros, serão selecionados aqueles em que na sua proximidade exista uma *linestring* à qual se deveria unir. A sua identificação e armazenagem são realizadas através das seguintes ações:

1. Encontrar *start nodes* e *end nodes* em todas *linestrings*.
2. Identificar os vértices que não estão unidos outra *linestring*.

Esta identificação é efetuada por contagem do número de interseções que cada vértice terminal possui com todas as entidades lineares. Caso o número de interseções seja superior a um, esse vértice pertence a uma *linestring* que está unida a outra(s) e assim, isento de erros do tipo 3 ou 4. Caso apenas possua uma interseção, significa que se trata de um vértice pertencente a uma *linestring* não unida. Pode tratar-se de um fim de via ou de um erro do tipo 3 ou 4.

3. Criar de uma zona de *buffer* a todos os vértices não unidos a outra *linestring*.

É nesta “área de influência” de cada vértice terminal que será avaliada a existência de outra *linestring* à qual se deveria unir. Esta pesquisa decorre até à distância da tolerância admitida para a correção deste tipo de erros (3m).

4. Identificar quais dos vértices são erros a corrigir

Através da interseção do *buffer* criado em cada vértice, é efetuada a contagem do número de interseções que *buffer* com todas as entidades lineares. Com recurso à função do *PostGIS* “*ST_Intersection*”, que devolve o resultado da interseção (em 2D), é efetuada a

interseção dos *buffers* (de todos os vértices terminais) com todas as *linestrings* da entidade geográfica a validar. Este procedimento efetua uma primeira seleção onde são identificadas todas as *linestrings* dentro do *buffer*. Caso o *buffer* a que pertence o vértice apenas possua uma interseção, significa que se trata de um vértice de uma *linestring* que materializa o fim de uma via, ou seja não é um erro. Caso o número de interseções seja superior a um, significa que na sua proximidade existe outra *linestring* à qual se deve unir, tratando-se de um erro do tipo 3 ou 4. Estes vértices são armazenados numa tabela designada por *nodes2change*.

A Figura 58 mostra a identificação dos vértices das *linestrings* pertencentes à entidade geográfica EstradasL da folha 307 da Carta 1:25 000. A cor vermelha, a totalidade dos vértices terminais (1743 vértices), dos quais, a azul estão representados os 84 vértices que são fim de via, de entre os quais foram identificados, de cor verde, aqueles que possuem um erro do tipo 3 ou 4 (33 vértices) e que serão corrigidos automaticamente.

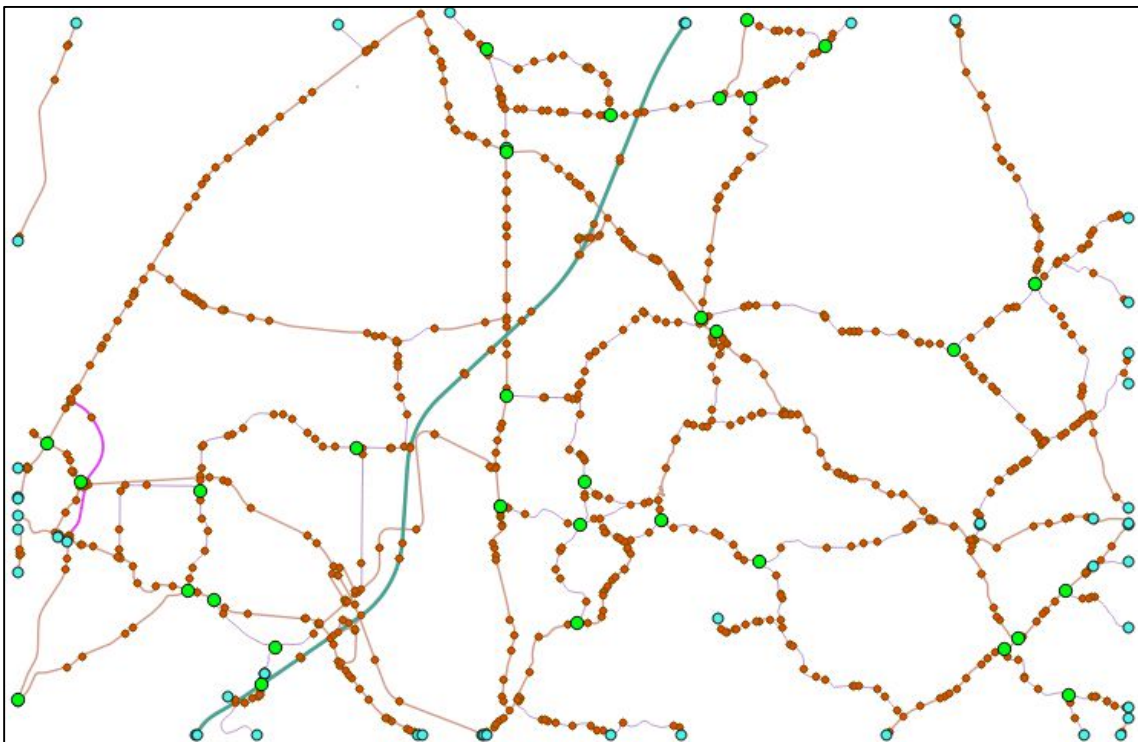


Figura 58 - Identificação nos erros tipo 3 e 4 das *linestrings* da entidade Estrada larga

Correção dos erros

O conceito empregue para a correção destes erros consiste em quebrar a *linestring* onde será unido o vértice a corrigir (*node2change*). Dessa quebra resulta um vértice que será o vértice

comum às *linestrings* que formam o erro (*node changed*). A substituição do *node2change* pelo *node changed* cria uma ligação entre as *linestrings* e resolve o erro.

Para efetuar esta correção são executados os seguintes procedimentos:

1. Identificar as *linestrings* às quais serão unidos os *nodes2change*.

- Da anterior interseção entre os *buffers* e as *linestrings*, cuja contagem permitiu identificar os “*nodes2change*”, foram criados troços das *linestrings* envolvidas no erro (tabela *ou_partB*).

Recorrendo ao mesmo tipo de imagem (2D/3D) usado na descrição da validação anterior, visualiza-se na Figura 59 um dos *nodes2change* a cor verde, o *buffer* sobre ele gerado (tolerância de 3 metros) a amarelo e a azul, todas as *linestrings* que intersestam esse *buffer*.

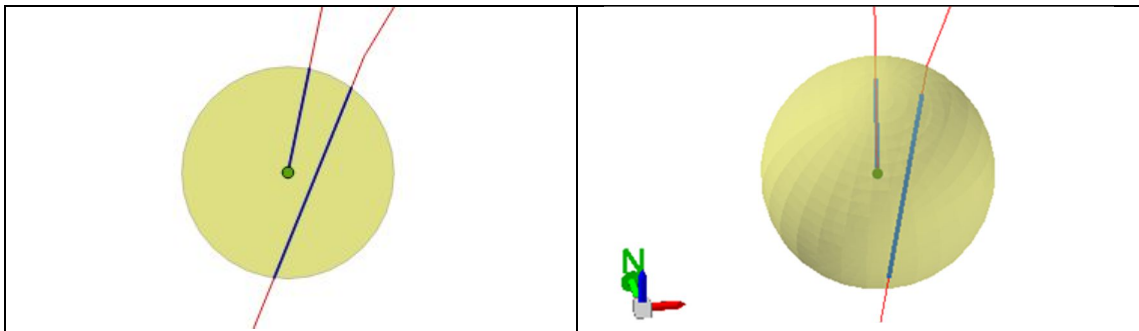


Figura 59 - Identificação de todas as *linestrings* que intersestam o *buffer*

- Desta primeira seleção (tabela *ou_partB* na Figura 60), onde também está ainda incluída a *linestring* a que o próprio vértice pertence, são identificadas as *linestrings* às quais serão unidos os erros (tabela *ou_partB_L_to_break* na Figura 60) selecionando aquelas que não intersestam o conjunto de vértices terminais (tabela *ou_nodes2* na Figura 60). É usada para esta identificação a função do *PostGIS* “*ST_3DIntersects*” que devolve *true* / *false* conforme as geometrias de intersestem em 3D ou não.

```
drop table if exists ou_partB_L_to_break cascade;
select* into ou_partB_L_to_break
  from ou_partB
  where geom not in (select ou_partB.geom
                    from ou_partB, ou_nodes2
                    where st_3dintersects(ou_partB.geom, ou_nodes2.node)=true);
```

Figura 60 - Excerto 1 do código SQL da “Função Repara *Over/Undershoots*”

A Figura 61 apresenta o resultado deste passo, onde se visualiza a *linestring* à qual será unido o vértice, neste caso com erro do tipo 3.

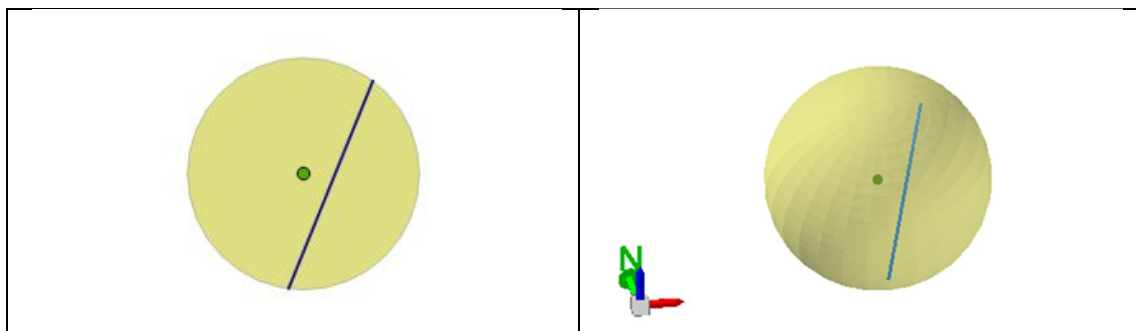


Figura 61 - Identificação do *node2change* e da *linestring* onde unir

2. Quebrar as *linestrings* originais no ponto mais próximo do *node* a ligar

O vértice que se pretende terá que pertencer à *linestring* e ser o mais próximo do *node2change*. É utilizada para isso a função do *PostGIS*, “*ST_LineInterpolatePoint*” conforme apresentado na Figura 62.

```
select b.gid,st_lineinterpolatepoint(l.geom, 0.5) node
into ou_nodes_changed
from ou_partB_L_to_break l, ou_buffers b
where (b.geom && l.geom);
```

Figura 62 - Excerto 2 do código SQL da “Função Repara *Over/Undershoots*”

Esta função cria um ponto na *linestring* (1º parâmetro de entrada) localizado na fração do comprimento total dessa *linestring* (2º parâmetro de entrada), neste caso 0.5, que corresponde a metade do comprimento. Este vértice corresponde à correção do vértice *node2change*, designado por *node_changed*. A Figura 63 apresenta a vermelho o vértice com erro, a azul a *linestring* onde vai unir e a verde, o vértice criado onde vai unir a *linestring* que contém o erro.

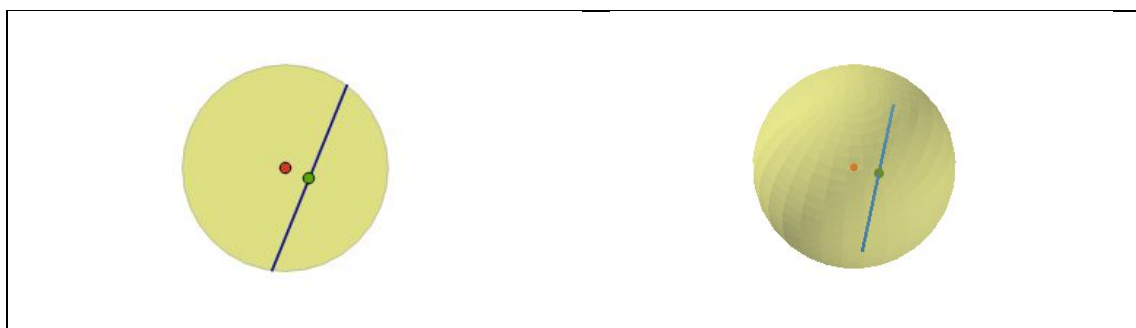


Figura 63 - Identificação do *node2change* e do *node_changed* onde unir

Substituição dos dados originais

Estando na posse da listagem dos novos vértices, os *node_changed*, estes vão substituir os *nodes2change* na tabela auxiliar que possui as coordenadas dos vértices iniciais e finais de cada *linestring*. Esta substituição realiza-se em função de um identificador único comum que permite a relação inequívoca entre os vértices com erro e os vértices corrigidos. O resultado da correção destes erros pode ser visualizada na Figura 64. Na Figura 65 são apresentados 4 exemplos de correções efetuadas nas *linestrings* pertencentes à entidade geográfica EstradasL da folha 307 da Carta 1:25 000.

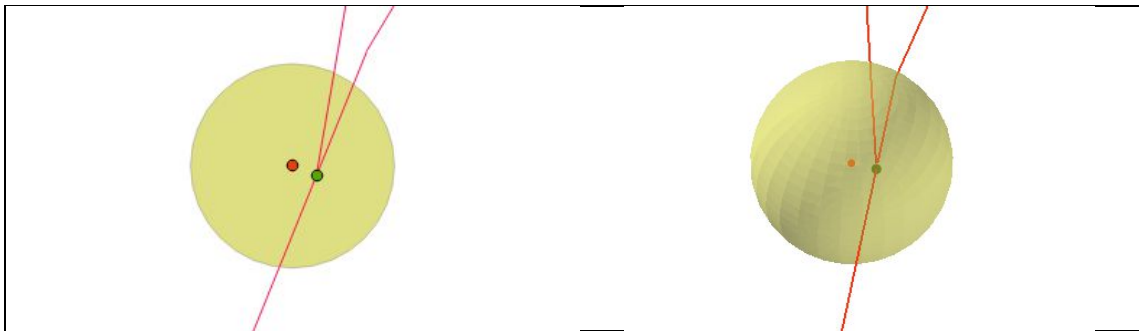


Figura 64 - Resultado da substituição dos *node2change* pelos *node_changed*

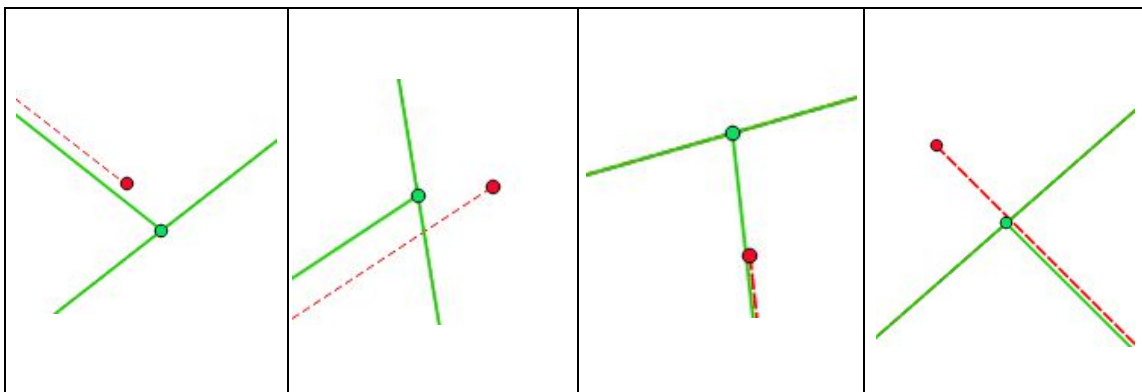


Figura 65 - Exemplos de correções efetuadas a erros do tipo 3 e 4

Há no entanto necessidade de estabelecer controlos a esta correção. O principal controlo visa impedir uniões erradas em cota (na coordenada z). Tendo em conta que esta função recorre a alguns processamentos em 2D, como por exemplo os *buffers* e as interseções que os envolveram, podem ser ligadas duas *linestrings* que não pertençam à mesma via. Um exemplo desta situação são os viadutos, onde se cruzam duas vias mas em cotas distintas que não deverão, em circunstância alguma, ser unidas entre si. Outro controlo prende-se com uma inaptidão desta função. Em situações onde a mesma *linestring* contenha dois erros deste tipo, ou seja, quando as duas extremidades possuem este erro, a função pode efetuar uma correção

errada. Deve-se ao facto de esta função reconhecer os vértices em função do identificador da *linestring* que pode levar a “confusões” no momento da substituição dos dois vértices com erro pelos dois vértices com novas coordenadas.

O controlo destas substituições é efetuado através da implementação da tolerância admissível para as correções. São excluídas da correção automática as situações onde a distância mínima entre o vértice a corrigir e o vértice corrigido ultrapasse os 3 metros. Estes erros serão alvo de correção manual, sendo identificados numa tabela de erros.

Se a primeira situação deste controlo, o problema dos viadutos, deve ser corrigida manualmente, a segunda deveria ser alvo de correção manual. Embora se trate de situações esporádicas e não implicar um elevado número de correções manuais, deverá ser, em trabalhos futuros, implementados melhoramentos que permitam otimizar este processo.

3.5.3 Validação de Integridade Espacial

A Validação da Integridade Espacial visa analisar a distribuição espacial das várias entidades geográficas. Esta fase da validação, à semelhança dos processos de validação implementados no CIGeoE, é apenas de verificação, não executadas quaisquer correções automáticas. A sua correção requer uma interpretação cuidada por parte do operador.

O procedimento adequado para proceder à Validação da Integridade Espacial assenta na implementação uma estrutura topológica. O *PostGIS* permite implementar uma estrutura topológica, um processo um pouco complexo e trabalhoso e que apenas apresenta dois operadores espaciais, “*Equals*” que devolve *true* /*false* caso as *topogeometries* sejam ou não compostas pelas mesmas primitivas e o operador “*Intersects*” que analisa a interseção de duas *topogeometries* (PostGIS, 2015).

Atendendo ao tipo de dados de base deste projeto, limitado a entidades geográficas lineares pertencentes ao mesmo tema, verificou-se ser um pouco redutor para implementar uma estrutura topológica, não sendo explorada esta componente do *PostGIS*.

Com base nos processos de validação implementados no CIGeoE e apresentados no Capítulo 2, verifica-se que a maioria das Validações de Integridade Espacial aos dados de base deste projeto, envolvem entidades geográficas pertencentes a outros temas, aqui não abordados, como a hidrografia, as construções e também a altimetria. São exemplo dessas verificações:

- A sobreposição de entidades de tipo área, como as construções, com entidades lineares como as vias de comunicação;
- A localização de pontes desintegrada das vias de comunicação e da hidrografia.

Assim, esta limitação dos dados de base, apenas permite validações entre entidades lineares e, como são pertencentes ao mesmo tema, refletem unicamente alguns aspetos das Normas de Aquisição. Foi criada a “Função Integridade Espacial” que, através de *queries* aos dados de base, permite identificar entidades cuja espacialidade viole as Normas de Aquisição.

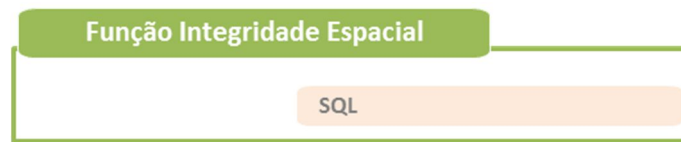


Figura 66 - Ferramentas utilizadas na “Função Integridade Espacial”
(Fragmento do Anexo F)

São avaliadas as seguintes regras de integridade espacial:

- A uma autoestrada só pode ser conectada por estrada larga ou estrada estreita (nos acessos de entrada e saída e acesso a portagens) e arruamento (escapatórias para áreas de serviço e seu interior);
- Um acesso auto terá que estar ligado a uma estrada de categoria igual (acesso auto ou arruamento) ou superior;
- Uma extremidade do arruamento deve estar ligada a uma estradas de categoria igual (arruamento ou acesso auto) ou superior.

3.6 Análise de resultados

Os resultados obtidos pela aplicação do processo de validação desenvolvido aos dados de base do projeto são avaliados neste parágrafo. A metodologia utilizada para analisar os resultados subdivide-se em duas fases. A primeira inclui a preparação dos dados para a implementação do processo de análise e a sua execução. Na segunda fase são analisados os erros identificados pelo processo de análise utilizado e são apresentados os respetivos resultados.

3.6.1 Processo de análise e preparação dos dados

Para avaliar os resultados da metodologia proposta é realizada uma comparação entre o processo de validação desenvolvido e os processos de validação implementados no CIGeoE.

Na execução das tarefas de todo o processo de validação implementado no CIGeoE são alocados recursos materiais e humanos exclusivamente para o efeito. O tempo de execução da validação de uma folha pode representar 20 a 30 dias de trabalho/operador/folha. Pelo facto deste projeto apenas realizar a validação de dados da Rede Viária em vez de toda a informação da folha, verifica-se difícil estabelecer uma comparação mensurável ao nível dos recursos tempo de execução e recursos humanos empenhados.

Ao nível da qualidade dos dados validados pelo processo de validação desenvolvido neste projeto, a avaliação dos resultados recai num processo comparativo entre o estado inicial e final dos dados validados.

A determinação da qualidade dos dados obtém-se por contabilização dos erros identificados submetendo os dados a um processo de validação externo, não recorrendo ao *PostGIS*. Para a determinação do processo de validação externo, o processo implementado no CIGeoE foi excluído por realizar a validação dos dados em formato CAD, considerando-se que a conversão dos dados em CAD deterioraria a qualidade dos mesmos. Foi escolhido, para validador externo, o processo de validação em SIG empregue na SFotog. Tal como referido anteriormente, este processo recorre ao *software ArcGIS* para efetuar a identificação dos erros dos dados.

O facto dos dados a analisar se restringirem à Rede Viária, não é possível a aplicação direta deste processo de validação, por estar estruturado e parametrizado para efetuar a validação em bloco, com várias entidades em conjunto. Assim, das ferramentas utilizadas por este processo de validação, escolheram-se aquelas que permitem realizar esta avaliação.

A identificação dos erros dos dados é conseguida por validação da topologia, criada nos dados para esta avaliação, onde se estabeleceram duas regras topológicas que permitem identificar o tipo de erros corrigidos pelo processo de validação desenvolvido:

- *Must Not Have Dangles* - a *linestring* não pode ter pontas soltas.
Esta regra permite identificar erros não corrigidos do tipo 1, 2, 3 e 4 (*Dangle*, *Node mismatch*, *Undershoot* e *Overshoot*).
- *Must Not Self-Intersect* - a *linestring* não se pode autointerceptar.
Esta regra permite identificar erros não corrigidos do tipo 6 e 7 (*Kick Back* e *Loop*).

Esta topologia é verificada de igual forma em todos subtipos da Rede Viária, antes e depois do processo de validação desenvolvido. Importa referir que, a verificação da regra “*Must Not Have Dangles*” identifica não só os erros que realmente importa corrigir, como também inclui “pontas soltas” que representam o fim das vias e que não merecem qualquer tipo de correção e é necessário proceder à sua remoção.

O procedimento para a determinar estas “pontas soltas” é semelhante ao utilizado em 3.5.2 aquando da identificação dos “*node2change*” no processo de correção dos erros do tipo 3 e 4, respetivamente *undershoots* e *overshoots*. Realizou-se uma contagem do número de interseções de vias (originais, sem correção) com um *buffer* com raio de 9 metros¹¹ criado em cada erro assinalado. São identificados como erros que materializam o fim de uma via, ou seja, não necessitam de correção (apenas uma interseção). Esses erros, comuns quer à validação aos dados originais, quer à validação aos dados corrigidos, são retirados da listagem de erros assinalados pelas verificações topológicas. Caso o número de interseções seja superior a um, trata-se de um erro topológico de *dangle*, não sendo excluído.

3.6.2 Apresentação dos resultados

Tempo de execução

O facto dos processos de validação serem distintos, a sua comparação não é mensurável. No entanto, atendendo aos resultados do tempo de processamento das funções que são apresentados na Tabela 4, verifica-se que os 312.38 segundos, equivalente a 5 minutos e 12,38 segundos, conferem um tempo de execução muito reduzido. Certamente não se constituirá como uma desvantagem para a sua implementação.

¹¹ O raio de nove metros, correspondente ao triplo da tolerância admissível em utilização para as correções automáticas. Esta distância permite salvaguardar que não são excluídos erros para correção manual.

Tabela 4 - Tempo de execução do processamento (segundos)

	Função Valida Estrutura	Função Remove Duplicados	Função Remove KickBacks	Função Repara Loops	Função Repara Dangles	Função Repara Over / Undershoots	Total
EstradasL	0.007	1.284			10.016	4.64	15.947
ViasOutrasL	0.010	8.423			264	24	296.433
						Total	312.38

Recursos humanos empenhados

No processo de validação em CAD, cada folha é atribuída a um operador que executa a sua validação por completo. No processo de validação em SIG, a validação de cada folha é executada por dois operadores distintos. Um operador valida a altimetria, o outro operador valida os restantes temas. Este processo apenas exige um operador, com recurso a equipamento que lhe permita efetuar as reduzidas correções manuais em estereoscopia.

Qualidade dos dados

A determinação da qualidade dos dados obtém-se por contabilização dos erros identificados pela validação topológica dos dados conforme descrito em 3.6.1, sendo apresentados nas tabelas seguintes os resultados dessa validação.

A Tabela 5 mostra, para cada subtipo de via (nas linhas), a contabilização discriminada dos erros identificados pela validação da regra topológica *“Must Not Have Dangles”*. Assim, nas colunas estão contabilizadas *“Pontas soltas”*, *“Dangles Iniciais”*, *“Dangles Finais detetados”*, *“Dangles Finais reais”* e por fim, na última coluna, a *“Taxa de correção”* dos erros reais. De todos os erros do tipo *dangle* identificados, foram separados as *“Pontas soltas”* (conforme descrito em 3.6.1). A coluna *“Dangles Iniciais”* apresenta a contagem de todos os erros do tipo *dangle* identificados nos dados originais subtraídos daqueles que correspondem a pontas soltas. A coluna *“Dangles Finais detetados”* apresenta a contagem de todos os erros do tipo *dangle* identificados nos dados corrigidos pelo processo de validação desenvolvido, subtraídos daqueles que correspondem a pontas soltas. Esta contagem inclui, quer os erros reais, quer aqueles que representam a ligação a outra via de subtipo diferente (falsos *dangles*). Na coluna *“Dangles Finais reais”* estão contabilizados, de entre os *Dangles Finais detetados*, aqueles que correspondem realmente a erros não corrigidos (ou provocados) pelo processo de validação desenvolvido. Esta identificação resultou de um processo manual de análise a cada erro final

detetado. A última coluna apresenta a taxa de correção real, calculada entre os “Dangles Iniciais” e os “Dangles Finais reais” com a seguinte relação:

$$\text{Taxa de correção} = \frac{\text{Dangles Iniciais} - \text{Dangles Finais reais}}{\text{Dangles Iniciais}}$$

Tabela 5 - Resultados da validação da regra topológica “Must Not Have Dangles”

	Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção
Autoestrada	4	11	0	0	100 %
Estrada com Separador	0	2	0	0	100 %
Estrada Larga	52	100	3	1	99 %
Estrada Estreita	46	96	15	1	99 %
Caminho Carreteiro	1819	1055	170	10	99 %
Caminho a Pé Posto	63	19	12	0	100 %
Acesso Auto	478	211	95	1	99.5 %
Arruamento	663	574	90	22	96 %

A Tabela 6 mostra, para cada subtipo de via (nas linhas), a contabilização dos erros identificados pela validação da regra topológica “Must Not Self-Intersect”. Assim, nas colunas estão contabilizadas as “Autointerseções Iniciais”, as “Autointerseções Finais” e por fim, na última coluna, a “Taxa de correção” dos erros deste tipo. Esta taxa é calculada entre os erros iniciais e finais detetados.

Tabela 6 - Resultados da validação da regra topológica “Must Not Self-Intersect”

	Autointerseções Iniciais	Autointerseções Finais	Taxa de correção
Autoestrada	0	0	-
Estrada com Separador	0	0	-
Estrada Larga	0	0	-
Estrada Estreita	0	0	-
Caminho Carreteiro	0	0	-
Caminho a Pé Posto	0	0	-
Acesso Auto	1	0	100 %
Arruamento	4	0	100 %

Cada subtipo de via será alvo de descrição pormenorizada com imagens elucidativas.

- **Autoestrada**

No subtipo de via Autoestrada foram identificados 11 erros de *dangle* antes da correção que foram corrigidos na totalidade. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 7 - Avaliação do subtipo de via Autoestrada

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
4	11	0	0	100 %	0	0	-

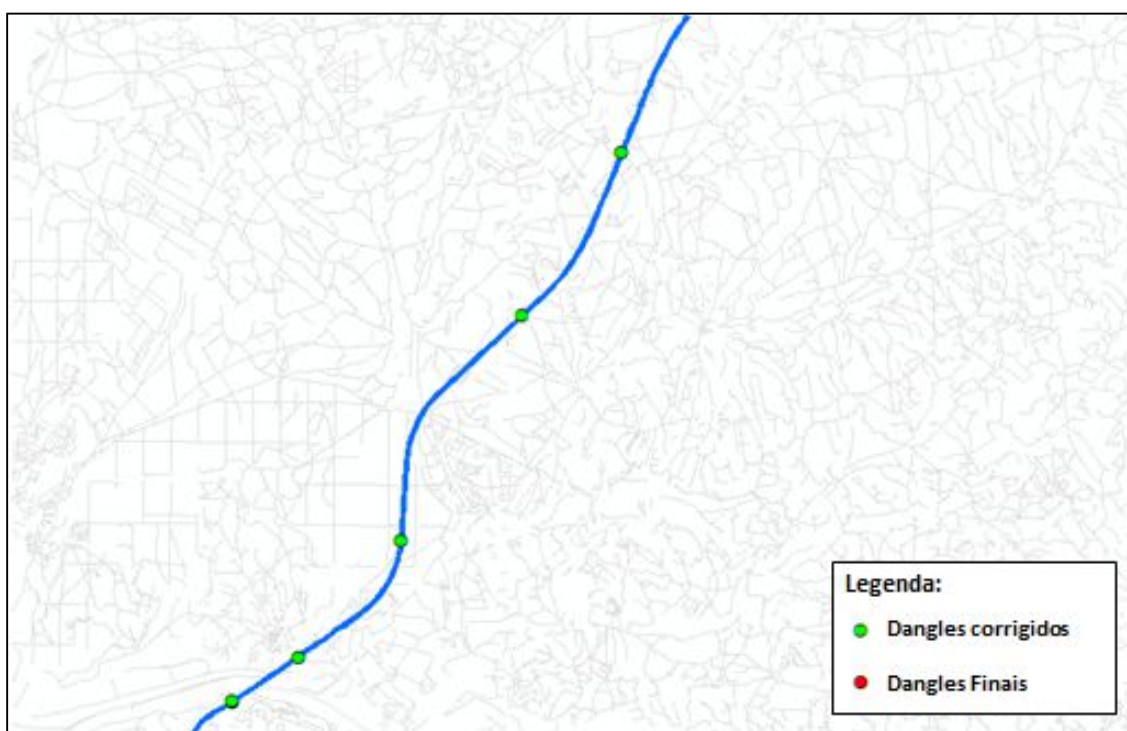


Figura 67 - Avaliação do subtipo de via Autoestrada

Na Figura 67 estão representados os 11 erros de *dangle* que foram corrigidos. Atendendo à dimensão da imagem, alguns *dangles* encontram-se sobrepostos, tendo em conta que a distância entre eles pode ser muito reduzida, muitas vezes na ordem dos centímetros.

- **Estrada com Separador**

No subtipo de via Estrada com separador foram identificados 2 erros de *dangle* antes da correção que foram corrigidos na totalidade. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 8 - Avaliação do subtipo de via Estrada com separador

<i>"Must Not Have Dangles"</i>					<i>"Must Not Self-Intersect"</i>		
Pontas Soltas	<i>Dangles</i> Iniciais	<i>Dangles</i> Finais detetados	<i>Dangles</i> Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
0	2	0	0	100 %	0	0	-



Figura 68 - Avaliação do subtipo de via Estrada com separador

- Estrada Larga

No subtipo de via Estrada larga foram identificados 100 erros de *dangle* antes da correção, tendo sido corrigidos 99 e detetado 1 erro não corrigido. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 9 - Avaliação do subtipo de via Estrada larga

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
52	100	3	1	99 %	0	0	-

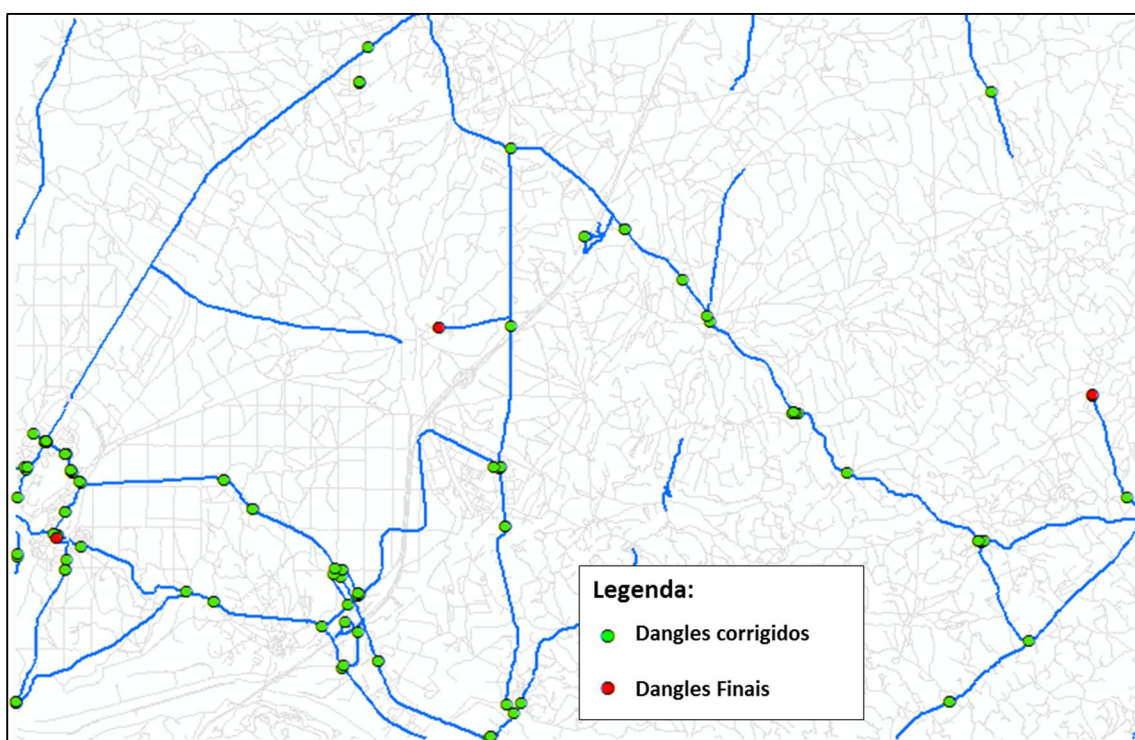


Figura 69 - Avaliação do subtipo de via Estrada larga

O erro final identificado é resultante de uma correção deficiente da "Função Resolve *Dangles*". Como pode ser verificado na Figura 70, a *linestring* inicial, a cor vermelha, foi corrigida de forma inapropriada, resultando dessa correção a *linestring* final, com cor azul, que é detentora de um erro do tipo 1 - *dangle*. Os restantes dois erros correspondem a uma conexão a outro subtipo de via.

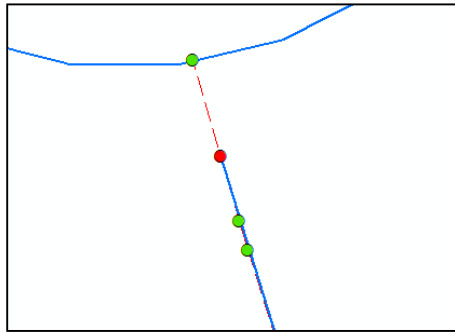


Figura 70 - Erro não corrigido no subtipo de via Estrada larga

- **Estrada Estreita**

No subtipo de via Estrada estreita foram identificados 96 erros de *dangle* antes da correção, tendo sido corrigidos 99 e detetado 1 erro não corrigido. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 10 - Avaliação do subtipo de via Estrada estreita

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
46	96	15	1	99 %	0	0	-

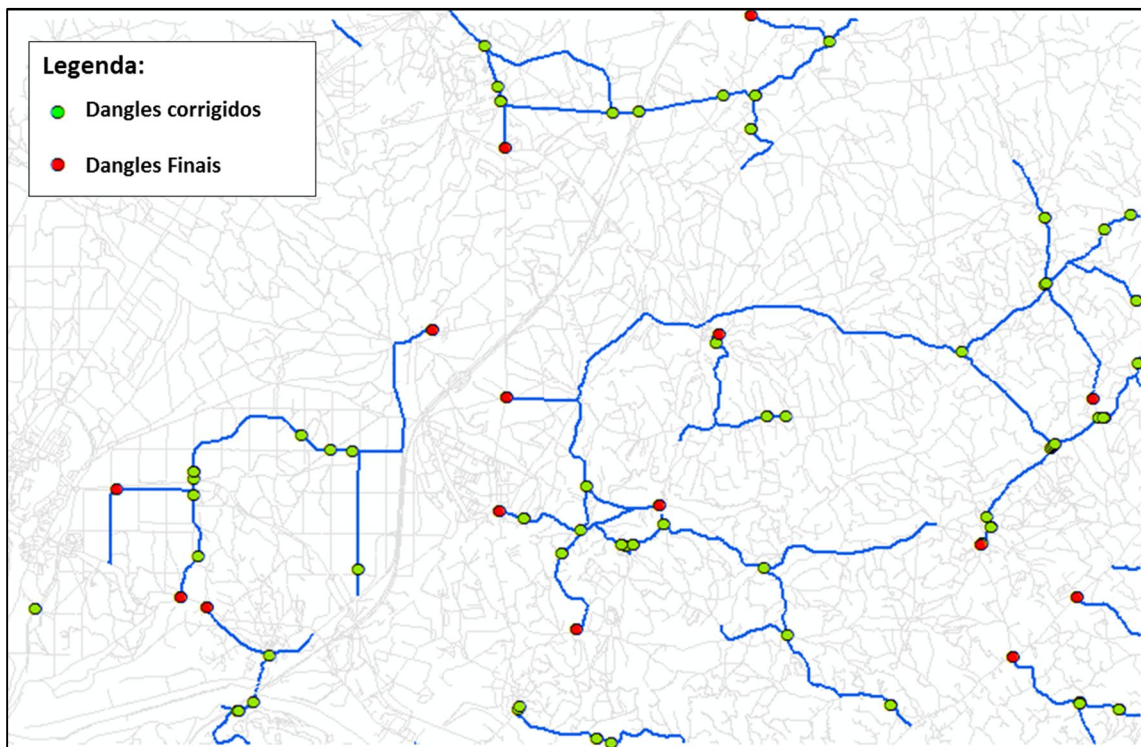


Figura 71 - Avaliação do subtipo de via Estrada estreita

A Figura 72 mostra o erro não corrigido. Este erro do tipo 4 - *overshoot* deveria ter sido corrigido através da “Função Repara *Over/Undershoots*”.

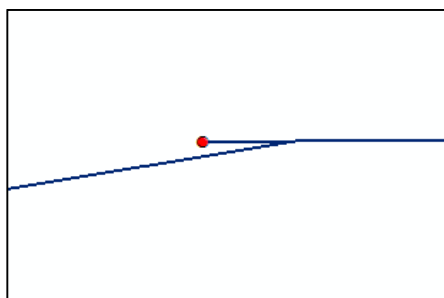


Figura 72 - Erro não corrigido no subtipo de via Estrada estreita

Os restantes 14 erros assinalados como *dangles*, na realidade encontram-se conectados, mas a outro tipo de via. O exemplo apresentado na Figura 73 resulta de uma correção para conexão à Estrada larga.

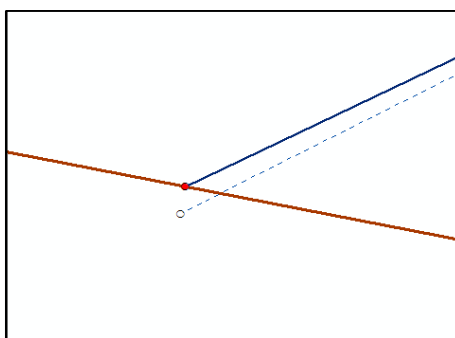


Figura 73 - “Falso erro” de *dangle* no subtipo de via Estrada estreita

- **Caminho Carreteiro**

No subtipo de via Caminho carreteiro, entidade com maior volume de dados, foram identificados 1055 erros de *dangle* antes da correção, tendo sido corrigidos 1045 e detetados 10 erros não corrigidos. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 11 - Avaliação do subtipo de via Caminho carreteiro

“Must Not Have Dangles”					“Must Not Self-Intersect”		
Pontas Soltas	<i>Dangles</i> Iniciais	<i>Dangles</i> Finais detetados	<i>Dangles</i> Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
1819	1055	170	10	99 %	0	0	-

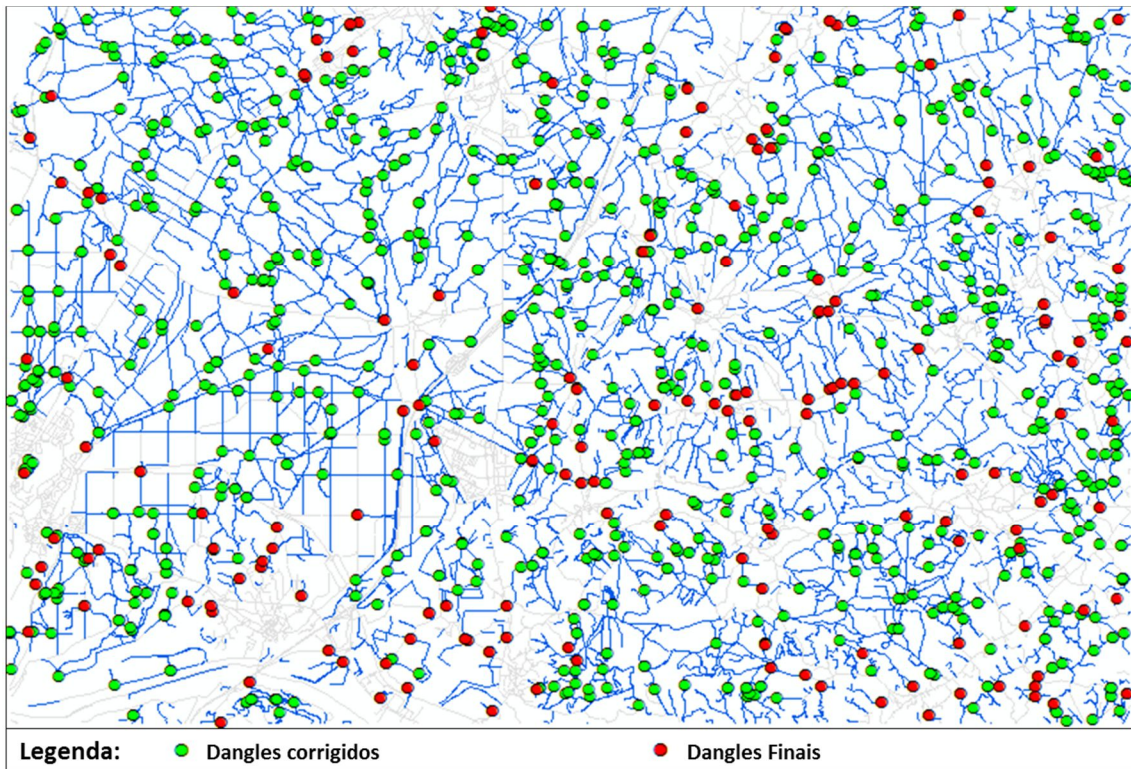


Figura 74 - Avaliação do subtipo de via Caminho carreteiro

A Figura 75 apresenta dois dos erros não corrigidos, resultantes de correções deficientes da “Função Resolve *Dangles*”.

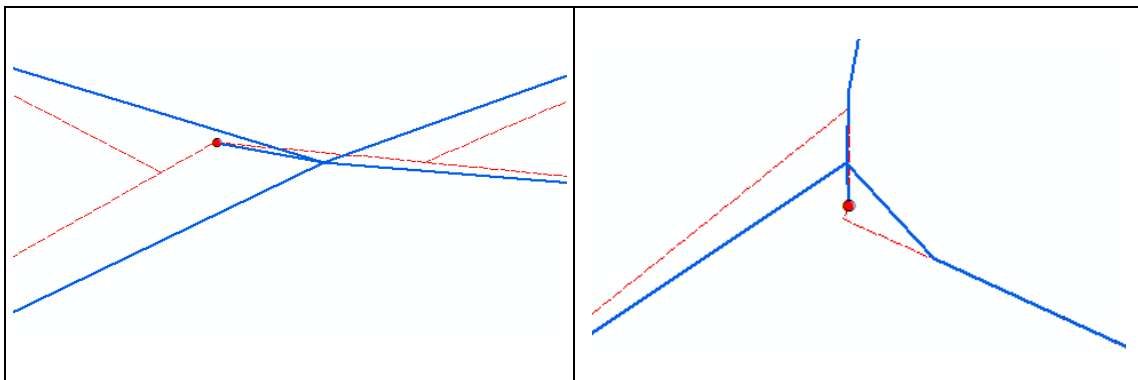


Figura 75 - Exemplos de erros não corrigidos no subtipo de via Caminho carreteiro

- Caminho a Pé posto

No subtipo de via Caminho a pé posto foram identificados 19 erros de *dangle* antes da correção que foram corrigidos na totalidade. Não foram identificados quaisquer erros de autointerseção.

Tabela 12 - Avaliação do subtipo de via Caminho a pé posto

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
63	19	12	0	100 %	0	0	-

De entre os 12 erros de *dangle* identificados, 11 desses erros correspondem a uma conexão a outro subtipo de via. O restante erro encontra-se no limite da folha, pelo que deveria ter sido identificado como fim de via, como se apresenta na Figura 76.

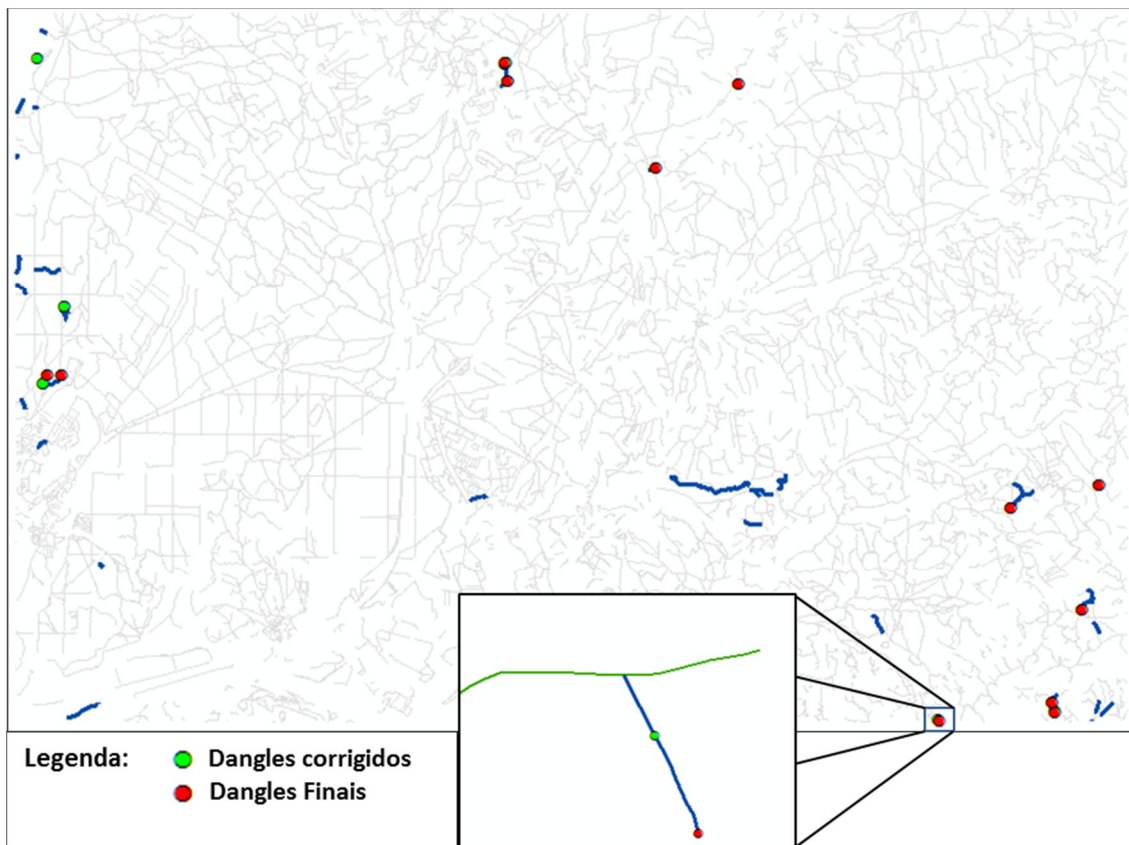


Figura 76 - Avaliação do subtipo de via Caminho a pé posto

- **Acesso Auto**

No subtipo de via Acesso auto foram identificados 211 erros de *dangle* antes da correção, tendo sido corrigidos 210 e detetado um erro não corrigido. Foi ainda identificado um erro de autointerseção que foi corrigido.

Tabela 13 - Avaliação do subtipo de via Acesso auto

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
478	211	95	1	99.5 %	1	0	100 %

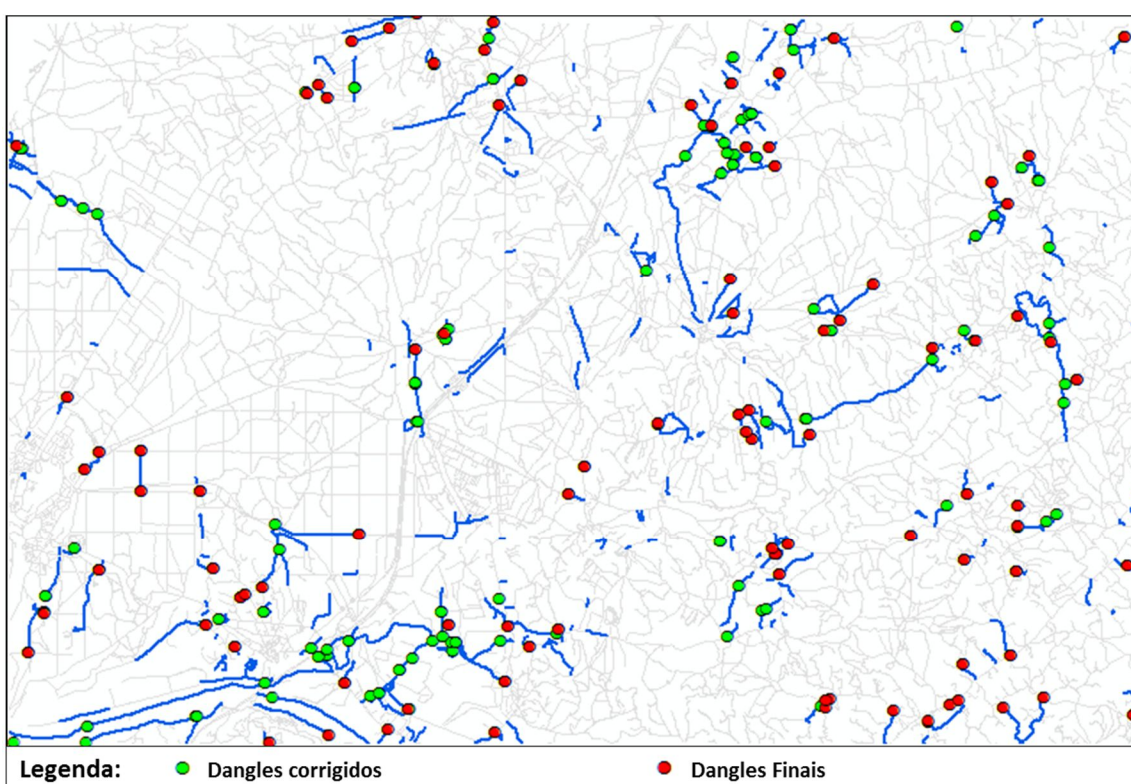


Figura 77 - Avaliação do subtipo de via Acesso auto

O erro de *dangle* não corrigido corresponde a um erro do tipo 3 - *Undershoot* e deveria ter sido corrigido pela "Função Repara *Over/Undershoots*". Curiosamente, conforme pode ser visualizado na Figura 78, a distância a corrigir é de apenas 2 milímetros.

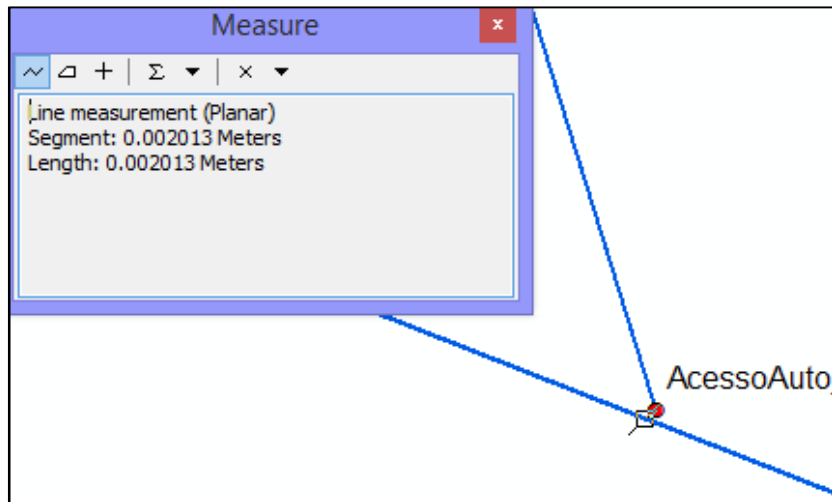


Figura 78 - Erro de *dangle* não corrigido no subtipo de via Acesso auto

O erro de *self-intersect* detetado nos dados iniciais corresponde a um erro do tipo 7 - *Loop* provocado por a *linestring* fechar sobre si mesma. Este erro foi resolvido no processamento, quebrando a *linestring* na sua interseção.

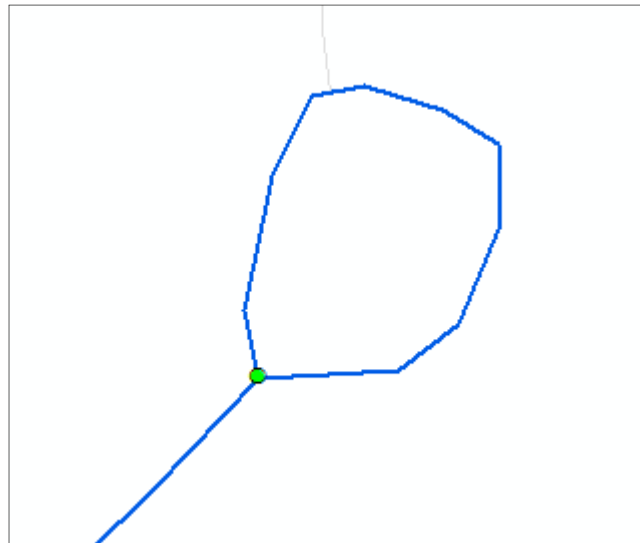


Figura 79 - Erro de *self-intersect* corrigido no subtipo de via Acesso auto

- **Arruamento**

No subtipo de via Arruamento foram identificados 574 erros de *dangle* antes da correção, tendo sido corrigidos 552 e detetados 22 erros não corrigidos. Foram ainda identificados 4 erros de autointerseção que foram corrigidos na totalidade.

Tabela 14 - Avaliação do subtipo de via Arruamento

"Must Not Have Dangles"					"Must Not Self-Intersect"		
Pontas Soltas	Dangles Iniciais	Dangles Finais detetados	Dangles Finais reais	Taxa de correção	Iniciais	Finais	Taxa de correção
663	574	90	22	96 %	4	0	100 %

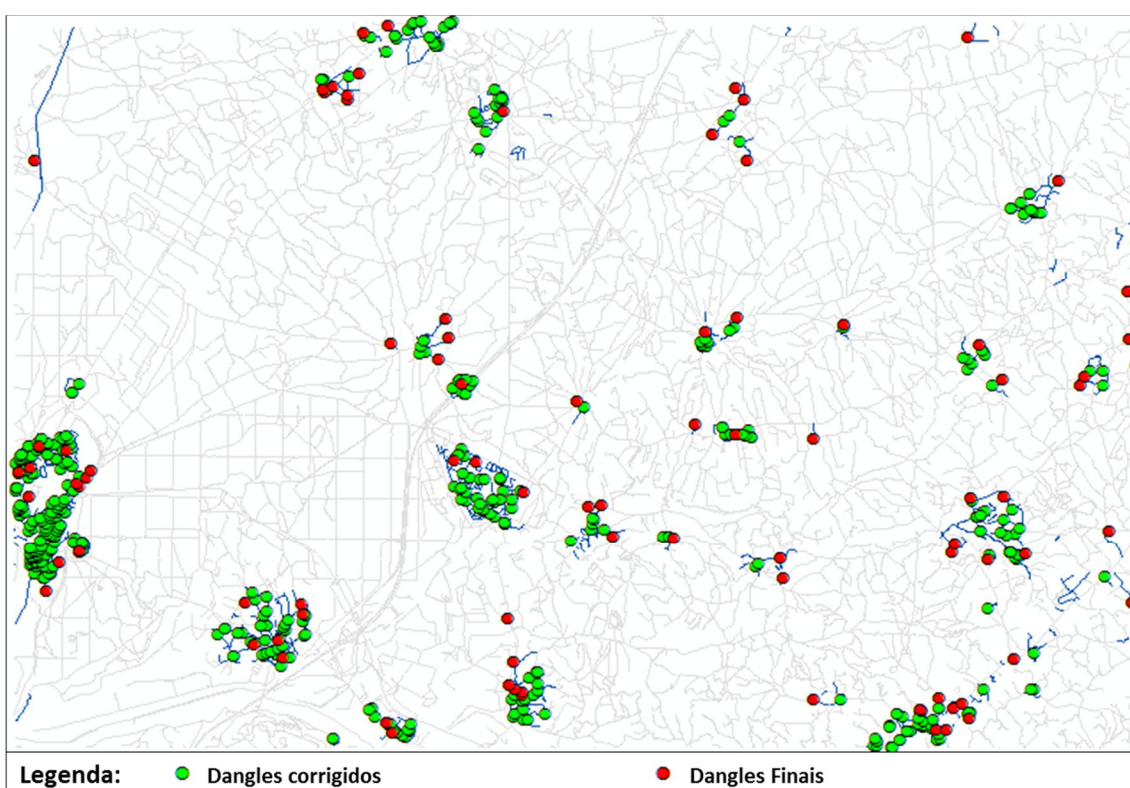


Figura 80 - Avaliação do subtipo de via Arruamento

Este subtipo de via é a que possui a menor taxa de correção dos erros de *dangle* (96 %). A justificação desta quantidade de erros não corrigidos prende-se com a configuração deste tipo de via, maioritariamente vias do tipo quarteirão. A restituição deste tipo de vias por parte do operador pode levar a que a mesma linestring possua erros do tipo 3 ou 4 nas duas extremidades (vértices terminais). Conforme descrito em 3.2.2, a “Função Repara *Over/Undershoots*” possui mecanismos de controlo que impede este tipo de correções, para evitar correções inapropriadas, reservando a sua correção para o método manual. A Figura 81 mostra um exemplo de um erro reservado para correção manual.

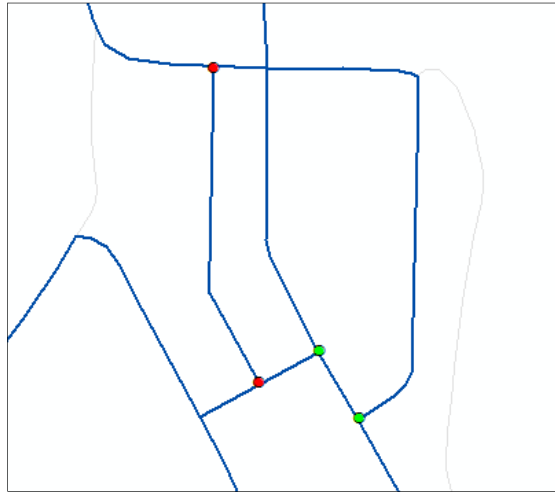


Figura 81 - Exemplo de erro não corrigido no subtipo de via Arruamento

Outros motivos que justificam a taxa de correção menor são as correções consecutivas. São detetados erros de *dangle* que resultam da modificação de uma *linestring* que esteve envolvida na correção de outro erro. Recorrendo à Figura 82 que apresenta 3 imagens sequenciais do processamento que provocam um erro de *dangle*. A primeira imagem mostra um erro do tipo 4 - *Overshoot* que através da correção 1, realizada com a “Função Repara Over/Undershoots”, fica resolvido (segunda imagem). Acontece que, a *linestring* à qual se uniu o erro de tipo 4 possui também, na sua extremidade, um erro de tipo 3 ou 4. Aquando da sua correção (2), pela mesma função, é modificada e provoca um novo erro, anteriormente corrigido (terceira imagem).

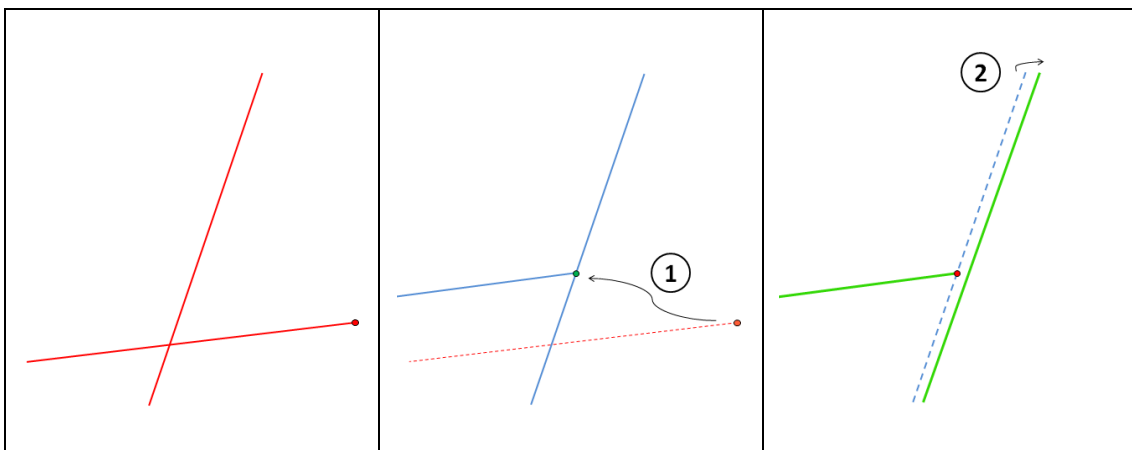


Figura 82 - Sequência de correções que originaram um erro de *dangle*

Os 4 erros de *self-intersect* detetados nos dados iniciais correspondem a um erro do tipo 7 - *Loop* provocado por a *linestring* fechar sobre si mesma. A Figura 83 apresenta um dos erros de

self-intersect detetados e que foram resolvidos no processamento, quebrando a *linestring* na sua interseção.

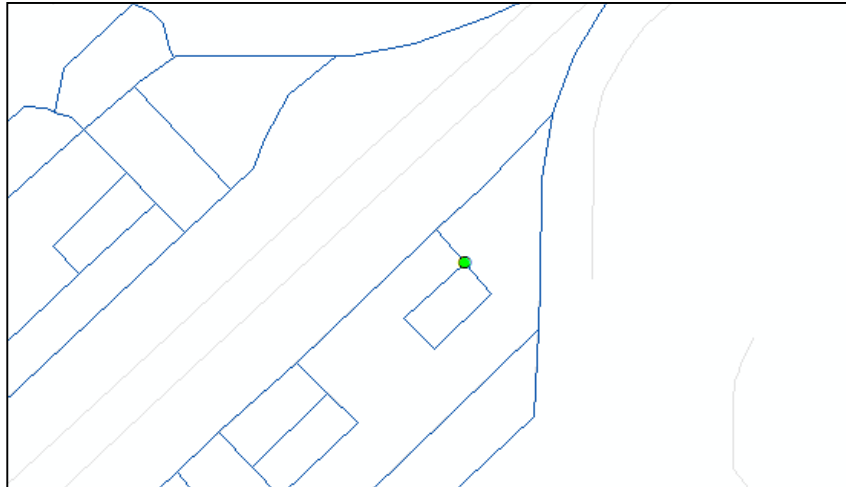


Figura 83 - Erro de *self-intersect* corrigido no subtipo de via Arruamento

3.6.3 Considerações finais sobre os resultados alcançados

Os resultados alcançados da correção automática em 3D dos erros geométricos em são extremamente positivos, apresentando uma taxa de correção automática muito elevada.

A avaliação realizada decorreu após a execução de um único processamento aos dados. Como verificado anteriormente nos resultados, a correção automática de um erro pode criar outro erro entretanto já corrigido. Atendendo à rapidez da execução destes processamentos, podem perfeitamente ser iteradas a “Função Resolve *Dangles*” e a “Função Repara *Over/Undershoots*”, corrigindo a maioria, senão a totalidade dos erros que ainda foram identificados nesta avaliação, otimizando assim os resultados finais.

A elevada taxa de correção automática de erros vem garantir um volume de trabalho de correção manual em estereoscopia reduzido.

No Anexo G - Esquema comparativo da Validação em CAD vs Validação em *PostgreSQL/PostGIS* encontra-se esquematizada a comparação do desempenho deste processo com o processo de validação em CAD no que toca entidades do tema Rede Viária.

CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES

Com a realização deste projeto pretendeu-se avaliar a capacidade de implementação de um processo de validação digital de informação tridimensional, sustentado em *software* gratuito e de código aberto. A análise pormenorizada dos processos de validação implementados no CIGeoE verificou-se ser uma mais-valia para a definição deste projeto. Tratou-se de um trabalho metuculoso que permitiu assimilar conhecimentos sobre o tipo dos erros que os dados têm, a sua frequência e influência na qualidade dos dados. A análise dos dois processos de validação com conceitos, abordagens, *software* e metodologias distintas permitiu compreender como se consegue aceder à geometria dos dados e efetuar as correções devidas de forma a melhorar a qualidade e rigor dos dados vetoriais.

Os conhecimentos adquiridos sobre os erros dos dados e a metodologia que cada processo de validação implementou para a sua identificação e correção, permitiram criar uma estrutura e um raciocínio para definir a arquitetura deste projeto. Como tal, desenvolveu-se um processo de validação através de um conjunto de operações de processamento e tratamento da informação vetorial, com recurso ao SGBD *PostgreSQL* com a extensão *PostGIS*, que permitiu alcançar resultados de elevada qualidade assegurando a validação dos dados inclusivamente na terceira dimensão. A deteção e correção dos erros geométricos das entidades geográficas da Rede Viária da Carta 1:25 000, assim como a análise da sua integridade espacial na BDG, permitiu que no final os dados validados garantissem o rigor, a qualidade, a precisão e a coerência desejados.

A metodologia desenvolvida apresenta a eficiência, a simplicidade e o automatismo que, a curto ou médio prazo, podem viabilizar a transição para métodos semelhantes do processo de validação implementado no CIGeoE.

Para além de se poder efetuar uma otimização do código SQL desenvolvido e reduzir o número de rotinas para melhorar o desempenho, devem ser ultrapassados os “caminhos sem saída” que surgiram ao longo do projeto, provocados pela complexidade de implementação, mais precisamente da sua implementação em 3D.

Assim de futuro, deverá trabalhar-se na implementação das correções do erro do tipo 8 - (*Spikes/Kinks*) recorrendo à divisão das *linestrings* nos seus segmentos constituintes. A identificação deste tipo de erros implica a comparação do azimute de cada segmento com o azimute do segmento anterior da mesma *linestring*. O conceito de seleção omissiva de *Strokes* (Li, 2007) aplicado à Rede Viária (Franco, 2011) pode ser adaptado para a resolução deste problema. A identificação deste erro permite também efetuar a verificação de variações

também na coordenada Z, e que poderá ser também aplicada na verificação da monotonia de Linhas de Água do tema Hidrografia.

Outra implementação deverá ser a simplificação das *linestrings* em 3D. A simplificação consiste em reduzir a complexidade da estrutura da *linestring* eliminando alguns vértices desnecessários mas garantindo que não altera a “forma” original. Um dos algoritmos mais utilizados para este efeito é o algoritmo de simplificação de linhas “*Douglas-Peucker*”, que é utilizado pelo *PostGIS* através da sua função “*ST_Simplify*”. Esta ferramenta não foi utilizada por, à semelhança de tantas outras, algumas das quais referidas neste trabalho, apenas processam dados em 2D.

Este processo de validação, por estar desenvolvido apenas para as entidades geográficas lineares que constituem o tema Rede Viária, apenas permite validar uma pequena parte dos dados de uma Folha completa da Carta 1:25 000. No entanto, este processo pode ser diretamente aplicado a outros temas com a mesma tipologia de entidades, casos da Altimetria e da Hidrografia. Naturalmente ter-se-á que atender às particularidades de cada tema e à própria parametrização. A implementação do processo de validação a estes temas permite também a execução da validação da integridade espacial multitemática, muito mais significativa que aquela que se consegue apenas com o tema Rede Viária.

Poderá ainda ser desenvolvida uma aplicação em linguagem de programação *Python*, numa tentativa de automatização do processo facilitando a interação com o utilizador. Esta aplicação deve possibilitar executar todo o processo de validação desenvolvido ou apenas determinadas validações através do menu da aplicação, que integre todas as operações de validação desenvolvidas com recurso a linguagem *SQL*.


Bibliografia

- Albuquerque, G., Fernandes, E., & Marnoto, J. (1979). Aplicação das técnicas do processamento eletrónico de dados à Cartografia. *Boletim do Serviço Cartográfico do Exército, Número 48*, 59-74.
- Chen, T., Rahman, A., & Zlatanova, S. (2008). 3D Spatial Operations for GEO-DBMS: Geometry vs. Topology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 552.
- CIGeoE. (2015). *Centro de Informação Geoespacial do Exército*. Obtido em 2 de setembro de 2015, de <https://www.igeoe.pt>
- Cosme, A. (2012). *Projeto em Sistemas de Informação Geográfica*. Lisboa: LIDEL - Edições Técnicas, Lda.
- Dias, M. H., & Rossa, J. (2007). *Dos Serviços Cartográficos ao Instituto Geográfico do Exército: 75 anos de actividade a servir Portugal*. Lisboa: IGeoE.
- Domingos, P. (2005). A Validação da Informação Vectorial no IGeoE. *IV Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Lisboa.
- ESRI. (2015). *Support*. Obtido em 19 de fevereiro de 2015, de <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/feature%20class>
- Fernandes, E. (2002). Uma estória da Carta Militar de Portugal 1:25000. *Boletim do Instituto Geográfico do Exército, Número 64*, 56-70.
- Franco, A. (2011). *Seleção Omissiva de Strokes Aplicada à Generalização Cartográfica de Vias*. Mestrado em Engenharia Geográfica, FCUL: Texto não editado.
- Geraldes, D., & Bouça, J. (1974). Cartografia Automática. Análise de um dos possíveis caminhos. *Boletim do Serviço Cartográfico do Exército, Número 43*, 3-14.
- Ghawana, T., & Zlatanova, S. (2012). *3D Topology for modelling of urban structures*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Gomes, F. P. (2011). A Cartografia Militar portuguesa no século XX: contributo do Instituto Geográfico do Exército. *IV Simpósio LusoBrasileiro de Cartografia Histórica*. Porto.
- Li, Z. (2007). *Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation*. Boca Raton(Florida): CRC Press, Taylor & Francis Group.

- Malha, F. (1986). Sistema Intergraph-200 para Cartografia Automática. *Boletim do Serviço Cartográfico do Exército, Número 49*, 59-74.
- Matos, J. (11 de abril de 2007). *Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura*. (D. d. Arquitectura, Ed.) Obtido em 21 de Abril de 2014, de fenix.tecnico: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571948540/Fotogrametria_v2.pdf
- PostGIS, D. G. (2015). *PostGIS 2.1.9 dev Manual*. Obtido em 2 de setembro de 2015, de PostGIS: <http://postgis.net/docs/index.html>
- PostgreSQL, G. D. (2015). *PostgreSQL*. Obtido em 2 de setembro de 2015, de <http://www.postgresql.org>
- QGIS, D. (2015). *QGIS Geographic Information System*. Obtido em 2 de setembro de 2015, de Open Source Geospatial Foundation Project: <http://www.qgis.osgeo.org>
- Redweik, P. (2013). *Produção Cartográfica*. Lisboa: FCUL:Texto não publicado.
- SCE. (1988). O 55º Aniversário do SCE. *Boletim do Serviço Cartográfico do Exército, Número 51*, 2-15.
- SCE. (1993). Atividades Internas. *Boletim do Instituto Geográfico do Exército, Número 55*, 65.
- Soares, S. (1966). A evolução da fotogrametria. *Boletim dos Serviços Cartográficos do Exército, Número 1*, 47-51.
- Zlatanova, S., & Rahman, A. A. (2002). Topology for 3D spatial objects. *Proceedings International Symposium and Exhibition on Geoinformation*.

Anexos

Anexo A - Extrato das Normas de Aquisição da Carta 1:25 000

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Auto-estrada		LV	CO	WT	ST	Tipo
Categoria:	Rede Viária		21	1	3	0	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	Célula					

Descricao

Vias de comunicação terrestres classificadas como auto-estradas pela entidade competente.

Aquisição

Adquirem-se os 2 eixos de via. Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. Os troços de ligação às portagens ou entradas e saídas são adquiridos como estrada larga ou estrada estreita, conforme as suas características. Deve-se apenas adquirir com os atributos de AE quando os dois sentidos de transito são paralelos. As escapatórias para áreas de serviço e no seu interior devem ser adquiridas como arruamento. A auto estrada pode ser constituída, em algumas zonas, por 2 troços desnivelados. Outros elementos, como por exemplo, pontes, túneis e aquedutos, apenas se adquire um ao centro, excepto se fisicamente separados.

SFotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

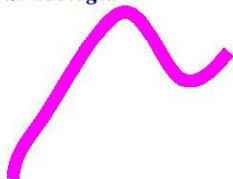
Observações_SFotog

STopoGeo

As portagens são assinaladas utilizando o mesmo sinal de VG fundamental (C205 ou C206), mas a preto. O simbolo deverá ser colocado transversalmente em relação ao eixo longitudinal da via. As vias com mais do que uma classificação são identificadas pelas diferentes designações (por exemplo: A1;IP1 ou A22;IC4). Consta do Cadastro Militar O destino é dado, obrigatoriamente, para o nó da Autoestrada mais próxima (DEST20), Ex. "Nó do Cartaxo 5Km"

Observações_StopoGeo

Simbologia



Plot

Fotografia




Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Estrada com separador		LV	CO	WT	ST	Tipo
Categoria:	Rede Viária		21	12	9	2	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	Célula					

Descricao

Troço de uma via de comunicação destinada ao trânsito de veículos automóveis, classificada ou não, com separador entre faixas de rodagem, que nesse mesmo troço apresenta características de autoestrada, (normalmente 2 ou mais filas de trânsito em cada sentido, ausência de passagens niveladas).

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. O separador pode ser constituído por muro, rail, vedação, vala ou vegetação, ou outra qualquer estrutura com caracter permanente, que constitua um obstáculo à transposição da via. Estas estradas são, geralmente, denominadas IPs (Itinerários Principais) ou ICs (Itinerários Complementares) . Nas zonas em que o separador seja interrompido (normalmente no cruzamento com outras vias) esta parte do traçado adquire-se como estrada com mais de 5,5 metros ou estrada com menos 5,5 metros, conforme seja o caso. Apenas se adquire como estrada com separador troços de vias com extensão superior a 1000m. Ex: 2ª Circular, IC17, Cabos D'Ávila (Restelo-Amadora).

SFotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

Observações_Sfotog

STopoGeo

Confirmar o seu traçado e adquirir a sua classificação. Não colocar a classificação dos caminhos municipais que não obedeçam ao que está definido no decreto lei (numeração a partir de 1000). As vias com mais do que uma classificação são identificadas pelas diferentes designações (por exemplo: IC17; CRIL)Consta do Cadastro Militar.

Observações_StopoGeo

Simbologia

Fotografia



Plot




Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000			Versão:	1
				Data	19DEC08

Objecto:	Estrada com 5,5 m ou mais		<i>LV</i>	<i>CO</i>	<i>WT</i>	<i>ST</i>	<i>Tipo</i>
Categoria:	Viária		21	2	9	0	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	<i>Célula</i>					

Descricao

Via de comunicação essencialmente destinada ao trânsito de veículos automóveis, classificada ou não, com faixa de rodagem mínima de 5,5 metros, com exclusão das bermas.

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. Esta estrada passa a estrada com separador caso exista o separador. A faixa de rodagem é medida nos seus troços rectos e não inclui as bermas. Com excepção das AE, as vias com mais de uma faixa de rodagem em cada sentido são consideradas como tendo mais de 5,5 metros de largura. Quando uma via atravessa um rio de 2 margens ou uma vala larga, na ausência de uma ponte/aqueduto, deverá haver uma passagem a vau. Nos cruzamentos da rede viária (triângulos), apenas se restituem os eixos separadamente, quando estes formam um triângulo com mais de 25m de lado. As rotundas apenas se adquirem se tiverem dimensões superiores às do círculo interior da célula c153 (estátua). Rotundas com dimensões inferiores só são adquiridas se no interior da mesma existir um outro objecto que obedeça aos critérios de aquisição (depósito de água elevado ou cruzeiro por exemplo).

SFotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

Observações_Sfotog

StopoGeo

Confirmar o seu traçado e adquirir a sua classificação. As vias com mais do que uma classificação são identificadas pelas diferentes designações (por exemplo: IP1; IC1; EN1). Elemento constante do Cadastro Militar. Não adquirir a classificação dos caminhos municipais que não obedeçam ao que está definido no decreto lei (numeração a partir de 1000).

Observações_StopoGeo

Simbologia



Fotografia



Plot




Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Estrada com menos de 5,5m		LV	CO	WT	ST	Tipo
Categoria:	Rede Viária		21	22	5	7	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	Célula					

Descricao

Via de comunicação essencialmente destinada ao trânsito de veículos automóveis, classificada ou não, com faixa de rodagem com menos de 5,5 metros, com exclusão das bermas, ou então com faixa de rodagem mínima de 2,5 m numa plataforma de 4m.

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. A faixa de rodagem é medida nos seus troços rectos e não inclui as bermas. Quando uma via atravessa um rio de 2 margens ou uma vala larga, na ausência de uma ponte/aqueduto, deverá haver uma passagem a vau. Nos cruzamentos da rede viária (triângulos), apenas se restituem os eixos separadamente, quando estes formam um triângulo com mais de 25m de lado. As rotundas apenas se adquirem se tiverem dimensões superiores às do círculo interior da célula c153 (estátua). Rotundas com dimensões inferiores só são adquiridas se no interior da mesma existir um outro objecto que obedeça aos critérios de aquisição (depósito de água elevado ou cruzeiro por exemplo).

SFotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

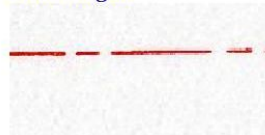
Observações_SFotog

STopoGeo

Confirmar o seu traçado e adquirir a sua classificação. Não colocar a classificação dos caminhos municipais que não obedeçam ao que está definido no decreto lei (numeração a partir de 1000). Consta do Cadastro Militar. Nos limites da folha coloca-se o destino, e por esta ordem de prioridade, para a Sede de Concelho ou Sede de Freguesia ou ainda para a povoação mais importante. Estes elementos devem estar localizados a uma distância

Observações_StopoGeo

Simbologia



Fotografia

Plot




Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Caminho de pé-posto		<i>LV</i>	<i>CO</i>	<i>WT</i>	<i>ST</i>	<i>Tipo</i>
Categoria:	Rede Viária		22	21	3	3	3,4,12
Cod_FACC:	LAP050	<i>Célula</i>					

Descricao

Via gerada pela passagem de pessoas ou animais e com carácter permanente.

Aquisição

Apenas se adquirem caminhos de pé posto fora das povoações e apenas os que conduzam a outro pormenor. Quando uma via atravessa um rio de 2 margens ou uma vala larga, na ausência de uma ponte/aqueduto, deverá haver uma passagem a vau. Não se adquirem caminhos de pé posto com menos de 150m, a não ser que, sejam boa referência ou conduzam a outro pormenor e este esteja isolado.

SFotog

Restitui-se, em modo stream, o eixo do pormenor.

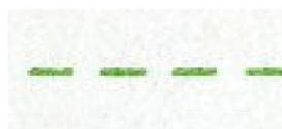
Observações_SFotog

STopoGeo

Verifica pormenor.

Observações_StopoGe

Simbologia



Plot

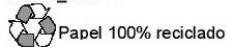



Fotografia



Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Caminho carreteiro		LV	CO	WT	ST	Tipo
Categoria:	Rede Viária		22	1	4	0	3,4,12
Cod_FACC:	LAP010	Célula					

Descricao

Via de comunicação de carácter permanente, não asfaltada e que dá passagem ao trânsito rural.

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. Apenas é considerado CC aquele que tenha carácter permanente. Nas duplicações de pequenos troços, considerar somente o traçado principal, ou seja, aquele que é mais utilizado. Se este existir em simultâneo com o aceiro, adquirem-se os dois elementos. Não se adquirem caminhos carreteiros com menos de 150m, a não ser que, sejam boa referência ou conduzam a outro pormenor e este esteja isolado. Os troços de caminhos carreteiros ao entrar nas povoações deverão ser adquiridos como arruamentos. Podem ser adquiridos aquedutos em caminhos carreteiro se a sua importância o justificar (considera-se "importância" o facto de a sua inexistência impedir a passagem de uma viatura todo o terreno, tipo jeep e mais do que 1m de diâmetro). Nos caminhos carreteiros ou pé posto não são marcados aterros ou desaterros mesmo com extensão igual ou superior a 100 m e altura superior a 1,5 m. Poderão haver excepções com é o caso dos 'combros', diques ou ainda nos casos em que uma linha férrea foi desactivada ficando como caminho (de pé posto ou outro), em que os aterros/desaterros constituem obstáculos ou referências. Quando uma via atravessa um rio de 2 margens ou uma vala larga, na ausência de uma ponte/aqueduto, deverá haver uma passagem a vau.

SFotog

Restitui-se, em modo stream, o eixo do pormenor.

Observações_SFotog

STopoGeo

Verifica pormenor.

Observações_StopoGeo

Simbologia



Fotografia

Plot




Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Acesso auto		LV	CO	WT	ST	Tipo
Categoria:	Rede Viária		22	1	3	0	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	Célula					

Descricao

Via que permite a circulação de viaturas automóveis durante todo o ano. Se de piso mole, quando dá passagem a viaturas auto durante todo o ano, independentemente da sua largura. Se de piso duro, quando apresenta uma faixa de rodagem inferior a 2,5m ou uma plataforma inferior a 4 metros. Restituem-se também como acesso auto, as vias de categoria superior, desde que tenham uma extensão inferior a 500m, e se constituem como acessos a locais específicos, sem designação, tais como fábricas, residências, etc.

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. Autódromos, kartódromos, pistas de atletismo que circundam os campos de futebol e de jogos, os parques de estacionamento, caminhos nos jardins, no interior de cemitérios, no interior de instalações, adquirir como arruamento. A via principal de acesso à Zona Industrial deve ser representada como CAA, (Caminho de Acesso Auto). Não se adquirem, nas povoações, as entradas para as casas quando inferiores a 150m. Uma das extremidades terá que estar ligada a uma estradas de categoria igual (acesso auto ou arruamento) ou superior. Quando uma via atravessa um rio de 2 margens ou uma vala larga, na ausência de uma ponte/aqueduto, deverá haver uma passagem a vau.

SFotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

Observações_Sfotog

STopoGeo

Se for uma via classificada, adquirir informação com vista ao Cadastro Militar. Não colocar a classificação dos caminhos municipais que não obedeçam ao que está definido no decreto lei (numeração a partir de 1000).

Observações_STopoGeo

Simbologia



Plot



Fotografia




imagem 1:

Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

	INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO NORMAS TÉCNICAS AQUISIÇÃO DE DADOS SÉRIE M888 ESCALA 1/25000	Versão:	1
		Data	19DEC08

Objecto:	Arruamento		<i>LV</i>	<i>CO</i>	<i>WT</i>	<i>ST</i>	<i>Tipo</i>
Categoria:	Rede Viária		21	11	4	7	3,4,12
Cod_FACC:	LAP030	<i>Célula</i>					

Descricao

Toda a via no interior dos agregados populacionais, com mais de 10 fogos cujo traçado possa ser definido através das construções urbanas ou do passeio, independentemente do tipo de piso.

Aquisição

Nos locais onde exista uma ponte ou um túnel, interromper a via e iniciar a aquisição da ponte ou túnel, reiniciando a aquisição da via no local onde termina este último pormenor. Autódromos, kartódromos, pistas de atletismo que circundam os campos de futebol e de jogos, os parques de estacionamento, caminhos nos jardins, no interior de cemitérios, no interior de instalações, adquirir como arruamento. Nos grandes aglomerados urbanos em que existem arruamentos com várias dezenas de metros de largura (de fachada/passeio a fachada/passeio dos edifícios que o ladeiam) estes, independentemente do número de vias de tráfego da faixa de rodagem, são adquiridos como um único arruamento. Contudo, as faixas de rodagem independentes, mesmo que paralelas, são todas adquiridas, cada uma como um arruamento (imagem 1) Não se adquirem, nas povoações, quando inferiores a 150m. Uma das extremidades terá que estar ligada a uma estrada de categoria igual (acesso auto ou arruamento) ou superior. As estradas que originalmente atravessavam os centros urbanos e que foram transformadas em ruas pedonais ou em vias de trânsito local, são adquiridos como arruamentos. Os passeios pedonais em zonas ribeirinhas são adquiridos como arruamentos.

Sfotog

Restitui-se, em modo ponto, o eixo do pormenor.

Observações_SFotog

STopoGeo

Vias de comunicação classificadas como EM e CM e de pequena extensão (até 500m) são assinaladas como arruamentos embora se considerem no Cadastro Militar. As EN que originalmente atravessavam os centros urbanos e que foram transformadas em ruas pedonais ou em vias de trânsito local, são consideradas como arruamentos.

Observações_StopoGeo

Simbologia

Plot

Fotografia imagem 1:



Elaborado:	Verificado:	Aprovado:
------------	-------------	-----------

IGeoE_002/01



Papel 100% reciclado

Anexo B - Resenha evolutiva do processo cartográfico (analógico) do CIGeoE

A tradição da cartografia nacional remonta à época dos descobrimentos onde, as cartas então produzidas, representavam uma harmoniosa união da ciência, da técnica e da arte e cujo rigor era essencial para o progresso do conhecimento e o descobrimento de novos mundos. Estas características nunca foram perdidas e são atualmente reconhecidas na cartografia que o CIGeoE fornece ao País, condizente com as suas tradições.

As tradições militares na Cartografia Portuguesa de que há registo remontam a 1802 aquando da criação pela Rainha D. Maria I do Real Arquivo Militar. A verdadeira responsabilidade do Exército pela cartografia militar começaria no início do século XX, após a proclamação da República, quando fora criada a Secção Cartográfica do Estado Maior do Exército e com ela a publicação da Carta do Estado-Maior, na escala 1:20 000, denominada Carta dos Arredores de Lisboa (Fernandes, 2002).

Vivia-se nessa altura um período conturbado na Cartografia Militar Portuguesa, com um país economicamente débil, assoberbado por uma gravíssima crise económica-político-financeira. Por infeliz decisão tinha aquela secção sido integrada no Instituto Geográfico e Cadastral (IGC). A situação criada lançava a cartografia militar numa ambígua posição, desenraizada do seu ambiente próprio e transplantada para um organismo civil, empenhado e talvez até absorvido, por outro trabalho de fundamental importância para a economia do País – a Carta Cadastral –. Os trabalhos cartográficos que vinham sendo realizados, com vista às necessidades militares da época, foram praticamente interrompidos (SCE, 1988).

Em 1926, existe uma reorganização da Cartografia Militar através da criação da nova Secção de Cartografia Militar do Estado Maior do Exército (Portaria n.º 4:602, de 23 de março de 1926). Nesta reorganização é aprovado o “Regulamento provisório para a execução dos serviços da Secção de Cartografia Militar do Estado-Maior do Exército” que define como missão desta secção “O estudo, organização, levantamento, publicação e venda das cartas militares” e estabelece a tarefa de proceder ao levantamento, no prazo de 40 anos, da Carta Militar do País à escala 1:25 000.

As atividades fotogramétricas em Portugal iniciaram-se por volta de 1928, nos Serviços do Ministério da Agricultura, pelo método de “transformação” com o aparelho de *Roussielhe*, aplicado no traçado da planimetria de terrenos sensivelmente planos e completados por nivelamento clássico em planos de obras de irrigação e enxugo. Este método foi ainda utilizado pelo IGC na campanha de 1930-31 para a Carta cadastral de 1:2500 (Soares, 1966).

Em 24 de Novembro de 1932 é aprovado o “Regulamento para a execução dos Serviços Cartográficos do Exército” elaborado pela Comissão de Cartografia Militar, encarregada da reorganização da Cartografia Militar. São então criados os Serviços Cartográficos do Exército (SCE), com o desafio de montar uma estrutura capaz de “...resolver, em bases sólidas, o importante problema da cartografia militar, a fim de ser levantada no mais curto prazo de tempo possível a carta militar do País...” (Decreto n.º 21 904, de 24 de novembro de 1932).

Este regulamento estabelece a realização por estes Serviços da Carta Topográfica Militar 1:25 000, da Carta Itinerária Militar 1:250 000 ou, ainda, de outras necessárias para a defesa nacional, levantadas diretamente ou organizadas a partir das executadas pelos serviços do Estado. A Comissão de Cartografia Militar asseguraria as preocupações de interligação com os diferentes serviços estatais de atividades similares, como as nomenclaturas, as escalas e a sinalização convencional. Desta forma institucionalizava-se a Cartografia Militar definitivamente e de forma sólida.

A estrutura dos SCE prevê uma Divisão de Fotogrametria com a competência, entre outras, de executar os estudos técnicos preparatórios de aplicação dos processos fotogramétricos. Têm então início as atividades fotogramétricas na Cartografia Militar embora no IGC, mais ou menos pela mesma altura, se comecem a executar trabalhos de restituição em aparelhos *Hugersahoff-Heyde* nos levantamentos cadastrais à escala 1:2500.

É também nesta época que a Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda.¹² (SPLAL) faz o levantamento da Costa do Sol utilizando fotogrametria aérea. Os SCE servem-se inicialmente dos voos e restituição desta empresa passando posteriormente a efetuarem a própria restituição (Soares, 1966).

A partir de 1937 os SCE introduzem os processos fotogramétricos na cadeia de produção da Carta 1:25 000 com o Sistema *Multiplex Bausch&Lomb* e a partir de 1940 os métodos clássicos de levantamento no campo são substituídos nos SCE pelos processos fotogramétricos com restituidores fotogramétricos *Wild A5* e *A6*.

Com particular afinco e determinação, os SCE enfrentaram o árduo trabalho que lhe fora atribuído e em 1934 iniciava, com a publicação da primeira folha da Carta 1:25 000

¹² A Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda. iniciou em Portugal, em 1937, a fotogrametria aérea como técnica de produção cartográfica no sector empresarial. Teve como um dos sócios fundadores e diretor técnico o General José Norton de Matos, diretor dos serviços de geodesia e agrimensura na Índia de 1890 a 1900 e personagem público notável da primeira metade do século XX português. Esta empresa aplicou processos fotogramétricos no levantamento à escala 1:2000 e 1:5000 da Costa do Sol e colaborou até 1946 na execução da cartografia 1:25 000 dos SCE. Funcionou até 1949 (Matos, 2007).

(Folha nº 331 – Abrantes), a primeira edição das 640 folhas da Carta Militar de Portugal na escala 1:25 000 estaria concluída em 1955. Os SCE tinham, assim, em aproximadamente vinte anos, dotado o país com um excelente instrumento de trabalho.

Em 1959 os Serviços Cartográficos do Exército passam a ser designados por Serviço Cartográfico do Exército, apresentando uma nova estrutura orgânica. Em 1961 o SCE inicia a produção de cartas e fotomapas dos antigos territórios ultramarinos e durante a década de 60 e inícios de 70, têm particular relevo os vários trabalhos de levantamento cartográfico realizados nestes territórios.

Os melhoramentos técnicos foram progressivos e de diversas ordens e a partir de 1963-64, a renovação do material de restituição permitiu um maior rigor na determinação da altitude, reduzindo o erro admissível na ordem de 1 metro para uma aproximação ao decímetro.

Entretanto, a adesão de Portugal à NATO conduziu a instituição, a partir de 1964, à edição da carta 1:50 000 do território continental, através da generalização cartográfica da escala 1:25 000, assim como das séries M501 e M586, 1:250 000.

A partir de 1968, as técnicas de triangulação aérea são recorrentes na cadeia de produção cartográfica e em 1969 passam a ser utilizadas fotografias aéreas a cores que conferem novos progressos à restituição. Há uma melhoria na qualidade da restituição planimétrica devido à interpretação de imagem que conduz a uma sensível economia de tempo e dinheiro, substituindo os trabalhos de campo de reconhecimento pelo recompletamento, mais expedito que os anteriores. Há também uma melhor coordenação entre a restituição e os trabalhos de campo, permitindo reduzir para uma dezena de meses, em média, o tempo entre o recompletamento e a publicação da folha, tempo este, que se chegava a estender a anos.

A reorganização do serviço no SCE permitiu uma melhor divisão do trabalho que vem incutir progressos relativos no desenho. Até então, cada desenhador recebia a responsabilidade de executar totalmente uma folha. Com a reorganização dos serviços, as folhas são desenhadas em equipa, recebendo cada desenhador tarefas de acordo com a sua competência. Essas melhorias, ao nível do tempo de produção de uma folha, não eram suficientes para atingir a eficiência desejada. O desenho das matrizes produzidas no processo fotogramétrico, por ser efetuado por processos convencionais, revelava-se extremamente moroso e resultava que as folhas de uma região, em vez de saírem atualizadas, eram publicadas com anos de atraso, comprometendo a principal função da cartografia que consiste em produzir cartas atuais.

Surgia a necessidade de introduzir no processo de trabalho as modernas técnicas de automatização que surgiam na altura. Em 1969 tinha o SCE efetuava as primeiras tentativas em Portugal da aplicação da Informática à Cartografia com a apresentação de resultados francamente positivos e que conduziram ao desenho automático. Era dado assim início à automatização dos processos da cadeia de produção.

Anexo C - Processo de Validação em CAD (Pormenor das Vias de Comunicação)

INPUT
xxx.shp

Conversão
SIG-CAD

INPUT
xxx_top.dgn

040_rot_separa.bat

Separa informação em vários ficheiros
yyy.dgn para ser validada separadamente

Hidrografia

Altimetria

Verdes

Resto

Vias

Validação da estrutura e da geometria

0080_vias.bat

Trata geometria e insere pontes e aquedutos

cnvdgn	Converte um ficheiro de 3D para 2D.
stroke	Transforma <i>shapes</i> em linhas e <i>complex strings</i> em <i>lines</i> e <i>lines strings</i> .
intsect	Cria intersecções num ficheiro 2D com linhas
dangle	Assinala ou elimina (< tolerância) pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.
extend	Estende uma linha até intersetar outra (< tolerância)
mrfdup	Elimina duplicados
mrfclean	
...	Repetição dos mdl anteriores c/ várias tabelas
	Copia as pontes do lv 23 e 25 do resto e <i>merge</i> nesses níveis no vias.dgn

Correção manual

Verificar existência de AE (lv=21 co=1) e linhas férreas com dois eixos e copiar/mover uma ponte para cada eixo

0090_vias.bat

Liga elementos do mesmo objeto

elemnos	Liga elementos (linha) se distância < que tolerância (3m). (lv 20,22)
intsect	Cria intersecções num ficheiro 2D com linhas
mrfdup	Elimina duplicados
mrfclean	mrfclean -id:\users\sgbd\tabelas\join_23_25.inf
mrfclean	Remove vértices (simplificação) com o algoritmo Douglas Pecker.
dangle	Assinala ou elimina pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.

Correção manual

Verificar se as vias ligaram. Ligar se necessário. Verificar se intersecções foram criadas.

0095_vias.bat

Verificar a consistência do conjunto ponte/aqueduto-via-hidrografia

pontesc	Coloca <i>shapes</i> com largura de 6 metros nas pontes e vaus (lv 23, 25)
----------------	--

Correção manual

Referenciar xxx_top.hidro. Verificar a consistência ponte-via-hidro. (justificar as pontes)

0097_vias.bat

Cria um ficheiro apenas com as pontes e vaus para mergir no ficheiro Resto

copy	Cria o ficheiro pontes por cópia do vias
elemdel	Elimina todos os níveis exceto as pontes e vaus (lv 23, 25)
merge	O ficheiro pontes no ficheiro resto
pontesc	Coloca <i>shapes</i> com largura de 6 metros nas pontes e vaus (lv 23, 25)

Correção manual

Alterar os atributos das pontes para vias. Eliminar as pontes isoladas.

MS / Geographics

Detetar a existência de *loops* ou falsas áreas criadas por *overshoots* e *kinks*.

Geographics	Deteta todas as áreas criadas por cruzamento das várias linhas.
--------------------	---

Correção manual

Verificar a existência de áreas falsas. Corrigir erros tipo loop.

0100_vias.bat

Verificar ligação nas intersecções de vias

dangle	Assinala ou elimina (< tolerância) pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.
---------------	---

Correção manual

Verificar e corrigir a existência de *dangle* s nas intersecções de vias

0110_vias.bat

Apaga erros assinalados anteriormente
Valida a estrutura do ficheiro final

elemdet	Elimina os "D" assinalados nos <i>dangles</i>
fsplit9	Valida a estrutura do ficheiro no que se refere aos atributos gráficos
dropdgn	"Dropa" complexos type 12.
mrfclean	
fsplit9	Valida a estrutura do ficheiro (tabela TRANSFORMA.txt)

Correção manual

Verificar ficheiro de erros e lv63

Validação Semântica

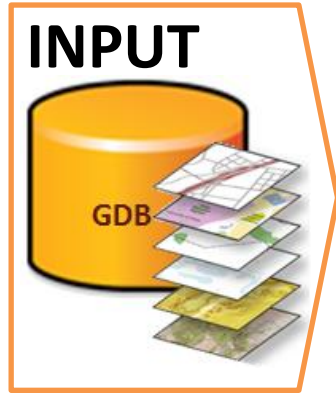
Queries

Validação da integridade espacial (semântica)
Esta validação é feita no final do processo de validação, após ter sido validada a geometria de todos os temas.

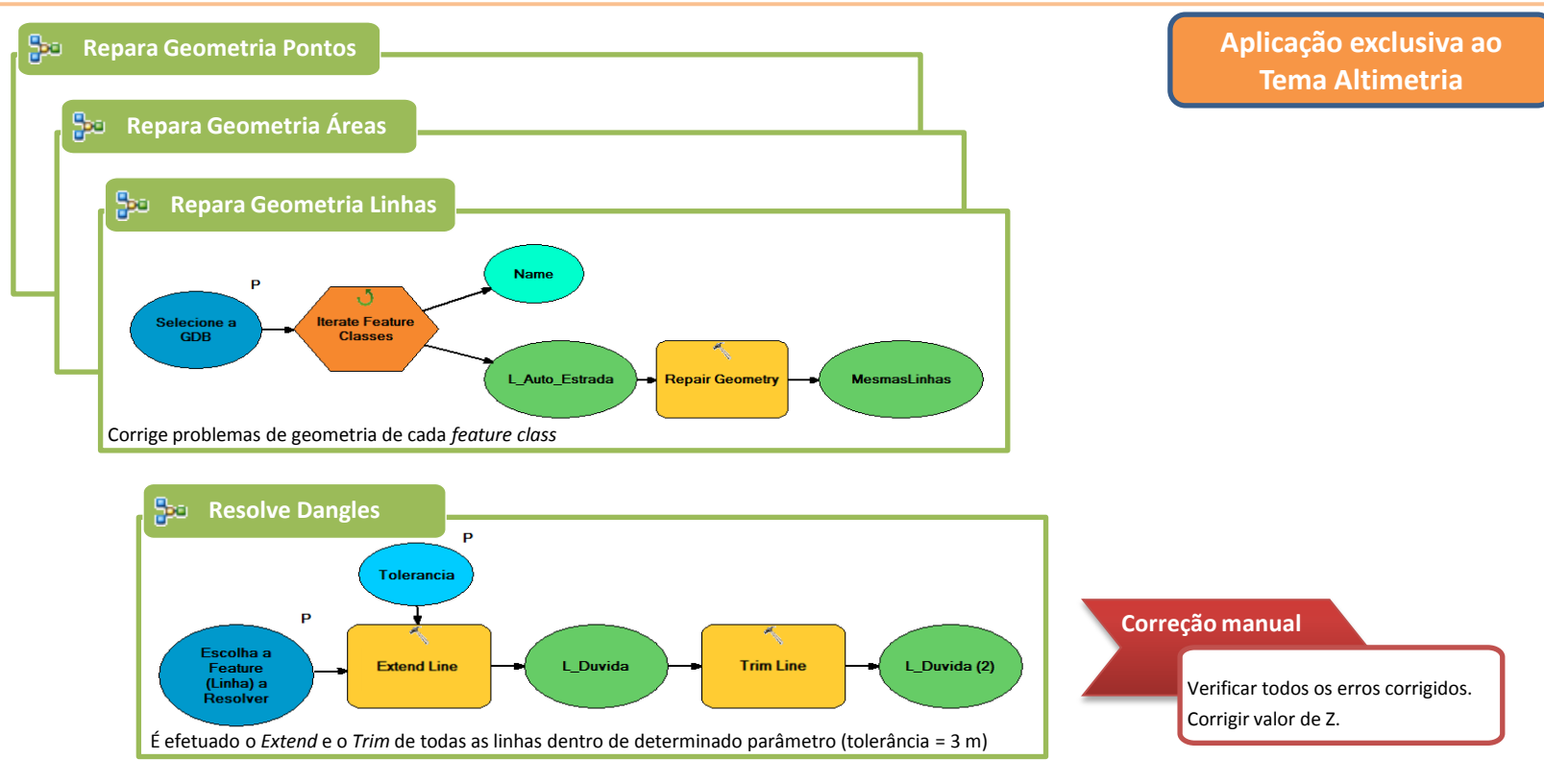
within_distance	Marca Km próximo de Ponto de Cota
point_equivalent_to_point	Texto de Km
line_coincident_with_line	Pontes
	Aquedutos - Vias - Hidrografia; Portagens - Autoestradas;
not_touches	Via - Via

Correção manual

Corrigir erros detetados



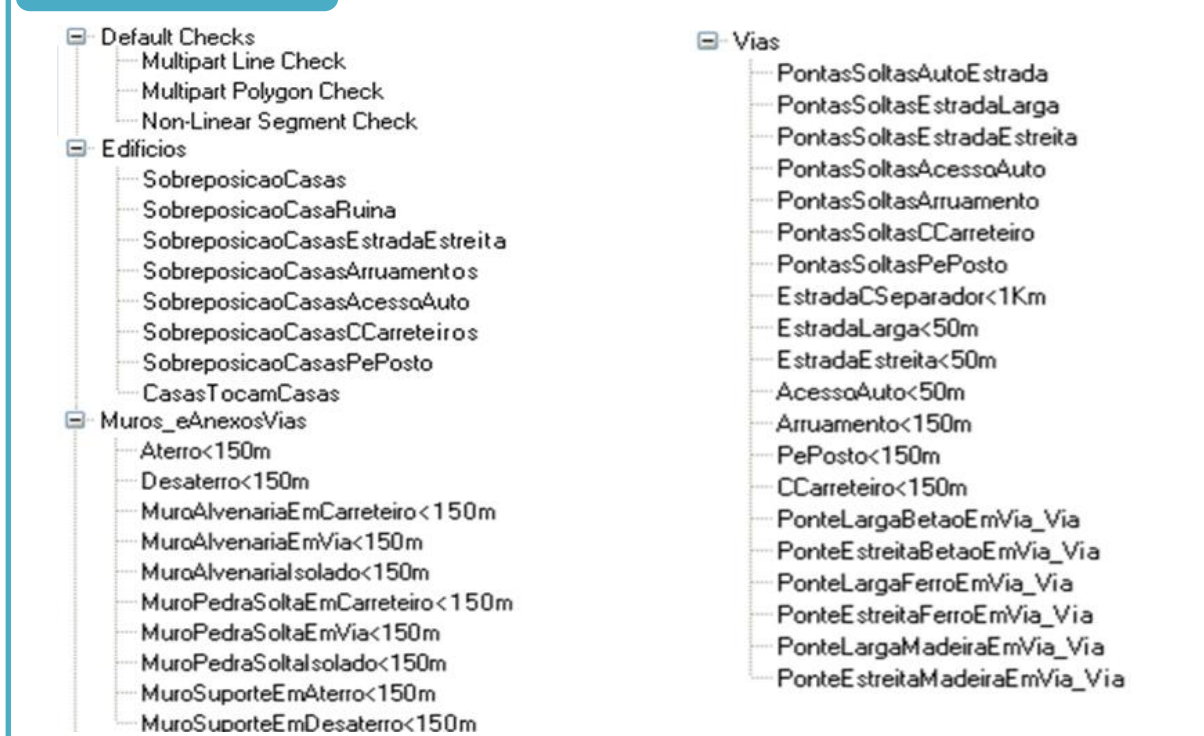
Null Feature Remover



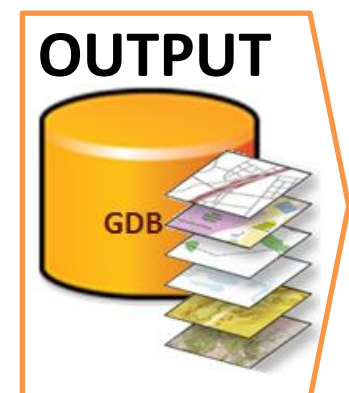
Unsplit Line

Liga linhas da mesma feature class que partilhem o mesmo vértice final

Data Reviewer



Correção manual
Corrigir todos os erros detetados em estereoscopia.



Validação em CAD

0080_vias.bat Trata geometria e insere pontes e aquedutos	cnvdgn	Converte um ficheiro de 3D para 2D.	≠
	stroke	Transforma <i>shapes</i> em linhas e <i>complex strings</i> em <i>lines</i> e <i>lines strings</i> .	≠
	intsect	Cria intersecções num ficheiro 2D com linhas	≠
	dangle	Assinala ou elimina (< tolerância) pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.	✓
	extend	Estende uma linha até interseção com outra (< tolerância)	✗
	mrfdup	Elimina duplicados	✗
	mrfclean		✓
	...	Repetição dos mdl anteriores c/ várias tabelas	≠
	Copia as pontes do lv 23 e 25 do resto e <i>merge</i> nesses níveis no vias.dgn	≠	

0090_vias.bat Liga elementos do mesmo objeto	elemnos	Liga elementos (linha) se distância < que tolerância (3m). (lv 20,22)	✓
	intsect	Cria intersecções num ficheiro 2D com linhas	≠
	mrfdup	Elimina duplicados	✗
	mrfclean	mrfclean -id:\users\sgbd\tabelas\join_23_25.inf	≠
	mrfclean	Remove vértices (simplificação) com o algoritmo Douglas Pecker.	✗
dangle	Assinala ou elimina pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.	✓	

0095_vias.bat Verificar a consistência do conjunto ponte/aqueduto-via-hidrografia	pontesc	Coloca <i>shapes</i> com largura de 6 metros nas pontes e vaus (lv 23, 25)	✓
---	----------------	--	---

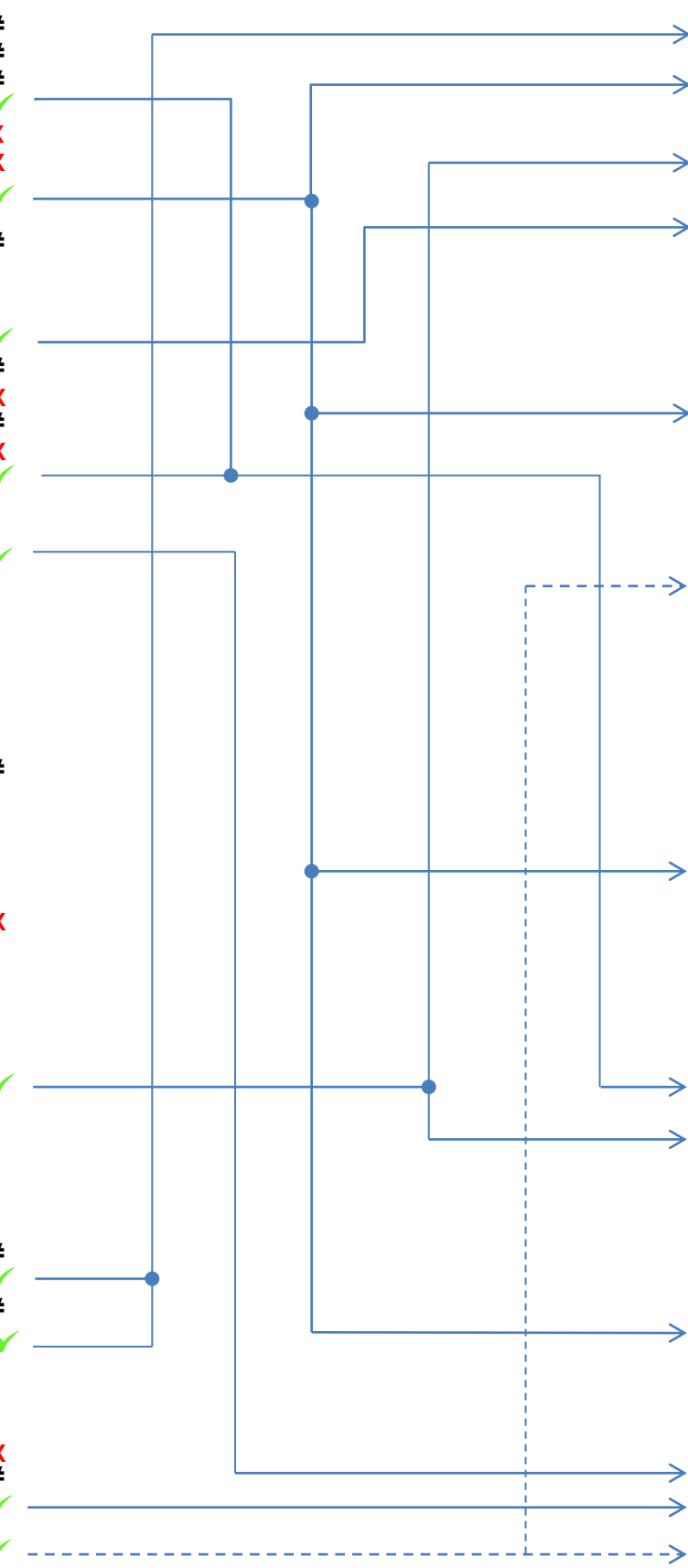
0097_vias.bat Cria um ficheiro apenas com as pontes e vaus para mergir no ficheiro Resto	copy	Cria o ficheiro pontes por cópia do vias	≠
	elemdel	Elimina todos os níveis exceto as pontes e vaus (lv 23, 25)	
	merge	O ficheiro pontes no ficheiro resto	
	pontesc	Coloca <i>shapes</i> com largura de 6 metros nas pontes e vaus (lv 23, 25)	

MS / Geographics Detetar a existência de <i>loops</i> ou falsas áreas criadas por <i>overshoots</i> e <i>kinks</i> .	Geographics	Deteta todas as áreas criadas por cruzamento das várias linhas.	✗
--	--------------------	---	---

0100_vias.bat Verificar ligação nas intersecções de vias	dangle	Assinala ou elimina (< tolerância) pontas soltas (<i>gaps</i>) de um ficheiro 2D.	✓
--	---------------	---	---

0110_vias.bat Apaga erros assinalados anteriormente Valida a estrutura do ficheiro final	elemdet	Elimina os "D" assinalados nos dangles	≠
	fsplit9	Valida a estrutura do ficheiro no que se refere aos atributos gráficos	✓
	dropdgn	"Dropa" complexos type 12.	≠
	mrfclean		✓
	fsplit9	Valida a estrutura do ficheiro (tabela TRANSFORMA.txt)	✓

Queries Validação da integridade espacial (semântica) Esta validação é feita no final do processo de validação, após ter sido validada a geometria de todos os temas.	within_distance	Marca Km próximo de Ponto de Cota	✗
	point_equivalent_to_point	Texto de Km	≠
	line_coincident_with_line	Pontes - Vias	✓
	not_touches	Aquedutos - Vias - Hidrografia; Portagens - Autoestradas; Via - Via	✓



Validação em SIG

- Null Feature Remover
- Repara Geometria Linhas
- Resolve Dangles
- Unsplit Line
- Data Reviewer
 - Default Checks
 - Multipart Line Check
 - Multipart Polygon Check
 - Non-Linear Segment Check
 - Edifícios
 - SobreposicaoCasas
 - SobreposicaoCasaRuina
 - SobreposicaoCasasEstradaEstreita
 - SobreposicaoCasasArruamentos
 - SobreposicaoCasasAcessoAuto
 - SobreposicaoCasasCCarreteiros
 - SobreposicaoCasasPePosto
 - CasasTocamCasas
 - Muros_eAnexosVias
 - Aterro<150m
 - Desaterro<150m
 - MuroAlvenariaEmCarreteiro<150m
 - MuroAlvenariaEmVia<150m
 - MuroAlvenariadolado<150m
 - MuroPedraSoltaEmCarreteiro<150m
 - MuroPedraSoltaEmVia<150m
 - MuroPedraSoltaSolado<150m
 - MuroSuporteEmAterro<150m
 - MuroSuporteEmDesaterro<150m
 - Vias
 - PontasSoltasAutoEstrada
 - PontasSoltasEstradaLarga
 - PontasSoltasEstradaEstreita
 - PontasSoltasAcessoAuto
 - PontasSoltasArruamento
 - PontasSoltasCCarreteiro
 - PontasSoltasPePosto
 - EstradaCSeparador<1Km
 - EstradaLarga<50m
 - EstradaEstreita<50m
 - AcessoAuto<50m
 - Arruamento<150m
 - PePosto<150m
 - CCarreteiro<150m
 - PonteLargaBetaoEmVia_Via
 - PonteEstreitaBetaoEmVia_Via
 - PonteLargaFerroEmVia_Via
 - PonteEstreitaFerroEmVia_Via
 - PonteLargaMadeiraEmVia_Via
 - PonteEstreitaMadeiraEmVia_Via

Preparação dos dados

BDG Folha



UPLOAD



Função Separa Subtipos

SQL

Validação Geométrica

Função Valida Estrutura

ST_IsValid
ST_IsEmpty



Função Remove Duplicados

ST_RemoveRepeatedPoints
ST_3DLength
ST_NPoints



Função Remove Kickbacks

ST_IsSimple
ST_NPoints
ST_3DLength
ST_Dump

St_Unaryunion
St_Linemerge
St_Multi



Função Repara Loops

ST_IsSimple
ST_NPoints
ST_3DLength
ST_Dump

St_Unaryunion
St_Linemerge
St_Multi
ST_IsClosed



Função Repara Dangles

ST_LineMerge
ST_Dump
ST_Union
ST_StartPoint
ST_EndPoint
ST_Buffer

ST_Centroid
ST_MakePoint
ST_SetPoint
ST_X / ST_Y / ST_Z
ST_NumPoints
ST_3DLength



Função Repara Over/Undershoot

ST_LineMerge
ST_Dump
ST_Union
ST_StartPoint
ST_EndPoint
ST_Buffer
ST_Centroid

ST_Intersection
ST_3DIntersects
ST_LineInterpolatePoint
ST_Equals
ST_NumPoints
ST_3DLength



Correção manual

Corrigir os erros asinalados.

Validação da Integridade Espacial

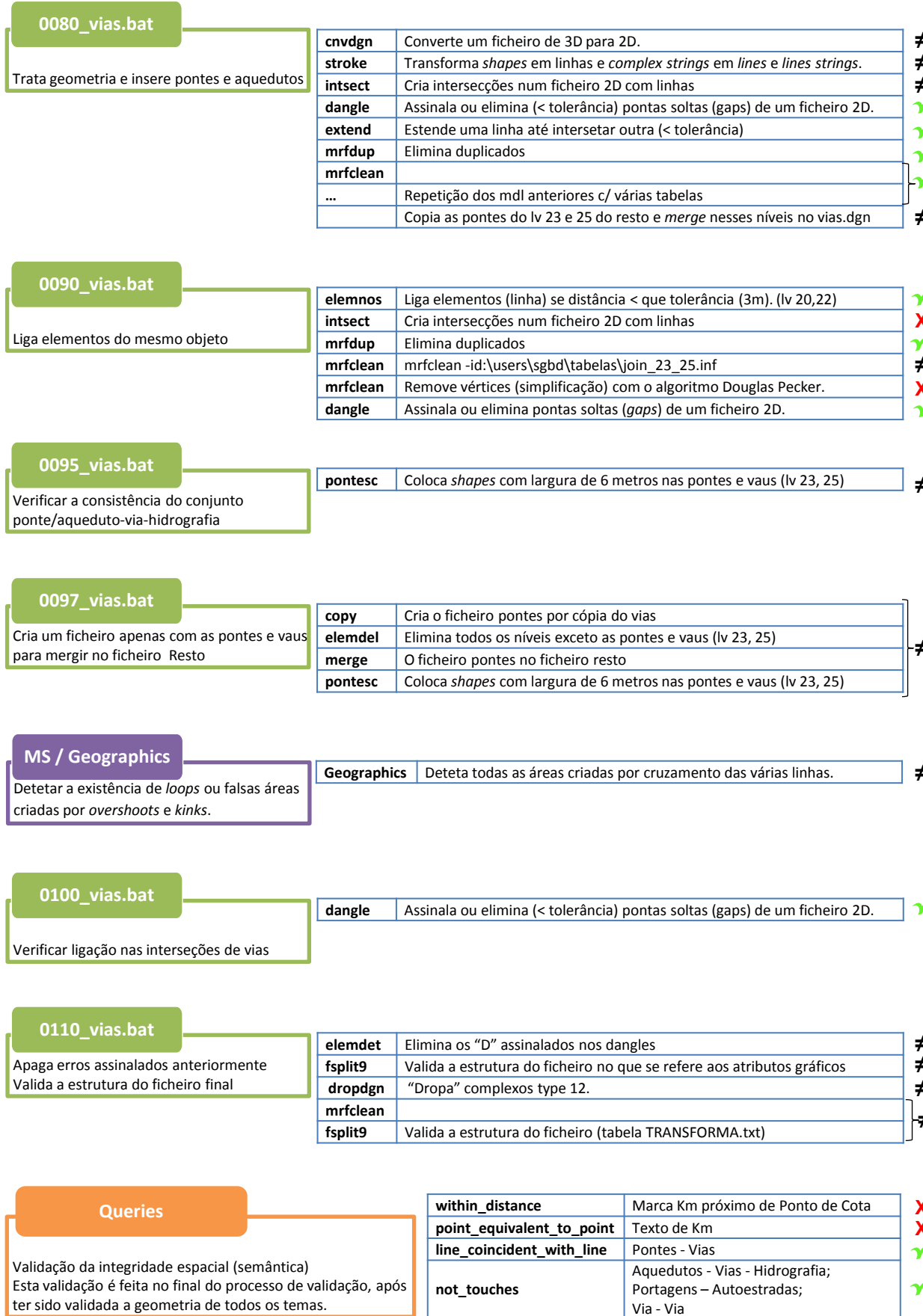
Função Integridade Espacial

SQL

Correção manual

Corrigir os erros detetados.

Validação em CAD



Validação em PostgreSQL/PostGIS

