



DIGITALIZAÇÃO NA GEOTECNIA AMBIENTAL: IMPLEMENTAÇÃO DO FORMATO AGS PARA A GESTÃO DE DADOS GEOAMBIENTAIS

BÁRBARA LONDREIRA MESQUITA

Junho de 2025

**DIGITALIZAÇÃO NA GEOTECNIA AMBIENTAL:
IMPLEMENTAÇÃO DO FORMATO AGS PARA A GESTÃO DE DADOS
GEOAMBIENTAIS**

**DIGITALISATION IN ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS:
IMPLEMENTATION OF THE AGS FORMAT FOR GEOENVIRONMENTAL DATA
MANAGEMENT**

Bárbara Londreira Mesquita

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geotécnica e Geoambiente**

Orientador: Professor Helder I. Chaminé

Júri

Presidente

João Paulo Meixedo dos Santos Silva, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais

Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé, Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Maria Isabel Gonçalves Fernandes, Professora Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Porto, Junho de 2025

[página propositadamente em branco]

Resumo

A engenharia geotécnica e geoambiental tem elevado potencial para integrar tecnologias emergentes; contudo, a ausência de formatos digitais normalizados constitui ainda um entrave significativo à sua modernização. O esquema AGS apresenta-se como uma solução digital estruturada, interoperável com GIS, CAD, BIM e bases de dados relacionais, sendo amplamente adotado a nível internacional. A sua maturidade, acessibilidade e flexibilidade tornam-no especialmente relevante para a transição digital do setor. Esta dissertação centrou-se na aplicação do formato AGS à digitalização de dados geoambientais relativos a solo escavado, cuja gestão requer avaliação da contaminação, perigosidade e admissibilidade em aterro. O caso prático teve como base uma área com uso industrial anterior, incluindo sondagens e ensaios laboratoriais. Os dados recolhidos foram organizados segundo o formato AGS, com cabeçalhos personalizados para integrar informação normativa e classificações técnicas. Devido à complexidade da estrutura, foi desenvolvido um *script* em VBA para automatizar a exportação do ficheiro AGS, cuja validade foi confirmada através dos validadores da AGS e do BGS. Paralelamente, foi criado um *script* adicional para gerar automaticamente ficheiros GeoJSON compatíveis com QGIS. A solução revelou-se tecnicamente robusta e adaptada ao contexto português, evidenciando potencial para aumentar a eficiência e apoiar a digitalização do setor geoambiental.

Palavras-chave: Engenharia geotécnica, Geotecnia ambiental, Digitalização de dados, Formato AGS, Solos contaminados, Transformação digital.

[página propositadamente em branco]

Abstract

Geotechnical and geoenvironmental engineering hold significant potential for the integration of emerging technologies; however, the lack of standardized digital formats remains a substantial barrier to its modernization. The AGS format provides a structured and interoperable digital solution, compatible with GIS, CAD, BIM, and database systems, and is widely adopted internationally. Its maturity, accessibility, and flexibility make it particularly suitable for driving digital transformation in the sector. This dissertation focused on the application of the AGS format to the digitalisation of geoenvironmental data related to excavated soils, whose management requires assessing contamination, hazardousness, and landfill admissibility. The case study examined a site with a history of industrial use, involving borehole drilling and laboratory testing. The collected data were structured according to the AGS scheme, including customized headers to incorporate regulatory classifications. Given the complexity of the task, a VBA script was developed to automate the export of AGS files, with validation performed using AGS and BGS tools. Additionally, a script was created to generate GeoJSON files for use in QGIS. The solution proved to be technically sound and well aligned with the Portuguese context, demonstrating strong potential to enhance efficiency and support the digital transition of the geoenvironmental sector.

Keywords: Geotechnical engineering, Environmental Geotechnics, Data digitalisation, AGS format, Contaminated soils, Digital transformation.

[página propositadamente em branco]

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, ao Professor Helder I. Chaminé (ISEP), pela orientação científica, disponibilidade, exigência intelectual e simpatia, que recebi desde o primeiro dia.

Expresso também o meu agradecimento ao Departamento de Geotecnia da Mota-Engil, em particular ao Eng.º Jorge Cruz, ao Eng.º João Branco, à Eng.ª Beatriz Cruz, à Eng.ª Daniela Cunha e à Doutora Liliana Freitas, pelo acolhimento e acompanhamento técnico.

Ao corpo docente do Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do ISEP, deixo a minha sincera gratidão pela dedicação e por todo o trabalho (muitas vezes silencioso) que fazem. Obrigada pelo vosso tempo e pela vossa longanimidade.

À Ascendi, representada pelo Eng.º Luís Trabulo, agradeço a confiança depositada, imprescindível para a concretização deste objetivo.

Aos meus amigos Daniel, Diana, Fábio, Filipa e Mafalda, estou grata pela cumplicidade, pelo afeto, pelos momentos de leveza e pela presença constante.

Pai Mesquita, mãe Vita, tias Nanda e Vera, avó Celina — responsáveis pela minha criação e pela minha formação académica — obrigada pelo colo, pelos sacrifícios e pela paciência, desde Oliveira de Azeméis até Coimbra, e de Coimbra até ao Porto. Ao avô Londreira e à tia Vera Praça, obrigada pelo vosso amor (que eu pago, agora, em saudade). E muito obrigada, Ema e Leonor, por serem as minhas irmãs de coração.

Ao marido, companheiro e melhor amigo de todos os dias: és a minha maior inspiração, e este projeto nunca teria sido possível sem ti!

[página propositadamente em branco]

Índice

1. Introdução Geral	3
1.1. Enquadramento.....	3
1.2. Generalidades	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Organização.....	6
2. Digitalização na Geotecnia Ambiental	9
2.1. Digitalização de dados geoambientais.....	9
2.1.1. Limitações dos métodos tradicionais e barreiras à digitalização	10
2.1.2. Impactos da ausência de normalização digital.....	11
2.2. Formato AGS	12
2.2.1. Vantagens técnicas e operacionais	13
2.2.2. Âmbito de aplicação	14
2.2.3. Evolução histórica e adaptações	15
2.3. Formatos alternativos ou complementares.....	18
2.4. Contexto português e escolha do formato AGS.....	20
2.4.1. Situação atual em Portugal	20
2.4.2. Justificação para a escolha do formato AGS	21
3. Dados Geoambientais	25
3.1. Relevância técnica dos dados geoambientais.....	25
3.1.1. Dados de contaminação, perigosidade e admissibilidade	26
3.2. Enquadramento legislativo	28
3.2.1. Classificação jurídica dos solos escavados	29
3.2.2. Gestão de solos escavados no processo de licenciamento.....	30
3.2.3. Função regulamentar dos planos diretores municipais	31
3.2.4. Operações de valorização de resíduos	32
3.3. Caracterização geoambiental.....	32
3.3.1. Avaliação da contaminação.....	33
3.3.2. Avaliação da perigosidade.....	35
3.3.3. Admissibilidade em aterro	37
4. Caso Prático – Implementação	43
4.1. Enquadramento do projeto.....	43
4.1.1. Área de estudo	43
4.1.2. Âmbito legislativo	44
4.2. Plano de investigação.....	45
4.2.1. Métodos de campo.....	45
4.2.2. Plano analítico laboratorial	47
4.3. Resultados da campanha geoambiental	48
4.3.1. Observações de campo	48
4.3.2. Resultados analíticos	48
4.3.3. Estimativa de áreas e volumes	50
4.4. Compatibilidade com os grupos AGS	52
4.4.1. Grupos obrigatórios.....	53
4.4.2. Grupos relevantes para dados geoambientais.....	54
4.5. Aplicação do formato AGS	56
4.5.1. Cabeçalhos personalizados	56
4.5.2. Dicionário técnico interno	59
4.5.3. Organização tabular relacional.....	61

4.5.4.	Mapeamento funcional	63
4.5.5.	Exportação para formato AGS.....	67
4.5.6.	Pré-validação da estrutura	71
4.6.	Validação do ficheiro AGS	73
4.6.1.	AGS File Validator	74
4.6.2.	BGS Schema and Data Validator.....	76
4.6.3.	Processos de conversão.....	77
4.7.	Resultados gerais.....	82
4.7.1.	Síntese de resultados.....	82
4.7.2.	Limitações e desafios identificados	83
5.	Conclusões e Perspetivas Futuras	87
5.1.	Benefícios da solução desenvolvida	87
5.2.	Sugestões de desenvolvimento.....	89
5.2.1.	Sugestões genéricas	89
5.1.1.	Integração na aplicação ME-AGS GENERATOR.....	90
5.3.	Considerações finais.....	91
6.	Referências	93
Anexos	101	
Anexo I – Lista completa de regras do formato AGS (v4.1.1)	101	
Anexo II – Lista completa de entradas no grupo ABBR (Caso Prático)	103	
Anexo III – Lista completa de entradas no cabeçalho ELRG_CASC (Caso Prático)	105	
Anexo IV – Lista completa de entradas nos cabeçalhos ELRG_LSID e ELRG_SGRP (Caso Prático)	107	

Lista de figuras

Figura 1 - Fluxograma de classificação e encaminhamento de solos escavados no enquadramento legislativo português.	27
Figura 2 - Localização das sondagens executadas no âmbito da obra n.º 17040.579 (adaptado de EDZ & Mota-Engil, 2025).	46
Figura 3 - Exemplo de <i>liner</i> oriundo de sondagem e respetiva identificação (EDZ & Mota-Engil, 2025).	47
Figura 4 - Exemplificação da delimitação de áreas de influência por polígonos de Thiessen (adaptado de EDZ & Mota-Engil, 2025).	50
Figura 5 - Relações hierárquicas estruturais entre grupos do formato AGS.	55
Figura 6 - Transformação de matriz analítica <i>wide</i> para estrutura <i>long</i> (imagem truncada/ilustrativa).	61
Figura 7 - Transformação de dados na ferramenta Power Query (imagem truncada/ilustrativa). .	62
Figura 8 - Interface VBA com macro para exportação AGS.	72
Figura 9 - Exemplo de resumo de exportação automático gerado por macro VBA.	72
Figura 10 - Excertos representativos dos principais grupos do ficheiro <code>codigo_AGS.agx</code>	73
Figura 11 - Validação de ficheiro AGS com recurso à ferramenta AGS File Validator v2.0.	75
Figura 12 - Validação de ficheiro AGS com recurso à ferramenta BGS Schema and Data Validator.	77
Figura 13 - Registo de sanitização de caracteres ASCII (imagem truncada/ilustrativa).	78
Figura 14 - Esquema de conversão de dados geoambientais em formato AGS.	79
Figura 15 - Excerto representativo do ficheiro <code>proj_loca.geojson</code>	80
Figura 16 – Representação da camada vetorial correspondente ao ficheiro <code>proj_loca.geojson</code> (extraído de QGIS v3.34.11-Prizren).	81
Figura 17 - Esquema de conversão de dados geoambientais em formato GeoJSON.	81
Figura 18 - <i>Interface</i> de comandos dos módulos de exportação e sanitização no ficheiro Ms. Excel de base.	82

[página propositadamente em branco]

Lista de tabelas

Tabela 1 - Formatos digitais alternativos ou complementares ao AGS na gestão de dados geotécnicos e geoambientais.....	18
Tabela 2 - Quadro de referência jurídica aplicável à gestão de resíduos e temas ambientais associados.	28
Tabela 3 - Parâmetros analíticos utilizados na avaliação da contaminação do solo, de acordo com a APA.	34
Tabela 4 - Tipos de uso do solo a considerar na seleção dos valores de referência para avaliação da contaminação do solo, de acordo com a APA.....	34
Tabela 5 - Tabelas de valores de referência para a qualidade do solo (VRQS) disponibilizadas pela APA e respetiva aplicabilidade.	35
Tabela 6 - Características de perigosidade (HP) relevantes para a classificação de solos como resíduo, definidas formalmente no Regulamento (UE) n.º 1357/2014.	37
Tabela 7 - Parâmetros laboratoriais para avaliação da admissibilidade em aterro de solos contaminados, com base na análise do eluato e dos teores totais (Parte B, Anexo II, RJDRA).....	38
Tabela 8 - Estrutura normativa e técnica das tabelas de admissibilidade (Parte B, Anexo II, RJDRA).	39
Tabela 9 - Plano analítico realizado sobre as amostras de solo no âmbito da obra n.º 17040.579.47	
Tabela 10 - Classes associadas à estimativa de volumes no âmbito da obra n.º 17040.579.....	51
Tabela 11 - Classificação e quantificação de solos a remover no âmbito da obra n.º 17040.579...	51
Tabela 12 - Estrutura mínima recomendada para o ficheiro AGS.....	53
Tabela 13 - Grupos do formato AGS com aplicabilidade geral à gestão de dados geoambientais.	54
Tabela 14 - Grupos do formato AGS com relevância para o caso prático.	56
Tabela 15 - Estrutura funcional e conteúdo informativo do Anexo 5 (obra n.º 17040.579).	57
Tabela 16 - Cabeçalhos definidos pelo utilizador (anexados ao grupo ELRG), para o caso prático.	57
Tabela 17 - Regras do formato AGS v4.1.1 aplicáveis a elementos definidos pelo utilizador.	58
Tabela 18 - Abreviaturas associadas aos cabeçalhos do tipo PA definidos pelo utilizador, para o caso prático.	58
Tabela 19 - Tipos de dados utilizados no ficheiro AGS gerado para o caso prático.....	59
Tabela 20 - Unidades utilizadas no ficheiro AGS gerado para o caso prático.	59
Tabela 21 - Exemplos de abreviaturas utilizadas no ficheiro AGS gerado para o caso prático.	60
Tabela 22 - Métodos analíticos utilizados no caso prático para preenchimento de ELRG_METH. .	65
Tabela 23 - Categorias utilizadas no caso prático para preenchimento de ELRG_DCAT.	66
Tabela 24 - Regras do formato AGS v4.1.1 aplicáveis à forma do ficheiro CSV especializado.	68
Tabela 25 - Exemplo de conversão de dados tabulares para formato AGS.....	68

[página propositadamente em branco]

Acrónimos e Símbolos

AGS	<i>Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists</i>
AGS(HK)	<i>Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists of Hong Kong</i>
AI	Inteligência Artificial
AIA	Avaliação de Impacte Ambiental
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARI	Aterros para Resíduos Inertes
ARNP	Aterros para Resíduos Não Perigosos
ARP	Aterros para Resíduos Perigosos
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BCA	<i>Building and Construction Authority</i>
BGS	<i>British Geological Survey</i>
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno
CAD	<i>Computer-Aided Design / Desenho Assistido por Computador</i>
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i>
CEN	Comité Europeu de Normalização
CGI	<i>Commission for the Management and Application of Geoscience Information</i>
CNT	Comissão Nacional do Território
COSMOS	<i>Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems</i>
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
DGT	Direção-Geral do Território
DIGGS	<i>Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists</i>
DOC	Carbono Orgânico Dissolvido
EN	Norma Europeia
ESG	Ambiental, Social e Governança Corporativa
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
GIS	<i>Geographic Information System / Sistemas de Informação Geográfica</i>
GML	<i>Geography Markup Language</i>
HP	Característica de Perigosidade
HVOC	Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>

IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
IUGS	<i>International Union of Geological Sciences</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LER	Lista Europeia de Resíduos
LGPL	<i>Lesser General Public License</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
ML	<i>Machine Learning</i>
MTBE	Éter Metil-Terc-Butílico
NGDC	<i>National Geoscience Data Centre</i>
NP	Norma Portuguesa
NZGS	<i>New Zealand Geotechnical Society</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i>
PAH	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
PARP	Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística
PCB	Bifenilos PolíClorados
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PDM	Plano Diretor Municipal
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes
PPGRCD	Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição
PVC	Cloreto de PolíVinilo
RAN	Reserva Agrícola Nacional
RCD	Resíduos de Construção de Demolição
REN	Reserva Ecológica Nacional
RGGR	Regime Geral da Gestão de Resíduos
RJDRA	Regime Jurídico da Deposição de Resíduos em Aterro
RJIGT	Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial
RJUE	Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação
SI	Sistema Internacional
SNAC	Sistema Nacional de Áreas Classificadas
SPF	<i>STEP Physical File</i>
STEP	<i>Standard for the Exchange of Product model data</i>
TDS	Sólidos Dissolvidos Totais

TOC	Carbono Orgânico Total
TPH	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
TUA	Título Único Ambiental
UA	Uso Agrícola
UC	Uso Comercial
UU	Uso Urbano
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VRQS	Valores de Referência para a Qualidade do Solo
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XMML	<i>eXploration and Mining Markup Language</i>

[página propositadamente em branco]

Capítulo I

Introdução Geral

[página propositadamente em branco]

1. Introdução Geral

1.1. Enquadramento

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), em colaboração com a empresa Mota-Engil Engenharia e Construção, S.A., através do respetivo Departamento de Geotecnia. Este trabalho de estágio surge da necessidade identificada, em contexto empresarial, de melhorar a estruturação, gestão e interoperabilidade dos dados geoambientais recolhidos em obras que envolvem a escavação de solos potencialmente contaminados.

Nos últimos anos, tem vindo a aumentar o número de trabalhos de prospeção geotécnica com componente ambiental executados pelo Departamento de Geotecnia da Mota-Engil, seja em nome próprio ou para entidades externas. Estas campanhas incluem a realização de sondagens para obtenção de amostras de solo, as quais são posteriormente sujeitas a ensaios analíticos laboratoriais. Os resultados das análises permitem detetar a presença de substâncias contaminantes e/ou perigosas no solo a escavar, aspeto essencial para a sua adequada gestão e classificação.

A ausência de normalização digital na forma como os dados geotécnicos e ambientais são atualmente armazenados, comunicados e analisados constitui uma limitação com potenciais implicações técnicas, legais e operacionais. Assim, a presente dissertação centra-se na aplicação de um formato digital de transferência de dados ao domínio específico da geotecnia ambiental, com particular interesse na gestão dos resultados analíticos associados às avaliações de contaminação, perigosidade e admissibilidade.

Mais concretamente, recorreu-se ao formato desenvolvido pela *Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists* (AGS) para a transferência de dados geoambientais, o qual foi aplicado a um caso prático real.

Pretende-se contribuir, desta forma, para a transição digital dos dados de geotecnia ambiental em Portugal, promovendo eficiência, rigor técnico e conformidade regulamentar.

1.2. Generalidades

Apesar dos avanços tecnológicos verificados na recolha e análise de dados, a transmissão de informação geotécnica e geoambiental continua a ser, maioritariamente, realizada através de ficheiros em *Portable Document Format* (PDF) e folhas de cálculo do Microsoft (Ms.) Excel® (Atkins, 2021; Halfon & Beaufils, 2024). Parte significativa desta informação ainda é registada inicialmente em papel, durante as campanhas de campo e a execução de ensaios *in situ* (e.g., Chaminé & Fernandes, 2023; Fernandes & Chaminé, 2023; Halfon & Beaufils, 2024).

Embora estes formatos sejam digitais, não constituem, por si só, um processo de digitalização no sentido pleno e estruturado do termo (Daktera & Janodet, 2024). É, portanto, essencial distinguir entre os conceitos de “digitização” e “digitalização”. A digitização consiste na simples conversão de informação analógica para formato digital (como PDF, imagem ou Ms. Excel não estruturado), mantendo a lógica fragmentada do processo original (Gradillas & Thomas, 2025). Em contraste, a digitalização implica uma transformação sistemática (baseada na normalização, interoperabilidade e integridade da informação), que permite a integração de dados em fluxos de trabalho automatizados e auditáveis.

No domínio geoambiental esta distinção é particularmente crítica, uma vez que a ausência de formatos estruturados pode comprometer a utilização eficiente dos dados de caracterização laboratorial. Em casos como este, a extração manual de dados a partir de ficheiros não estruturados implica riscos acrescidos de erro, perda de informação e inconsistências técnicas (Fatehnia & Deaton, 2023; Daktera & Janodet, 2024).

A inexistência de um formato padronizado entre empresas (ou mesmo entre departamentos da mesma organização) obriga cada entidade a adaptar os dados ao seu próprio sistema de armazenamento e análise (Alkhatab & Chadad, 2024). Esta fragmentação compromete a integridade e rastreabilidade da informação, resultando em custos operacionais acrescidos, associados à reconversão, validação e reformulação dos dados (Chandler et al., 2006; Fatehnia & Deaton, 2023).

A geotecnia ambiental, enquanto área tecnicamente exigente e legalmente sensível, depende de dados fiáveis para garantir a saúde pública, a proteção do ambiente e o cumprimento das obrigações legais associadas. Por conseguinte, torna-se pertinente a digitalização integral dos processos, desde a recolha até à submissão de dados (e.g., Nývlt & Kubečka, 2023; Daktera & Janodet, 2024; Halfon & Beaufils, 2024). Neste contexto, a adoção de formatos estruturados contribui para a padronização digital, importante para a modernização técnica e conformidade ambiental do setor.

1.3. Objetivos

Esta dissertação tem como finalidade a avaliação da viabilidade da aplicação do formato de dados AGS à transmissão digital de informação geoambiental em Portugal, incidindo no que diz respeito aos dados analíticos laboratoriais associados à contaminação, perigosidade e admissibilidade dos solos escavados. O estudo baseia-se na análise detalhada da estrutura do formato AGS e da sua adequação ao enquadramento técnico e legal vigente no contexto nacional. Pretende-se, então, propor uma estrutura adaptada às exigências da realidade portuguesa, cuja aplicabilidade será testada através da conversão de dados reais num ficheiro AGS validado.

Objetivo geral

Avaliar a viabilidade de aplicação do formato AGS à estruturação e transmissão digital de dados geoambientais em Portugal, com ênfase nos parâmetros relativos à contaminação, perigosidade e admissibilidade dos solos escavados.

Objetivos específicos

1. Analisar a estrutura interna do formato AGS, identificando os grupos e cabeçalhos relevantes para a representação de dados geoambientais.
2. Avaliar a adequação do formato AGS ao domínio geoambiental em Portugal com base nos requisitos legais e técnicos aplicáveis, identificando possíveis limitações, lacunas e ambiguidades.
3. Propor uma estrutura adaptada de ficheiro AGS que integre, de forma normalizada, os dados geoambientais mais relevantes no contexto nacional.
4. Demonstrar a aplicabilidade da estrutura proposta através de um caso prático, incluindo a organização, conversão e validação de dados reais num ficheiro AGS funcional.

1.4. Organização

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, concebidos de forma a assegurar uma progressão lógica e coerente, desde a contextualização do problema até à proposta técnica e à sua demonstração prática. A estrutura adotada visa garantir uma resposta sistemática aos objetivos definidos no ponto anterior.

Capítulo 1 – Introdução Geral: Delimita o tema da dissertação no contexto da geotecnia ambiental, evidenciando a necessidade de modernização na gestão de dados. Apresenta os objetivos delineados para o estudo e organiza a estrutura do documento, enquadrando os capítulos seguintes.

Capítulo 2 – Digitalização na Geotecnia Ambiental: Examina as limitações dos métodos convencionais de tratamento de dados e introduz o formato AGS como proposta de normalização. Justifica a sua seleção com base em critérios técnicos e operacionais, considerando a aplicabilidade ao contexto português.

Capítulo 3 – Dados Geoambientais: Caracteriza os principais dados associados à contaminação, perigosidade e admissibilidade de solos escavados, detalhando os parâmetros laboratoriais e os critérios técnico-legais aplicáveis. Analisa o enquadramento normativo nacional e os procedimentos exigidos para a sua classificação jurídica.

Capítulo 4 – Caso Prático – Implementação: Documenta a aplicação concreta do formato AGS a um conjunto de dados geoambientais recolhidos em ambiente empresarial, descrevendo a correspondência com os grupos e campos definidos na norma, bem como os procedimentos adotados para a sua organização, estruturação e validação.

Capítulo 5 – Conclusões e Perspetivas Futuras: Apresenta uma síntese crítica dos principais resultados obtidos na implementação do formato AGS, avaliando a sua viabilidade técnica e aplicabilidade prática. Identifica as limitações observadas ao longo do processo, e propõe desenvolvimentos futuros que possam reforçar a eficácia da metodologia.

Capítulo II

Digitalização na Geotecnia Ambiental

[página propositadamente em branco]

2. Digitalização na Geotecnia Ambiental

2.1. Digitalização de dados geoambientais

O setor da engenharia geotécnica e geoambiental apresenta um elevado potencial para a integração de *internet of things* (IoT) e algoritmos de *machine learning* (ML), tecnologias emergentes que possibilitam a automatização dos processos de recolha, análise e integração de dados (Brozovsky et al., 2024; Wang & Tian, 2024). Contudo, a eficácia dessas tecnologias depende da existência de bases de dados bem estruturadas e semanticamente coerentes, o que exige a adoção de formatos normalizados e interoperáveis (Halfon & Beaufils, 2024).

A gestão da informação geoambiental envolve conjuntos de dados multiparamétricos, geralmente associados a uma forte variabilidade espacial e a contextos geológicos específicos. Parâmetros como metais pesados, compostos orgânicos voláteis (VOC), hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), pH, entre outros, exigem uma representação técnica rigorosa e uma organização que permita a sua rastreabilidade e validação (Wang & Tian, 2024).

Paralelamente, a intensificação das exigências legais no domínio ambiental tem tornado os processos de caracterização e avaliação cada vez mais complexos. Em Portugal, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) desempenha um papel central na regulação da gestão da contaminação dos solos, da proteção dos recursos hídricos e dos processos de Avaliação de Impacte Ambiental, doravante designada como AIA (APA, 2024a). O número de parâmetros analíticos exigidos, assim como os requisitos legais de comprovação e rastreabilidade dos dados, tem vindo a aumentar significativamente (APA, 2024a; Coimbra, 2024).

Neste enquadramento, a digitalização técnica da informação geoambiental revela-se essencial para assegurar a eficiência e transparência dos processos, bem como a conformidade com as obrigações legais e regulamentares.

2.1.1. Limitações dos métodos tradicionais e barreiras à digitalização

A engenharia geotécnica e geoambiental continua a enfrentar obstáculos significativos na recolha, transferência, armazenamento e utilização de dados, devido à persistência de métodos convencionais e à ausência de normalização estrutural e semântica nos formatos atualmente utilizados (Alkhatab & Chadad, 2024; Brock Júnior et al., 2024).

Tal compromete a modernização do setor e dificulta a sua integração nos paradigmas da Construção 4.0 (Brozovsky et al., 2024). Este conceito assenta em três tendências transformadoras principais: i) produção industrial, que inclui abordagens como a impressão 3D e a robótica; ii) sistemas ciberfísicos, que envolvem tecnologias de IoT, sensores e drones; e iii) tecnologias digitais, como *Building Information Modelling* (BIM) e Inteligência Artificial (AI).

A utilização de processos tradicionais (como o registo manual em papel, a digitalização parcial para folhas de cálculo e a geração de relatórios em PDF) pode conduzir a ineficiências operacionais substanciais. Estas manifestam-se em perdas de tempo, maior risco de erro humano e dificuldades acrescidas na gestão, reutilização e partilha da informação (Atkins, 2021).

Um dos principais problemas é a existência de múltiplas conversões manuais ao longo do ciclo de vida do projeto. A transcrição de registos em papel para folhas de cálculo, a extração de valores laboratoriais de documentos em PDF, a inserção manual de dados em sistemas de informação geográfica (GIS) ou em programas de desenho assistido por computador (CAD) são tarefas frequentes e propensas a erros (Fatehnia & Deaton, 2022). Este processo repetido de conversão e introdução manual de dados aumenta o risco de omissões, imprecisões, incompatibilidade de unidades, incoerências terminológicas e falhas de formatação.

Adicionalmente, a dispersão da informação em diferentes formatos e locais (frequentemente sem controlo de versões ou integração entre plataformas) compromete a rastreabilidade histórica das campanhas de prospeção, monitorização e avaliação (Alkhatab & Chadad, 2024). Esta fragmentação dificulta o cruzamento de dados, impede análises longitudinais e afeta diretamente a capacidade de tomar decisões técnicas e ambientais fundamentadas (Atkins, 2021). Além disso, a inexistência de estruturas digitais interoperáveis impossibilita a integração entre projetos, *softwares* e entidades, resultando na duplicação de tarefas e no desperdício de recursos (Chandler et al., 2006; Divya Vani et al., 2024).

Para além destas limitações operacionais, subsistem barreiras estruturais de natureza organizacional. A resistência à mudança, a inércia institucional e a cultura organizacional conservadora, características do setor da construção, dificultam a adoção de soluções digitais mais avançadas (Nývlt & Kubečka, 2023; Brozovsky et al., 2024). Acresce ainda a ausência de exigência

legal explícita de normalização digital, bem como os custos associados à implementação e formação, os quais são frequentemente apontados como entraves à transição digital por pequenas e médias empresas do setor (Măgureanu & Sata, 2024; Wang & Tian, 2024).

2.1.2. Impactos da ausência de normalização digital

A inexistência de um padrão universal para a transmissão de dados geoambientais em Portugal tem repercussões significativas em diversas dimensões, nomeadamente ao nível operacional, financeiro, regulamentar e estratégico.

Em primeiro lugar, a ausência de um formato digital estruturado obriga à constante adaptação da informação às exigências específicas de cada *software* ou entidade destinatária (Chandler et al., 2006; Halfon & Beaufigli, 2024). Esta realidade conduz ao aumento do tempo e dos recursos alocados à conversão, verificação e reformatação de dados, com impacto direto nos custos operacionais e na eficiência organizacional.

No contexto dos dados geoambientais, a multiplicidade de formatos, a dispersão da informação e a ausência de validação automática aumentam a probabilidade de ocorrência de erros, omissões e incoerências, desde a recolha de dados até à sua submissão em contexto de licenciamento ou avaliação ambiental. Estas falhas podem comprometer a rastreabilidade e a fiabilidade da informação técnica, aumentando o risco de não conformidade legal, com potenciais consequências em termos de sanções administrativas, atrasos nos processos de licenciamento e danos reputacionais.

O setor geotécnico, bem como o da construção como um todo, encontra-se vinculado a diversas obrigações internacionais no domínio da sustentabilidade e da proteção ambiental, como o Pacto Ecológico Europeu e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (Nýlt & Kubečka, 2023; APA, 2024a; Wang & Tian, 2024). A inexistência de um sistema digital eficiente e padronizado dificulta a monitorização de indicadores, o acompanhamento do cumprimento de metas ambientais e a prestação de contas perante entidades nacionais e supranacionais.

A falta de normalização digital limita também a competitividade do setor nacional da engenharia, dificultando a sua integração em redes colaborativas internacionais (Vrana & Singh, 2021; Wang & Tian, 2024). A crescente adoção, por parte de países como o Reino Unido, a Nova Zelândia ou a Austrália, de soluções digitais interoperáveis (nomeadamente, o formato AGS) demonstra uma clara orientação para a rastreabilidade, transparência e reprodutibilidade dos dados técnicos (Chandler et al., 2006). Em contraste, a ausência de um sistema semelhante em Portugal traduz-se

numa desvantagem estratégica, que limita a capacidade de colaboração, a interoperabilidade entre sistemas e a reutilização eficaz da informação ao longo do ciclo de vida dos projetos.

Em suma, a ausência de um formato digital padronizado constitui um entrave à modernização da geotecnia ambiental em Portugal. Esta limitação técnica pode ter impacto na fiabilidade dos dados, conformidade legal, eficiência organizacional e integração do país nos ecossistemas digitais europeus. A adoção de um modelo estruturado e interoperável, como o formato AGS, poderá mitigar estes riscos e promover uma gestão ambiental mais transparente, eficaz e compatível com as exigências atuais.

2.2. Formato AGS

O formato de dados AGS foi desenvolvido no início da década de 1990 pela AGS, no Reino Unido, como resposta à crescente fragmentação dos métodos de transferência de dados geotécnicos e geoambientais (Thorin et al., 2017; AGS, 2022). Na ausência de um padrão unificado, os dados são frequentemente partilhados em múltiplos formatos distintos, consoante os intervenientes (empresas, clientes, entidades reguladoras), comprometendo a interoperabilidade, a rastreabilidade e a eficiência dos fluxos de trabalho. O principal objetivo do AGS é, por conseguinte, o de normalizar e simplificar a partilha de dados técnicos, reduzindo redundâncias e minimizando os riscos associados à manipulação manual da informação.

O desenvolvimento do AGS coincidiu com o início da informatização generalizada no setor geotécnico, tendo sido concebido desde a origem como um modelo estruturado, orientado para a automação e para a integração digital de processos (Alkhatab & Chadad, 2024; Brock Júnior et al., 2024). Ao contrário de formatos tradicionais e estáticos, como os ficheiros PDF ou folhas de cálculo, o AGS oferece uma estrutura normalizada, digitalmente processável e alinhada com os princípios da Construção 4.0 (Wang & Tian, 2024).

Trata-se de um ficheiro de texto simples codificado em *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), cuja estrutura é semelhante à de um ficheiro de *Comma-Separated Values* (CSV), mas que possui regras próprias que definem grupos de dados e metadados orientados para a gestão de informação geotécnica e geoambiental (Thorin et al., 2017; Chadwick et al., 2019). A sua estrutura baseia-se num dicionário de dados normalizado, que organiza a informação em grupos temáticos (*groups*). Cada grupo contém cabeçalhos (*headings*) que definem os atributos a registar (equivalentes a colunas numa tabela), e linhas de dados (*data*) que representam os valores

observados. Esta organização tabular aproxima o AGS de uma base de dados relacional simples, assegurando coerência, rastreabilidade e integridade da informação (Wang & Tian, 2024).

Além da padronização dos grupos e cabeçalhos, o dicionário AGS especifica abreviaturas autorizadas, tipos de dados predefinidos e regras sintáticas, reforçando a uniformização semântica e a interoperabilidade entre plataformas (Thorin et al., 2017).

A versão atual do formato, AGS 4.1.1, inclui um conjunto de vinte regras formais obrigatórias de validação, que permitem a detecção automática de erros e inconsistências, e contribuem para o controlo de qualidade da informação técnica (AGS, 2022).

2.2.1. Vantagens técnicas e operacionais

A utilização do formato AGS está associada a múltiplas vantagens técnicas, operacionais e estratégicas, que justificam a sua adoção crescente no setor da engenharia geotécnica e geoambiental. Em primeiro lugar, trata-se de um formato interoperável, que facilita a troca de dados entre diferentes entidades e plataformas de *software*, assegurando a coerência da informação sem necessidade de conversões manuais (Thorin et al., 2017; Wang & Tian, 2024). Para além disso, a organização interna do AGS (baseada em grupos de dados interligados) permite estabelecer e manter relações consistentes entre conjuntos de dados; por exemplo, entre resultados de campo, ensaios laboratoriais e documentação técnica associada (Chandler et al., 2006; AGS, 2022). Estas características reforçam a uniformização e a rastreabilidade da informação ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

Ao contrário de formatos tradicionais e não estruturados, o AGS é compatível com diversas tecnologias digitais emergentes, nomeadamente novas capacidades GIS e CAD, plataformas de BIM, e aplicações baseadas em algoritmos de ML (Wang & Tian, 2024). Esta compatibilidade favorece a integração da informação em fluxos de trabalho digitais avançados, reduzindo a redundância de processos e facilitando a análise e visualização de dados em tempo real.

Outra vantagem fundamental reside na compatibilidade com bases de dados relacionais, que permite o armazenamento estruturado e a criação de repositórios históricos centralizados (Thorin et al., 2017; Wang & Tian, 2024). Esta característica é particularmente útil para entidades que necessitem de consolidar grandes volumes de dados recolhidos ao longo de diferentes projetos, locais ou campanhas, promovendo a reutilização e a comparação temporal da informação (Atkins, 2021).

O controlo de qualidade é também significativamente melhorado pela existência de validadores automáticos, disponibilizados pela AGS e pelo *British Geological Survey* (BGS), capazes de detetar incongruências e erros estruturais nos ficheiros AGS (Halfon & Beaufils, 2024; Wang & Tian, 2024). Estas ferramentas baseiam-se nas regras formais obrigatórias definidas pelo próprio formato, que possibilitam a verificação sintática e relacional da informação, contribuindo para uma submissão de dados mais segura e fiável.

Importa sublinhar que o AGS é um formato aberto e não vinculado a plataformas comerciais ou *softwares* proprietários, podendo ser utilizado em qualquer ambiente computacional (Chandler et al., 2006; Zhang et al., 2020). Esta independência tecnológica constitui uma vantagem relevante para organizações que operam com diferentes sistemas, ou que pretendem evitar dependências de fornecedores específicos.

Paralelamente, a estrutura interna do formato é flexível e extensível, permitindo a personalização de campos, a criação de novos cabeçalhos e a integração de variáveis adicionais, de acordo com os requisitos técnicos, legais ou institucionais de cada contexto (Thorin et al., 2017; Wang & Tian, 2024). Esta capacidade de adaptação torna o AGS especialmente pertinente em países que, como Portugal, ainda não dispõem de um padrão nacional de normalização digital de dados geotécnicos e geoambientais, permitindo compatibilizar a digitalização com a realidade regulamentar vigente.

Embora o AGS não constitua, atualmente, um padrão internacional obrigatório, tem-se afirmado como uma das soluções mais robustas, versáteis e amplamente reconhecidas a nível global para a estruturação e partilha de dados no setor (Thorin et al., 2017). A sua utilização não só contribui para a eficiência e rastreabilidade dos processos técnicos, como também facilita a interoperabilidade entre entidades e a integração de mercados nacionais em ecossistemas digitais mais evoluídos.

2.2.2. Âmbito de aplicação

O formato AGS foi originalmente concebido para responder às necessidades da engenharia geotécnica, com particular foco na digitalização estruturada de dados resultantes de investigações de campo e ensaios laboratoriais clássicos. As primeiras versões (AGS 1 e 2) encontravam-se especialmente centradas na representação de perfis de sondagem, ensaios de penetração estática e dinâmica, amostragem e ensaios laboratoriais básicos (como a análise granulométrica ou a determinação dos limites de Atterberg).

A componente geoambiental começou a consolidar-se a partir da versão 3.1 (AGS, 2004), ganhando maturidade na versão 4.1 (AGS, 2020). Foram introduzidos grupos específicos para a monitorização temporal de pontos de observação, rastreabilidade de amostras e gestão da cadeia de custódia (funcionalidades essenciais para suportar avaliações ambientais rigorosas).

Atualmente, o AGS é aplicável a diversas fases do ciclo de vida de um projeto, desde os estudos preliminares até ao arquivo e reutilização da informação técnica (Daktera & Janodet, 2024). Permite representar dados de sondagens, descrições geológicas, resultados de ensaios *in situ*, amostragem e ensaios laboratoriais, assegurando a sua integração e rastreabilidade ao longo das diferentes fases (Daly et al., 2020; Atkins, 2021). Do mesmo modo, é utilizado para registo de medições de instrumentação geotécnica e geoambiental em séries temporais (como piezómetros), tanto na fase de prospeção como durante a execução da obra.

Enquanto suporte digital para a modelação e análise técnica, o AGS facilita a avaliação de estabilidade de taludes, o dimensionamento de fundações e a interpretação de dados geoquímicos (Thorin et al., 2017; Daly et al., 2020). A sua estrutura relacional permite interligar dados provenientes de múltiplas fontes, promovendo decisões técnicas fundamentadas, com base em informação consolidada (Thorin et al., 2017).

Para além do uso em projeto, o formato AGS tem vindo a consolidar-se como suporte à gestão integrada de informação técnica (Marinos et al., 2013; Brock Júnior et al., 2024). A sua compatibilidade com bases de dados permite a criação de repositórios centralizados, com funcionalidades de pesquisa, visualização histórica e reutilização de dados em novos contextos (Brock Júnior et al., 2024). Esta capacidade é particularmente relevante em contextos regulatórios exigentes, onde a rastreabilidade documental é indispensável.

Adicionalmente, tem sido amplamente adotado como formato de referência em vários *softwares* geotécnicos comerciais. Plataformas como o OpenGround e o gINT, da Bentley Systems, suportam amplamente o AGS como formato padronizado para importação, exportação e intercâmbio de dados geotécnicos, reforçando a sua interoperabilidade e o seu papel como norma técnica *de facto* no setor (Chandler et al., 2006; Satyanaga et al., 2023).

2.2.3. Evolução histórica e adaptações

Desde a sua criação, o formato AGS tem sido alvo de sucessivas atualizações, com o objetivo de acompanhar a evolução das práticas técnicas, normativas e operacionais da engenharia geotécnica e geoambiental (Fatehnia & Deaton, 2022). A sua capacidade de adaptação a novos requisitos tem sido determinante para a consolidação como um dos formatos de dados mais utilizados no setor.

As principais alterações têm incidido sobre a introdução de novos grupos e cabeçalhos, a atualização do dicionário de dados e o aperfeiçoamento das regras de estruturação, refletindo as necessidades emergentes da indústria (Thorin et al., 2017; Brock Júnior et al., 2024).

As principais versões e marcos evolutivos do formato incluem:

- **AGS 1** – Primeira edição, já com inclusão dos grupos CHEM (*Chemical Tests*), TOX (*Solid Contaminants*) e GAST (*Gas Constituents*), destinados à representação de análises químicas e dados de contaminação de solos e águas (AGS, 1992).
- **AGS 2** – Revisão com ajustes às regras e apêndices, baseados na experiência prática acumulada desde a versão inicial (AGS, 1994).
- **AGS 3** – Reestruturação significativa da arquitetura do formato e consolidação da vertente geoambiental. Introdução do grupo CNMT (*Contaminant and Chemical Testing*), em substituição dos anteriores CHEM e GAST, e do grupo FILE, para anexação de imagens e documentos digitais (AGS, 1999).
- **AGS-M** – Módulo adicional dedicado a dados de monitorização. Inclui grupos personalizados/provisórios, como o ICCT (*In situ Contaminant and Chemical Testing*), para medições geoquímicas *in situ*, e os grupos MONP (*Monitoring Points*) e MONR (*Monitoring Readings*), utilizados para leituras temporais (Chandler et al., 2002).
- **AGS 3.1** – Integração oficial do módulo AGS-M, introdução dos grupos IPID (*On Site Volatile Headspace Testing by Photo-Ionisation Detector*) e IFID (*On Site Volatile Headspace Testing by Flame-Ionisation Detector*), para ensaios rápidos de compostos voláteis, e aumento do detalhe nos códigos de contaminantes (AGS, 2004).
- **AGS 4.0, 4.0.1, 4.0.2 e 4.0.3** – Nova estrutura de dados, com maior alinhamento com os Eurocódigos. Introdução dos grupos GCHM (*Geotechnical Chemical Testing*) e CHOC (*Chain of Custody*). O CNMT é substituído por ERES (*Environmental Contaminant Testing*), e os grupos de monitorização MONP/MONR são substituídos por MONG (*Monitoring Installations and Instruments*) e MOND (*Monitoring Readings*) (AGS, 2011).
- **AGS 4.0.4** – Revisão incremental, com melhorias de clareza, compatibilidade normativa e flexibilidade, sem alterações estruturais significativas (AGS, 2017).

- **AGS 4.1** – Atualização estrutural profunda, com a criação de 24 novos grupos, alguns dos quais substituíram grupos anteriores. O grupo ERES é substituído por ELRG (*Environmental Laboratory Reporting*), e é reforçada a distinção entre ensaios laboratoriais (GCHM, ELRG) e medições *in situ* (MONG/MOND). A organização interna é otimizada para facilitar importações automáticas e integração com *software* técnico (AGS, 2020).
- **AGS 4.1.1** – Revisão menor, centrada na correção de inconsistências nos títulos e exemplos apresentados na documentação oficial (AGS, 2022).

Embora desenvolvido e mantido no Reino Unido, o formato AGS tem vindo a ser adotado internacionalmente, com adaptações que refletem as especificidades geológicas, regulamentares e linguísticas de cada país ou região (Chandler et al., 2006; Thorin et al., 2017). A seguir, apresentam-se alguns dos casos mais relevantes:

- **Hong Kong** – A *Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists* de Hong Kong, doravante designada como AGS(HK), adaptou o formato AGS 3 às práticas locais em 1998, tendo publicado uma versão ajustada com campos adicionais e grupos personalizados (AGS(HK), 2003; AGS(HK), 2024).
- **Nova Zelândia** – A *New Zealand Geotechnical Society* (NZGS) desempenhou um papel central na adaptação do AGS 3 e, posteriormente, das versões 4.0.3 e 4.0.4, ao contexto nacional, assegurando a sua compatibilidade com as práticas locais e promovendo a sua adoção (NZGS, 2012; NZGS, 2017).
- **Austrália** – A *Australian Geomechanics Society* promoveu a adoção de versões ajustadas do formato AGS, nomeadamente o AGS 3.1 RTA 1.1 e o AGS 4.1.1 AU 1.2, adaptadas às normas técnicas e práticas geotécnicas locais (Australian Geomechanics Society, 2022).
- **Singapura** – A *Building and Construction Authority* (BCA) coordenou as adaptações locais do formato AGS, com a publicação do AGS(SG) 1.0 e 2.0, integrando requisitos técnicos e normativos nacionais (BCA, 2013).

Para além destes, o AGS encontra-se em utilização, ainda que com diferentes níveis de consolidação, em países como Alemanha, China, Emirados Árabes Unidos, Grécia, Índia, Irlanda, Itália, Malásia, Omã, Países Baixos e Roménia (e.g., Chandler et al., 2006; Moitinho de Almeida et al., 2014; Pan et al., 2019; Zhang et al., 2019; Kokkala & Marinos, 2022; Fatehnia & Deaton, 2023; Satyanaga et al., 2023; Yang et al., 2024).

A manutenção e atualização do formato AGS são coordenadas pelo *Data Management Working Party*, que disponibiliza publicamente as versões oficiais, manuais e documentação técnica no seu portal institucional (AGS, 2022). Contudo, a comunidade internacional também desempenha um papel ativo neste processo, contribuindo com propostas de melhoria baseadas em experiências práticas, constrangimentos específicos e exigências regulamentares locais.

2.3. Formatos alternativos ou complementares

Apesar do formato AGS ser amplamente reconhecido e utilizado para a digitalização de dados geotécnicos e geoambientais, existem outros modelos relevantes que desempenham funções semelhantes ou complementares (sobretudo em contextos que exigem interoperabilidade com plataformas BIM, GIS ou sistemas de modelação geológica). A Tabela 1 apresenta os formatos mais relevantes para a gestão digital de dados aplicáveis à geotecnia ambiental, organizados por ordem decrescente de relevância neste contexto.

Tabela 1 - Formatos digitais alternativos ou complementares ao AGS na gestão de dados geotécnicos e geoambientais.

Formato	Estrutura	Entidade promotora	Observações
DIGGS	GML/XML	ASCE / FHWA (EUA)	Concorrente mais direto, com foco em integração BIM/SIG e interoperabilidade
IFC	STEP/XML	BuildingSMART	Formato BIM universal
CityGML	GML/XMML	OGC	Representação urbana 3D
GeoSciML	GML	CGI / IUGS / OGC	Modelo geológico abrangente
GeoJSON	JSON	Geographic JSON Working Group	Útil para representar a localização geográfica de pontos de amostragem

Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (DIGGS)

O DIGGS é um formato de intercâmbio de dados desenvolvido especificamente para a área da geotecnia, cuja origem conceptual decorre da arquitetura do formato AGS (Obergriebner et al., 2009). Assenta na linguagem *Geography Markup Language* (GML), uma aplicação de *eXtensible Markup Language* (XML), concebida para descrever dados georreferenciados com foco em geotecnia e ambiente (Thorin et al., 2017). O seu dicionário de dados resulta da fusão de normas pré-existentes, incluindo contributos da AGS, do *Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems* (COSMOS) e do Departamento de Engenharia Civil da Universidade da Florida (Toll, 2008; Moitinho de Almeida et al., 2014). Foi promovido pelo *Geo-Institute* da *American Society of Civil Engineers* (ASCE), com apoio de entidades como a *Federal Highway Administration* (FHWA) americana e a *Highways Agency* do Reino Unido, sendo atualmente uma das soluções preferenciais para a transmissão de dados geotécnicos nos Estados Unidos (Toll, 2008; Wang et al., 2020).

Industry Foundation Classes (IFC)

O IFC é um formato de dados padronizado desenvolvido pela buildingSMART, com ampla utilização em ambientes BIM (Du et al., 2024; Okonta et al., 2024). Embora a sua génese se centre na modelação de edifícios, tem vindo a evoluir para incorporar dados do subsolo (Sändig, 2024). A representação física da sua arquitetura assume frequentemente a forma de um ficheiro no formato *Standard for the Exchange of Product model data* (STEP), ou *STEP Physical File* (SPF), embora também seja possível a representação em *Javascript Object Notation* (JSON) e XML (Okonta et al., 2024; Sändig, 2024). As versões 4.3. e 4.4 já incluem entidades como *IfcBorehole* (furos de sondagem) e *IfcGeotechnicalStratum* (unidades geotécnicas discretas), embora a integração plena de dados geotécnicos continue limitada pela complexidade e heterogeneidade do subsolo (Alkhatab & Chadad, 2024; Sändig, 2024).

CityGML/3D-GEM

O CityGML, promovido pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC), é um formato vocacionado para a modelação tridimensional de cidades (Sändig, 2024; Kasprzyk et al., 2024). Apesar de originalmente orientado à descrição de edifícios e infraestruturas à superfície, a sua extensão 3D-GEM (*3D Geotechnical Extension Model*) permite representar o subsolo e integrar dados geotécnicos em modelos urbanos (Sändig, 2024). Esta funcionalidade torna o CityGML um formato complementar valioso em contextos que exijam interoperabilidade entre BIM e GIS.

GeoSciML

O GeoSciML é um modelo geológico internacional desenvolvido no âmbito da *Commission for the Management and Application of Geoscience Information* (CGI), sobre coordenação da *International Union of Geological Sciences* (IUGS) e com apoio do OGC (Obergrießer et al., 2009). Baseado em GML e com raízes conceituais/estruturais na *eXploration and Mining Markup Language* (XMML), permite a representação de observações de campo, dados geofísicos e químicos, incluindo perfis litológicos e furos de sondagem. Foi adotado como norma oficial no contexto da diretiva INSPIRE, integrando iniciativas como a OneGeology (Sändig, 2024).

GeoJSON

O GeoJSON é um formato leve baseado em JSON, utilizado para representar objetos geográficos simples, como pontos, linhas e polígonos (Brock Júnior et al., 2024). É amplamente adotado em webGIS e outras aplicações GIS, pela sua compatibilidade com *Application Programming Interfaces* (API) e facilidade de integração em plataformas *web* (Thorin et al., 2017; Mauliza et al., 2024). No entanto, a sua simplicidade limita a representação de estruturas complexas (como resultados laboratoriais geoambientais), tornando-o mais apropriado para visualizações espaciais básicas.

AGSML e AGSi

Para além do formato AGS tradicional em ASCII 7-bit (0–127), foram desenvolvidas variantes orientadas para contextos digitais emergentes. O AGSML é uma versão em XML do AGS, que serviu de base ao desenvolvimento do DIGGS (Toll, 2008; Obergrießer et al., 2009). Representa uma tentativa inicial de estruturar os dados AGS num modelo hierárquico e extensível. O AGSi, por sua vez, é uma proposta mais recente baseada em JSON, criada com o intuito de facilitar a integração com aplicações móveis e plataformas SIG. Apesar do seu potencial técnico, a adoção prática do AGSi permanece ainda limitada (Ground Engineering, 2023; Digital Geotechnical, 2024b).

2.4. Contexto português e escolha do formato AGS

2.4.1. Situação atual em Portugal

Em Portugal, ainda não foi adotado formalmente qualquer formato digital de transferência de dados no setor geotécnico. Esta realidade decorre, em grande parte, da inexistência de uma norma técnica obrigatória que regule a estruturação e transmissão de dados geotécnicos e geoambientais. Esta ausência verifica-se quer a nível nacional, através de normas portuguesas (NP) emitidas pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), quer a nível europeu, através de normas europeias (EN) harmonizadas promovidas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN).

Paralelamente, nem as entidades reguladoras portuguesas, como o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e a APA, nem os cadernos de encargos de concursos públicos e privados, exigem ainda, de forma sistemática, a entrega de dados em formatos digitalmente estruturados. A falta de requisitos técnicos explícitos contribui para que as empresas do setor percecionem a digitalização como um custo adicional, ao invés de a considerarem um investimento estratégico para a modernização dos processos (Nývlt & Kubečka, 2023; Alkhatab & Chadad, 2024).

Outro fator relevante prende-se com a infraestrutura tecnológica e a cultura organizacional predominantes nas empresas portuguesas de geotecnia. Ao contrário do que sucede no Reino Unido, onde ferramentas digitais como o OpenGround são amplamente utilizadas, a sua adoção em Portugal continua a ser pontual. A maioria das empresas nacionais mantém fluxos de trabalho suportados em *software* generalista, sem integração digital de dados. A implementação de um formato estruturado como o AGS exige investimento em formação técnica, reconfiguração de processos e, sobretudo, uma mudança de paradigma cultural (Nývlt & Kubečka, 2023; Telukdarie et al., 2023).

Todavia foram feitos nos últimos anos interessantes progressos através de uma colaboração academia–empresa entre a Mota-Engil (Departamento de Geotecnia) e o ISEP (Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada do Departamento de Engenharia Geotécnica) com o desenvolvimento de originais dissertações (Cruz, 2022; Costa Pinto, 2023; Pinho, 2024) e das publicações de Costa Pinto et al. (2023) e de Cruz et al. (2023, in press). É ainda de assinalar os trabalhos exploratórios dados à estampa por Moitinho de Almeida et al. (2008, 2010, 2014).

2.4.2. Justificação para a escolha do formato AGS

O AGS é um formato maduro e amplamente testado a nível internacional, com décadas de aplicação prática em projetos geotécnicos e geoambientais (Chandler et al., 2006; Obergrießer et al., 2009; Alkhatab & Chadad, 2024). Ao contrário do IFC, CityGML e GeoSciML (formatos mais centrados na modelação geológica, urbana ou em BIM), o AGS oferece suporte nativo à representação detalhada de ensaios laboratoriais geoambientais (Atkins, 2021; Alkhatab & Chadad, 2024). Permite, ainda, o registo estruturado de informação como: i) a localização e profundidade das amostras, ii) os parâmetros físico-químicos analisados, iii) os métodos laboratoriais aplicados, e iv) os resultados obtidos (Atkins, 2021). Esta capacidade torna-o especialmente indicado para suportar processos de avaliação de contaminação, perigosidade e admissibilidade de solos escavados.

Adicionalmente, apresenta uma estrutura tecnicamente acessível. Trata-se de um formato baseado em ficheiros de texto, com organização tabular e lógica relacional simples, não dependente de *software* proprietário (Alkhatab & Chadad, 2024; Yang et al., 2024). Estas características facilitam a sua adoção em diferentes fluxos de trabalho e contextos operacionais. Num país como Portugal, onde a digitalização do setor geotécnico e geoambiental ainda se encontra numa fase inicial, este tipo de estrutura constitui uma vantagem significativa.

Em paralelo, o formato AGS combina um elevado grau de padronização com uma igualmente elevada capacidade de adaptação (Alkhatab & Chadad, 2024). A possibilidade de criar grupos e cabeçalhos personalizados permite acomodar requisitos técnicos ou regulamentares específicos, garantindo a representação adequada de dados em domínios em constante evolução (como é o caso da geotecnia ambiental). Esta flexibilidade interna torna o AGS particularmente adequado para contextos onde ainda não existem normas técnicas nacionais consolidadas para a transferência de dados, uma vez que viabiliza soluções compatíveis com a realidade local sem comprometer a estrutura formal do formato.

Embora outros formatos, como o DIGGS, apresentem soluções tecnológicas modernas (incluindo a codificação em XML e a integração com plataformas GIS), a sua adoção prática fora dos Estados

Unidos permanece reduzida (Wang & Tian, 2024). O mesmo se aplica ao AGSi, uma versão emergente baseada em JSON, com potencial de integração em aplicações móveis e webGIS, mas cuja implementação concreta ainda não atingiu maturidade significativa (Ground Engineering, 2023).

Considerando os fatores descritos (nomeadamente, a maturidade tecnológica, a compatibilidade funcional com os dados geoambientais, a acessibilidade técnica e a capacidade de adaptação), o AGS revela-se, à data, a solução mais robusta, testada e aplicável ao contexto português. Esta abordagem dá continuidade a investigações anteriores que demonstraram a viabilidade da adoção do AGS em Portugal (Cruz, 2022; Costa Pinto, 2023; Pinho, 2024). Esses estudos, desenvolvidos em ambiente empresarial, resultaram de colaborações entre o ISEP (LABCARGA) e o Departamento de Geotecnia da Mota-Engil, Engenharia & Construção S.A., focando-se sobretudo na digitalização de dados de prospeção geotécnica convencional. A presente dissertação distingue-se, mas complementa, por se centrar na aplicação do formato AGS à digitalização de dados geoambientais.

Capítulo 3

Dados Geoambientais

[página propositadamente em branco]

3. Dados Geoambientais

3.1. Relevância técnica dos dados geoambientais

De acordo com a *International Association for Engineering Geology and the Environment* (IAEG), os dados geoambientais, no contexto da engenharia geotécnica e das geociências de engenharia, referem-se à informação recolhida com o objetivo de avaliar a qualidade do solo e das águas subterrâneas (IAEG, 2022). Esta informação deve ser integrada na caracterização geotécnica de base, conforme estipulado na Parte 2 do Eurocódigo 7 (EN1997-2:2007): “As investigações geotécnicas devem incluir todas as investigações necessárias para a conceção e execução das obras, incluindo os aspetos ambientais, quando relevantes” (CEN, 2007 – tradução própria). Os dados geoambientais podem, assim, ser entendidos como um subconjunto dos dados geotécnicos, com enfoque nos parâmetros físico-químicos relevantes para a proteção da saúde humana e dos ecossistemas, o cumprimento da legislação ambiental e a definição de estratégias de gestão, reutilização ou remediação (Diniz, 2002).

A sua tipologia varia em função do objetivo da investigação e da fase do ciclo de vida do projeto, assumindo um papel determinante desde os estudos preliminares até à operação ou desativação de infraestruturas. Na fase de planeamento e conceção, os dados geoambientais são essenciais para detetar contaminações pré-existentes, que possam comprometer a viabilidade ambiental, económica ou legal da intervenção (IAEG, 2022).

Para além da caracterização química *standard* de solos e águas (normalmente focada em contaminantes como metais pesados, hidrocarbonetos, solventes, entre outros), pode ser necessário avaliar a presença de (APEMETA, 2022): i) gases perigosos, como o metano e o dióxido de carbono; e ii) radioatividade natural, como o radão. Esta necessidade é particularmente crítica em contextos urbanos ou industriais, onde existe um risco acrescido de acumulação de compostos voláteis ou libertação de radionuclídeos.

Numa outra vertente, em projetos que envolvam estruturas enterradas, é exigida a caracterização da agressividade do solo e da água subterrânea sobre os materiais de construção (nomeadamente betão e aço), de modo a garantir a durabilidade da obra (CEN, 2007; IPQ, 2010). Os dados geoambientais permitem, neste caso, selecionar materiais resistentes (como betões com proteção face a sulfatos ou cloretos) e definir eventuais soluções de mitigação, como tratamentos prévios do solo ou aplicação de barreiras físicas. Esta informação é essencial para estimar a vida útil das estruturas e para a definição de planos de manutenção preventiva.

Durante a fase de construção, os dados geoambientais são determinantes para a classificação do solo escavado. Esta classificação orienta decisões quanto à reutilização direta em obra, enquadramento como subproduto, ou encaminhamento para destino final enquanto resíduo (APA, 2021a). Em paralelo, são fundamentais para garantir a proteção dos trabalhadores expostos a substâncias perigosas e para assegurar a conformidade com licenças ambientais e planos de gestão aprovados (Gomes & Lanceiro, 2020; APEMETA, 2022; Costa, 2023).

Nas fases de operação e manutenção, os dados geoambientais permitem (APEMETA, 2022; Costa, 2023): i) avaliar a eficácia das medidas de mitigação implementadas, ii) detetar alterações nas condições ambientais, e iii) dar suporte a sistemas de reporte obrigatórios, nomeadamente em sede de AIA.

Importa referir, ainda, os dados obtidos por monitorização de plumas de contaminação, resultantes da migração de poluentes a partir de fontes conhecidas ou suspeitas. Esta situação ocorre, tipicamente, em locais situados em ou próximos de antigos aterros, tanques de combustível subterrâneos, zonas industriais abandonadas (*brownfields*) ou locais com histórico de derrames (APA, 2019a,b; APEMETA, 2022). Esta monitorização é crítica nas fases iniciais de projetos nestes locais, mas também aquando da desativação de instalações potencialmente contaminantes, para garantir a segurança ambiental e a viabilidade de usos futuros (Gomes & Lanceiro, 2020).

3.1.1. Dados de contaminação, perigosidade e admissibilidade

Apesar da diversidade de dados geoambientais, o presente trabalho incide especificamente sobre a avaliação da contaminação, perigosidade e admissibilidade dos solos escavados. Esta delimitação resulta da prática observada no Departamento de Geotecnia da Mota-Engil, onde todas as campanhas geoambientais realizadas em território nacional se centraram neste domínio. Trata-se, por conseguinte, da vertente mais recorrente e operacionalmente significativa das investigações geoambientais no contexto empresarial em análise.

Esta é uma problemática que adquiriu particular relevância desde a entrada em vigor, no ano 2020, do novo Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR), o qual veio introduzir restrições significativas à movimentação e reutilização de solos entre empreitadas (APA, 2021a). Em muitos casos, a caracterização e classificação dos solos escavados (bem como a identificação do respetivo destino e das operações de valorização ou eliminação previstas) constituem condições prévias à emissão do Título Único Ambiental (TUA), exigido para o licenciamento da atividade (Costa, 2023).

A contaminação corresponde à presença de substâncias químicas no solo ou nas águas subterrâneas em concentrações superiores aos valores de referência para a qualidade do solo (VRQS) definidos, geralmente associados a riscos ambientais ou para a saúde humana (APA, 2019c). Já a perigosidade é uma classificação atribuída a resíduos com base em critérios legais específicos, designadamente os constantes da Lista Europeia de Resíduos (LER) e do Regulamento (UE) n.º 1357/2014 (APA, 2020a). Um solo contaminado pode ou não ser considerado perigoso, dependendo da presença de características de perigosidade (HP) como toxicidade, inflamabilidade ou ecotoxicidade.

A admissibilidade refere-se à possibilidade de um solo escavado ser aceite num determinado tipo de destino final; nomeadamente, em aterros de resíduos perigosos (ARP), não perigosos (ARNP) ou inertes (ARI). Esta aceitação depende do seu grau de contaminação, da sua classificação enquanto resíduo (em termos de perigosidade), e da verificação do cumprimento de critérios físico-químicos específicos definidos pela legislação em vigor (Costa, 2023).

A Figura 1 representa um fluxo decisório simplificado para a classificação jurídica e gestão de solos escavados contaminados e não contaminados.

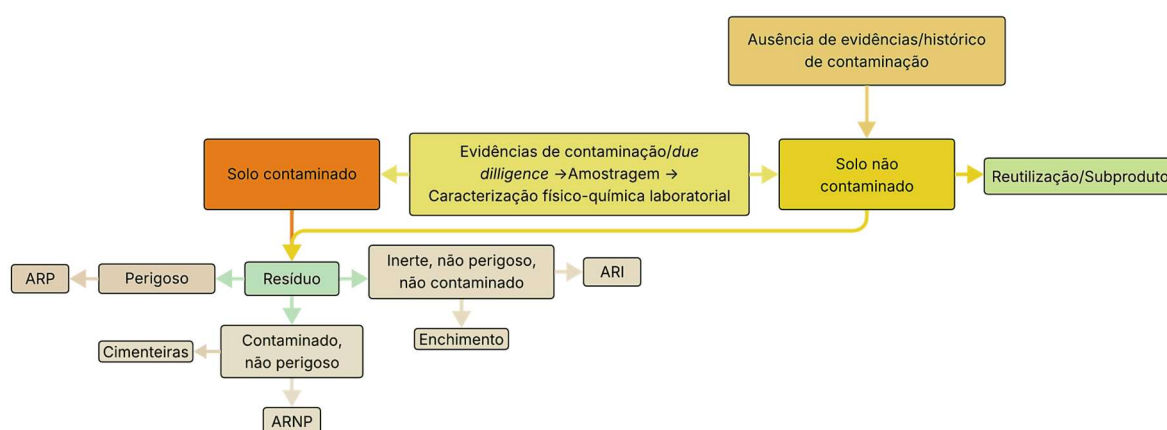


Figura 1 - Fluxograma de classificação e encaminhamento de solos escavados no enquadramento legislativo português.

3.2. Enquadramento legislativo

A gestão de solos escavados com potencial contaminação insere-se numa área de interface entre os domínios técnico, ambiental e jurídico. Exige, por isso, uma abordagem integrada que assegure simultaneamente a conformidade legal, a fiabilidade técnica e a proteção ambiental.

Em Portugal, o principal referencial legal neste domínio é o Decreto-Lei n.º 102-D/2020, uma “lei-quadro” que agrega e sistematiza diferentes regimes jurídicos no âmbito da política de resíduos, transpondo para o ordenamento jurídico nacional as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852 (República Portuguesa, 2020). Mais concretamente, aprova o novo RGGR e o novo Regime Jurídico da Deposição de Resíduos em Aterro (RJdra), alterando também o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor (Decreto-Lei n.º 152-D/2017).

Para além do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, é aplicável um conjunto articulado de diplomas complementares, regulamentos europeus e orientações técnicas emitidas pela APA. Estes instrumentos abrangem, entre outros aspetos: (i) os procedimentos de licenciamento e autorizações ambientais; (ii) os critérios e metodologias para avaliação da qualidade ambiental dos solos; (iii) a classificação jurídica do solo escavado como resíduo ou subproduto; e (iv) os requisitos laboratoriais e limites legais para a sua aceitação em diferentes tipos de destino final.

A Tabela 2 apresenta um referencial normativo, nacional e europeu, aplicável à gestão de resíduos e demais questões ambientais associadas.

Tabela 2 - Quadro de referência jurídica aplicável à gestão de resíduos e temas ambientais associados.

Instrumento Legal	Tema
Decreto-Lei n.º 139/89	Proteção do Relevo Natural, Solo Arável e Revestimento Vegetal
Decreto-Lei n.º 555/99	Regime Jurídico da Urbanização e Edificação
Regulamento (CE) n.º 1272/2008	Classificação, Rotulagem e Embalagem de Substâncias e Misturas
Decreto-Lei n.º 18/2008	Código dos Contratos Públicos
Diretiva 2013/39/UE	Substâncias Prioritárias no Domínio da Política da Água
Lei n.º 31/2014	Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, Ordenamento do Território e Urbanismo
Decisão 2014/955/UE	Atualização da Lista Europeia de Resíduos
Regulamento (UE) n.º 1357/2014	Características de Perigosidade dos Resíduos
Decreto-Lei n.º 80/2015	Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial
Regulamento (UE) n.º 2017/997	Característica de Perigosidade HP14 «Ecotóxico»
Decreto-Lei n.º 152-D/2017	Regime Unificado dos Fluxos Específicos de Resíduos
Diretiva (UE) 2018/849	Resíduos de REEE, Pilhas e Acumuladores
Diretiva (UE) 2018/850	Deposição de Resíduos em Aterros
Diretiva (UE) 2018/851	Diretiva-Quadro dos Resíduos
Diretiva (UE) 2018/852	Embalagens e Resíduos de Embalagens
Regulamento (UE) n.º 2019/1021	Poluentes Orgânicos Persistentes
Anexo I do Decreto-Lei n.º 102-D/2020	Regime Geral da Gestão de Resíduos
Anexo II do Decreto-Lei n.º 102-D/2020	Regime Jurídico da Deposição de Resíduos em Aterro
Decreto-Lei n.º 11/2023	Reforma e Simplificação dos Licenciamentos Ambientais
Decreto-Lei n.º 24/2024	Revisão dos Regimes de Resíduos

3.2.1. Classificação jurídica dos solos escavados

Nos termos do Anexo I do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, correspondente ao RGGR, os solos escavados são, por defeito, considerados resíduos (APA, 2019c). Contudo, a alínea c) do n.º 2 do seu artigo 2.º prevê uma exclusão para materiais naturais não contaminados resultantes de escavações associadas a construção, desde que sejam reutilizados no mesmo local e no seu estado natural (APA, 2019c, 2021a). Se estes apresentarem indícios de contaminação, o produtor é obrigado a proceder a uma avaliação analítica da qualidade do solo, de forma a comprovar a sua adequabilidade para a reutilização. Essa suspeita pode resultar de uma inspeção visual direta, com deteção de odor a hidrocarbonetos ou coloração anormal, ou do conhecimento técnico do histórico do local (por exemplo, quando se tratam antigos terrenos industriais). Nestas circunstâncias, procede-se à realização de análises laboratoriais de caracterização, cujos resultados devem ser comparados com os VRQS definidos pela APA, em função do uso atual ou previsto (APA, 2019c).

Sempre que não seja exequível a reutilização dos solos escavados no seu local de origem, estes poderão ser classificados como subproduto, nos termos do artigo 91.º do RGGR (República Portuguesa, 2020). Tal constitui uma segunda alternativa à gestão enquanto resíduo, que exige o cumprimento cumulativo de quatro critérios legais:

1. Existência de utilização futura garantida e legalmente válida, documentada num contrato entre o produtor e o utilizador do solo;
2. Possibilidade de utilização direta, sem necessidade de qualquer tratamento além do que é considerado prática industrial corrente (por exemplo, crivagem ou compactação);
3. Integração num processo produtivo lícitamente enquadrado, ou seja, o produtor deverá exercer uma atividade económica que legitime a produção de solos e rochas;
4. Ausência de impactes globalmente adversos para o ambiente e para a saúde humana, devendo assegurar-se a qualidade ambiental dos solos e rochas, em função da sua utilização prevista (APA, 2021a).

No que diz respeito ao último ponto, e na ausência de indicadores de contaminação, a prova documental (nomeadamente, o levantamento histórico cartográfico) e a inspeção técnica são suficientes para a verificação da qualidade ambiental. Contudo, quando se verifica a existência de histórico industrial, ou de indícios diretos, torna-se obrigatória a realização de análises laboratoriais. Se os VRQS definidos pela APA forem superados, o material perde a elegibilidade como subproduto (APA, 2021a).

Para além dos quatro critérios legais enumerados, é ainda exigido que a obra de origem e a obra de destino se encontrem enquadradas numa das seguintes categorias:

- Empreitadas ou concessões de obras públicas, nos termos do Código dos Contratos Públicos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 18/2008;
- Obras sujeitas a licenciamento municipal, ao abrigo do Decreto-Lei n.º 139/89;
- Intervenções urbanísticas sujeitas a controlo prévio, nos termos do Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 555/99.

O incumprimento de qualquer um dos pressupostos legais acima descritos implica a classificação do solo como resíduo, com as obrigações legais associadas à sua gestão, transporte e eliminação ou valorização.

3.2.2. Gestão de solos escavados no processo de licenciamento

A gestão de solos escavados deve ser integrada, de forma expressa, nos procedimentos de licenciamento ambiental da obra em causa; particularmente, quando esta se encontra sujeita a AIA (APA, 2021a). Nestes casos, a emissão do TUA consolida todos os pareceres, licenças e autorizações em matéria ambiental, incluindo a aceitação ou não da estratégia de gestão de solos proposta.

Mesmo na ausência de AIA, todas as operações sujeitas a controlo prévio nos termos do RJUE devem prever a gestão dos solos escavados no processo de licenciamento, sempre que exista potencial para a sua produção. Esta previsão constitui uma condição necessária para a emissão do TUA ou, nos casos em que este não se aplica, para a aprovação municipal do projeto de execução.

No caso das obras públicas, esta exigência assume normalmente a forma de um Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD), o qual deve identificar os volumes de solo a escavar, a sua classificação prevista (resíduo ou subproduto) e o destino proposto (APA, 2021a). Para obras particulares, aplica-se um mecanismo análogo; designadamente, o registo de dados relativos à produção e destino de resíduos de escavação, submetido no âmbito da comunicação prévia ou do pedido de licenciamento junto da entidade municipal competente.

Em 2023, o quadro regulamentar foi reforçado com a publicação do Decreto-Lei n.º 11/2023, integrado no programa “*Simplex*”, que promoveu uma reforma dos procedimentos de licenciamento ambiental (República Portuguesa, 2023). Este diploma introduziu medidas de simplificação administrativa, desmaterialização dos processos e integração digital dos dados

ambientais. No ano seguinte, o Decreto-Lei n.º 24/2024 veio consolidar as alterações introduzidas, no sentido de desburocratizar os licenciamentos (República Portuguesa, 2024).

3.2.3. Função regulamentar dos planos diretores municipais

De acordo com a Comissão Nacional do Território (CNT), os Planos Diretores Municipais (PDM) são instrumentos de planeamento territorial de âmbito municipal, que estabelecem o modelo de ocupação do solo e as regras de uso do território a nível local (CNT, 2020). Em Portugal, os PDM enquadram-se no contexto jurídico definido pela Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, Ordenamento do Território e Urbanismo (Lei n.º 31/2014) e pelo Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2015. Estes diplomas conferem aos PDM natureza regulamentar e vinculativa, sendo que as suas disposições obrigam tanto as entidades públicas como os particulares.

Embora o PDM, por si só, não altere a natureza jurídica intrínseca do solo, define o estatuto urbanístico que determina quais os tipo de uso e operações permitidos. Para além da sua função de ordenamento, incorpora servidões administrativas e restrições de utilidade pública condicionantes ao licenciamento de obras, como a Reserva Agrícola Nacional (RAN) e a Reserva Ecológica Nacional (REN). Em suma, funciona como um quadro normativo local ao qual os projetos se devem adequar, desde a fase de planeamento e projeto, até ao licenciamento.

Os PDM podem impor obrigações adicionais, ou procedimentos antecipados no processo de licenciamento, em função das características da área de intervenção. Nomeadamente, a obrigação de realizar estudos ambientais prévios, e eventuais medidas de remediação, em zonas onde tenham existido atividades com potencial poluidor ou indícios de contaminação do solo. A título de exemplo, PDM como os de Lisboa e Loures obrigam à elaboração de um Plano de Descontaminação de Solos antes da obra, quando se confirma a existência de contaminação (Município de Loures, 2015; APA, 2017).

Do ponto de vista legal, o município não pode licenciar projetos em desconformidade com os instrumentos de gestão territorial aplicáveis, impedimento esse que se encontra consagrado no RJUE e reforçado por vasta jurisprudência (República Portuguesa, 1999). Na prática, tal significa que devem ser cumpridos os requisitos e restrições constantes do PDM, para que a operação urbanística obtenha parecer favorável e consequente licença ou autorização.

3.2.4. Operações de valorização de resíduos

A valorização (enquanto resíduo) de solos e rochas provenientes de escavações assume diferentes formas, consoante a natureza do material, o grau de contaminação e a finalidade da operação. Entre as soluções mais relevantes, destacam-se o enchimento de cavidades resultantes de explorações minerais e a valorização material em cimenteiras.

O enchimento destina-se à recuperação de zonas escavadas (como antigas pedreiras e minas) ou à engenharia paisagística; ou seja, a modelações de terreno com fins técnicos ou ambientais. Nesta operação de valorização (R 10 C), os solos originários de escavações no âmbito de obra são utilizados como substituto de materiais que, de outra forma, teriam de ser extraídos da natureza para o mesmo fim (República Portuguesa, 2020, 2024). No caso específico de enchimento com resíduos inertes, não é necessário que o recetor possua uma licença de valorização de resíduos autónoma, bastando a existência de Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP) aprovado. A avaliação do estado de contaminação é efetuada com recurso aos VRQS para o tipo de uso do solo definido no mesmo, correspondendo normalmente ao agrícola (APA, 2019c; APA, 2021b). Segundo o n.º 5 do artigo 87.º-A do Decreto-Lei n.º 24/2024, quando o enchimento for feito exclusivamente com solos e rochas não contaminados, poderá dispensar-se o cumprimento dos critérios de admissão para resíduos inertes constantes das Tabelas n.º 2 e n.º 3 da Parte B do Anexo II do RJDRA (República Portuguesa, 2024). Contudo, a efetivação da aplicação desta dispensa ainda se encontra dependente da emissão, por parte da APA, de notas técnicas que venham a definir com maior exatidão os respetivos procedimentos e critérios.

A utilização de solos escavados em cimenteiras constitui uma forma de valorização enquadrada na reciclagem de resíduos inorgânicos (República Portuguesa, 2020). Nesta operação de co-processamento, os solos são incorporados como substitutos parciais de matérias-primas naturais na produção de clínquer, integrando-se tecnicamente no fabrico de cimento. Ao contrário de na situação anterior, é obrigatório que o recetor seja possuidor de uma licença que contemple este tipo de operação (R 5 H) e a classe de resíduo correspondente (17 05 04), bem como os respetivos limites e condições (APA, 2024b). Os solos escavados que sejam classificados como resíduo perigoso (código LER 17 05 03*) encontram-se excluídos desta possibilidade, enquadrando-se noutras vias de eliminação/valorização (por exemplo, a R 1 – Utilização para produção de energia).

3.3. Caracterização geoambiental

Na ausência de indícios de contaminação ou histórico de uso potencialmente poluente, a verificação da qualidade ambiental baseada em prova documental e inspeção técnica pode ser

suficiente para comprovar a condição de solo não contaminado e permitir a sua exclusão do regime de resíduos. Por outro lado, sempre que exista qualquer risco razoável de contaminação, a caracterização dos solos escavados exige a recolha e análise laboratorial de parâmetros físico-químicos (APA, 2019b, 2021a). Nestes casos, os dados analíticos obtidos servem de suporte à avaliação da contaminação, da perigosidade e da admissibilidade em aterro.

A NP EN ISO/IEC 17025 é uma norma internacional harmonizada a nível europeu e adotada como norma portuguesa, que define os requisitos gerais de competência técnica e de gestão da qualidade para laboratórios de ensaio (APA, 2020a). A sua aplicação garante a rastreabilidade metrológica, a reprodutibilidade dos resultados e, principalmente, a validade jurídica dos dados analíticos (condição essencial para sustentar decisões técnicas com implicações legais).

A obrigatoriedade de realização dos ensaios laboratoriais por entidades acreditadas depende da natureza da matriz, e do fim a que se destinam. A acreditação é legalmente exigida para ensaios de classificação de resíduos e análises de água, sendo recomendada no caso das análises de solo dedicadas à avaliação da contaminação (APA, 2019b, 2020a). Para esta última, a exigência de acreditação pode ser contratual, mesmo que não seja legalmente imposta.

A recolha de amostras para este fim é frequentemente realizada com recurso a amostragem contínua ao longo de furos de sondagem, através do método *Direct Push* com *liners* transparentes em cloreto de polivinilo (PVC) ou acrílico.

3.3.1. Avaliação da contaminação

A avaliação da contaminação do solo constitui uma etapa fundamental na identificação e quantificação de passivos ambientais, sendo particularmente relevante em locais com histórico de ocupação industrial ou urbana intensiva (Gomes & Lanceiro, 2020). Nestes contextos, a avaliação visa determinar se os teores de contaminantes presentes nos solos escavados ultrapassam os VRQS atualmente utilizados pela APA como orientação técnica, os quais têm por base os critérios definidos pelo *Ontario Ministry of the Environment* (APA, 2019c).

Nos termos das matrizes de referência para apresentação de resultados analíticos, a avaliação da contaminação deve incluir dois grupos de informação: i) parâmetros de contaminação química (nomeadamente, teores de metais pesados, TPH, VOC, entre outros); e ii) propriedades físico-químicas do solo (como o pH, teor em matéria orgânica e granulometria), que influenciam a mobilidade e a biodisponibilidade dos contaminantes (APA, 2020b). A Tabela 3 apresenta um

resumo dos parâmetros habitualmente considerados nos ensaios laboratoriais para avaliação da contaminação.

Tabela 3 - Parâmetros analíticos utilizados na avaliação da contaminação do solo, de acordo com a APA.

Tipologia	Parâmetros	Incluindo
contaminantes químicos	metais pesados e metalóides com relevância ambiental	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
	hidrocarbonetos de petróleo (TPH)	C6-C10, C>10-C16, C>16-C34, C>34-C50
	hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	acenafteno, antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno
	hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX)	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno
	hidrocarbonetos halogenados voláteis (HVOC)	clorofórmio, 1,2-dicloroetano, tetraclorometano
	bifenilos policlorados (PCB)	vários congêneres
características do solo que influenciam a mobilidade e retenção dos contaminantes	outros contaminantes específicos	cianeto, MTBE, fenóis, explosivos, pesticidas
		granulometria - teor de argila (< 2 µm), limo/silte (2 - 20 µm) e areia (20 - 2 000 µm), % de matéria orgânica,
		% de matéria seca, porosidade, pH, condutividade elétrica

Embora os guias técnicos da APA forneçam listas extensivas de potenciais contaminantes, a escolha dos parâmetros concretos a analisar não é estática, devendo ser adaptada às características específicas de cada local (APA, 2019b). Ou seja, a seleção do conjunto de parâmetros é efetuada com base na pesquisa do histórico da área, a qual permite identificar atividades potencialmente poluentes (atuais ou passadas), bem como os contaminantes típicos que lhes estão associados (APA, 2019a).

Nos casos em que não se identifiquem indícios de contaminação ou de atividades poluentes passadas, a avaliação analítica da qualidade do solo assume um carácter voluntário, sendo geralmente associada a processos de *due diligence* ambiental (nomeadamente, no âmbito da aquisição, requalificação ou alteração do uso do solo). Nestes contextos, a análise laboratorial de parâmetros genéricos ou indicadores pode, ainda assim, ser recomendada como medida de precaução ou suporte à tomada de decisão.

A aplicabilidade das tabelas de VRQS da APA (2019c) é influenciada pelo uso do solo atual ou previsto no local a avaliar, cujos tipos se encontram descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Tipos de uso do solo a considerar na seleção dos valores de referência para avaliação da contaminação do solo, de acordo com a APA.

Tipo de Uso	Descrição
Agrícola	Abrange atividades agrícolas, pecuárias, florestais, de produção vegetal, aquicultura, mel, entre outras, incluindo locais naturais ou em recuperação; é o uso mais restritivo em termos de VR
Urbano	Inclui residências, instalações de saúde, escolas não superiores, e atividades recreativas ou sociais ao ar livre, em solo não impermeabilizado
Comercial	Abrange edifícios de comércio, serviços, escritórios, turismo, ensino superior e profissional, bem como instalações recreativas ou desportivas em solo impermeabilizado
Industrial	Inclui instalações de produção ou uso de substâncias perigosas, gestão de resíduos, Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), extração mineira, unidades de transporte e manutenção de frotas

A seleção tem, ainda, em consideração as características físico-químicas e geológicas do local, bem como a sensibilidade ambiental da envolvente. Mais concretamente: i) a sensibilidade ambiental da área; ii) a proximidade a corpos de água superficiais; iii) a vulnerabilidade ou importância dos recursos hídricos subterrâneos; iv) a profundidade do solo e do substrato rochoso; e v) a textura do solo (granulometria). Assim, o guia técnico da APA organiza os VRQS em cinco tabelas distintas, cuja aplicabilidade varia em função das condições específicas do local (APA, 2019c). A Tabela 5 apresenta uma síntese explicativa destes referenciais, descrevendo as respetivas condições de utilização.

Tabela 5 - Tabelas de valores de referência para a qualidade do solo (VRQS) disponibilizadas pela APA e respetiva aplicabilidade.

Tabela	Aplicabilidade
A	Locais ambientalmente sensíveis, ou seja, inseridos ou próximos (< 30 m) de áreas pertencentes ao Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC) ou cujo solo apresenta valores extremos de pH
B	Locais próximos a massas de água superficiais (< 30 m)
C	Solos pouco profundos, ou seja, a profundidade do solo até ao substrato rochoso é ≤ 2 m, em pelo menos um terço da área
D	Locais cujo solo possui profundidade > 2 m, permitindo a aplicação diferenciada de VR ao solo superficial (≤ 1,5 m) e subsuperficial (> 1,5 m), para efeitos de remediação estratificada
E	Quando nenhuma das anteriores é aplicável ou quando se opta por não aplicar a Tabela D, mesmo que admissível; fornece VRQS genéricos

Os VRQS adotados pela APA para avaliação da contaminação, com origem em *benchmarks* internacionais (mais concretamente, nos *Soil, Ground Water and Sediment Standards* definidos pela província de Ontário, no Canadá) encontram-se envoltos em alguma controvérsia, uma vez que nem sempre refletem as características naturais dos solos portugueses. Efetivamente, em determinados contextos geológicos, podem ocorrer excedências aos valores adotados, sem que isso configure uma situação de verdadeira contaminação ambiental.

Contudo, quando devidamente justificado com base em critérios técnico-científicos robustos, podem ser determinados valores de fundo natural superiores aos definidos pela APA. Para tal, deve demonstrar-se que os teores persistentemente elevados de um ou mais parâmetros químicos resultam de características litológicas e geológicas próprias do local, e não de contaminação de origem antropogénica. Este procedimento encontra-se descrito no Guia Técnico para a Determinação de Valores de Fundo Natural do Solo (APA, 2022).

3.3.2. Avaliação da perigosidade

Quando não é exequível enquadrá-lo como subproduto, nos termos do Anexo I (RGGR), o solo escavado não utilizado no local é classificado como resíduo (APA, 2021a). Neste enquadramento,

aplicam-se as disposições legais constantes do Anexo II do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, correspondente ao RJDR (República Portuguesa, 2020).

De acordo com o Guia de Classificação de Resíduos (APA, 2020a), o processo de classificação de resíduos inclui, geralmente, duas fases:

1. Classificação de acordo com a LER (adotada em Portugal pela APA, com base na Decisão 2014/955/EU),
2. Avaliação da perigosidade (de acordo com a Parte A do Anexo II do RJDR).

Entradas “espelho” da LER são aquelas para as quais existem dois códigos distintos, um para o resíduo perigoso e outro, para o mesmo resíduo, que não é perigoso. Uma vez que os solos escavados correspondem, tipicamente, a uma entrada espelho, torna-se necessário avaliar qual dos códigos lhes deve ser atribuído: i) 17 05 03* – solos e rochas, contendo substâncias perigosas; ou ii) 17 05 04 – solos e rochas não abrangidos em 17 05 03*. Esta avaliação, por sua vez, desenvolve-se em três etapas:

1. Caracterização do solo, com identificação e quantificação das substâncias e compostos químicos presentes;
2. Análise das respetivas HP (1 a 15) conforme estabelecido nos Regulamentos (UE) n.º 1357/2014 e n.º 2017/997, em articulação com os critérios de classificação definidos no Regulamento (CE) n.º 1272/2008;
3. Avaliação da presença de poluentes orgânicos persistentes (POP), como os bifenilos policlorados (PCB) e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), listados no Regulamento (UE) n.º 2019/1021 e considerados como substâncias prioritárias na Diretiva 2013/39/UE.

A caracterização do solo envolve, primariamente, a recolha de informações disponíveis acerca do mesmo (levantamento do histórico do local, análises pré-existentes, entre outras fontes de informação técnica documental). Quando estas, por si só, não são consideradas suficientes para prever com razoável exatidão a sua composição química, devem ser complementadas pela realização de análises laboratoriais sobre amostras de solo.

Cada substância potencialmente perigosa é classificada, no Regulamento (CE) n.º 1272/2008, de acordo com o tipo e a intensidade do perigo que representa. Esta classificação encontra-se expressa por intermédio de advertências de perigo (frases H), a partir das quais se determinam as HP aplicáveis. Na Tabela 6 apresentam-se exemplos relevantes para solos escavados, conforme

estabelecido no Regulamento (UE) n.º 1357/2014 e detalhado no Guia de Classificação de Resíduos (APA, 2020a).

Tabela 6 - Características de perigosidade (HP) relevantes para a classificação de solos como resíduo, definidas formalmente no Regulamento (UE) n.º 1357/2014.

Característica de Perigosidade	Designação	Efeito; Exemplo
HP4	Irritante	Irritação cutânea ou lesões oculares; solos contendo certos solventes ou ácidos.
HP6	Toxicidade aguda	Efeitos tóxicos agudos após exposição oral, cutânea ou por inalação; solos contendo metais pesados, como cádmio ou mercúrio.
HP7	Cancerígeno	Indução, ou aumento da incidência, de cancro; solos contendo PAH ou amianto.
HP8	Corrosivo	Corrosão da pele; solos com pH extremos, ou que contêm ácidos ou bases fortes.
HP10	Tóxico para a reprodução	Efeitos adversos na função sexual e na fertilidade, ou toxicidade sobre o desenvolvimento dos descendentes; solos contaminados com ftalatos, ou outros disruptores endócrinos.
HP11	Mutagénico	Indução de mutações genéticas; solos contendo benzeno, ou outros compostos mutagénicos.
HP13	Sensibilizante	Reações alérgicas na pele ou no aparelho respiratório; solos contendo isocianatos ou níquel.
HP14	Ecotóxico	Risco para o ambiente; solos contaminados com pesticidas ou metais pesados.

No contexto da avaliação da perigosidade dos solos escavados enquanto resíduo, as análises laboratoriais sobre as amostras oriundas de uma campanha de prospeção geoambiental possibilitam a deteção e quantificação das substâncias potencialmente perigosas. Para cada uma delas, são determinadas as frases H correspondentes, e aplicados os limites de concentração adequados à HP e classe/categoria em causa. Para certas HP (como HP4, HP6, HP8 e HP14), o solo é considerado um resíduo perigoso se a soma ponderada de todas as substâncias da mesma classe/categoria de perigo ultrapassar o limite definido. Outras HP (como a HP7, HP10 e HP11), podem verificar-se quando a concentração de uma única substância exceder o limiar aplicável.

A avaliação da perigosidade por presença de POP constitui uma terceira etapa obrigatória, sempre que os solos escavados contenham esse tipo de substância. A sua presença, em concentrações superiores aos limites estabelecidos no Anexo IV do Regulamento (UE) n.º 2019/1021, determina a classificação como resíduo perigoso, mesmo na ausência de HP.

3.3.3. Admissibilidade em aterro

Segundo o processo descrito na Parte A do Anexo II do RJDR (República Portuguesa, 2020), para os solos escavados classificados como resíduo, o procedimento de determinação da admissibilidade em aterro envolve dois níveis: i) caracterização básica, realizada pelo produtor ou detentor do resíduo; e ii) verificação no local, realizada pelo operador no momento da chegada do resíduo ao aterro. No âmbito do Nível 1, são relevantes os ensaios de qualidade do solo e avaliação de

substâncias perigosas anteriormente descritos, bem como ensaios de determinação do comportamento lixiviante.

Contudo, a legislação prevê a sua isenção para um conjunto fechado de códigos LER, que se presumem como materiais inertes; ou seja, que apresentam tipicamente um comportamento ambiental comparável ao de um material natural. Estes encontram-se listados na Tabela n.º 1 da Parte B do Anexo II do RJDR, a qual inclui o código LER 17 05 04 (República Portuguesa, 2020). Tal implica que é legalmente defensável a deposição em ARI de solos naturais limpos, dispensando a componente analítica/laboratorial da caracterização (desde que exista dossier técnico que confirme, de forma convincente, a ausência de indícios de contaminação). Isto aplica-se exclusivamente aos valores-limite de aceitação, continuando a ser obrigatória identificação do resíduo, da sua origem e processo de produção, e a verificação do código LER.

Nos casos em que o solo não cumpre as restrições necessárias à presunção de “inertização” é necessária, para além dos dados recolhidos nas etapas anteriores, a avaliação do comportamento de lixiviação através de ensaios laboratoriais sobre o eluato. Para tal, o RJDR remete para as Partes 1 a 4 da série EN 12457 (Caracterização de resíduos – Ensaios de lixiviação – Ensaio de conformidade de materiais granulares e lamas), como método-base (República Portuguesa, 2020).

A Tabela 7 resume os parâmetros analisados no eluato, bem como os teores totais no resíduo sólido, cujos valores-limite devem ser respeitados no contexto da admissibilidade em aterro.

Tabela 7 - Parâmetros laboratoriais para avaliação da admissibilidade em aterro de solos contaminados, com base na análise do eluato e dos teores totais (Parte B, Anexo II, RJDR).

Tipologia	Parâmetros	Âmbito
análise do eluato	Metais e semimetais (As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn)	critérios transversais de admissibilidade
	Sólidos dissolvidos totais (TDS)	
	Aniões	
	Carbono orgânico dissolvido (DOC)	
	Bifenilos policlorados (PCB)	
	Índice de fenol (compostos fenólicos)	critério específico de admissibilidade em ARI
teores totais no resíduo sólido	Carbono orgânico total (TOC)	critério de admissibilidade em ARI e ARP
parâmetros adicionais	Compostos orgânicos (como BTEX, PCB, PAH, TPH)	critério específico de admissibilidade em ARI
	Definidos pela Autoridade Nacional de Resíduos (ARN)	critério específico potencial de admissibilidade em ARNP

As tabelas da Parte B do Anexo II do RJDR agrupam-se por classe de aterro e tipologia de resíduos, indicando os limites de lixiviação (eluato) e limites adicionais de teores totais ou de parâmetros orgânicos (República Portuguesa, 2020). De forma a diminuir os constrangimentos para os operadores, o Decreto-Lei n.º 11/2023 introduziu a possibilidade da definição de parâmetros adicionais mais específicos, em substituição aos valores-limite para os teores totais. Esta decisão revoga a Tabela n.º 5 da Parte B do Anexo II do RJDR (República Portuguesa, 2020, 2023).

A Tabela 8 apresenta a estrutura técnica global das tabelas de admissibilidade, bem como o seu enquadramento no Decreto-Lei n.º 102-D/2020.

Tabela 8 - Estrutura normativa e técnica das tabelas de admissibilidade (Parte B, Anexo II, RJDRA).

Instrumento Legal		Conteúdo
Diploma-base	Decreto-Lei n.º 102-D/2020	Diploma-Quadro Nacional sobre a Gestão e Deposição de Resíduos
Regime jurídico	Anexo II (a que se refere o artigo 3.º)	Regime Jurídico da Deposição de Resíduos em Aterro
Anexo técnico	Anexo II (a que se referem os artigos 13.º e 14.º)	Determinação da admissibilidade e respetivos critérios
Parte	A	Pocessos de determinação da admissibilidade
	B	CrITÉrios de admissão
Tabela de critérios de admissão (Parte B)	1	Lista de resíduos admissíveis em ARI sem necessidade de ensaios
	2	Valores-limite de lixiviação para ARI
	3	Valores-limite para o teor total de parâmetros orgânicos, para ARI
	4	Valores-limite de lixiviação para ARNP
	5	Outros valores-limite para ARNP [REVOGADA]
	6	Valores-limite de lixiviação para admissão em ARNP de RP granulares estáveis e não reativos
	7	Outros valores-limite para admissão em ARNP de RP granulares estáveis e não reativos
	8	Valores-limite de lixiviação para ARP
	9	Outros valores-limite para ARP

[página propositadamente em branco]

Capítulo 4

Caso Prático – Implementação

[página propositadamente em branco]

4. Caso Prático – Implementação

4.1. Enquadramento do projeto

O caso prático corresponde a um estudo da qualidade dos solos na Rua do Mirador (freguesia da Ajuda, Lisboa), identificado internamente com o n.º 17040.579. Este foi elaborado pela EDZ – Environmental Consulting, Lda. e pelo Departamento de Geotecnia da Mota-Engil, a pedido do cliente EMERGE – Mota-Engil Real Estate Developers, no contexto de um futuro projeto de desenvolvimento urbano. A informação espelhada na presente dissertação teve por base o respetivo relatório ambiental, o qual constitui o instrumento técnico-legal de suporte à gestão do solo escavado (EDZ & Mota-Engil, 2025).

4.1.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se em Lisboa, numa zona urbana consolidada, apresentando uma superfície total de aproximadamente 4 497 m², dividida morfologicamente em dois patamares (designados por A e B) separados por um talude natural com desnível topográfico acentuado (≈ 10 m). O Patamar A, situado a cotas inferiores ($\approx 27\text{--}37$ m), apresenta ocupação mais densa por edificações devolutas e estruturas de antiga utilização oficial; o Patamar B, a cotas mais elevadas ($\approx 37\text{--}47$ m), integra zonas de ruínas, vegetação espontânea e antigas áreas de enchimento. O local encontra-se confinado lateralmente por construções urbanas, e delimitado a Este por uma linha de água natural com escoamento N–S, exterior ao terreno. Do ponto de vista geológico regional, a área insere-se na Orla Ocidental, com domínio da Formação de Bica e presença periférica do Complexo Vulcânico de Lisboa.

A análise histórico-cartográfica da ocupação do terreno (1911–2024) revela uma evolução contínua de usos potencialmente poluentes, incluindo:

- Presença documentada de fornos de cal desde pelo menos 1911, associados à exploração do atual Geomonumento do Rio Seco (formações do Cretácico superior);
- Atividades oficinais intensivas desde meados do século XX, com presença comprovada de oficinas de reparação automóvel, carpintarias e serralharias;
- Existência de infraestruturas técnicas associadas à gestão de efluentes (nomeadamente, uma fossa e um canal de drenagem), elementos críticos do ponto de vista ambiental.

Neste contexto, justifica-se, sem ambiguidade, a aplicação do artigo 25.º do PDM de Lisboa, que determina a obrigatoriedade de avaliação da perigosidade e eventual descontaminação do solo antes de qualquer intervenção urbanística em áreas com indícios de contaminação.

4.1.2. Âmbito legislativo

Face à ocupação histórica da área de estudo, tornou-se necessário proceder a uma avaliação detalhada da qualidade ambiental dos solos escavados, com o objetivo de determinar o seu estatuto jurídico, avaliar a possibilidade de valorização e assegurar a conformidade com o quadro legal em vigor. Esta foi conduzida com base: i) no Guia Técnico de Valores de Referência para o Solo (APA, 2019c); ii) nos Anexos I (RGGR) e II (RJDR) do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Lei n.º 11/2023 e n.º 24/2024 (República Portuguesa, 2020, 2023, 2024); e iii) nos regulamentos europeus aplicáveis à classificação de resíduos e à avaliação da perigosidade, nomeadamente os Regulamentos (UE) n.º 1357/2014, n.º 1272/2008 e n.º 2019/1021 (APA, 2020a). Neste enquadramento, foi desenvolvido um plano de investigação orientado para responder aos seguintes objetivos principais:

- Avaliar a contaminação dos solos, com base nos VRQS para uso urbano (que corresponde ao uso futuro da área de estudo);
- Determinar a eventual classificação como subproduto (nos termos do artigo 91.º do RGGR), condicionada à ausência de contaminação e ao cumprimento cumulativo dos restantes critérios legais e técnicos aplicáveis;
- Proceder à avaliação das características de perigosidade (HP), de acordo com os regulamentos europeus aplicáveis, a fim de determinar a atribuição do código LER adequado (17 05 03* ou 17 05 04) e garantir a classificação legal do resíduo;
- Analisar a viabilidade de utilização dos solos escavados classificados como resíduo em: i) operações de enchimento ou recuperação de pedreiras, com base nos VRQS para uso

agrícola, ou ii) operações de fabricação de cimento, com base no seu estatuto de perigosidade (código LER).

- Avaliar a admissibilidade dos solos escavados em aterro, considerando: i) o cumprimento dos VRQS, ii) o estatuto, relativamente à perigosidade, iii) os resultados dos ensaios de lixiviação, relativamente aos valores-limite da Parte B do Anexo II do RJDR, e iv) os teores de matéria orgânica e outros parâmetros físico-químicos definidos no mesmo anexo.

Caso se verifique que os solos a escavar apresentam contaminação, fica automaticamente excluída a possibilidade de classificação desses materiais como subproduto, bem como a sua aplicação em operações de enchimento de vazios de escavação e admissibilidade em ARI (APA, 2021a; República Portuguesa, 2024). Em alternativa, os solos serão classificados como resíduo, podendo ser encaminhados para valorização em cimenteira ou ARNP, desde que não sejam perigosos e cumpram os critérios definidos na Tabela n.º 4 da Parte B do Anexo II do RJDR (República Portuguesa, 2020). A deposição em ARP constitui uma solução de “última linha”, e a menos desejável na hierarquia de gestão de resíduos. Pode, contudo, ser necessária, caso se verifique a classificação do material a escavar como resíduo perigoso.

4.2. Plano de investigação

4.2.1. Métodos de campo

A campanha de avaliação da qualidade ambiental dos solos na área de estudo foi conduzida entre os dias 19 de novembro e 10 de dezembro de 2024, tendo envolvido a execução de 20 sondagens mecânicas para recolha de amostras de solo. A campanha, e subsequente amostragem, foi estruturada de forma a assegurar a recolha dos dados necessários à caracterização ambiental dos solos e à definição do seu destino final, em conformidade com os critérios legais aplicáveis.

Das 20 sondagens em que foram recolhidas amostras de solo, 15 tiveram finalidade exclusivamente ambiental e 5 correspondem a sondagens mistas (integrando, simultaneamente, objetivos ambientais e geotécnicos). Estas últimas, em conjunto com 4 sondagens adicionais de natureza exclusivamente geotécnica, totalizaram 9 pontos de investigação com finalidade de estudos geotécnicos. A escolha e distribuição dos locais de prospeção geoambiental foi efetuada de modo a garantir uma cobertura espacial abrangente e representativa da área de estudo, com especial atenção às zonas de presumível maior impacto histórico e ambiental.

A Figura 2 representa a localização e tipologia dos pontos de investigação geotécnica e ambiental na área de estudo.



Figura 2 - Localização das sondagens executadas no âmbito da obra n.º 17040.579 (adaptado de EDZ & Mota-Engil, 2025).

Recorreu-se ao equipamento Dando Terrier, uma sonda de pequeno porte, adequada a contextos urbanos. A técnica de perfuração adotada foi a cravação direta de um amostrador equipado com *liner* acrílico de 63 mm de diâmetro mínimo e 1 m de comprimento, em simultâneo com revestimento externo (*Direct Push*). Tal permitiu preservar a integridade estrutural do furo, e prevenir a contaminação cruzada entre horizontes (transferência indesejada de eventuais contaminantes de uma camada de solo para outra). Os componentes reutilizáveis do equipamento foram sujeitos a procedimentos de descontaminação entre manobras, em conformidade com as normas técnicas recomendadas. Esta metodologia permitiu a recolha de amostras contínuas de elevada qualidade, contribuindo para a fiabilidade dos ensaios laboratoriais subsequentes.

No total, foram recolhidas 44 amostras simples, as quais foram devidamente identificadas segundo um sistema codificado, baseado no ponto de sondagem e no intervalo de profundidade. Por exemplo, o código identificador SA5_100_200 corresponde a uma amostra da sondagem SA5, entre

os 100 e os 200 cm de profundidade. A abertura dos *liners* foi realizada em campo, permitindo observação litológica direta e seleção dos intervalos a amostrar (de acordo com alterações de coloração, textura ou presença de materiais anómalos). A Figura 3 representa o registro fotográfico de uma amostra contínua recolhida com *liner* acrílico, referente à sondagem SA5_100_200.



Figura 3 - Exemplo de *liner* oriundo de sondagem e respetiva identificação (EDZ & Mota-Engil, 2025). As amostras recolhidas foram acondicionadas em frascos fornecidos pelo laboratório acreditado, mantidas em ambiente refrigerado (frigorífico portátil) e transportadas em caixas térmicas com placas de congelação. A remessa das amostras foi efetuada por transportadora, com entrega no laboratório no dia útil seguinte à recolha. Foi também assegurada a rastreabilidade documental através do preenchimento de um formulário de cadeia de custódia, cuja informação é confirmada pelo laboratório por via eletrónica, no momento da receção.

4.2.2. Plano analítico laboratorial

O plano analítico aplicado inclui os parâmetros a analisar para a avaliação da qualidade ambiental dos solos escavados, de acordo com os quadros legais aplicáveis. A Tabela 9 apresenta o resumo do referido plano, ao qual foram sujeitas as amostras de solo recolhidas.

Tabela 9 - Plano analítico realizado sobre as amostras de solo no âmbito da obra n.º 17040.579.

Matriz	Enquadramento	Análise efetuada
Solo	- Tabela n.º 3, Parte B, Anexo II, RJDR - VRQS APA	BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos)
		PAH (16 substâncias individuais)
		PCB (7 substâncias individuais)
		COT
		TPH (C5-C10, C10-C16, C16-C35 e C35-C40)
		Metais (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
		HVOC
Eluato	- Tabela n.º 2, Parte B, Anexo II, RJDR	Metais, cloreto, fluoreto, sulfato, índice de fenol, DOC, TDS

Relativamente à matriz solo, foram analisados os principais indicadores de contaminação em contextos urbanos ou industriais desativados, de forma coerente com o uso histórico da área (oficinas, carpintaria, fornos de cal). De notar que, no contexto da Tabela n.º 3 da Parte B do Anexo II do RJDR (valores-limite para ARI), os compostos são avaliados através da soma das suas

concentrações individuais dentro de um mesmo grupo químico: COT, BTEX, PCB, TPH (C10 a C40), e PAH).

A matriz eluato corresponde à análise do comportamento de lixiviação dos contaminantes, informação fundamental para a classificação do solo escavado enquanto resíduo e avaliação da sua admissibilidade em aterro. Os parâmetros analisados encontram-se alinhados com a Tabela n.º 2 da Parte B do Anexo II do RJDR, que define os valores-limite de lixiviação para ARI.

4.3. Resultados da campanha geoambiental

4.3.1. Observações de campo

A observação direta dos *liners* de sondagem ambiental (SA1 a SA20) revelou uma predominância de depósitos antrópicos, sobre uma base natural de substrato rochoso carbonatado. Verificou-se a ausência de solos naturais evoluídos preservados, sendo a cobertura edáfica residual, descontínua ou inexistente. Apenas na sondagem SA12 foi identificada uma camada remanescente de terra vegetal, com 0,20 m de espessura, imediatamente sobreposta por aterro.

Verificou-se uma variação significativa da espessura dos depósitos de aterro entre os pontos de amostragem, oscilando entre 0,15 m (SA6/SG2) e 6,00 m (SA19/SG7-Pz). Esta variabilidade é indicativa de deposições não sistemáticas, compatíveis com o histórico de ocupação da área.

A litologia dominante encontrada nas camadas de aterro foram os materiais arenosos a argilo-arenosos, por vezes com frações cascalhentas ou pedregosas. Os constituintes identificados incluíram fragmentos de calcário e basalto, bem como tijolo e outros resíduos de construção e demolição (RCD). Observaram-se pontuações enegrecidas (particularmente na sondagem SA7/SG1), que não apresentavam odor ou outra evidência organolética de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo.

Todas as sondagens terminaram com “nega” (impossibilidade de progressão por cravação direta), que foi interpretada como contacto com o substrato rochoso calcário. Em alguns pontos, foi possível recolher amostras do topo deste maciço, enquanto noutros a sua posição foi inferida com base no resultado de sondagens geotécnicas coincidentes ou adjacentes.

4.3.2. Resultados analíticos

A análise laboratorial das 44 amostras de solo recolhidas na área de estudo permitiu identificar a presença de potencial contaminação por metais pesados, PAH e, pontualmente, TPH. Foram, ainda,

identificados PCB em concentrações inferiores aos VRQS definidos para os usos do solo considerados (motivo pelo qual estes não foram considerados como contaminantes possivelmente relevantes).

Das 44 amostras analisadas, 17 evidenciaram concentrações de pelo menos um metal acima dos VRQS para uso agrícola, constantes da Tabela E com utilização de água subterrânea (APA, 2019c). Relativamente aos PAH, foram registadas excedências em 3 das amostras para este tipo de uso do solo, sendo 2 delas apenas para o benzo(a)pireno. No que toca aos VRQS para uso urbano, presentes na Tabela E sem utilização de água subterrânea (APA, 2019c), foram identificadas 12 amostras com excedências de metais. Destes, destacam-se o chumbo (excedente em 5 amostras, com valor máximo de 290 mg/kg) e o mercúrio (excedente em 9 amostras). Verificou-se, ainda para este tipo de uso do solo, excedência para oito PAH em 1 das amostras, incluindo compostos de elevada toxicidade (como benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno e indeno(1,2,3-cd)pireno). De igual forma, apenas 1 amostra revelou concentração excedente de TPH (fração C16–C34), para uso urbano.

Com base nos resultados analíticos obtidos, procedeu-se à identificação das substâncias potencialmente perigosas, *Contaminants of Concern* (COC), no âmbito da avaliação de perigosidade. Assim, atendendo às excedências verificadas para o uso urbano, selecionaram-se para este fim os metais cádmio, chumbo, cobre, mercúrio e zinco, bem como os PAH antraceno, fluoranteno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno e indeno(1,2,3-cd)pireno.

Apenas a amostra SA9_010_100 apresenta os requisitos necessários para que os solos sejam classificados como resíduo perigoso (código LER 17 05 03*). Tal foi determinado com base na aplicação do método da soma às formas químicas relevantes (óxidos metálicos de cobre e zinco), cuja concentração superava o *cut-off* de 0,1% m/m em matéria seca para avaliação da HP14 (Ecotóxico). A aplicação da fórmula ponderada $100 \times \sum c(H410) + 10 \times \sum c(H411) + \sum c(H412) + \sum c(H413)$ resultou numa percentagem de 30%, que excede o limite de 25% para a atribuição da característica de perigo.

Relativamente ao cumprimento dos critérios constantes da Parte B do Anexo II do RJDR, para determinação da admissibilidade dos solos em aterro, verificou-se que 27 das 44 amostras analisadas cumprem cumulativamente os requisitos para a eventual deposição dos solos em ARI. Determinou-se, ainda, que 23 dessas amostras reúnem critérios para a possível utilização do solo em recuperação de pedreiras (através do cumprimento de critérios mais restritos quanto à contaminação). Outras 16 amostras representam solo potencialmente admissível em ARNP, já que

apresentaram valores de lixiviação conformes sem evidência de perigosidade, apesar de se encontrarem contaminadas. Por outro lado, a perigosidade associada a uma das amostras implica a exclusão do respetivo solo de qualquer dos destinos anteriores, sendo este exclusivamente admissível em ARP.

4.3.3. Estimativa de áreas e volumes

A fim de identificar a distribuição tridimensional da contaminação e estimar as áreas e volumes de solo a remover, foi necessário delimitar as zonas de solo contaminado e não contaminado. Para tal, aplicou-se uma metodologia de interpolação discreta, através da construção de polígonos de Thiessen (também conhecidos como diagramas de Voronoi). Cada polígono representa a área cuja superfície se encontra mais próxima de uma determinada sondagem do que de qualquer uma das outras. Assume-se, portanto, que as condições observadas numa determinada sondagem se estendem, horizontalmente, até ao ponto médio entre essa e as sondagens vizinhas. A Figura 4 ilustra os polígonos de Thiessen obtidos para os patamares A (direita) e B (esquerda).

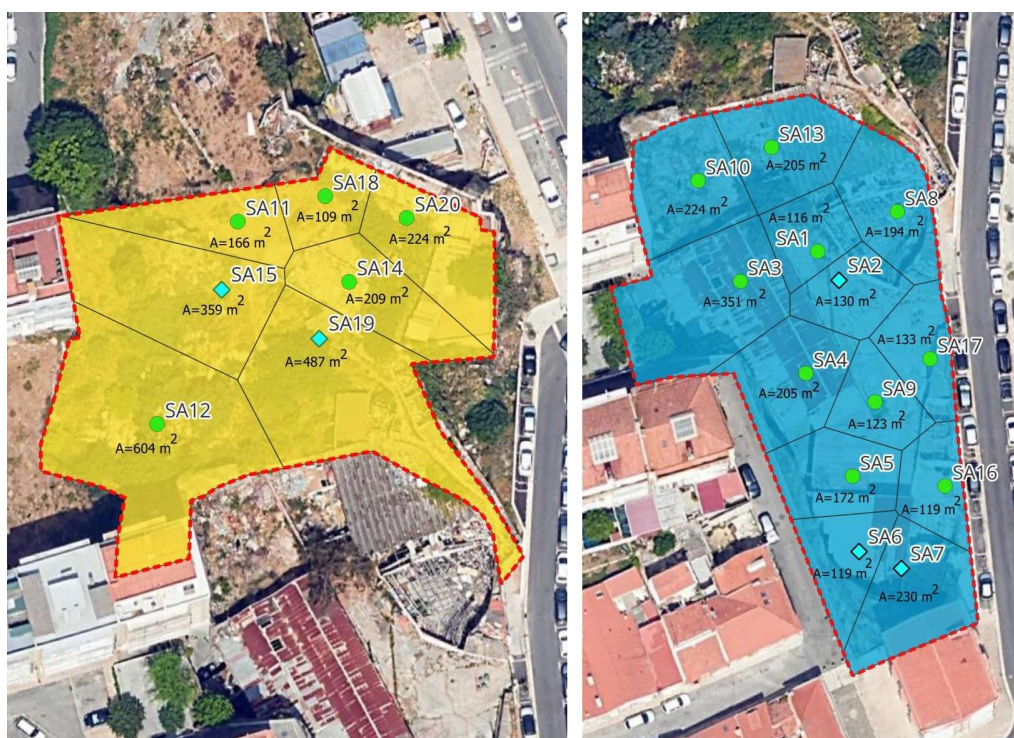


Figura 4 - Exemplificação da delimitação de áreas de influência por polígonos de Thiessen (adaptado de EDZ & Mota-Engil, 2025).

No plano vertical, a delimitação das “manchas” de solo contaminado foi efetuada com base nos intervalos efetivamente amostrados em cada sondagem. A espessura vertical considerada corresponde, regra geral, à profundidade entre o topo e o fundo de cada amostra; nos casos em que o substrato rochoso foi intercetado antes do fim do intervalo previsto, essa profundidade

assinalou o limite inferior da camada de solo. Daqui resultam prismas verticais (volumes elementares), cuja base é o polígono de influência de cada sondagem e cuja altura corresponde à espessura amostrada. Para o patamar B, foram analisados dois cenários de delimitação, com e sem a inclusão da sondagem SA14, uma vez que esta intercetou rocha logo à superfície (criando incerteza relativamente à representatividade volumétrica nesse ponto).

A estimativa dos volumes foi realizada através da multiplicação da área de cada polígono (recortado segundo o perímetro previsto de escavação) pela respetiva espessura de solo caracterizado. Este cálculo foi repetido para todas as sondagens e intervalos, de forma a determinar os volumes de solo contaminado e não contaminado por classe de uso e por patamar (A e B). A Tabela 10 resume as características de cada uma das classes atribuídas ao solo, bem como os destinos preferenciais que lhes estão associados.

Tabela 10 - Classes associadas à estimativa de volumes no âmbito da obra n.º 17040.579.

Classe	Características	Destinos Preferenciais
Classe 1	Cumprimento dos VRQS para qualquer uso do solo; cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARI	Reutilização, subproduto, enchimento de vazios de escavação, utilização em cimenteiras, deposição em ARI
Classe 2	Cumprimento dos VRQS para qualquer uso do solo; não cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARI	Reutilização, subproduto, utilização em cimenteiras, deposição em ARNP
Classe 3	Não cumprimento dos VRQS para uso agrícola, mas cumprimento dos restantes; cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARI	Reutilização, subproduto, utilização em cimenteiras, deposição em ARI
Classe 4	Não cumprimento dos VRQS para uso agrícola ou urbano; cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARNP	Uso restrito em obra licenciada com uso compatível (mediante aprovação), utilização em cimenteiras, deposição em ARNP
Classe 5	Não cumprimento dos VRQS para qualquer uso do solo; classificado como resíduo não perigoso; cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARNP	Utilização em cimenteiras, deposição em ARNP
Classe 6	Não cumprimento dos VRQS para qualquer uso do solo; classificado como resíduo perigoso; cumprimento dos valores-limite para admissibilidade em ARP	Deposição em ARP

A fim de estimar as cargas a remover, os volumes foram convertidos em massa através da aplicação de um fator de densidade médio de 1,8 t/m³ (valor comumente aceite para solos urbanos secos ou ligeiramente humedecidos). A Tabela 11 apresenta a distribuição dos volumes e massas de solo, discriminando o seu estatuto de contaminação e respetiva classificação enquanto resíduo.

Tabela 11 - Classificação e quantificação de solos a remover no âmbito da obra n.º 17040.579.

Qualidade do solo (uso urbano)	Código LER do Resíduo	Volume (m ³)	Massa (t)
Não contaminado	17 05 04	4 230 (4 887)	7 614 (8 797)
Contaminado	17 05 04	1 365 (1 473)	2 457 (2 651)
	17 05 03*	111	200

Valor com SA14 (valor sem SA14)

Fator de conversão: 1,8 ton/m³

Verificou-se que os solos não contaminados (relativamente aos VRQS para uso urbano) representam a fração volumetricamente mais significativa, com um total de 4 230 m³ e 7 614 t, considerando o cenário em que é incluída a sondagem SA14.

4.4. Compatibilidade com os grupos AGS

O formato AGS (incluindo a versão 4.1.1, atualmente em vigor), assenta em grupos tabulares inter-relacionados, com cabeçalhos normalizados e campos-chave (*key fields*) que asseguram a integridade e a rastreabilidade da informação (AGS, 2022). Estes campos assumem uma dupla função: i) garantir a unicidade das entradas; e ii) estabelecer relações hierárquicas do tipo “pai-filho” (*parent-child*) entre grupos dependentes, sendo que para cada entrada no campo-chave de um grupo “filho” deve existir uma entrada equivalente no grupo “pai”. Esta estrutura relacional encontra-se, de uma forma geral, subordinada ao grupo PROJ, que constitui o grupo de topo do ficheiro e define o contexto do projeto ao qual todos os restantes dados dizem respeito. Esta arquitetura permite modelar, de forma fiável e estruturada, os principais elementos envolvidos na avaliação da qualidade ambiental do solo, nomeadamente os resultados obtidos em laboratório.

A compatibilidade entre este tipo de dados e a estrutura AGS verifica-se, sobretudo, através do grupo ELRG, que permite o registo sistemático de parâmetros laboratoriais ambientais. Este grupo acolhe, para cada parâmetro químico, o respetivo valor medido (ELRG_RVAL), a unidade utilizada (ELRG_RUNI), o método analítico aplicado (ELRG_METH), o limite de quantificação (ELRG_QLM), e outras informações relevantes para a rastreabilidade e validação técnica dos dados. A estrutura relacional é completada pelos grupos SAMP (relativo à amostra de campo) e LOCA (relativo ao ponto de amostragem), assegurando-se assim uma ligação inequívoca entre a localização da recolha, a profundidade da amostra e o resultado laboratorial correspondente.

O formato AGS não possui campos nativos dedicados à avaliação direta da conformidade legal ou normativa, como valores e indicadores de excedência. No entanto, a flexibilidade da norma permite a adição controlada de colunas personalizadas através do grupo DICT. Esta funcionalidade viabiliza, por exemplo, a inclusão de campos como ELRG_VR (valor de referência adotado para avaliação da contaminação), ELRG_VL (valor-limite de admissibilidade em aterro) e ELRG_VAVR/VAVL (excedência, ou não, dos respetivos valores), desde que corretamente definidos no dicionário de cabeçalhos (DICT) e integrados de forma coerente na estrutura.

Em suma, os dados laboratoriais geoambientais em causa são compatíveis com o formato AGS 4.1.1, desde que a sua implementação observe os princípios estruturais definidos pela norma: identificação clara das amostras, normalização da nomenclatura dos parâmetros, consistência metrológica e coerência entre os grupos interdependentes.

4.4.1. Grupos obrigatórios

Para garantir a rastreabilidade, coerência e compatibilidade dos dados geoambientais, torna-se necessário definir uma estrutura mínima para o ficheiro AGS. Esta baseia-se nas diretrizes oficiais da versão 4.1.1 (AGS, 2022), complementadas pelas boas práticas observadas nas dissertações anteriores desenvolvidas em colaboração com a Mota-Engil (Cruz, 2022; Costa Pinto, 2023; Pinho, 2024) e pelo conhecimento técnico acumulado (e.g., Costa Pinto et al., 2023; Cruz et al., 2023, in press).

Existem cinco grupos de dados considerados obrigatórios em qualquer ficheiro AGS válido, independentemente da natureza ou extensão dos dados: PROJ (*Project Information*), TRAN (*Data File Transmission Information/Data Status*), ABBR (*Abbreviation Definitions*), TYPE (*Definition of Data Types*) e UNIT (*Definition of Units*). Adicionalmente, a obrigatoriedade dos seguintes grupos está condicionada à existência de elementos específicos no ficheiro: DICT (*User Defined Groups and Headings*), obrigatório apenas se forem utilizados grupos ou cabeçalhos personalizados definidos pelo utilizador (ou seja, que não constam do dicionário oficial AGS) e FILE (*Associated Files*), obrigatório apenas se forem referenciados ficheiros externos através do cabeçalho FILE_FSET (por exemplo, imagens e relatórios).

Atendendo à natureza dos dados tratados nesta dissertação (amostras de solo sujeitas a análises laboratoriais, no âmbito da avaliação da contaminação e admissibilidade), bem como às exigências de rastreabilidade espacial e normativa, consideram-se tecnicamente obrigatórios, neste contexto, os seguintes grupos adicionais: LOCA (*Location Details*), essencial para a georreferenciação das sondagens e dos pontos de amostragem; e STND (*Standards / Specifications*), necessário para referenciar as normas técnicas aplicadas aos ensaios laboratoriais e processos analíticos. Assim, a estrutura mínima recomendada para o ficheiro AGS encontra-se apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Estrutura mínima recomendada para o ficheiro AGS.

Categoria	Grupo	Justificação da obrigatoriedade
Obrigatórios	PROJ	Identificação do projeto
	TRAN	Detalhes da submissão/transmissão
	ABBR	Abreviaturas utilizadas no ficheiro
	TYPE	Tipos de dados presentes
	UNIT	Unidades de medida utilizadas
Condicionalmente obrigatórios	FILE	Apenas se forem referenciados ficheiros externos
	DICT	Apenas se forem usados campos personalizados (<i>custom fields</i>)
Contextualmente obrigatórios	STND	Referência às normas aplicadas (ISO, EN, entre outras)
	LOCA	Georreferenciação das sondagens/amostras

No que toca ao seu papel no esquema AGS, PROJ corresponde à “raiz”, uma vez que define o projeto a que todos os dados pertencem, e não depende de nenhum outro grupo. O grupo LOCA encontra-se hierarquicamente abaixo de PROJ, sendo que para cada projeto (PROJ_ID) existem uma ou mais

localizações (LOCA_ID); esta é uma das ligações “pai-filho” mais fundamentais na estrutura AGS. Os grupos TRAN, ABBR, TYPE e UNIT são sempre incluídos, mas não pertencem à hierarquia principal, sendo metainformativos. Ou seja, descrevem o ficheiro como um todo, sendo designados por “*non-data groups*”.

4.4.2. Grupos relevantes para dados geoambientais

No âmbito da gestão digital de dados geoambientais, o formato AGS contempla diversos grupos concebidos para acomodar a diversidade de metodologias e tipologias de informação utilizadas em investigações ambientais. A Tabela 13 resume alguns dos grupos com aplicabilidade geral neste âmbito.

Tabela 13 - Grupos do formato AGS com aplicabilidade geral à gestão de dados geoambientais.

Grupo	Conteúdo	Grupo-pai
MONG MOND	Registo de monitorização, em contextos de observação prolongada (como controlo de remediação, monitorização de níveis freáticos, deteção de gases).	LOCA
IPID IFID	Registo de dados provenientes de ensaios <i>in situ</i> realizados por análise de <i>headspace</i> , visando a deteção de VOC diretamente no terreno.	LOCA
SAMP	Todos os dados descritivos relativos às amostras físicas obtidas durante uma campanha de prospeção. A sua utilização é obrigatória sempre que existam ensaios laboratoriais no ficheiro AGS.	LOCA
GCHM	Registo de ensaios químicos associados a avaliações geotécnicas, tais como a análise da agressividade do solo. Destinado exclusivamente a contextos de projeto e desempenho geotécnico, não devendo ser utilizado para dados de contaminação.	SAMP
ELRG	Resultados de ensaios laboratoriais ambientais realizados sobre amostras de solo ou água subterrânea.	SAMP

A delimitação técnica do presente estudo, decorrente dos seus objetivos e metodologias concretas, leva à exclusão da estrutura de dados dos grupos que não se revelam pertinentes para os procedimentos de avaliação da contaminação, perigosidade e admissibilidade dos solos escavados.

O grupo GCHM é vocacionado para ensaios químicos com interesse geotécnico, como a avaliação da agressividade do solo, não estando concebido para quantificar contaminantes ambientais. Já os grupos IPID e IFID são utilizados em ensaios voláteis *in situ*, por oposição à análise laboratorial de amostras. Por fim, os grupos MONG e MOND são destinados à monitorização contínua ou periódica de parâmetros ambientais, pelo que não são aplicáveis em investigações pontuais sem instalação de equipamentos de leitura prolongada.

Por outro lado, uma vez que a avaliação da contaminação, perigosidade e admissibilidade dos solos escavados assenta, em larga medida, na recolha e análise de amostras físicas de solo, bem como na posterior interpretação dos resultados laboratoriais, os grupos SAMP (*Sample Information*) e ELRG (*Environmental Laboratory Reporting*) assumem um papel central na estrutura de dados. O grupo SAMP é responsável por definir e organizar toda a informação relativa às amostras recolhidas, incluindo a profundidade, o tipo, e a associação direta à localização de onde foram

extraídas. O grupo ELRG, por sua vez, fornece a estrutura necessária para registrar os resultados das análises laboratoriais aplicadas às amostras definidas no grupo SAMP. Este foi especificamente concebido para acomodar a diversidade e complexidade deste tipo de dados, permitindo identificar o contaminante analisado, o valor obtido, a unidade, o método de ensaio, o limite de detecção e demais informação relevante.

Tal como LOCA é “filho” de PROJ, o grupo SAMP encontra-se subordinado a LOCA, existindo entre eles uma relação funcional e referencial. Cada SAMP_ID encontra-se associado a um LOCA_ID, através do respetivo campo-chave do grupo SAMP, que associa a amostra à sua origem espacial (ou seja, ao local de onde foi retirada). Esta relação funciona como uma referência cruzada que associa cada amostra à sua localização. Da mesma forma, os ensaios analíticos registados no grupo ELRG são realizados sobre as amostras definidas em SAMP, o que se traduz numa relação “pai-filho” expressa pelo campo-chave referente ao cabeçalho SAMP_ID. A Figura 5 exemplifica as relações hierárquicas estabelecidas entre os grupos do formato AGS.

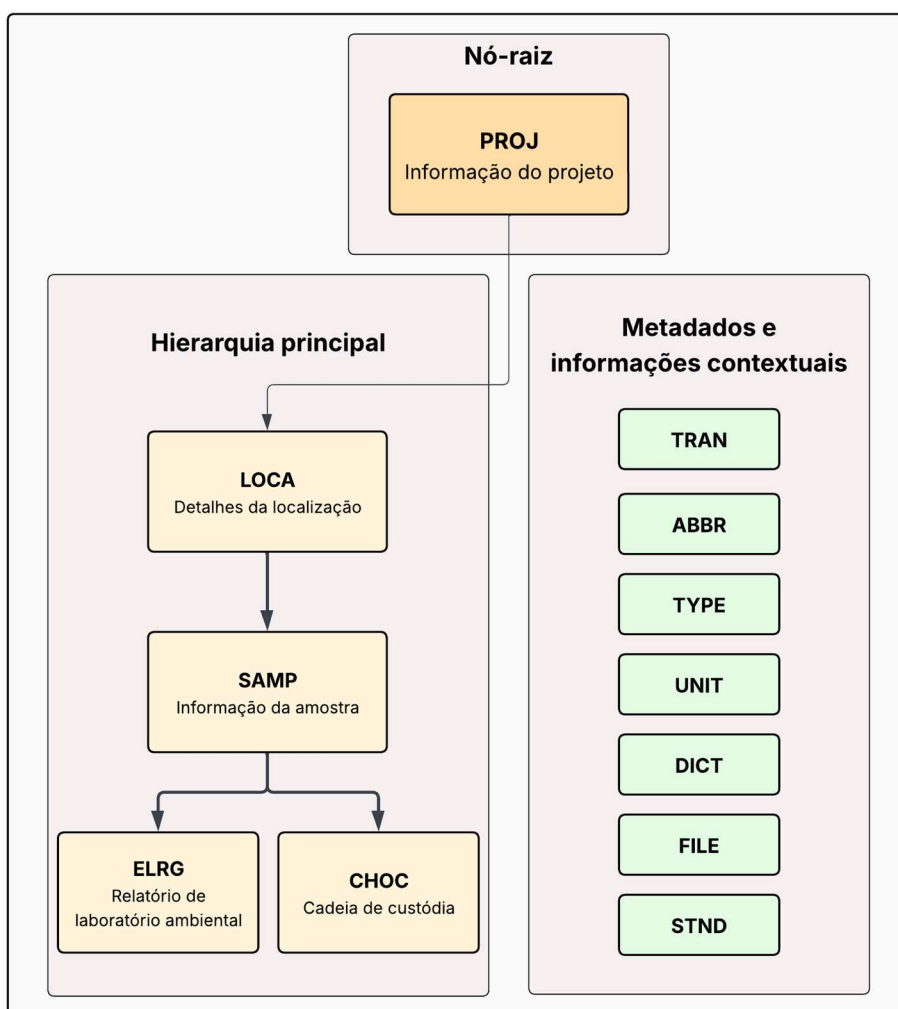


Figura 5 - Relações hierárquicas estruturais entre grupos do formato AGS.

Considerando os grupos obrigatórios para garantir a integridade formal e interpretativa do ficheiro e os grupos tecnicamente relevantes, propõe-se a estrutura preliminar representada na Tabela 14.

Tabela 14 - Grupos do formato AGS com relevância para o caso prático.

Categoria	Grupo	Conteúdo
Obrigatórios	PROJ	Identificação do projeto
	TRAN	Detalhes da submissão/transmissão
	ABBR	Abreviaturas utilizadas no ficheiro
	TYPE	Tipos de dados presentes
	UNIT	Unidades de medida utilizadas
	FILE	Referência a ficheiros externos
	DICT	Definição dos campos personalizados
Contextualmente obrigatórios	STND	Referência às normas aplicadas
	LOCA	Georreferenciação das sondagens/amostras
Específico do projeto	SAMP	Identificação das amostras recolhidas
	ELRG	Dados de relatórios de laboratórios geoambientais
	CHOC	Dados relativos à cadeia de custódia das amostras

Importa destacar a relevância da cadeia de custódia, processo que é particularmente crítico nos projetos sujeitos a controlo ambiental. Neste enquadramento, torna-se pertinente a inclusão do grupo CHOC (*Chain of Custody*), que permite registar formalmente a sequência de responsabilidades no manuseamento, transporte e receção das amostras. A inclusão do grupo DICT justifica-se pela inexistência, no dicionário de dados original do AGS, de campos nativos dedicados a valores e indicadores de excedência. Assim, para assegurar a compatibilidade com os requisitos do projeto, torna-se necessário definir cabeçalhos personalizados (não padronizados). Estes devem encontrar-se devidamente documentados no referido grupo, conforme estipulado na Regra 18 do formato (AGS, 2022). Da mesma forma, torna-se obrigatória a inclusão do grupo FILE, em virtude da necessidade de associar ao ficheiro AGS o relatório ambiental.

4.5. Aplicação do formato AGS

A aplicação do formato AGS ao caso prático em análise teve por base a especificação oficial para a versão 4.1.1, materializada no documento “*Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data – AGS4 – V4.1.1*” (AGS, 2022), cujo conjunto total de 20 regras formais se encontra enumerado e traduzido no Anexo I do presente documento.

4.5.1. Cabeçalhos personalizados

No âmbito do presente caso prático, a informação laboratorial necessária para avaliar a eventual contaminação do solo e verificar a sua admissibilidade enquanto resíduo encontra-se consolidada

numa única folha de cálculo (correspondente ao Anexo 5 do referido estudo). Verifica-se a presença, neste documento, de informação técnica relevante que não encontra correspondência direta na estrutura padrão do formato AGS (mais concretamente, nos cabeçalhos padrão que compõe o grupo ELRG). Esta inclui os VRQS para diferentes usos do solo, os valores-limite provenientes das Tabelas n.ºs 2, 3 e 4, bem como os resultados derivados da comparação normativa, a codificação LER, a admissibilidade em aterro, o tipo de valorização possível e a classificação final do solo. A Tabela 15 apresenta um quadro-síntese das categorias de informação presentes no ficheiro Ms. Excel original.

Tabela 15 - Estrutura funcional e conteúdo informativo do Anexo 5 (obra n.º 17040.579).

Categoria	Informação	Significado / Conteúdo
Contaminação (solo seco)	VR – Tabela E (UA / UU / UC)	VRQS – Usos Agrícola (UA), Urbano (UU) e Comercial (UC)
	Parâmetros	Matéria seca, metais, PAH (16 EPA), VOC aromáticos e organohalogenados, frações de hidrocarbonetos (VPH/TPH), PCB (7 congéneres)
Admissibilidade / Lixiviação (eluato)	VL Tabelas n.ºs 2, 3, 4	Valores-limite de lixiviação que correspondem aos requisitos de deposição em ARI (2 e 3) e ARNP (4)
	Parâmetros	Metais e metaloides lixiviáveis, compostos inorgânicos (TDS, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , F ⁻), parâmetros orgânicos (DOC/TOC, BTEX, TPH, PAH, PCB), características físico-químicas (pH, condutividade, L/S cumulativo)
Laboratório / Ensaio	LOQ	Limite de quantificação de cada método analítico
	Método	Referência normalizada que assegura rastreabilidade metrológica
	Metadados	Boletim, número de pedido/análise
	Resultados analíticos brutos	Concentração absoluta de cada parâmetro (solo e eluato)
Descrição da amostra	Identificação e localização	Local, profundidade, coordenadas, tipo, material
	Comparação normativa	Campos com lógicas do tipo “VA < UA” e “VA > Tab 2”, permitindo uma leitura imediata das não-conformidades
	Classificações derivadas	Perigosidade, código LER, admissibilidade, elegibilidade para reutilização em pedreira, Classe 1–6

A fim de produzir um ficheiro AGS tão completo quanto possível, optou-se pela criação de um conjunto de cabeçalhos personalizados anexado ao grupo ELRG, referentes aos VRQS, aos valores-limite, à comparação normativa e às classificações resultantes. Estes encontram-se enumerados na Tabela 16.

Tabela 16 - Cabeçalhos definidos pelo utilizador (anexados ao grupo ELRG), para o caso prático.

Cabeçalho	Tipo de Dados	Descrição	Exemplo
DICT_HDNG	DICT_DTYP	DICT_DESC	DICT_EXMP
ELRG_VR1	U	VRQS (UA)	1.1
ELRG_VR2	U	VRQS (UU)	2
ELRG_VR3	U	VRQS (UC)	9.5
ELRG_VL1	U	Tabela n.º 2 (ARI)	4
ELRG_VL2	U	Tabela n.º 3 (ARI)	6
ELRG_VL3	U	Tabela n.º 4 (ARNP)	50
ELRG_VAVR	X	Estado de contaminação	VA<UA
ELRG_VAVL	X	Estado de admissibilidade	VA<VL
ELRG_LER	PA	Código LER / Perigosidade	17 05 04
ELRG_AR	PA	Aterro de destino	ARI
ELRG_VAL	PA	Operação de valorização	Cimenteira
ELRG_CLAS	PA	Classe (1-6)	1

O processo de definição de novos cabeçalhos foi realizado de acordo com os requisitos formais aplicáveis, nomeadamente a justificação para o seu uso, o papel do grupo DICT na personalização, e as regras a obedecer para a criação dos nomes (AGS, 2022). Estes encontram-se descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Regras do formato AGS v4.1.1 aplicáveis a elementos definidos pelo utilizador.

Regra	Descrição
9	Nos casos em que não exista uma entrada adequada, poderá ser utilizado um GRUPO e/ou CABEÇALHO definido pelo utilizador
18	Quando tiverem sido incluídos GRUPOS e/ou CABEÇALHOS não padronizados, o ficheiro de dados deve conter o GRUPO DICT
18a	Os CABEÇALHOS definidos pelo utilizador devem ser listados em DICT de acordo com a ordem pela qual aparecem no grupo onde estão inseridos
19	O nome dos GRUPOS pode ter até 4 caracteres A-Z (maiúsculas) ou 0-9
19a/b	O nome dos CABEÇALHOS começa com o nome do grupo, seguido de “_” e até 4 caracteres A-Z (maiúsculas) e 0-9

Optou-se por atribuir aos cabeçalhos ELRG_LER, ELRG_AR, ELRG_VAL e ELRG_CLAS o tipo PA (*Picklist from ABBR*), o que significa que as variáveis de preenchimento se encontram limitadas a um conjunto de abreviaturas ou códigos pré-definidos no grupo ABBR (de acordo com a Regra 16 do formato). Para além de proporcionar a validação semântica automática dos campos, esta opção facilita a leitura humana (uma vez que a consulta da tabela ABBR permite compreender mais facilmente o significado de cada código) e possibilita a utilização de caixas de seleção (*dropdown menus*) nos ficheiros de base. A Tabela 18 resume as características dos cabeçalhos personalizados do tipo PA, conforme definidas no grupo ABBR.

Tabela 18 - Abreviaturas associadas aos cabeçalhos do tipo PA definidos pelo utilizador, para o caso prático.

Cabeçalho ABBR_HDNG	Abreviaturas ABBR_CODE	Significado ABBR_DESC
ELRG_LER	17 05 04	Solos não perigosos
	17 05 03*	Solos perigosos
ELRG_AR	ARI	Aterro resíduos inertes
	ARNP	Aterro resíduos não perigosos
	ARP	Aterro resíduos perigosos
ELRG_VAL	Cimenteira	Cimenteira - operação R5H
	Pedreira	Pedreira - operação R10C
ELRG_CLAS	1	Cumpr VRQS qualquer uso e VL ARI
	2	Cumpr VRQS qualquer uso do solo e não cumpr VL ARI
	3	Não cumpr VRQS UA e cumpr VL ARI
	4	Não cumpr VRQS UA/UU e cumpr VL ARNP
	5	Não cumpr VRQS nenhum uso e cumpr VL ARNP
	6	Não cumpr VRQS nenhum uso e cumpr VL ARP

4.5.2. Dicionário técnico interno

Os grupos UNIT, TYPE e ABBR contém listas de referência obrigatórias, que descrevem todas as unidades de medida, tipos de dados e abreviaturas utilizadas nos restantes grupos do formato AGS. Funcionam, portanto, como um “dicionário técnico interno”, cujo vocabulário assegura a correta interpretação do ficheiro, sem necessidade de recorrer a fontes externas. Os tipos de dados utilizados no caso prático encontram-se enumerados na Tabela 19, tal como constam no grupo TYPE.

Tabela 19 - Tipos de dados utilizados no ficheiro AGS gerado para o caso prático.

TYPE_TYPE	TYPE_DESC
ID	Código identificador
2DP	Valor com 2 casas decimais
X	Texto
PA	Texto presente no grupo ABBR
PU	Texto presente no grupo UNIT
YN	Sim ou não
U	Valor de formato variável
DT	Data no formato AAAA-MM-DD
PT	Texto presente no grupo TYPE

Estas entradas figuram na maioria dos projetos, independentemente da natureza específica dos dados. Por exemplo: i) o tipo 2DP é comumente utilizado para valores numéricos com precisão fixa; ii) o ID surge em múltiplos grupos (PROJ_ID, LOCA_ID, SAMP_ID) como chave de identificação primária; e iii) PA, PU e PT funcionam como *foreign keys* conceptuais de ligação a ABBR, UNIT e TYPE, carecendo de significado autónomo se os grupos de destino estiverem ausentes ou mal definidos. A lista de tipos é, portanto, genericamente limitada e reutilizável em diferentes projetos.

Pelo contrário, as unidades dependem dos parâmetros efetivamente medidos ou analisados. A Tabela 20 enumera e define as que foram utilizadas no presente caso prático, tal como constam no grupo UNIT.

Tabela 20 - Unidades utilizadas no ficheiro AGS gerado para o caso prático.

UNIT_UNIT	UNIT_DESC
m	metro
mg/kg MS	miligramas por quilograma (matéria seca)
µS/cm	microsegundo por cm
ml/g	mililitro por grama
mg/l	miligrama por litro
DegC	grau Celsius
%	percentagem
pH units	sem unidade (adimensional)

Embora algumas (como o metro e a percentagem) sejam relativamente comuns, outras surgem apenas em contextos específicos (como o mg/kg MS, para a contaminação em solos). Contudo, na generalidade, o grupo UNIT contém unidades de medida física ou química, invariavelmente coerentes com o Sistema Internacional (SI).

O grupo ABBR funciona como um dicionário de significados para o tipo de dados PA. É de notar que, perante o modelo de dados do AGS, as “abreviaturas” deste tipo correspondem a qualquer valor repetido, simbólico ou codificado (mesmo que este não constitua, tecnicamente, uma abreviação). A Tabela 21 enumera e define algumas das abreviaturas utilizadas no presente caso prático, tal como constam no grupo ABBR.

Tabela 21 - Exemplos de abreviaturas utilizadas no ficheiro AGS gerado para o caso prático.

ABBR_CODE	ABBR_DESC
LIQUID	Líquido (eluato)
SOLID	Sólido (amostras de solo)
CD	Cádmio
CU	Cobre
CD_ELU	Cádmio (no eluato)
TOC_DOC_ELU	Carbono orgânico dissolvido no eluato
BTEX_SUM	BTEX total
DICHLOROETHANE_12	1-2-Dicloroetano
PH	Potencial de hidrogénio
ES	Amostra de solo para ensaios de laboratório ambientais
INITIAL	Análise inicial (não re-análise)
CEN_10_1	CEN 10-1 (diluição normativa CEN 10:1)
EPSG 3763	PT-TM06/ETRS89
HEADING	Sinal para indicar que a definição corresponde a um cabeçalho
OTHER	Outro campo

Devido à quantidade de entradas (111 no total, das quais 90 dizem respeito aos parâmetros laboratoriais em ELRG_CODE), optou-se por incluir na tabela apenas uma amostra representativa, encontrando-se a listagem completa no Anexo II do presente documento. Apesar de se ter recorrido a abreviaturas padrão do formato (como ES, LIQUID, CEN_10_1 e PH), encontram-se ausentes da norma a maioria dos termos químicos necessários. Assim, definiram-se abreviaturas clássicas (como CD e CU), bem como combinações codificadas com sufixos funcionais (como CD_ELU e TOC_DOC_ELU), siglas compostas por convenção técnica (como BTEX_SUM), e termos químicos compostos (como DICHLOROETHANE_12). Outra das entradas não padronizadas é EPSG 3763 (PT-TM06/ETRS89), conforme estabelecido pela Direção-Geral do Território (DGT), que corresponde a um sistema de referência cartográfica estritamente nacional (não aplicável a outros contextos geográficos). Os restantes códigos personalizados dizem respeito aos cabeçalhos definidos pelo utilizador para o grupo ELRG, já apresentados na Tabela 18.

4.5.3. Organização tabular relacional

Atualmente, a utilização do formato AGS não se encontra generalizada a nível nacional, do setor, ou da empresa em que se insere a presente dissertação. Por conseguinte, a informação de base referente ao caso prático em análise seguiu o fluxo habitual de trabalho, tendo sido transferida do consultor ao cliente por via de um relatório ambiental em formato PDF. Este ficheiro foi acompanhado de uma folha de cálculo (Anexo 5), contendo o resumo dos resultados analíticos laboratoriais. Assim, qualquer tentativa de prova-conceito da funcionalidade do formato AGS na transmissão de dados geoambientais teve, forçosamente, de se iniciar com a análise e transformação desse ficheiro Ms. Excel original.

Apesar de corresponder a uma tabela, a folha de cálculo em causa não apresenta um formato verdadeiramente tabular. Nela, as amostras encontram-se organizadas por colunas e os parâmetros por linhas (matriz informalmente em formato *wide*), com uma variedade de informação acessória contida em células unidas multinível ou comunicada por formatação. Embora visualmente intuitiva, a disposição original não é conducente à aplicação direta da estrutura AGS, que requer um modelo relacional canónico. A Figura 6 ilustra a reestruturação segundo a lógica *long/tidy* (em que cada combinação de amostra e parâmetro constitui um registo autónomo).

		Codificação do ponto de amostragem																													
		SA1_010_070			SA2_010_100			SA2_200_200			SA3_0_110			SA4_010_120			SA4_120_240			SA4_240_330			SA5_010_150			SA5_150_300			SA5_300_420		
		Georeferenciação aproximada: X (PT_100M) Y (PT_100M) Z (PT_100M)																													
		Bolsim: AT																													
		Tipo de amostra																													
		Material amostrado																													
		Data de amostragem																													
		Probabilidade de amostragem (m)																													
		0.10-0.70																													
		VR Tab. E VR Tab. E VR Tab. E VR Tab. E																													
		UA c/água UA c/água UA c/água UA c/água																													
		88.3 88.5 95.7 81.6 92.6 88.3 95.5 89.9 91.8 93.6																													
		METALS																													
		11 18 10 2.2 <1.0 <1.0 <2.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.0 <1.																													

Com o objetivo de acelerar e sistematizar a conversão da estrutura de dados em formato *long*, sobretudo para a folha correspondente ao grupo ELRG, recorreu-se ao Power Query (ferramenta de transformação de dados incorporada no Ms. Excel). Inicialmente, foi criada uma estrutura-alvo que espelhava os cabeçalhos relevantes do grupo ELRG e preencheram-se alguns campos-chave (incluindo SAMP_ID), por cópia e/ou com o auxílio da função PROCV. De seguida, importou-se a folha original (Anexo 5), e iniciou-se a sua transformação, que se encontra ilustrada na Figura 7.

Anulação da dinamização

Table.RenameColumns("#Outras Colunas Convertidas Em Valores",{"Atributo", "SAMP_ID"}, {"Valor", "ELRG_RTXT"})

Parametros	SAMP_ID	ELRG_RTXT
1 matéria seca (% peso)	SA1_010_070	88,3
2 matéria seca (% peso)	SA2_010_100	88,5
3 matéria seca (% peso)	SA2_100_200	95,7
4 matéria seca (% peso)	SA2_200_290	91,6
5 matéria seca (% peso)	SA3_0_110	92,6
6 matéria seca (% peso)	SA4_010_120	98,3
7 matéria seca (% peso)	SA4_120_240	95,5
8 matéria seca (% peso)	SA4_240_330	89,9
9 matéria seca (% peso)	SA5_010_150	91,8
10 matéria seca (% peso)	SA5_150_300	93,6
11 matéria seca (% peso)	SA5_300_390	89,1

Intercalar

Selecione uma tabela e colunas correspondentes para criar uma tabela intercalada.

Contam e Admiss

Parametros	SAMP_ID	ELRG_RTXT
matéria seca (% peso)	SA1_010_070	88,3
matéria seca (% peso)	SA2_010_100	88,5
matéria seca (% peso)	SA2_100_200	95,7
matéria seca (% peso)	SA2_200_290	91,6
matéria seca (% peso)	SA3_0_110	92,6

ELRG_parâmetro

Parâmetros	ELRG_CODE	ELRG_METH	ELRG_MATX	ELRG_RTYP
acenafteno	ACENAPHTHENE	Equivalente a a a EN 16181	SOLID	INITIAL
acenaftileno	ACENAPHTYLENE	Equivalente a a a EN 16181	SOLID	INITIAL
antraceno	ANTHRACENE	Equivalente a a a EN 16181	SOLID	INITIAL
arsénio	AS	Conf. a NEN 6950 (dig. conf. NEN 6961/NEN-EN-ISO 54...	SOLID	INITIAL

Tipo de Associação

Externa à Esquerda (tudo a partir do primeiro, corresp...

Expansão de colunas

Table.ExpandTableColumn("#Consultas Intercaladas", "ELRG_parâmetro", {"ELRG_CODE", "ELRG_METH", "ELRG_MATX", "ELRG_RTYP", "ELRG_TADE",

Parametros	SAMP_ID	ELRG_RTXT	ELRG_CODE	ELRG_METH
1 matéria seca (% peso)	SA1_010_070	88,3	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
2 matéria seca (% peso)	SA2_010_100	88,5	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
3 matéria seca (% peso)	SA2_100_200	95,7	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
4 matéria seca (% peso)	SA2_200_290	91,6	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
5 matéria seca (% peso)	SA3_0_110	92,6	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
6 matéria seca (% peso)	SA4_010_120	98,3	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
7 matéria seca (% peso)	SA4_120_240	95,5	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
8 matéria seca (% peso)	SA4_240_330	89,9	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
9 matéria seca (% peso)	SA5_010_150	91,8	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
10 matéria seca (% peso)	SA5_150_300	93,6	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880
11 matéria seca (% peso)	SA5_300_390	89,1	DRY_MATTER	Equivalente a a a NEN-EN15934; conforme NEN-EN12880

Figura 7 - Transformação de dados na ferramenta Power Query (imagem truncada/ilustrativa).

As primeiras operações foram a promoção da linha que continha os códigos de amostra a cabeçalho, e a remoção das linhas e colunas de metadados (cuja informação já tinha sido retirada

para o modelo tabular). Posteriormente, mantendo selecionada a coluna correspondente aos parâmetros analisados, procedeu-se à anulação da dinamização das colunas correspondentes às amostras. Tal transformou o conjunto de dados numa tabela com três colunas: Parâmetros, “Atributo” (renomeada para SAMP_ID) e “Valor” (renomeada para ELRG_RTXT). O último passo foi a utilização da função de intercalação de consultas entre a tabela transformada e a estrutura-alvo, através da coluna comum “Parâmetros”. Tal permitiu unir os dados de ambas as tabelas, o que se traduziu numa obtenção automática dos campos em falta na estrutura.

4.5.4. Mapeamento funcional

Entende-se por "mapeamento funcional" a fase de alinhamento semântico entre a informação relevante do estudo (caso prático) e os campos definidos pela estrutura AGS. Mais concretamente, procedeu-se à seleção dos cabeçalhos padrão a utilizar em cada grupo, e foram tomadas decisões relativamente ao preenchimento dos respetivos campos. Seguidamente, descreve-se este processo para os grupos essenciais da estrutura relacional: LOCA, SAMP e ELRG.

Grupo LOCA

Em **LOCA_ID** (campo-chave) colocaram-se os identificadores únicos atribuídos a cada ponto (S1 a S20), que asseguram a unicidade das entradas e permitem a ligação inequívoca aos grupos SAMP e ELRG. **LOCA_NATE** e **LOCA_NATN** foram preenchidos com os valores em metros (com duas casas decimais) das componentes Este (X) e Norte (Y) da localização, respetivamente. O **LOCA_GREF** foi utilizado para explicitar o sistema de coordenadas EPSG 3763; este campo, por ser do tipo PA, encontra-se definido no grupo ABBR. Recorreu-se, ainda, a **LOCA_GL** para representar a coordenada Z (cota altimétrica), igualmente expressa em metros e com duas casas decimais (2DP). A seleção destes cabeçalhos teve em consideração o facto de se tratar de coordenadas expressas em grelha cartográfica nacional de uso oficial em Portugal continental, com sistema de referência definido e normalizado. No total, o grupo ficou composto por 5 cabeçalhos (1 campo-chave e 4 opcionais) e 20 linhas de dados, correspondentes aos 20 pontos de sondagem.

Grupo SAMP

Tal como LOCA, o grupo SAMP inclui o cabeçalho **LOCA_ID**, sendo o seu propósito o de correlacionar cada amostra com o respetivo ponto de sondagem, definido no grupo anterior. Em **SAMP_TOP** registou-se o início do intervalo de recolha em metros, com duas casas decimais. **SAMP_TYPE** foi preenchido com o tipo de amostra (campo do tipo PA, declarado no grupo ABBR). Neste caso, todas as amostras são do tipo “ES”, abreviatura padrão de "*Environmental Soil*" (ou seja, amostras de solo

destinadas a ensaios laboratoriais ambientais). Os identificadores únicos das amostras, criados por concatenação do **LOCA_ID** com o intervalo de profundidade da amostragem, foram inseridos no cabeçalho **SAMP_ID**. Este assegura a unicidade das entradas em SAMP, e permite a ligação ao grupo ELRG. De notar a presença na estrutura de **SAMP_REF**, destinado à referência das amostras. Este cabeçalho pode ser útil quando existem múltiplas subamostras por ponto de sondagem e intervalo de profundidade. Uma vez que, neste caso, foi retirada apenas uma amostra por *liner*, optou-se pelo não preenchimento deste campo (de acordo com o disposto nas Regras 10a e 12 do formato). Os cabeçalhos já mencionados constituem os campos-chave do grupo SAMP, aos quais se adicionaram dois opcionais: **SAMP_BASE** (registo da profundidade final do intervalo amostrado, em metros, com duas casas decimais) e **SAMP_DESC** (descrição sumária do material amostrado, sendo que neste caso 41 instâncias correspondem a aterro e as restantes 3 a cal). No total, o grupo ficou composto por 7 cabeçalhos (5 campos-chave, dos quais 4 foram preenchidos; 2 opcionais) e 44 linhas de dados, correspondentes às 44 amostras analisadas.

Grupo ELRG

O mapeamento funcional do grupo ELRG foi o mais tecnicamente exigente, devido à significativa complexidade dos dados laboratoriais. Tal como em SAMP, foi preenchido o cabeçalho **LOCA_ID**, que correlaciona cada amostra sujeita a análise com o seu local geográfico de origem (ponto de sondagem). Outros cabeçalhos partilhados com o grupo anterior são **SAMP_TOP**, **SAMP_REF**, **SAMP_TYPE** e **SAMP_ID**, criando uma ligação inequívoca entre os ensaios realizados para cada parâmetro e a amostra de base. **ELRG_CODE** (campo obrigatório) foi populado, tal como descrito anteriormente, com os 90 códigos criados para os elementos testados (listados no Anexo II do presente documento). O cabeçalho **ELRG_MATX** (referente à matriz do ensaio) foi utilizado para promover a unicidade dos registos, tendo-se optado por utilizar a abreviatura “SOLID” para os que são realizados sobre a matriz sólida e “LIQUID” para os realizados sobre o eluato (embora todas as amostras se apresentassem originalmente no estado sólido). Utilizou-se **ELRG_RTYP** para indicar se a análise é inicial ou uma reanálise, sendo que neste caso todas as instâncias são do primeiro tipo. Em **ELRG_TADE** (descriptor adicional do ensaio) indicou-se a relação sólido-líquido da extração do lixiviado (10:1), e em **ELRG_RUNI** (campo obrigatório) as unidades de medida dos resultados. O cabeçalho **ELRG_METH** diz respeito aos métodos de ensaio utilizados, os quais cobrem o espectro regulamentar europeu para caracterização de solos/resíduos, em amostras aquosas e matrizes sólidas. A designação “método interno” indica que o procedimento é estabelecido e validado pelo próprio laboratório, em linha com a ISO 17025. A Tabela 22 resume o conjunto de normas analíticas aplicado.

Tabela 22 - Métodos analíticos utilizados no caso prático para preenchimento de ELRG_METH.

Conjunto de parâmetros	Método analítico ELRG_METH	Norma resumida
Relação entre volume de lixiviado e massa de sólido seco (L/S)	EN 12457-4:2002	Ensaio de lixiviação de conformidade
Matéria seca	EN 12880:2000; EN 15934:2012	Resíduo seco
Sólidos dissolvidos totais (TDS)	EN 15216:2021	Sólidos dissolvidos totais em água/eluatos
PCB (28 ... 180)	EN 16167:2018	PCB por cromatografia gasosa
PAH	EN 16181:2018	PAH por cromatografia gasosa ou líquida
pH, condutividade, temperatura, DOC, fenol	EN 16192:2011	Conjunto de ensaios físico-químicos em eluatos
TPH frações C ₁₀ -C ₄₀	Método interno	-
Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻ em eluato	ISO 10304-1	Aniões por cromatografia iônica (ISO)
F ⁻ em eluato	ISO 10359-1; EN 16192	Fluoreto potenciométrico + enquadramento de eluatos
Carbono orgânico total (TOC)	ISO 10694:2008	TOC por combustão a 900 °C
Mercúrio em eluato	ISO 12846	Hg por espectrometria em água
Mercúrio (matriz sólida)	ISO 16772:2004	Hg em extrato <i>aqua regia</i> (ISO)
Metais em eluato	ISO 17294-2	Espectrometria de massa para elementos vestigiais em água/eluatos
VOC, BTEX, halogenados voláteis	ISO 22155:2016	VOC em solo por cromatografia gasosa
Metais totais em matriz sólida	ISO 54321; ISO 11885	Digestão <i>aqua regia</i> + espectrometria de emissão ótica

Os cabeçalhos já mencionados constituem campos-chave do grupo ELRG, aos quais acrescem **SPEC_REF** (referência do espécime), **SPEC_DPTH** (início do intervalo de recolha do espécime) e **ELRG_TICN** (compostos provisoriamente identificados). Estes últimos não foram alvo de preenchimento, uma vez que a respetiva informação seria redundante ou não aplicável. Os dados correspondentes a ELRG_MATX, ELRG_RTYP e ELRG_TADE são do tipo PA (presentes no grupo ABBR), tendo já sido descritos na Tabela 21. Os dados de ELRG_RUNI são do tipo PU (presentes no grupo UNIT), tendo sido descritos na Tabela 20.

Para além dos 14 que correspondem a campos-chave, selecionaram-se 17 cabeçalhos opcionais, considerados pertinentes para o caso prático. Relativamente aos parâmetros, incluíram-se: i) **ELRG_NAME**, que serve de correspondência entre o código PA adotado e o nome por extenso, tal como reportado nos boletins; ii) **ELRG_DCAT**, onde se indicou a categoria a que o parâmetro pertence; iii) **ELRG_ORG**, correspondente a um campo do tipo “Sim ou Não” (YN), em que se explicitou se o composto é orgânico ou inorgânico; iv) **ELRG_TORD**, em que se clarifica se o resultado obtido se refere à quantidade total ou dissolvida; v) **ELRG_CASC**, populado com o identificador numérico do parâmetro, de acordo com o *Chemical Abstracts Service* (CAS); e vi) **ELRG_LMTH**, onde se especificou a norma de referência europeia para a lixiviação (EN 12457-4), quando aplicável. A Tabela 23 representa as categorias utilizadas no preenchimento de ELRG_DCAT, bem como os conjuntos de parâmetros que estas englobam.

Tabela 23 - Categorias utilizadas no caso prático para preenchimento de ELRG_DCAT.

Matriz ELRG_MATX	Categoria ELRG_DCAT	Parâmetro ELRG_NAME
Sólida	VOC aromáticos	BTEX
	VOC halogenados	metanos, etanos, etenos, propanos e propenos
	Hidrocarbonetos	C10-C40, VPH >C6-C10
	Índices globais na matriz sólida	matéria seca, TOC
	Metais na matriz sólida	As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn
	PAH	bicíclicos, tricíclicos lineares, tetracíclicos, pentacíclicos e hexacíclicos
	PCB	PCB (28-180)
Líquida	Condições do ensaio de lixiviação	L/S, temperatura
	Parâmetros físico-químicos do eluato	DOC, condutividade, fenol, TDS, pH
	Iões no eluato	cloreto, fluoreto, sulfato
	Metais no eluato	Sb, As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se, Zn

O CAS (divisão da *American Chemical Society*) gere a maior base de dados estruturada de compostos químicos, atribuindo-lhes um código numérico que permite a sua referência inequívoca (o benzeno, por exemplo, possui a referência 71-43-2). Embora o acesso integral ao registo seja pago, existem alternativas gratuitas parciais, tendo sido consultadas as seguintes fontes: catálogo de produtos e soluções laboratoriais da Sigma-Aldrich (2025), acesso aberto a substâncias químicas do CAS (2025), e base de dados de informação química da PubChem (2025). Foi possível determinar um identificador CAS para a quase totalidade dos parâmetros, à exceção de condutividade, temperatura, PH, TDS, DOC, matéria seca, hidrocarbonetos (frações) e TOC. Não foram, também, preenchidos os parâmetros que resultam da soma de outros compostos. As 63 correspondências obtidas entre substância e respetivo campo em ELRG_CASC pode ser consultada no Anexo III do presente documento.

No que respeita ao laboratório, incluíram-se os cabeçalhos: i) **ELRG_LSID**, onde foi colocado o identificador da amostra atribuído pelo laboratório no momento da receção (por exemplo, a amostra com o SAMP_ID “SA7_010_040” possui o ELRG_LSID “502599”); ii) **ELRG_SGRP**, que recebeu o código atribuído pelo laboratório ao lote, ou seja, ao conjunto de amostras recebidas num mesmo momento (por exemplo, as amostras com SAMP_ID/ELRG_LSID “SA6_010_025”/“502600” e “SA2_010_100”/“502601” possuem o ELRG_SGRP “1488461”); iii) **ELRG_TEST**, em que foi identificado o pacote de ensaios aos quais as amostras foram sujeitas (neste caso, 1000178 – Aterro de inertes); iv) **ELRG_LAB**, que foi preenchido com a identificação do laboratório; e v) **ELRG_CRED**, utilizado para incluir a entidade de acreditação e o respetivo número de referência. As 44 entradas para os campos do cabeçalho ELRG_LSID, bem como a sua divisão pelos 7 lotes incluídos em ELRG_SGRP e a sua correspondência com SAMP_ID, encontram-se no Anexo IV do presente documento.

Relativamente aos resultados dos ensaios, foram incluídos os cabeçalhos: i) **ELRG_RVAL**, do tipo numérico (com formato variável), onde foi colocado o valor do resultado, nos casos em que o composto foi detetado; ii) **ELRG_RTXT**, do tipo texto, em que foram incluídos os resultados, tal como reportados nos boletins analíticos (incluindo termos como “<0.001”, abaixo do limite de quantificação); iii) **ELRG_DETF**, do tipo “Sim ou Não” (YN), em que foi explicitado se o componente foi, ou não detetado; iv) **ELRG_QLM**, utilizado para colocar os limites de quantificação laboratorial para cada parâmetro; e v) **ELRG_DUNI**, onde foram inseridas as unidades em que se encontram os limites de quantificação. Os campos deste último são do tipo PU, tendo sido representados anteriormente na Tabela 20.

A estrutura utilizada para o grupo ELRG, no âmbito do presente caso prático, completa-se com o cabeçalho **FILE_FSET**, cujo campo foi preenchido com o nome da pasta onde se encontram localizados os ficheiros de referência (neste caso, o PDF do relatório ambiental). No total, o grupo ficou composto por 43 cabeçalhos, sendo que 14 correspondem a campos-chave da estrutura de dados (2 deles obrigatórios), 17 são opcionais e 12 são personalizados. Estes últimos encontram-se já definidos, na Tabela 16.

4.5.5. Exportação para formato AGS

A estrutura adotada inclui doze grupos: PROJ, TRAN, LOCA, SAMP, ELRG, CHOC, STND, ABBR, UNIT, TYPE, FILE e DICT. O mais complexo é o ELRG, grupo diretamente dedicado à transferência dos resultados fornecidos pelo laboratório ambiental. A informação analítica encontra-se bifurcada em duas grandes áreas: “Contaminação (solo seco)” e “Admissibilidade/Lixiviação (eluato)”. A primeira associa-se à avaliação de 68 parâmetros distintos, e a segunda a 22 parâmetros. Tendo em conta o total de 44 amostras analisadas, tal traduz-se em 3 960 linhas de dados, apenas para o grupo ELRG. Esta constatação tornou impraticável a primeira abordagem de gerar manualmente o código AGS, levando à necessidade de automatizar o processo de conversão.

Para uma melhor compreensão do processo de conversão importa, numa primeira instância, enumerar as regras do formato que melhor justificam e explicam a lógica subjacente à geração do ficheiro AGS, de acordo com a respetiva documentação oficial (AGS, 2022). Assim, os princípios que regem a disposição dos dados em CSV encontram-se compilados na Tabela 24. De seguida, a Tabela 25 exemplifica a aplicação das regras enumeradas na conversão do formato tabular em linhas de código AGS, para os grupos PROJ e TRAN.

Tabela 24 - Regras do formato AGS v4.1.1 aplicáveis à forma do ficheiro CSV especializado.

Regra	Descrição
1	O ficheiro apenas aceita caracteres ASCII.
2, 2a e 2b	Cada ficheiro contém um ou mais grupos; cada grupo contém um determinado número de cabeçalhos, com uma ou mais linhas de dados separadas entre si por caracteres de controlo do tipo <i>carriage return</i> e <i>line feed</i> . As linhas de topo do grupo incluem, no mínimo e por esta ordem: GROUP, HEADING, UNIT e TYPE.
3	Para que seja corretamente interpretada, cada linha inicia-se com o descritor correspondente ao seu conteúdo: "GROUP" para identificar o início de cada grupo, "HEADING" para a linha de cabeçalhos, "UNIT" para linha das unidades, "TYPE" para a linha de tipos de dados, e "DATA" para os registos propriamente ditos.
4	A linha do grupo contém apenas o seu nome (por exemplo, "PROJ"), enquanto todas as outras contêm um número de itens igual ao número de cabeçalhos; cada um dos campos de dados de uma linha DATA aceita apenas uma variável.
5 e 6	Todos os elementos são colocados entre aspas duplas, ou seja, "..."; todos os elementos dentro de uma mesma linha encontram-se separados por vírgula, ou seja, ",".
7	A ordem dos campos de cada linha está de acordo com a ordem dos cabeçalhos, que, por sua vez, se encontram na ordem descrita no dicionário de dados.
8	As variáveis das linhas de dados encontram-se nas unidades de medida e são do tipo definidos, para cada cabeçalho, nas linhas de topo de grupo "UNIT" e "TYPE".
10	Alguns cabeçalhos são obrigatórios (indispensáveis à interpretação do ficheiro) e/ou contêm campos-chave (necessários para garantir a unicidade de uma linha de dados). Os restantes podem ser, ou não, incluídos, em função das características do projeto.

Tabela 25 - Exemplo de conversão de dados tabulares para formato AGS.

Tabela					
PROJ_ID	PROJ_NAME		PROJ_LOC	PROJ_CLNT	
17040.579	Estudo da Qualidade dos Solos		Rua do Mirador	EMERGE - Mota-Engil Real Estate Developers	
TRAN_ISNO	TRAN_DATE	TRAN_PROD	TRAN_STAT	TRAN_AGS	TRAN_RECV
1	2025-05-14	Produtor	Draft	4.1.1	Recetor
Código AGS					
topo	"GROUP", "PROJ"				
	"HEADING", "PROJ_ID", "PROJ_NAME", "PROJ_LOC", "PROJ_CLNT"				
	"UNIT", "", "", "", "", ""				
	"TYPE", "ID", "X", "X", "X"				
	"DATA", "17040.579", "Estudo da Qualidade dos Solos", "Rua do Mirador", "EMERGE - Mota-Engil Real Estate Developers"				
topo	"GROUP", "TRAN"				
	"HEADING", "TRAN_ISNO", "TRAN_DATE", "TRAN_PROD", "TRAN_STAT", "TRAN_AGS", "TRAN_RECV"				
	"UNIT", "", "yyyy-mm-dd", "", "", "", ""				
	"TYPE", "X", "DT", "X", "X", "X", "X"				
	"DATA", "1", "2025-05-18", "Produtor", "Draft", "4.1.1", "Recetor"				

Dois aspetos são fundamentais para a exportação dos dados em formato AGS, a partir do ficheiro Ms. Excel estruturado: (i) a leitura célula-a-célula dos dados, de forma sequencial (de acordo com a posição esperada no ficheiro AGS); e (ii) a construção adequada das linhas de saída, através da concatenação dos valores com qualificadores de texto e delimitadores (Regras 5 e 6). Um *script* de *Visual Basic for Applications* (VBA) permite dar resposta a estas duas questões.

O VBA é uma linguagem de programação integrada em produtos Microsoft (nomeadamente, no Ms. Excel). Por se encontrar embutido, permite a criação e execução de códigos (*scripts*), sem necessidade de sair da aplicação. Estes visam automatizar tarefas (ou seja, realizar operações repetitivas de forma automática) como: manipulação de células, folhas, gráficos, tabelas, entre outros. Para além disso, tem a capacidade de aceder ao sistema operativo para abrir, criar,

modificar, copiar ou eliminar ficheiros e pastas. Assim, os objetivos do *script* VBA são: i) implementar ciclos, que percorrem iterativamente todas as folhas de cálculo, e Rotinas que executam a exportação dos dados para o fluxo de texto; ii) estabelecer valores fixos para o qualificador de texto (aspas) e o delimitador de campos (vírgula), bem como o uso do operador de concatenação "&", a fim de montar uma estrutura linha-a-linha no formato "campo1","campo2",(...).

Durante o desenvolvimento do *script* foram consultadas múltiplas páginas de referência da Microsoft Learn (s.d.), relativas a declarações (Option Explicit, Sub, Dim, End, Open, On Error), métodos e propriedades (Application.ScreenUpdating, Range.Find, ExportAsFixedFormat, GetSaveAsFilename, WriteLine, CreateTextFile, Print, entre outras), Funções (Len, Dir, MsgBox), tipos de dados (Boolean), e objetos (Workbook, Worksheet, FileSystemObject, Dictionary, Stream, entre outros). Adicionalmente, recorreu-se a fontes da StackOverflow (2013), DevGuru (2018) e Microsoft Support (2025).

De seguida, o processo é descrito mais pormenorizadamente, incluindo a Rotina principal ExportarTodasAsFolhasParaAGS (controlador principal do fluxo lógico de exportação), bem como os componentes auxiliares fundamentais coordenados pela mesma.

Script Exportar_AGS

No início do *script* VBA, doravante designado por Exportar_AGS, foram incluídas instruções gerais e comentários iniciais contextuais. Mais concretamente, ativou-se a instrução Option Explicit, que obriga à declaração explícita de todas as variáveis utilizadas. Tal impede o avanço da compilação, caso existam variáveis não declaradas (através de instruções como “Dim” ou “Const”), a fim de prevenir erros de tipografia ou a introdução inadvertida. Os metadados inseridos dizem respeito ao nome do ficheiro, versão, autor e data, possuindo uma função de controlo manual de versões.

Através da instrução Private Const, foram declaradas as variáveis constantes, utilizadas em várias partes do código. Estas incluem AGS_EXTENSION (extensão do ficheiro: ".ags"), AGS_DEFAULT_NAME (nome do ficheiro gerado, por defeito: "codigo_ags"), CSV_DELIM (delimitador entre elementos da mesma linha: ";") e QUOT (as aspas que envolvem cada elemento da estrutura AGS: ""). Tal facilita a manutenção do código, já que deixa de ser necessário modificar múltiplas ocorrências isoladas, caso se pretenda alterar um destes parâmetros (por exemplo, mudar o nome do ficheiro, de "codigo_ags" para "ficheiro_ags").

Sub ExportarTodasAsFolhasParaAGS

Em VBA, um Sub corresponde a um bloco de código que executa uma sequência de instruções, mas que (ao contrário das Funções) não devolve diretamente um valor. A Rotina (Sub) principal compreende as seguintes etapas sequenciais:

1. Registrar o tempo inicial (`t0 = Timer`);
2. Desativar das atualizações visuais ou eventos automáticos do Ms. Excel (`ToggleApplication False`), para aumentar a velocidade de execução;
3. Solicitar ao utilizador que selecione o caminho onde será guardado o ficheiro AGS gerado, podendo também alterar o seu nome pré-definido (`Application.GetSaveAsFilename`);
4. Criar um objeto `ADODB.Stream` ASCII, para escrita de texto ASCII 7-bit com `.Charset = "us-ascii"` e `stm.LineSeparator = adCRLF` (quebra de linha padrão do Windows);
5. Percorrer o livro Ms. Excel, e chamar a Rotina secundária `WriteWorksheetToStream` para cada folha que tenha dados;
6. Guardar o conteúdo do *stream* criado no ficheiro especificado (`stm.SaveToFile sPath`), substituindo-o se este já existir (`adSaveCreateOverWrite`);
7. Chamar o método `AppendLog`, para escrever informações relevantes (*timestamp* final, número de grupos e linhas exportados, caminho do ficheiro) num ficheiro de *log*, que serve como registo histórico das operações realizadas;
8. Restaurar a aplicação ao estado normal (`ToggleApplication True`) e apresentar uma mensagem (`MsgBox`) de sucesso, ou erro (`If Err.Number <> 0`).

Acerca do ponto 5, interessa referir que o ciclo `For Each` é o elemento que permite iterar automaticamente todas as folhas existentes num determinado livro Ms. Excel (`ThisWorkbook.Worksheets`), independentemente dos seus nomes e quantidade. A sua Função `WorksheetHasData(ws)` verifica a presença de dados para exportação (`True/False`), permitindo que o ciclo ignore folhas em branco. De notar, também o registo do número de grupos AGS exportados (`nGroups`) e o número total de linhas escritas (`nLines`), posteriormente utilizados na mensagem final apresentada ao utilizador e no ficheiro de *log* gerado.

Sub WriteWorksheetToStream

Na rotina secundária `WriteWorksheetToStream` encontra-se delegada a operação específica de "escrita" (conversão e envio do conteúdo da folha para o *stream*), modularidade que permite a chamada para qualquer folha, sem duplicação de código. O processo inicia-se com a declaração de

variáveis, seguida da determinação das dimensões reais (pré-processamento). Para tal, é localizada a última célula com dados, que despoleta o término da Rotina (o que acontece imediatamente, se a folha estiver vazia).

O ciclo principal é a iteração, da primeira à última linha ocupada (For r = 1 To lastR), com construção da linha CSV (lineOut) correspondente. Tal consiste, primeiramente, na leitura primeira célula de cada linha (label); são, simultaneamente, removidos eventuais espaços marginais e caracteres inválidos. Se o resultado for vazio (Len(label)=0), presume-se o fim do bloco e a interrupção do ciclo; esta condição é compatível com a estrutura do formato AGS, na qual a ausência de uma etiqueta (como HEADING ou DATA) na primeira coluna implica o término lógico do grupo. A linha GROUP possui uma sintaxe diferente (apenas dois campos) e marca o início de um novo grupo, encontrando-se discriminada no código (If UCase\$(label)="GROUP" Then... Else...). Enquanto neste caso se concatenam apenas os valores das duas primeiras colunas, para as linhas referentes a outros grupos percorrem-se também as restantes. O método WriteText, com o modo adWriteLine, escreve os dados em memória, até serem guardados (SaveToFile).

Função CleanASCII

O formato AGS exige que os caracteres se encontrem no intervalo ASCII 7-bit (Regra 1). Embora tenham sido tomadas as devidas providências para evitar a utilização de caracteres não permitidos no ficheiro Ms. Excel de base, optou-se por incluir em Exportar_AGS uma Função de contingência, para assegurar a substituição de letras acentuadas ou especiais (como "ç", "ã" e "ó") por caracteres ASCII imprimíveis (32–126) equivalentes (como "c", "a" e "o").

Definiram-se as variáveis locais de controlo (i, ch, outS) e a variável estática accentMap, utilizada como dicionário de substituições. Foi, também, criado um objeto do tipo Scripting.Dictionary, ao qual foram adicionadas as substituições desejadas e onde foram mapeados outros caracteres potencialmente problemáticos. Segundo a lógica de limpeza implementada, se for encontrado na *string* de entrada (s) um carácter com substituição definida em accentMap, esta é aplicada. Qualquer outro que não faça parte da faixa ASCII imprimível é substituído por um carácter padrão, anteriormente definido na constante ASCII_REPLACER ("?"). A *string* processada (outS) é devolvida como resultado da Função.

4.5.6. Pré-validação da estrutura

Assume-se como ponto de partida, para o processo de validação, a geração bem-sucedida do ficheiro AGS. Para tal, recorreu-se ao ambiente de programação VBA, acessível a partir do Ms. Excel,

onde foi criado um módulo independente do tipo padrão (Exportar_AGS) contendo as Rotinas de exportação. A macro principal (ExportarTodasAsFolhasParaAGS) pôde, então, ser invocada diretamente para iniciar o processo de exportação. A Figura 8 representa a execução da macro VBA para a exportação das folhas Ms. Excel (grupos) em formato AGS v4.1.1.

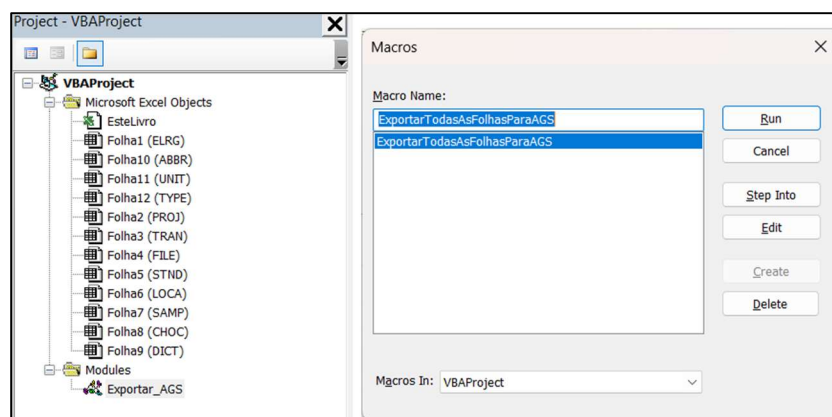


Figura 8 - Interface VBA com macro para exportação AGS.

Posteriormente, foi criada uma folha auxiliar no próprio ficheiro, na qual se inseriu um botão visível e "clicável", com a macro de exportação associada. Esta solução permite a execução simplificada do *script* por utilizadores não familiarizados com o ambiente de programação, sem comprometer a integridade do ficheiro AGS gerado. Para assegurar a preservação das rotinas VBA, foi necessário alterar a extensão para o formato .xlsm (livro com permissão para macros do Ms. Excel), o qual permite armazenar e executar macros.

Assim que o processo é terminado com sucesso, é apresentada ao utilizador uma mensagem de confirmação, contendo um resumo informativo baseado no conteúdo do export_log. Este corresponde a um ficheiro de texto (.txt), onde são registados a data e a hora de término, o número de grupos reconhecidos, o número de linhas e o caminho onde se encontra o novo ficheiro AGS. O *log* é gravado automaticamente na mesma pasta de origem onde se encontra o ficheiro Ms. Excel de base. A Figura 9 exemplifica um registo gerado na exportação de dados, ocultando as informações pessoais do utilizador para efeitos de privacidade digital.

```
2025-05-27 19:47:06
12 grupos
4263 linhas
C:\Users\[redacted]
[redacted]\codigo_AGS.ags
```

Figura 9 - Exemplo de resumo de exportação automático gerado por macro VBA.

A fim de despistar erros estruturais grosseiros (facilmente detetáveis por observação humana) procedeu-se a uma inspeção visual do conteúdo exportado, antes da validação automática. A Figura 10 contém uma seleção representativa de excertos relativos a diferentes grupos.

"GROUP","LOCA" "HEADING","LOCA_ID","LOCA_NATE","LOCA_NATN","LOCA_GREF","LOCA_GL" "UNIT","m","m","m","m" "TYPE","ID","2DP","2DP","PA","2DP" "DATA","SA1","-92156.78","-106452.87","EPSG 3763","26.56"	"GROUP","UNIT" "HEADING","UNIT_UNIT","UNIT_DESC" "UNIT","m" "TYPE","X","X" "DATA","m","metro"
"GROUP","SAMP" "HEADING","LOCA_ID","SAMP_TOP","SAMP_REF","SAMP_TYPE","SAMP_ID","SAMP_BASE","SAMP_DE SC" "UNIT","m","m","m","m" "TYPE","ID","2DP","X","PA","ID","2DP","X" "DATA","SA1","0.10","ES","SA1_010_070","0.70","Aterro"	"GROUP","TYPE" "HEADING","TYPE_TYPE","TYPE_DESC" "UNIT","m" "TYPE","X","X" "DATA","ID","Identificador"
"GROUP","STND" "HEADING","STND_REF","STND_SCP" "UNIT","m" "TYPE","X","X" "DATA","Solos contaminados - Guia Tec. Valores de Ref. Solo - Rev3 - set de 2022 - APA","Cont."	"GROUP","FILE" "HEADING","FILE_FSET","FILE_NAME" "UNIT","m" "TYPE","X","X" "DATA","Relatorio_Mirador","ED22025_Rua do Mirador.pdf"
"GROUP","ABBR" "HEADING","ABBR_HDNG","ABBR_CODE","ABBR_DESC" "UNIT","m" "TYPE","X","X","X" "DATA","SAMP_TYPE","ES","amostra de solo para ensaios de lab. ambientais"	"GROUP","DICT" "HEADING","DICT_TYPE","DICT_GRP","DICT_HDNG","DICT_STAT","DICT_DTYP","DICT_DESC","DICT_U NIT","DICT_EXMP" "UNIT","m" "TYPE","PA","X","X","PA","PT","X","PU","X" "DATA","HEADING","ELRG","ELRG_VR1","OTHER","U","VR UA","1.1"
"GROUP","ELRG" "HEADING","LOCA_ID","SAMP_TOP","SAMP_REF","SAMP_TYPE","SAMP_ID","SPEC_REF","SPEC_DPTH","ELRG_CODE","ELRG_METH","ELRG_MATX","ELRG_RTYP","ELRG_TADE","ELRG_TICN","ELRG_RUNI","ELRG_ISID","ELRG_RVAL","ELRG_RTXT","ELRG_NAME","ELRG_DCAT","ELRG_DETF","ELRG_ORG","ELRG_QLM","ELRG_DUNI","ELRG_CASC","ELRG_SGRP","ELRG_TEST","ELRG_TORD","ELRG_LMTH","ELRG_LAB","ELRG_CRED","FILE_FSET","ELRG_VR1","ELRG_VR2","ELRG_VR3","ELRG_VL1","ELRG_VL2","ELRG_VL3","ELRG_VAVR","ELRG_VAVL","ELRG_LER","ELRG_AR","ELRG_VAL","ELRG_CLAS" "UNIT","m" "TYPE","ID","2DP","X","PA","ID","X","2DP","PA","X","PA","PA","PA","X","PU","X","U","X","X","X","Y","Y","U","PU","X","X","X","X","X","X","U","U","U","U","U","U","X","X","PA","PA","PA","PA" "DATA","SA1","0.10","ES","SA1_010_070","AS_ELU","ISO17294-2","LIQUID","INITIAL","CEN_10_1","mg/kg MS","540671","<0.05","arsenio_LX","METAL_LX","N","N","0.05","mg/kg MS","7440-38-2","1495421","1000178","DISSOLVED","EN12457-4","AGROLAB","DAC L234","Relatorio_Mirador","0.5","5","5","VA<VL","17 05 04","ARNP","Cimenteira","5"	

Figura 10 - Excertos representativos dos principais grupos do ficheiro codigo_AGS.ags.

Em todos os casos, é visível o uso de aspas (Regra 5), separação por vírgula (Regra 6), codificação compatível com ASCII 7-bit (Regra 1), e a presença das linhas UNIT e TYPE em todos os grupos (Regra 2). Estes exemplos permitem presumir um grau razoável de legibilidade técnica do ficheiro exportado, antes da sua submissão em validadores formais.

4.6. Validação do ficheiro AGS

Na engenharia de dados, um validador corresponde a uma ferramenta informática que verifica a conformidade de um ficheiro, face a um conjunto de regras formais previamente definidas (Eurostat, 2016). No âmbito do formato AGS, em particular, são verificados os requisitos semânticos, estrutura sintática, dependências lógicas e coerência com os dicionários de referência definidos pela respetiva norma (AGS, 2025). De uma forma geral, são operados os seguintes níveis de verificação sequencial:

1. Sintático – Verificar se o ficheiro está codificado em texto simples, se usa os delimitadores corretos e não possui outros erros graves de formatação.
2. Estrutural – Confirmar que estão presentes os grupos e cabeçalhos obrigatórios, que não existem discrepâncias no número de colunas por linha, e que os cabeçalhos de cada grupo se encontram na ordem correta.

3. Semântico – Verificar os tipos de dados (numérico, texto, data) e a coerência interna nas unidades e abreviaturas, bem como nos campos-chave (por exemplo, cada SAMP_ID deve referir-se a um LOCA_ID existente).
4. Relacional e lógico – Avaliar a consistência cruzada entre grupos, detetar duplicações (ausência de unicidade na linha) e conflitos de definição; confirmar o cumprimento de regras contextuais (como é o caso de determinados cabeçalhos, que apenas são válidos em combinações específicas; ELRG_RTCD, por exemplo, deve ser sinalizado como "TIC" se ELRG_TICN se encontrar preenchido).
5. Comparação com os dicionários de referência – Verificar se os termos usados em grupos como ABBR, TYPE e UNIT correspondem aos definidos pela AGS.
6. Geração de relatórios – Fornecer os resultados da verificação, com possível exportação para formatos como o TXT ou o JSON.

As mensagens de validação podem ser classificadas como erro (ERROR), aviso (WARNING) e informação complementar (FYI), de acordo com o nível de severidade (AGS Data Format Working Group, 2024a; Digital Geotechnical, 2024a; Datgel, s.d.). Os erros críticos correspondem à violação de regras formais obrigatórias, que tornam o ficheiro inválido e impedem a sua aceitação formal. Exemplos incluem a ausência de grupos ou cabeçalhos obrigatórios, valores em formatos inválidos, e incoerências estruturais (como a duplicação, ou a falta de correspondência entre chaves relacionais). Os avisos assinalam problemas que não inviabilizam tecnicamente o ficheiro, mas podem comprometer a sua qualidade. As mensagens FYI referem-se a situações que não comprometem a validade do ficheiro, nem a qualidade essencial dos dados.

4.6.1. AGS File Validator

O AGS File Validator é a ferramenta oficial desenvolvida para verificar, de forma automática, se um ficheiro AGS cumpre o respetivo padrão. Esta foi lançada inicialmente em setembro de 2021 como “AGS Validator BETA”, tendo-se tornado numa “*single source of truth*” gratuita, cujos resultados são considerados conclusivos em termos de conformidade com a norma (AGS, 2021). A sua arquitetura assenta na biblioteca *open-source* python-AGS4, versão 1.0.0 (a primeira não-beta), que foi publicada em setembro de 2024 (AGS Data Format Working Group, 2024a). A AGS distribui um executável *desktop* multiplataforma, empacotado (isto é, preparado para distribuição e instalação automática) no repositório `ags4-validator-desktop-app` (GitLab). A versão mais recente (2.0) foi recompilada em outubro de 2024 (AGS Data Format Working Group, 2024b). Adicionalmente,

terceiros (como a Digital Geotechnical) mantêm *interfaces web* (como o DG-AGS Validator) que se apresentam explicitamente como *front-ends* para a ferramenta oficial (Digital Geotechnical, 2025). Desta forma, a comunidade geotécnica e geoambiental tem acesso pleno a um método normalizado para assegurar a integridade de ficheiros AGS, desde a versão 4.0.3 até à atual 4.1.1. A Figura 11 mostra a *interface* gráfica do executável *desktop* AGS File Validator (v2.0) utilizado.

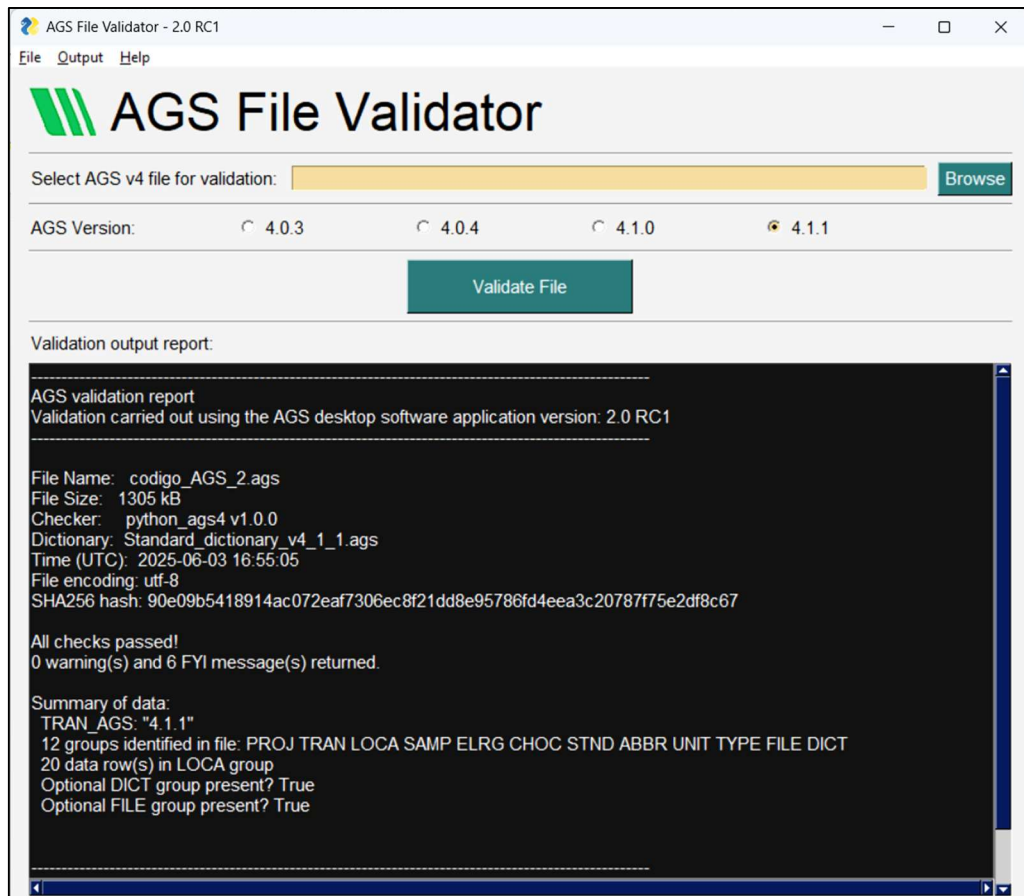


Figura 11 - Validação de ficheiro AGS com recurso à ferramenta AGS File Validator v2.0.

O *output* apresentado corresponde ao relatório final de validação, indicando que o ficheiro `codigo_AGS.ags` submetido passou todas as verificações obrigatórias, sem erros detetados ou avisos emitidos. São apresentados os metadados do ficheiro, incluindo o motor de verificação (biblioteca oficial `python_ags4 v1.0.0`), o dicionário contra o qual foi feita a avaliação (`standard_dictionary_v4_1_1.ags`), o momento da validação (em fuso horário UTC+0), e o *hash* SHA-256 (assinatura digital única, que permite verificar a integridade, autenticar o conteúdo e garantir que o ficheiro validado é exatamente o mesmo que foi entregue). Verifica-se, ainda, que a codificação foi corretamente detetada como UTF-8 (compatível com ASCII 7-bit).

Foram, contudo, identificadas 6 situações FYI. De notar que, na versão mais recente do AGS File Validator, as mensagens WARNING e FYI deixaram de ser descritas no *output* de validação, sendo a intenção a de destacar apenas os problemas que violam explicitamente a norma.

O resumo dos dados (*summary of data*) confirma que a versão declarada (TRAN_AGS) é a 4.1.1, que foram detetados os 12 grupos definidos, que o grupo LOCA inclui 20 linhas de dados (correspondentes aos 20 locais de sondagem), e que foram corretamente apresentados os grupos opcionais DICT e FILE.

4.6.2. BGS Schema and Data Validator

O BGS Schema and Data Validator é uma funcionalidade disponibilizada pelo BGS na sua AGS4 File Utilities Tool and API. A aplicação é distribuída como um serviço *web*, com *interface* gráfica acessível no navegador. A biblioteca *python* utilizada é a mesma que a do AGS File Validator, embora ainda na anterior versão 0.5.0 (BGS, 2025). Tal como no validador oficial da AGS, são suportadas as versões 4.0.3, 4.0.4, 4.1.0 e 4.1.1. Contudo, é possível carregar múltiplos ficheiros simultaneamente (até um limite total de 50 Mb) para validação em bloco, e os resultados podem ser obtidos em texto simples, HTML ou JSON. Para além da validação de conformidade com o esquema AGS, o validador do BGS foi construído de forma a poder verificar um conjunto adicional de regras de integridade, aplicável a dados submetidos ao *National Geoscience Data Centre* (NGDC). Estas asseguram que os dados geotécnicos estão em condições de serem integrados nas bases de dados geocientíficos do Reino Unido. Apesar de ser amplamente utilizado, o BGS Schema and Data Validator não é a ferramenta oficial para validação, cabendo esse estatuto ao AGS File Validator. Constitui, no entanto, uma solução complementar de apoio, para além de ser a ferramenta adotada pelo órgão público responsável pelo repositório nacional (NGDC/BGS).

O resultado obtido foi semelhante ao anterior, com algumas variações na forma. Verificou-se que ambos os *outputs* apresentam uma secção definida (#Metadata) que contém: nome do ficheiro, tamanho, codificação, data/hora de validação, e versão do dicionário. Numa outra secção é, igualmente, visível a lista de grupos identificados e o número de registos detetados em LOCA, sendo também assinalada a presença de DICT e FILE. Por outro lado, os validadores diferem na deteção de erros (#Errors) relacionados com a Regra 20, uma vez que o BGS Schema and Data Validator refere a inexistência de uma pasta física correspondente ao grupo FILE, e a ausência da subpasta onde se encontraria anexado o relatório ambiental. Tal decorre do facto de este ser um serviço em navegador que, ao contrário do AGS File Validator, não tem acesso ao sistema local. Tal impede a verificação da presença física dos ficheiros referenciados, gerando 2 erros artificiais no grupo FILE.

Ambas as ferramentas contabilizaram 6 mensagens com a mesma informação de base, mas nomenclatura e visibilidade distintas. Enquanto o AGS File Validator as classificou como FYI, sem exibir a sua descrição, o validador do BGS denotou-as como avisos (##Warning), explicitando uma

possível violação da Regra 16. O motivo para esta advertência prende-se com a tradução intencional para português das definições das abreviaturas.

A Figura 12 representa o *output* textual obtido da validação do ficheiro `codigo_AGS.ags`, com recurso á ferramenta do BGS.

<pre>codigo_AGS.ags: 8 error(s) found in file! # Metadata File size: 1336630 bytes Checkers: ['python_ags4 v0.5.0'] Dictionary: Standard_dictionary_v4_1_1.ags Time: 2025-06-03 16:56:31.366018+00:00 None 12 groups identified in file: PROJ TRAN LOCA SAMP ELRG CHOC STND ABBR UNIT TYPE FILE DICT 20 data row(s) in LOCA group Optional DICT group present: True Optional FILE group present: True # Errors ## AGS Format Rule 20 Group: FILE - Folder named "FILE" not found. Files defined in the FILE group should be saved in this folder. Group: FILE - Sub-folder named "FILE/Relatorio_Mirador" not found even though it is defined in the FILE group.</pre>	<pre>## Warning (Related to Rule 16) Line: 4106 - SAMP_TYPE: Description of abbreviation "ES" is "amostra de solo para ensaios de lab. ambientais" but it should be "Soil sample for environmental testing" according to the standard abbreviations list. Line: 4197 - ELRG_MATX: Description of abbreviation "LIQUID" is "liquido (eluato)" but it should be "Liquid" according to the standard abbreviations list. Line: 4198 - ELRG_MATX: Description of abbreviation "SOLID" is "solido (amostras de solo)" but it should be "Solid" according to the standard abbreviations list. Line: 4199 - ELRG_RTYP: Description of abbreviation "INITIAL" is "inicial" but it should be "Initial" according to the standard abbreviations list. Line: 4215 - DICT_TYPE: Description of abbreviation "HEADING" is "sinal para indicar que def. = heading" but it should be "Flag to indicate definition is a HEADING" according to the standard abbreviations list. Line: 4216 - DICT_STAT: Description of abbreviation "OTHER" is "outro campo" but it should be "Other field" according to the standard abbreviations list.</pre>
--	---

Figura 12 - Validação de ficheiro AGS com recurso à ferramenta BGS Schema and Data Validator.

Apesar das disparidades, pode afirmar-se que os validadores são funcionalmente equivalentes em termos de diagnóstico. Tal decorre da utilização de uma base de verificação partilhada (o `standard_dictionary_v4_1_1.ags`), com divergência apenas na versão da biblioteca (v0.5.0/v1.0.0) e na apresentação (executável local/*web*). No entanto, é importante notar que (devido à atualização materializada na v1.0.0) o *output* do AGS File Validator inclui o *hash* SHA256 do ficheiro, que permite uma verificação adicional da integridade dos dados.

4.6.3. Processos de conversão

Embora a exportação para o formato AGS tenha sido realizada através de um *script* VBA desenvolvido especificamente para o presente caso prático (Exportar_AGS), importa reconhecer a existência de ferramentas genéricas disponibilizadas para o efeito, pela AGS e pelo BGS (AGS Data Format Working Group, 2024b; BGS, 2025). Estas correspondem a utilitários de conversão bilateral entre ficheiros Ms. Excel e AGS, que fazem parte do executável AGS File Validator e da *interface web* AGS4 File Utilities Tool and API (File Conversion). Tal como é o caso da função de validação, estes conversores apresentam *interfaces* distintas, mas comportamentos funcionalmente equivalentes.

Conversão Ms. Excel↔AGS

Como passo adicional na verificação da validade do ficheiro AGS gerado de forma autónoma, procedeu-se à sua reconversão para formato Ms. Excel, com recurso às ferramentas AGS/BGS. Esta originou um ficheiro legível, contendo a totalidade da informação esperada, cumprindo a expectativa de que a estrutura proposta é adequada para a transferência de dados geoambientais.

Por outro lado, verificou-se que a conversão direta do ficheiro Ms. Excel de base através dos referidos utilitários exige que a estrutura dos dados obedeça a determinadas convenções, que não se encontram documentadas de forma explícita (tendo sido inferidas do *output* obtido na reconversão anterior). Adicionalmente, encontram-se ausentes as ações de "limpeza silenciosa" integradas no *script* local, o que exige a correção absoluta do próprio documento inicial relativamente a caracteres não ASCII e espaços indevidos. Por conseguinte, a iniciativa de testar esta ferramenta externa exigiu uma readaptação do ficheiro de base, bem como a criação de um *script* VBA adicional (Sanitizar_ASCII) para diagnóstico prévio.

As alterações estruturais necessárias revelaram-se pouco expressivas, uma vez que a organização adotada se aproximava da exigida pelo conversor (tendo-se removido apenas a primeira linha de cada folha, que enunciava o nome do respetivo grupo, mimetizando o esquema AGS). O diagnóstico prévio automatizado consistiu na criação de um módulo Sanitizar_ASCII, implementado de forma análoga a Exportar_AGS, mas com efeitos diretos no próprio Ms. Excel de base. Enquanto a Função CleanASCII atua de forma localizada e transitória, durante o processo de exportação (convertendo os caracteres apenas no momento de escrita para o ficheiro AGS), Sanitizar_ASCII modifica o conteúdo das células e gera um registo sistemático das alterações (Log_Chars). A título de exemplo, a Figura 13 mostra um processo de sanitização em que foi encontrado o carácter “e” (substituído por “o”) na célula B7 da folha referente ao grupo STND.

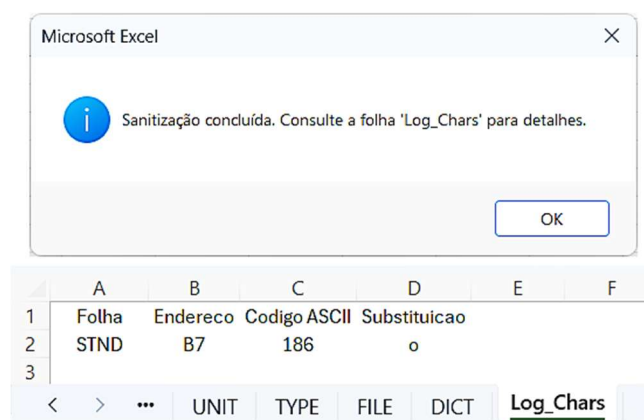


Figura 13 - Registo de sanitização de caracteres ASCII (imagem truncada/ilustrativa).

Após a reestruturação e limpeza definitiva do ficheiro Ms. Excel de base, procedeu-se à sua submissão nas ferramentas de conversão AGS/BGS, da qual resultou um ficheiro AGS de configuração idêntica ao que havia sido gerado por aplicação da macro Exportar_AGS. Estes dois *outputs* apresentam o mesmo comportamento, quando sujeitos ao processo de validação. A Figura 14 ilustra as duas vias alternativas utilizadas na conversão de dados geoambientais brutos em formato AGS.

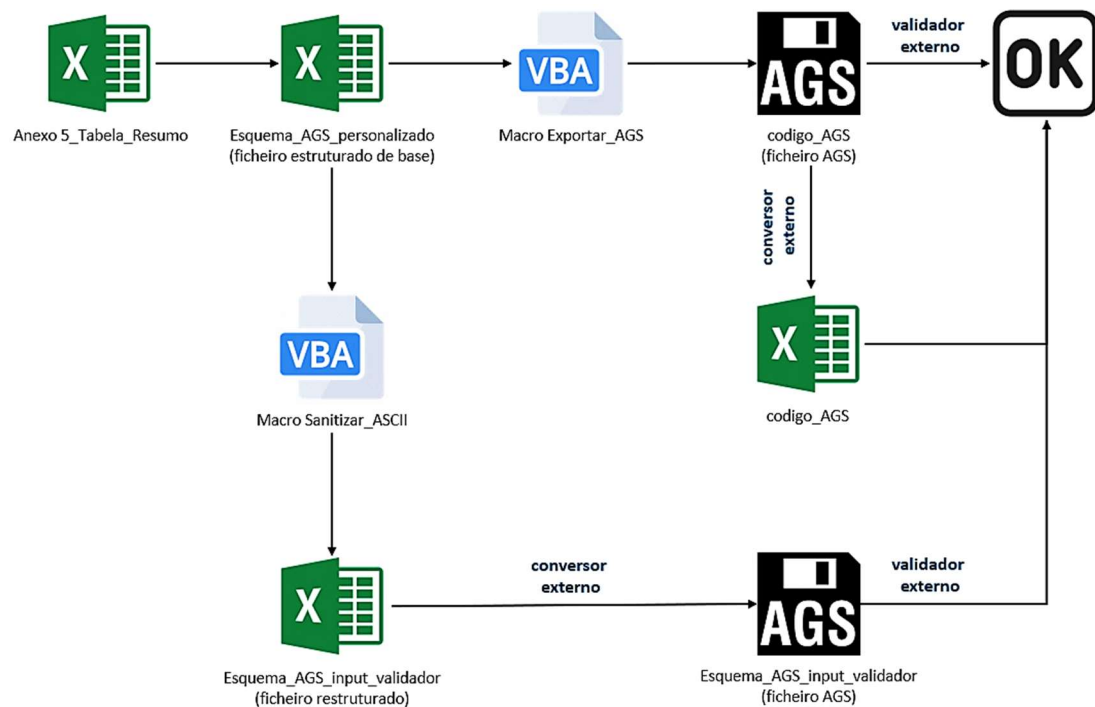


Figura 14 - Esquema de conversão de dados geoambientais em formato AGS.

Conclui-se que a via personalizada é mais autónoma, tendo o seu desenvolvimento sido tecnicamente orientado ao contexto específico do estudo. Destaca-se, ainda, pela integração, num único fluxo e ambiente de trabalho (Ms. Excel), dos processos de limpeza e exportação. Já a via diferida exige pré-processamento explícito (nomeadamente, a sanitização completa de caracteres) e apresenta um fluxo mais fragmentado, com maior dependência de ferramentas externas.

Conversão AGS→GeoJSON

Tal como referido anteriormente, o BGS Schema and Data Validator tem como opção de *output* de validação o formato JSON. Caso esta seja selecionada, pode escolher-se a inclusão de uma secção GeoJSON, construída a partir do conteúdo dos grupos PROJ e LOCA. Entendeu-se pertinente explorar esta possibilidade, uma vez que esse formato é nativamente compatível com plataformas GIS, e com consequente utilidade para facilitar a comunicação de resultados. Verificou-se, contudo, que a ferramenta assume de forma rígida a utilização do sistema OSGB36/EPSS 27700 (greilha

cartográfica nacional britânica). Como consequência, os pontos representados no resultado devolvido encontravam-se geograficamente incorretos para o contexto português.

Face a esta limitação, procedeu-se ao desenvolvimento de uma solução alternativa em VBA, que permite a geração automática de ficheiros GeoJSON, a partir do ficheiro Ms. Excel de base. Mais concretamente, é efetuada a conversão interna das localizações para latitude/longitude em WGS 84 (EPSG 4326), mas partindo do princípio de que as coordenadas inseridas em LOCA_NATE e LOCA_NATN se encontram expressas na grelha cartográfica nacional (ETRS89/PT-TM06 – EPSG 3763). Este *script*, nomeado Exportar_GeoJSON, lê simultaneamente as folhas LOCA e PROJ do livro ativo, converte as coordenadas, e grava um GeoJSON designado por "proj_loca.geojson". Este assume que: i) a folha LOCA segue o esquema GROUP / HEADING / UNIT / TYPE / DATA, e ii) a folha PROJ possui uma linha "DATA" com os metadados do projeto. Assim, o módulo é funcional, desde que a estrutura mínima (nomes das folhas, colunas fundamentais, palavra "DATA") seja preservada.

A Figura 15 exemplifica o objeto FeatureCollection constante no ficheiro GeoJSON gerado, que representa uma localização de amostragem georreferenciada (sondagem SA1).

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "id": "17040.579.SA1",
      "type": "Feature",
      "properties": {
        "LOCA_ID": "SA1",
        "LOCA_NATE": -92156.78,
        "LOCA_NATN": -106452.87,
        "LOCA_GREF": "EPSG 3763",
        "LOCA_GL": 26.56,
        "line_no": 1,
        "PROJ_ID": "17040.579",
        "PROJ_NAME": "Estudo da Qualidade dos Solos",
        "PROJ_LOC": "Rua do Mirador",
        "PROJ_CLNT": "EMERGE - Mota-Engil Real Estate Developers"
      },
      "geometry": {
        "type": "Point",
        "coordinates": [-9.1925454231, 38.70458876599]
      }
    }
  ]
}
```

Figura 15 - Excerto representativo do ficheiro proj_loca.geojson.

A estrutura segue exatamente a que é produzida pelo BGS Schema and Data Validator, exceto nos valores numéricos que definem a localização do ponto (campo "coordinates"). Neste caso, a convergência exata com os dados AGS é garantida por partilha de uma base estruturada comum.

O ficheiro autónomo (proj_loca.geojson) foi importado diretamente para o *software* QGIS, para adicionar uma camada vetorial. Tal permitiu verificar a correta georreferenciação na zona de intervenção, confirmando que a metodologia proposta (macro local) foi bem-sucedida na geração automática de um ficheiro GeoJSON.

A Figura 16 representa o mapa resultante da abertura do ficheiro, em que é possível observar a sobreposição sobre imagens de satélite (Map Data ©2015 Google) dos 20 pontos de sondagem (SA1 a SA20).

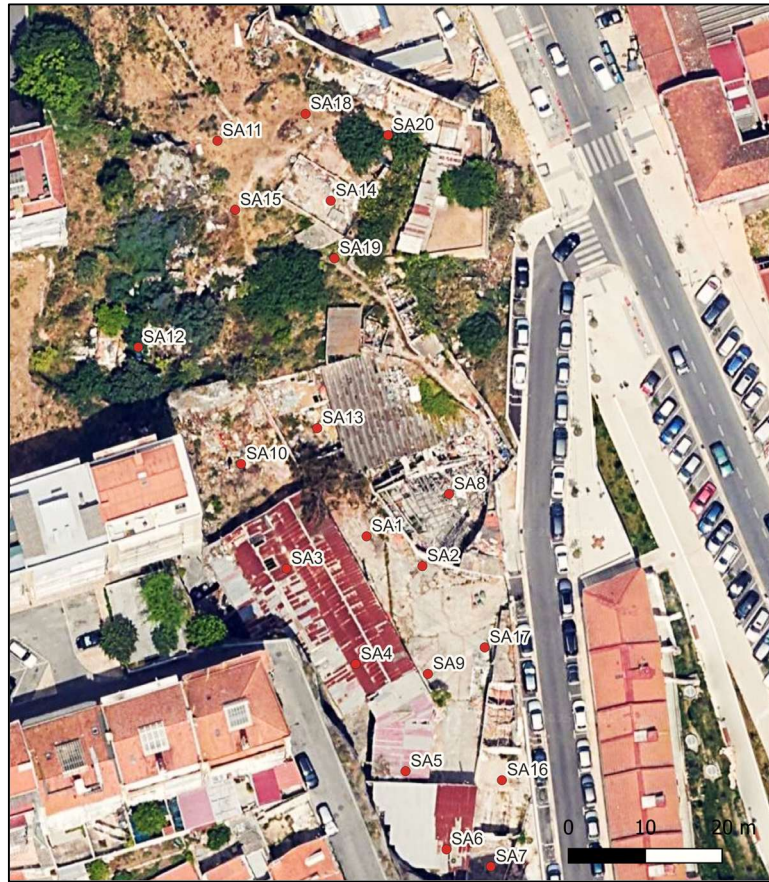


Figura 16 – Representação da camada vetorial correspondente ao ficheiro proj_loca.geojson (extraído de QGIS v3.34.11-Prizren).

A Figura 17 apresenta o fluxograma comparativo dos processos diferido/externo e autónomo.

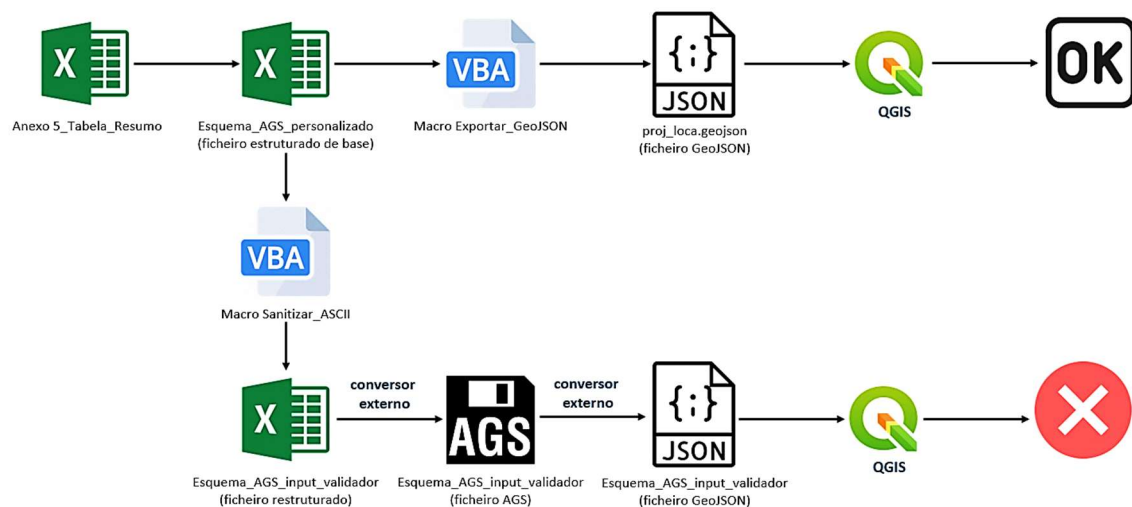


Figura 17 - Esquema de conversão de dados geoambientais em formato GeoJSON.

Conclui-se que a solução autónoma é compatível com o contexto português, produzindo ficheiros cartograficamente corretos. Por outro lado, a diferida falha na interpretação do sistema de referência (mesmo estando o campo LOCA_GREF corretamente preenchido).

No final, a primeira folha (nomeada Exportar) do ficheiro Ms. Excel de base (nomeado Esquema_AGS_personalizado) encontra-se constituída por três botões de comando: Exportar AGS, Sanitizar ASCII e Exportar GeoJSON. A Figura 18 mostra a referida folha, a qual funciona como *interface* de controlo do ficheiro.

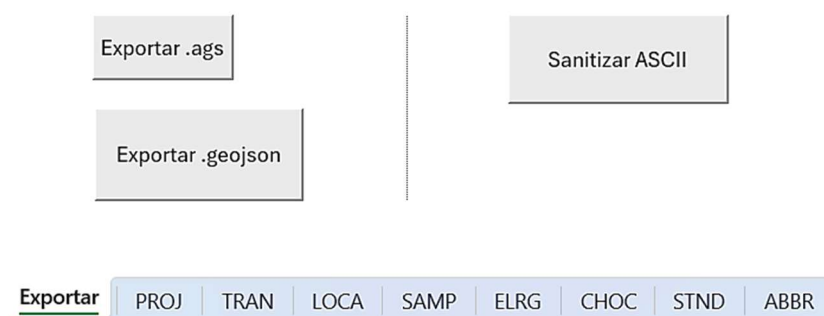


Figura 18 - *Interface* de comandos dos módulos de exportação e sanitização no ficheiro Ms. Excel de base.

4.7. Resultados gerais

4.7.1. Síntese de resultados

A presente dissertação teve como principal propósito a avaliação da viabilidade da digitalização e exportação estruturada de dados geoambientais no formato AGS (v4.1.1), aplicando-o a um caso de estudo em território nacional. O trabalho desenvolvido permitiu atingir de forma robusta os objetivos operacionais definidos, desde a análise da estrutura interna do AGS e da sua aplicabilidade ao domínio geoambiental português, até à demonstração empírica da sua implementação e validação formal.

O caso prático envolveu a realização de 20 sondagens ambientais, em que foram recolhidas 44 amostras contínuas, abrangendo um depósito de aterro argilo-arenoso sobre substrato calcário. Do ponto de vista laboratorial, 17 amostras excederam os valores de referência para uso em área urbana (VRQS-UA), e 12 excederam os valores para uso industrial (VRQS-UU). Apenas uma amostra (SA9_010_100) apresentou classificação como resíduo perigoso, por ativação da HP14 (Ecotóxico). A análise espacial foi conduzida com base em polígonos de Thiessen, tendo sido posteriormente efetuada a estimativa dos volumes de solo por multiplicação das áreas por espessuras representativas, e a conversão para massa segundo um fator de densidade de 1,8 t/m³. O cenário

de referência resultou em 4 230 m³ ($\approx$ 7 614 t) de solos não contaminados, 1 365 m³ ($\approx$ 2 457 t) de solos contaminados e 111 m³ ($\approx$ 200 t) de solo perigoso.

Em termos de digitalização, foi estruturado um ficheiro AGS contendo 12 grupos, dos quais se destacam (pela sua densidade informacional) LOCA, SAMP e ELRG. O número total de linhas contabilizadas foi 4 263, sendo que 3 960 delas dizem respeito aos registos do grupo ELRG (resultados analíticos ambientais). A complexidade e volume de dados inviabilizaram a codificação manual, justificando o desenvolvimento de um conjunto de macros em VBA: Exportar_AGS (responsável pela escrita estruturada do ficheiro AGS, integrando a função CleanASCII), Sanitarizar_ASCII (para remoção ou transliteração de caracteres não autorizados, no ficheiro de base), e Exportar_GeoJSON (que permite gerar ficheiros geoespaciais interoperáveis com aplicações GIS).

A exportação do ficheiro foi realizada com sucesso, tendo a versão final sido validada, sem erros estruturais, com recurso às ferramentas AGS File Validator (*desktop*) e BGS Schema and Data Validator (*online*). A compatibilidade GIS do ficheiro GeoJSON resultante foi confirmada através da sua importação direta para a plataforma QGIS. O sistema de *logging* desenvolvido contribui para a rastreabilidade do processo, permitindo monitorização de execuções, deteção de falhas e contabilização de registos.

A construção de um ficheiro AGS funcional e semanticamente completo exigiu a criação de cabeçalhos personalizados no grupo ELRG. Estes referem-se a: i) VRQS para usos distintos do solo, ii) valores-limite de admissibilidade, iii) resultados da comparação normativa, iv) codificação LER, v) admissibilidade em aterro, vi) operação de valorização aplicável, e vii) classificação da amostra. A solução adotada revela a capacidade de extensão controlada do formato, para acomodar requisitos específicos da prática geoambiental nacional.

De um ponto de vista global, os resultados permitem afirmar que a aplicação do formato AGS a dados geoambientais é viável, eficiente e normativamente compatível, apesar de ainda não se encontrar prevista nas recomendações técnicas portuguesas.

4.7.2. Limitações e desafios identificados

No seu estado atual, a estrutura proposta não transmite os volumes nem a localização das áreas de solo perigoso, contaminado e não contaminado. Também não fornece indicadores-síntese relativos aos resultados obtidos, tais como o número de amostras com valores não conformes para os diferentes usos do solo ou classificadas como perigosas. Adicionalmente, não é possível validar internamente o ficheiro AGS sem recurso a ferramentas externas, nem inverter o processo de

conversão para gerar ficheiros Ms. Excel estruturados a partir do código AGS. Para além disso, as ferramentas desenvolvidas funcionam nesta fase apenas como um *standalone* dedicado à gestão de dados geoambientais, não se encontrando ainda integradas na aplicação pré-existente ME-AGS GENERATOR (Costa Pinto, 2023; Costa Pinto et al., 2023).

O principal obstáculo encontrado no desenvolvimento da solução foi a quantidade e densidade dos resultados analíticos, que se traduzem numa elevada complexidade do grupo ELRG. Para tal contribuiu, também, a avultada exigência normativa e legal associada à área ambiental, em Portugal. Esta dificuldade consistiu no maior impulsionador para a criação de soluções automatizadas, com o objetivo de auxiliar a reestruturação dos dados de base e de os converter num ficheiro AGS.

Os problemas que surgiram na produção do código AGS encontravam-se associados à presença de: i) espaços invisíveis em células do Ms. Excel de base, ii) caracteres especiais ou acentuados, iii) campos obrigatórios em branco, e iv) duplicação inadvertida de linhas de dados. Estas contrariedades foram sendo solucionadas por validações sucessivas, em conjunto com a implementação de melhorias no *script* principal Exportar_AGS.

O facto de ainda não existirem recomendações técnicas e regulamentação oficial para o uso do formato AGS em Portugal, neste contexto, corresponde a uma limitação de natureza institucional. Tal pode vir a constituir um fator gerador de entropia, à medida que as empresas vão encetando os seus processos de digitalização. Na ausência de uma estrutura padronizada e de códigos únicos comuns para a transferência digital de dados geoambientais, poderão começar a surgir modelos distintos, exacerbando o problema de falta de operabilidade. Adicionalmente, a criação de uma estrutura completa de raiz sem a orientação dos órgãos reguladores apresenta-se, sem dúvida, como um desafio.

Reforça-se que o presente modelo foi aplicado apenas a jusante da geração da informação, não eliminando o uso de formatos não tabulares por parte da fonte (laboratório). Tal requer que esta seja transferida para um esquema relacional, antes da conversão em formato AGS. Adicionalmente, os ficheiros gerados não foram testados por entidades terceiras, que poderiam fornecer *inputs* importantes acerca da sua aplicabilidade.

Capítulo 5

Conclusões e Perspetivas Futuras

[página propositadamente em branco]

5. Conclusões e Perspetivas Futuras

5.1. Benefícios da solução desenvolvida

Habitualmente, os dados provenientes do laboratório responsável pelas análises são fornecidos nos formatos PDF e Ms. Excel. Esta dissertação corresponde a uma "prova de conceito", inserindo-se numa fase ainda embrionária de um processo mais abrangente de digitalização. Com efeito, a abordagem proposta é praticamente inédita no setor geoambiental português. Consequentemente, a aplicação do formato AGS não foi posta em prática na fonte (laboratório), mas sim por iniciativa da entidade recetora (e não produtora) desses mesmos dados.

Assim, a estrutura digital apresentada nesta dissertação foi criada com o objetivo de permitir a transferência de dados entre *softwares* e entidades, em etapas a jusante, preservando a sua integridade. Tal decorre da eliminação da necessidade de cópia e extração manual da informação para outros fins. É, ainda, facilitado o processo de armazenamento histórico de dados para referência futura. As funcionalidades desenvolvidas permitem recorrer a duas vias alternativas para gerar ficheiros AGS válidos: uma delas autossuficiente e circunscrita ao ambiente de trabalho do utilizador, e outra através das ferramentas gratuitas disponibilizadas pela AGS e pelo BGS.

A macro Exportar_AGS fornece controlo total sobre o processo de conversão. Por um lado, o *script* foi construído de acordo com o contexto específico do caso prático, utilizado como *proxy* de um estudo ambiental típico. Tal implica que foi adaptado ao contexto de operação do setor e às obrigações contratuais e legais que norteiam esta tipologia de projeto em Portugal. Por outro lado, constitui uma base que poderá ser alterada e melhorada ao longo de um eventual uso futuro, de forma a evoluir em conjunto com as necessidades da organização. Esta capacidade representa uma clara vantagem face às ferramentas externas que, embora gratuitas, não são manipuláveis pelo utilizador.

A Função CleanASCII é uma importante medida de contingência, facilitadora da conversão para o formato AGS. Tal decorre do facto de o idioma português diferir do inglês relativamente ao uso de caracteres acentuados ou especiais. Existe uma tendência natural dos utilizadores portugueses para recorrer a este tipo de elementos no preenchimento dos campos de base, sendo essa uma causa muito comum para a não conformidade do ficheiro AGS final. Esta função efetua uma verificação automática completa (com remoção ou substituição de caracteres não autorizados), o que não é o caso das ferramentas externas. Destaca-se, também, a Função Trim utilizada como suporte à Rotina de escrita, que elimina eventuais espaços desnecessários no início e no fim dos campos.

O módulo Sanitizar_ASCII foi criado especialmente para permitir o uso dos conversores externos, uma vez que estes não apresentam os mesmos mecanismos de *fallback* que a macro local de conversão. O seu papel é análogo ao da Função CleanASCII, mas modificando o próprio Ms. Excel de base, de modo a substituir ou remover na origem os caracteres não permitidos. Isto visa, mais uma vez, minimizar o impacto das diferenças entre a escrita em inglês e português, já que as ferramentas disponibilizadas se encontram vocacionadas para o contexto britânico.

A macro Exportar_GeoJSON foi desenvolvida em resposta às limitações encontradas no validador do BGS, que assume o sistema de referência dos pontos de sondagem como pertencendo à grelha nacional britânica. Tal devolve ficheiros JSON válidos, mas com georreferenciação incorreta. Pelo contrário, o *script* criado permite gerar automaticamente ficheiros GeoJSON funcionais no próprio ambiente de trabalho do utilizador. Esta funcionalidade apresenta potencialidades relevantes no que toca à integração dos fluxos de trabalho em *softwares* de GIS e à criação de bases de dados internas.

De uma perspetiva geral, o conjunto de macros centraliza os processos de conversão num único ficheiro Ms. Excel de base, apenas havendo necessidade de ferramentas externas para validar o ficheiro AGS. Contudo, o módulo Exportar_AGS poderá vir a ser estendido para acumular essas mesmas funções de validação. Garante-se, ainda, a correspondência inequívoca entre o conteúdo dos ficheiros gerados, uma vez que têm por base a mesma matriz.

Adicionalmente, o sistema de *logging*, incorporado nas macros Exportar_AGS e Sanitizar_ASCII, permite o registo de metadados relacionados com os processos de limpeza e conversão. Estes fornecem informação como: o momento da conversão (data/hora), o número de grupos e linhas, o caminho completo onde o ficheiro final foi armazenado, e a localização exata (folha e célula do ficheiro Ms. Excel de base) dos caracteres removidos ou substituídos. Para além de poderem ser personalizados em utilizações futuras, os referidos *logs* são mais informativos do que os devolvidos pelas ferramentas externas. Tal é especialmente pertinente no caso de Sanitizar_ASCII, uma vez

que o *output* do validador do BGS indica a linha do ficheiro AGS em que se encontra o caracter não permitido, mas não o grupo ou cabeçalho, o que dificulta bastante a sua correção.

Ao nível da estrutura, a introdução de cabeçalhos personalizados representa um passo em frente no nível de informação transmitida. Na sua ausência, apenas seriam incluídos os resultados analíticos, sem contexto interpretativo. Ou seja, saber-se-ia que contaminantes se encontram presentes nas amostras, ficando de fora as implicações relativamente ao estado de contaminação, perigosidade e destinos possíveis.

É importante notar que a solução implementada poderá ser facilmente utilizada noutros projetos, ressaltando-se os cabeçalhos personalizados ELRG_VR1/2/3 no que toca à tabela de VRQS usada e às condições assumidas relativamente às captações de água subterrânea. A estrutura encontra-se otimizada para uma situação genérica, em que é aplicável a Tabela E (APA, 2019c) e não existem captações ou perímetros de proteção na área de estudo. Para outros casos, devem ser substituídos os VRQS, bem como a sua descrição em DICT. Alternativamente, pode vir a expandir-se a estrutura, de modo que esta albergue a totalidade de combinações possíveis. O modelo poderá, também, ser empregado por outras entidades, uma vez que diz respeito a uma problemática abrangente no setor da construção, associada a constrangimentos legais. A presença das macros no ficheiro de base, materializadas em botões, permite que a conversão possa ser realizada por utilizadores casuais do Office, sem conhecimentos avançados de programação ou do formato AGS. Todo o processo é efetuado dentro do Ms. Excel, que corresponde a um ambiente familiar para a generalidade dos profissionais da área.

5.2. Sugestões de desenvolvimento

5.2.1. Sugestões genéricas

Para inclusão na estrutura dos polígonos/áreas de influência e dos volumes de solo (não contaminado, contaminado e perigoso) poder-se-á recorrer a grupos definidos pelo utilizador, bem como a ficheiros externos referenciados no grupo FILE. Propõe-se a criação de dois grupos personalizados distintos, um destinado à descrição de cada polígono e um segundo dedicado a uma síntese por classe/cenário (para facilitar consultas rápidas). No caso dos indicadores-síntese, propõe-se a inclusão de um grupo personalizado para efeitos de resumo do relatório ambiental, que poderá listar o número de amostras não conformes por tipo de uso de solo e perigosidade. Esta contagem poderá ser complementada com indicadores derivados, como os valores em percentagem. Assim, as informações relacionadas com áreas/volumes de solo encontrar-se-iam

relegadas aos grupos ZVOL (dados) e ZSMM (*summary*), enquanto as informações relacionadas com os resultados analíticos se encontrariam nos grupos ELRG (dados) e CSMM (*compliance summary*). Os nomes ZVOL, ZSMM e CSMM são meramente ilustrativos, tendo o objetivo de sugerir a função hipotética de cada grupo.

A validação integrada poderá ser conseguida através da invocação da biblioteca oficial python-AGS4 num *wrapper* VBA, de forma a executar exatamente o mesmo motor que alimenta o AGS File Validator e o BGS Schema and Data Validator. Essa possibilidade resulta do facto de a referida biblioteca se encontrar publicada sob uma *Lesser General Public License* (LGPL-3.0-or-later), que permite a execução local. A alternativa seria implementar nativamente as regras sintáticas e estruturais críticas, o que tornaria a solução completamente independente, mas mais trabalhosa, incompleta e propensa a divergências.

A conversão do código AGS num ficheiro Ms. Excel estruturado pode ser concretizada através do desenvolvimento de um *script* em *python*, que ofereça controlo total sobre o processo. Para maximizar a acessibilidade da ferramenta, este poderá ser empacotado como um executável, que possibilite a utilização em qualquer máquina com Windows (sem necessidade de instalações prévias, ou dependências adicionais).

5.1.1. Integração na aplicação ME-AGS GENERATOR

O ME-AGS GENERATOR segue uma abordagem “*template-driven*”, em que: i) o utilizador inicia a aplicação e carrega três ficheiros de texto (Grupos_Obrigatórios, Grupos_Opcionais, Unidades); ii) são criadas, num livro limpo, as folhas-modelo com cabeçalhos em português; iii) os dados são introduzidos neste segundo livro; iv) quando terminado, o botão Exportar Ficheiro AGS lê as folhas abertas, escreve o ficheiro AGS e apaga as folhas de trabalho (Costa Pinto, 2023).

Para integrar a estrutura geoambiental no ME-AGS GENERATOR, poderão ser acrescentadas ao ficheiro de texto Grupos_Opcionais as entradas relativas ao grupo ELRG (atualmente ausente da aplicação), especificando o número de colunas obrigatórias e facultativas, e assinalando os campos-chave com asterisco. Em paralelo, o ficheiro Unidades deverá receber todas as unidades e formatos associados aos novos cabeçalhos. Desta forma, o gerador de *templates* passará a disponibilizar o ELRG ao utilizador, no momento da seleção de grupos desejados. Sugere-se, também, a verificação da existência de uma correspondência plena entre os cabeçalhos utilizados nos restantes grupos e a estrutura pré-existente no ME-AGS GENERATOR, bem como a criação de uma descrição de cada cabeçalho em português (a fim de manter a coerência com o modelo da aplicação).

Se os eventuais grupos e cabeçalhos em falta forem adequadamente adicionados às listas Grupos_Obrigatórios e Grupos_Opcionais, é expectável que o botão Exportar Ficheiro AGS da aplicação passe a percorrer também essas folhas/campos. No entanto, uma vez que os dados geoambientais se encontram associados a matrizes extensas, poderá ser necessário verificar se a respetiva macro mantém um desempenho aceitável. Os módulos Sanitizar_ASCII e Exportar_GeoJSON poderão ser adicionados ao projeto VBA da aplicação (com os respetivos botões localizados na folha "Início"), passando a ser executados sobre o livro de dados gerado pelo botão "Criar Template".

5.3. Considerações finais

O presente estudo demonstra a adequabilidade do formato AGS para a gestão de dados geoambientais em Portugal, mediante a inclusão de cabeçalhos personalizados. No seu âmbito, foram desenvolvidas três macros autónomas (Exportar_AGS, Sanitizar_ASCII, Exportar_GeoJSON), que resolvem problemas típicos relacionados com a qualidade dos dados. A viabilidade da solução foi confirmada pela exportação automática, validação em ferramentas oficiais e geração correta de ficheiros GeoJSON, permitindo uma cadeia digital completa sem erros significativos.

Este trabalho constitui a primeira aplicação documentada do formato AGS na área geoambiental nacional, oferecendo um referencial técnico importante para futuras iniciativas. Contudo, sendo um estudo de caso único, carece de validação externa e testes adicionais.

Para a plena implementação de modelos digitais padronizados no país, será necessária uma cooperação institucional abrangente entre academia, laboratórios, empresas e organismos institucionais. A integração destes formatos em normas técnicas oficiais, ou legislação, seria crucial para garantir a sua uniformidade e eficiência.

A adoção de modelos digitais permitirá que o setor geoambiental português acompanhe tendências emergentes da Construção 4.0, BIM e GIS, contribuindo simultaneamente para o seu alinhamento com as melhores práticas globais. Além disso, a padronização digital poderá promover eficiência administrativa, através da redução de possíveis conflitos de interpretação técnica e jurídica. O estabelecimento de critérios uniformes e automaticamente verificáveis minimiza o risco de arbitrariedade, fomentando dinâmicas mais cooperativas entre entidades reguladoras e reguladas. Neste sentido, a digitalização e a normalização técnica podem ser entendidas como instrumentos ao serviço de uma gestão ambiental e territorial mais eficiente, transparente e orientada para o interesse público.

[página propositadamente em branco]

6. Referências

Publicações científicas e técnicas

AGS(HK) – Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (Hong Kong) (2003). AGS(HK) Newsletter, Issue 1, September 2003.

Alkhatib N., Chadad R. (2024). Standardising av geodata för geoteknisk information i byggbranschen. Malmö Universitet. (Dissertação de Mestrado).

Brock Júnior J., Oliveira E.P., Vargas R.R. (2024). Development of a logical model for geotechnical databases. Soils and Rocks, 48(1): e2025003024. <https://doi.org/10.28927/SR.2025.003024>

Brozovsky J., Labonnote N., Vigren O. (2024). Digital technologies in architecture, engineering, and construction. Automation in Construction, 158: 105212. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105212>

Chadwick N., Farmer D., Chamfray J., Miles S. (2019). Extension of the AGS format to incorporate ground model and interpreted data. In: Gomes Correia A. (Ed.), Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG), Guimarães, Portugal. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham, 227–242. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_20

Chaminé H.I., Fernandes I. (2023). The role of engineering geology mapping and GIS-based tools in geotechnical practice. In: Chastre C., Neves J., Ribeiro D., Neves M.G., Faria P. (eds), Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, p. 3–27. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05875-2_1

Chandler R.J., Quinn P.M., Beaumont A.J., Evans D.J., Toll D.G. (2006). Combining the power of AGS and XML: AGSML the data format for the future. In: GeoCongress 2006 – Geotechnical Engineering in the Information Technology Age. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA. [https://doi.org/10.1061/40803\(187\)112](https://doi.org/10.1061/40803(187)112)

Coimbra A.S. (2024). As novas contraordenações no Regime Geral da Gestão de Resíduos e no Regime Unificado de Fluxos Específicos – as alterações promovidas pelo DL n.º 24/2024, de 26/3. Scientia Iuridica, LXXIII(365): 135–157.

Costa J.S. (2023). Avaliação da contaminação dos solos de um lote de terreno em meio urbano para uso comercial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa. (Dissertação de Mestrado).

Costa Pinto L. (2023). Uma abordagem de programação eficiente para a geração automatizada de ficheiros AGS4 em casos práticos geotécnicos. Instituto Superior de Engenharia do Porto. (Dissertação de Mestrado). URL: <http://hdl.handle.net/10400.22/23825>

Costa Pinto L., Moreira S., Cruz J., Branco J., Cruz B., Chaminé H.I. (2023). ME-AGS GENERATOR: aplicativo para a geração automatizada de ficheiros AGS4 em geotecnia. In: Mota D., Silva E., Santos J.F., Marinho J., Cardoso M., Morgado N., Carvalho P., Moreira S. (eds), Simpósio de Engenharia Informática 2023: Proceedings Book, Instituto Superior de Engenharia do Porto, P.Porto, Porto, pp. 76-85.

Cruz B. (2022). Uniformização de dados digitais – “Digital Format Data”: vantagens e aplicação na prática geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. (Dissertação de Mestrado). URL: <http://hdl.handle.net/10400.22/21336>

Cruz B., Cruz J., Branco J., Chaminé H.I. (2023). Digitalização, uniformização e transferência de dados geotécnicos: uma realidade incontornável. In: Duarte I., Marcelino J., Pinho A., Faria P., Lopes L., Pereira P. (eds.), *Proceedings 18º Congresso Nacional de Geotecnia (18CNG)*, Universidade de Évora & Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Évora.

Cruz B., Cruz J., Branco J., Costa Pinto L., Pinho N., Freitas L., Chaminé H.I. (in press). Geotechnical data from ground investigations: Insights towards a digital geotechnics. In: A. Gomes Correia, E. Fortunato, J. Neves, A. Pinto (eds.), *Transportation Geotechnics for Green, Digital, and Modern Infrastructures*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. (in press).

Daktera T., Janodet L. (2024). Why geotechnical engineering isn't ready yet for machine learning? In: *Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024 – Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society*. Taylor & Francis Group, London, 1539–1542. <https://doi.org/10.1201/9781003431749-284>

Daly T., Carluccio S., Bhandari D., Patterson D. (2020). Use of geotechnical asset data within Highways England: the journey so far and the future. In: Gomes Correia A. (Ed.), *Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG)*, Guimarães, Portugal. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham, 797–812. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_68

Diniz N.C. (2002). Cenários de geoindicadores por meio de avaliação ambiental em SIG e base de dados geoambientais. In: Villas Bôas R., Beinhoff C. (Eds.), *Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral*. CNPq / CYTED, Rio de Janeiro, 63–78.

Divya Vani V., Helena Raj V., Dutt A., Raveendranath R., Tyagi L.K., Almusawi M., Yadav D.K. (2024). Digging deeper: the role of big data analytics in geotechnical investigations. In: *ICSMEE'24 – International Conference on Sustainable Materials, Energy and Environment*, Online. EDP Sciences, 529: 04012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452904012>

Du S., Hou L., Zhang G., Tan Y., Mao P. (2024). BIM and IFC data readiness for AI integration in the construction industry: a review approach. *Buildings*, 14(10): 3305. <https://doi.org/10.3390/buildings14103305>

Fatehnia M., Deaton S. (2023). A geotechnical data archive isn't geotechnical data: geotechnical data visualization and data mining. *Geostrata*, pp. 45–49.

Fernandes I., Chaminé H.I. (2023). In situ geotechnical investigations. In: Chastre C., Neves J., Ribeiro D., Neves M.G., Faria P. (eds), *Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering*. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, p. 29–54. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05875-2_2

Gomes C.A., Lanceiro R.T. (Coords.) (2020). Solos contaminados, riscos invisíveis: actas do colóquio realizado no ICJP em 27 de novembro de 2019. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas / Centro de Investigação de Direito Público, Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa. Lisboa.

Gradillas M., Thomas L.D.W. (2025). Distinguishing digitization and digitalization: A systematic review and conceptual framework. *Journal of Product Innovation Management*, 42(1): 112–143. <https://doi.org/10.1111/jpim.12690>

Halfon I., Beaufils M. (2024). Towards an open geotechnical data platform in France. In: *Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024 – Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society*. Taylor & Francis Group, London, 3497–3502. <https://doi.org/10.1201/9781003431749-691>

Kasprzyk J.P., Nys G.A., Billen R. (2024). Towards a multi-database CityGML environment adapted to big geodata issues of urban digital twins. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Smart Data and Smart Cities (SDSC)*, Athens, Greece. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-4/W10-2024: 101–106. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W10-2024-101-2024>

Kokkala A., Marinos V. (2022). Engineering geological and geotechnical big data management for planning and protecting smart cities: the pilot case of the city of Thessaloniki. In: *16th International Congress of the Geological Society of Greece – GSG 2022*, Patras, 17–19 October. Bulletin of the Geological Society of Greece, Special Publication No. 10, Ext. Abs. GSG2022-121, pp. 797–812.

- Măgureanu A., Sata L. (2024). Digital transformation in geotechnical engineering. In: Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024 – Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society. Taylor & Francis Group, London, 3507–3510. <https://doi.org/10.1201/9781003431749-693>
- Marinos V., Prountzopoulos G., Fortsakis P., Koumoutsakos D. (2013). Tunnel Information and Analysis System: a geotechnical database for tunnels. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(3): 1011–1026. <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9570-x>
- Mauliza Y., Achmady S., Nurfebruary N.S. (2024). Sistem informasi geografis pemetaan tambak garam menggunakan GeoJSON dengan framework CodeIgniter berbasis web. In: Seminar Nasional Sagita Akademia Maju 2024 – Pengembangan Sumber Daya Manusia di Era Digital, Sagita Akademia, Indonésia, 43–54. <https://ejournal.sagita.or.id/index.php/prosidingsagita>
- Moitinho de Almeida I., Almeida G., Lopes I., Pinto C. (2008). Subsurface 3D engineering geological mapping using a geotechnical database. In: Huang A.-B., Mayne P.W. (Eds), *Proceedings 3rd International Conference on Site Characterization*, Taipei, Taiwan, CRC Press, pp. 789-792.
- Moitinho de Almeida I., Lopes I., Marques F., Almeida G., Pinto C. (2014). Normalização da terminologia e simbologia na prospeção geotécnica. In: Cavaleiro V. et al. (eds.), *Atas do 14.º Congresso Nacional de Geotecnia*. Sociedade Portuguesa de Geotecnia & Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal.
- Moitinho de Almeida I., Pinto C., Rita, M.; Taborda R. Jeremias, F.T. (2010). Utilização do sistema de informação geocientífico GEOSIS_LX na gestão dos dados geotécnicos de Lisboa. In: *Proceedings 12º Congresso Nacional de Geotecnia*, Sociedade Portuguesa de Geotecnia & U.Minho, Guimarães. pp. 47-56.
- Nývlt V., Kubečka K. (2023). Challenges and opportunities of digitization in the construction industry. In: *Proceedings of the 10th SWS International Scientific Conference on Social Sciences (ISCSS 2023)*, Sofia, Bulgária. <https://doi.org/10.35603/sws.iscss.2023/s13.51>
- Obergrießer M., Ji Y., Baumgärtel T., Euringer T., Borrmann A., Rank E. (2009). GroundXML: an addition of alignment and subsoil specific cross-sectional data to the LandXML scheme. *Bautechnik – Special Issue: Forum Bauinformatik*, Technische Universität München.
- Okonta E.D., Vukovic V., Hayat E. (2024). Prospective directions in the Computer Systems Industry Foundation Classes (IFC) for shaping data exchange in the sustainability and resilience of cities. *Electronics*, 13(12): 2297. <https://doi.org/10.3390/electronics13122297>
- Pan X., Chu J., Aung Z., Chiam K. (2019). 3D geological modelling: a case study for Singapore. In: Gomes Correia A. (Ed.), *Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG)*, Guimarães, Portugal. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham, 161–167. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_14
- Pinho N. (2024). Digitalização em Geotecnia: da execução em campo à infraestrutura digital de dados (AGS + SIG). Instituto Superior de Engenharia do Porto. (Dissertação de Mestrado). URI: <http://hdl.handle.net/10400.22/26321>
- Sändig S. (2024). Repräsentation von Baugrundaufschlüssen in 3D-Geoinformationssystemen am Beispiel der Deutschen Bahn. Technische Universität München. (Projeto de Fim de Curso para obtenção do grau de Licenciado).
- Satyanaga A., Avention G.D., Makenova Y., Zhakiyeva A., Kamaliyeva Z., Moon S.-W., Kim J. (2023). Building Information Modelling for application in geotechnical engineering. *Infrastructures*, 8(6): 103. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8060103>
- Telukdarie A., Dube T., Matjuta P., Philbin S. (2023). The opportunities and challenges of digitalization for SMEs. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, Procedia Computer Science, 217: 689–698. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.265>
- Thorin S.A., Och D.J., Rannard T.M. (2017). Value of historical ground data for large infrastructure projects. In: *Proceedings of the 16th Australasian Tunnelling Conference*, Australasian Tunnelling Society, Sydney, Austrália, 30 outubro – 1 novembro 2017, pp. 1–10.
- Toll D.G. (2008). International data exchange: the future for geo-engineering. In: *Proceedings of the 12th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, Goa, India, 1958–1965.

Vrana J., Singh R. (2021). Digitization, digitalization, and digital transformation. In: Meyendorf N., Ida N., Singh R. (Eds.), *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Springer Nature Switzerland AG, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48200-8_39-1

Wang Y., Tian H.-M. (2024). Digital geotechnics: from data-driven site characterisation towards digital transformation and intelligence in geotechnical engineering. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 18(1): 8–32. <https://doi.org/10.1080/17499518.2023.2278136>

Yang H.-Q., Chu J., Wu S., Zhu X., Qi X., Chiam K. (2024). Advancing geological modelling and geodata management: a web-based system with AI assessment in Singapore. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 18(2): 123–139. <https://doi.org/10.1080/17499518.2024.2359954>

Zhang Q., Ma Z., Li X., Wang X. (2019). Data standardization of geological information for rock tunnel engineering. In: Gomes Correia A. (Ed.), *Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG)*, Guimarães, Portugal. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham, 210–226. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_19

Normas ou regulamentos

CEN – European Committee for Standardization (2007). EN 1997-2: Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. CEN – European Committee for Standardization, Brussels.

IPQ – Instituto Português da Qualidade (2010). NP EN 1997-1:2010 – Eurocódigo 7: Projecto geotécnico – Parte 1: Regras gerais. IPQ – Instituto Português da Qualidade, Caparica.

Município de Loures (2015). Regulamento do Plano Diretor Municipal de Loures. Câmara Municipal de Loures, Loures. Disponível em: <https://www.cm-loures.pt/media/pdf/pdf20180208115714224.pdf>.

República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro. Diário da República n.º 291/1999, Série I-A. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/555-1999-655682>.

República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro. Diário da República n.º 238/2020, 1.º Suplemento, Série I. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012>.

República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro. Diário da República n.º 30/2023, Série I. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/11-2023-207272800>.

República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 24/2024, de 26 de março. Diário da República n.º 61/2024, Série I. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/24-2024-857366010>.

Relatórios técnicos e/ou técnico-científicos

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2017). Medidas / Recomendações a Adotar em Matéria de Licenciamento, Acompanhamento da Execução, Fiscalização e Inspeção de Operações Urbanísticas – Vertentes Avaliação e Remediação do Solo. Revisão 4 – julho de 2021. APA, Lisboa.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2019a). Solos contaminados – Guia técnico: análise de risco e critérios de aceitabilidade do risco. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2019b). Solos contaminados – Guia técnico: plano de amostragem e plano de monitorização do solo. Revisão 2 – janeiro de 2022. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2019c). Solos contaminados – Guia técnico: valores de referência para o solo. Revisão 3 – setembro de 2022. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2020a). Guia de Classificação de Resíduos. Versão 2.0 – janeiro de 2020. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2020b). Solos contaminados – Guia técnico: Matrizes de referência para apresentação dos resultados analíticos. Revisão 1 – julho de 2021. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2021a). Nota Técnica – Classificação de solos e rochas como subproduto. Versão 1.0, 1 de julho de 2021. APA, Lisboa.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2021b). Nota Técnica – Operações de enchimento de vazios de escavação. Versão 2.0, 1 de dezembro de 2021. APA, Lisboa.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2022). Solos contaminados – Guia técnico: metodologia para determinação de valores de fundo natural do solo. APA, Amadora.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2024a). Relatório do Estado do Ambiente 2024 (REA 2024). APA, Lisboa.

Associação Portuguesa de Empresas de Tecnologias Ambientais (APEMETA). (2022). Guia de Apoio à avaliação da sustentabilidade dos compartimentos ambientais nas operações urbanísticas em brownfields. APEMETA, Lisboa.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (1999). Electronic Transfer of Geotechnical Data – 3rd Edition. AGS, Reino Unido. ISBN: 0-9519271-8-3.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (2004). Electronic Transfer of Geotechnical Data – Edition 3.1 (including addendum April 2005). AGS, Reino Unido. ISBN: 0-9539846-2-1.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (2011). Electronic Transfer of Geotechnical Data – AGS4. AGS, Reino Unido. ISBN: 978-0-9539846-4-0.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (2017). Electronic Transfer of Geotechnical Data – AGS4 (Edition 4.0.4). AGS, Reino Unido. ISBN: 978-0-9957482-0-0.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (2020). Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data – AGS4 (Edition 4.1). AGS, Reino Unido. ISBN: 978-0-9957482-1-7.

Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS). (2022). Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data – AGS4 (Edition 4.1.1). AGS, Reino Unido. ISBN: 978-0-9957482-2-4.

Association of Geotechnical Specialists (AGS). (1992). Electronic Transfer of Geotechnical Data – 1st Edition. AGS, Reino Unido. ISBN: 0-9519271-0-8.

Association of Geotechnical Specialists (AGS). (1994). Electronic Transfer of Geotechnical Data – 2nd Edition. AGS, Reino Unido. ISBN: 0-9519271-5-9.

Building and Construction Authority (BCA). (2013). Guidelines for Electronic Transfer of Site Investigation Data. Edition 2.0 (including addendum September 2021). Building and Construction Authority, Singapore.

Chandler R., Spink T., Black M. (2002). The AGS-M Format for the electronic transfer of monitoring data. CIRIA Project Report 82. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London, United Kingdom.

Comissão Nacional do Território (CNT). (2020). PDM GO – Boas Práticas para os Planos Diretores Municipais. Direção-Geral do Território, Lisboa.

EDZ & Mota-Engil. (2025). Estudo da Qualidade dos Solos – Rua do Mirador (Proc. 17040.579). Versão final – março de 2025. EDZ & Mota-Engil, Lisboa.

Eurostat. (2016). Methodology for data validation – Version 1.0. European Commission, Luxembourg.

IAEG – International Association for Engineering Geology and the Environment (2022). Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. Commission 25 – Publication No. 1. IAEG, Madrid.

New Zealand Geotechnical Society (NZGS). (2012). Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data – AGS4 NZ v1.0. NZGS, Nova Zelândia.

New Zealand Geotechnical Society (NZGS). (2017). Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data – AGS4 NZ v1.0.1. NZGS, Nova Zelândia.

Wang H., Wang X., Liang R. (2020). Study of AI-Based Methods for Characterization of Geotechnical Site Investigation Data. Final Technical Report. University of Dayton, Ohio Department of Transportation – Office of Statewide Planning & Research, SJN 135785. Prepared in cooperation with the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Sites da internet

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2024b). Incineração e Coincineração de Resíduos. In: <https://apambiente.pt/en/node/854> (consultado em 9 de maio de 2025).

AGS – Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (2021). New AGS Validator launched by AGS. In: <https://www.ags.org.uk/2021/09/new-ags-validator-launched-by-ags/> (consultado em 28 de maio de 2025).

AGS – Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (2025). AGS Validator – Validate AGS4 files. In: <https://www.ags.org.uk/data-format/ags-validator/> (consultado em 28 de maio de 2025).

AGS Data Format Working Group (2024a). AGS Python Library – Releases. In: <https://gitlab.com/ags-data-format-wg/ags-python-library/-/releases> (consultado em 28 de maio de 2025).

AGS Data Format Working Group (2024b). AGS4 Validator Desktop App – Releases. In: <https://gitlab.com/ags-data-format-wg/ags4-validator-desktop-app/-/releases> (consultado em 28 de maio de 2025).

AGS(HK) – Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (Hong Kong) (2024). Who We Are – About AGS(HK). In: <https://www.ags-hk.org/about> (consultado em 20 de março de 2025).

Atkins (2021). Automated AGS Screening Tool. In: <https://www.brownfield-awards.environment-analyst.com/atkins2> (consultado em 17 de março de 2025).

Australian Geomechanics Society (2022). AGS 4.1.1 AU – Version 1.2. In: <https://australiangeomechanics.org/ags-4-1-au/> (consultado em 20 de março de 2025).

BGS – British Geological Survey (2025). AGS API – Online AGS4 Validation Endpoint. In: <https://agsapi.bgs.ac.uk/> (consultado em 28 de maio de 2025).

CAS – Chemical Abstracts Service (2025). CAS Common Chemistry – Acesso Aberto a Substâncias Químicas. In: <https://commonchemistry.cas.org/> (consultado em 23 de maio de 2025).

Datgel (s.d.). Procedure for Checking AGS Format Data – Check 1: Compliance with AGS Format Rules. In: <https://docs.datgel.com/dgd-tool/latest/professional/procedure-for-checking-ags-format-data/check-1-compliance-with-ags-format-rules> (consultado em 28 de maio de 2025).

DevGuru (2018). ADO Stream SaveToFile Method. In: <https://www.devguru.com/content/technologies/ado/stream-savetofile.html> (consultado em 27 de maio de 2025).

Digital Geotechnical (2024a). AGS Data – The Perils of the Extended ASCII Character Set. In: <https://digitalgeotechnical.com/2024/06/ags-data-the-perils-of-the-extended-ascii-character-set/> (consultado em 28 de maio de 2025).

Digital Geotechnical (2024b). Automated pile design workflow using AGSi and AGS Piling data. In: <https://digitalgeotechnical.com/2024/06/automated-pile-design-workflow-using-agsi-and-ags-piling-data/> (consultado em 27 de março de 2025).

Digital Geotechnical (2025). DG-AGS Validator – Online AGS4 Validation Tool. In: <https://dg-ags-validator.ew.r.appspot.com/> (consultado em 28 de maio de 2025).

Ground Engineering (2023). Sharing ground models with a new data transfer format. In: <https://www.geplus.co.uk/features/sharing-ground-models-with-a-new-data-transfer-format-26-07-2023/> (consultado em 10 de abril de 2025).

Microsoft Corporation (s.d.). Documentação oficial do VBA (Visual Basic for Applications). In: <https://learn.microsoft.com/pt-pt/office/vba/> (consultado em 27 de maio de 2025).

Microsoft (2025). Macro to loop through all worksheets in a workbook. In: <https://support.microsoft.com/en-us/topic/macro-to-loop-through-all-worksheets-in-a-workbook-feef14e3-97cf-00e2-538b-5da40186e2b0> (consultado em 27 de maio de 2025).

PubChem – National Center for Biotechnology Information (2025). Base de Dados de Informação Química. In: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (consultado em 23 de maio de 2025).

Sigma-Aldrich (2025). Catálogo de Produtos e Soluções Laboratoriais. In: <https://www.sigmaaldrich.com/PT/en> (consultado em 23 de maio de 2025).

Stack Overflow (2013). Writing to a .txt file. In: <https://stackoverflow.com/questions/14922578/writing-to-a-txt-file> (consultado em 27 de maio de 2025).

Anexos

[página propositadamente em branco]

Anexos

Anexo I – Lista completa de regras do formato AGS (v4.1.1)

Referência da Regra	Descrição da Regra
Regra 1	O ficheiro de dados deve ser inteiramente composto por caracteres ASCII.
Regra 2	Cada ficheiro de dados deve conter um ou mais GRUPOS de dados. Cada GRUPO de dados deve incluir um certo número de linhas de CABEÇALHO do GRUPO e deve ter uma ou mais linhas de DADOS.
Regra 2a	Cada registo está numa linha separada, delimitada por uma nova linha constituída por um <i>carriage return</i> (caracter ASCII 13) e um <i>line feed</i> (caracter ASCII 10).
Regra 2b	As linhas de topo do GROUP (HEADER) definem completamente os dados apresentados nas linhas DATA para esse grupo (Regra 8). No mínimo, as linhas do HEADER DO GRUPO incluem as linhas GRUPO, CABEÇALHO, UNIDADE e TIPO, apresentadas por esta ordem.
Regra 3	Cada linha do ficheiro de dados deve começar com um descritor de dados que define o conteúdo dessa linha. Os seguintes descritores de dados são utilizados conforme descrito abaixo: Cada linha GROUP/GRUPO deve ser precedida pelo descritor de dados "GROUP". Cada linha HEADING/CABEÇALHO deve ser precedida pelo descritor de dados "HEADING". Cada linha UNIT/UNIDADE será precedida pelo descritor de dados "UNIT". Cada linha TYPE/TIPO DE DADOS deve ser precedida pelo descritor de dados "TYPE". Cada linha DATA/DADOS deve ser precedida pelo descritor de dados "DATA".
Regra 4	Dentro de cada GRUPO, os itens de DADOS estão contidos em CAMPOS de dados. Cada CAMPO de dados contém uma única VARIÁVEL de dados em cada linha. Cada linha DATA/DADOS de um ficheiro de dados conterá um ou mais CAMPOS de dados. A linha GRUPO contém apenas um item de DADOS, o nome do GRUPO, para além do Descritor de Dados (Regra 3). Todas as outras linhas do GRUPO têm um número de itens de DADOS definido pela linha CABEÇALHO.
Regra 5	Os DESCRITORES DE DADOS, os nomes dos GRUPOS, os CABEÇALHOS dos campos de dados, as UNIDADES dos campos de dados, os TIPOS dos campos de dados e as VARIÁVEIS dos dados devem ser colocados entre aspas duplas ("..."). Quaisquer aspas dentro de um item de dados devem ser definidas com uma segunda aspa, por exemplo: "ele disse "olá"".
Regra 6	Os DESCRITORES DE DADOS, os nomes dos GRUPOS, os CABEÇALHOS dos campos de dados, as UNIDADES dos campos de dados, os TIPOS dos campos de dados e as VARIÁVEIS de dados em cada linha do ficheiro de dados devem ser separados por uma vírgula (.). Não são permitidos <i>carriage returns</i> (caracter ASCII 13) ou <i>line feeds</i> (caracter ASCII 10) dentro ou entre VARIÁVEIS de dados numa linha de DATA/DADOS.
Regra 7	A ordem dos CAMPOS de dados em cada linha dentro de um GRUPO é definida no início de cada GRUPO na linha CABEÇALHO. Os CABEÇALHOS devem seguir a ordem descrita no DICIONÁRIO DE DADOS DE FORMATO AGS.
Regra 8	As VARIÁVEIS de dados devem ser apresentadas nas unidades de medida e no tipo descritos pelo campo de dados adequado UNIT e pelo campo de dados TYPE definidos no início do GRUPO nas linhas do HEADER DO GRUPO.
Regra 9	Os nomes dos dados de CABEÇALHO e GRUPO devem ser retirados do DICIONÁRIO DE DADOS DE FORMATO AGS. Nos casos em que não exista uma entrada adequada, poderá ser utilizado um GRUPO e/ou CABEÇALHO definidos pelo utilizador, de acordo com a Regra 18. Quaisquer CABEÇALHOS definidos pelo utilizador devem ser incluídos no final da linha de CABEÇALHOS, após os CABEÇALHOS normalizados, pela ordem definida no grupo DICT (ver Regra 18a).

Regra 10	Os HEADINGS/CABEÇALHOS são definidos como KEY, REQUIRED ou OTHER. Os campos KEY (campos-chave) são necessários para definir os dados de forma única. Os campos REQUIRED (obrigatórios) são necessários para permitir a interpretação do ficheiro de dados. Os campos OTHER/OUTROS são incluídos em função do âmbito do ficheiro de dados e da disponibilidade dos dados a incluir.
Regra 10a	Em cada GRUPO, determinados CABEÇALHOS são definidos como KEY/CHAVE. Não deve haver mais do que uma linha de dados em cada GRUPO com a mesma combinação de entradas de campo CHAVE. Os campos CHAVE têm de aparecer em cada GRUPO, mas podem conter dados nulos (ver regra 12).
Regra 10b	Alguns CABEÇALHOS estão marcados como REQUIRED/OBRIGATÓRIOS. Os campos OBRIGATÓRIOS têm de aparecer nos GRUPOS de dados onde estão indicados no DICIONÁRIO DE DADOS DO FORMATO AGS. Estes campos requerem a introdução de dados e não podem ser nulos (ou seja, deixados em branco ou vazios).
Regra 10c	As ligações entre as linhas de dados nos GRUPOS são efectuadas através dos campos CHAVE. Cada entrada efectuada nos campos CHAVE em qualquer GRUPO deve ter uma entrada equivalente no seu GRUPO PAI. O GRUPO PAI deve ser incluído no ficheiro de dados.
Regra 11	Os CABEÇALHOS definidos como um TIPO de dados de "Ligação de registo" (Record Link - RL) podem ser utilizados para ligar linhas de dados a entradas em GRUPOS fora da hierarquia definida (Regra 10c) ou grupo DICT para GRUPOS definidos pelo utilizador. Devem incluir: O nome do GRUPO seguido dos CAMPOS-CHAVE que definem a linha de dados cruzados, pela ordem apresentada no DICIONÁRIO DE DADOS AGS4.
Regra 11a	Cada GRUPO/CAMPO-CHAVE deve ser separado por um carácter delimitador. Este carácter delimitador único deve ser definido em TRAN_DLIM. O carácter por defeito é " " (carácter ASCII 124).
Regra 11b	Um campo de dados do TIPO "Ligação de registo" (RL) pode referir-se a mais do que uma combinação de GRUPO e CAMPO-CHAVE. A combinação deve ser separada por um carácter de concatenação definido. Este carácter único de concatenação será definido em TRAN_RCON. O carácter por defeito é "+" (carácter ASCII 43).
Regra 11c	Qualquer campo de dados do TIPO "Ligação de registo" (RL) incluído num ficheiro de dados deve fazer referência cruzada aos CAMPOS-CHAVE das linhas de dados do GRUPO a que se refere o conteúdo do campo.
Regra 12	Os dados não têm de ser incluídos em todas as HEADINGS, exceto se forem OBRIGATÓRIOS (regra 10b). O CAMPO de dados pode ser nulo; uma entrada nula é definida como "" (duas aspas juntas).
Regra 13	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO PROJ, que deve conter apenas uma linha de dados e, no mínimo, deve conter dados relativos às rubricas definidas como OBRIGATÓRIAS (Regra 10b).
Regra 14	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO TRAN, que deve conter apenas uma linha de dados e, no mínimo, deve conter dados nos CABEÇALHOS definidos como REQUIRED/OBRIGATÓRIO (Regra 10b).
Regra 15	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO UNIDADE para listar todas as unidades utilizadas no ficheiro de dados. Todas as unidades de medida introduzidas na linha UNIDADE de um GRUPO ou os dados introduzidos num CAMPO em que o TIPO de campo é definido como "PU" (por exemplo, CAMPOS ELRG_RUNI, GCHM_UNIT ou MOND_UNIT) devem ser enumerados e definidos no GRUPO UNIDADE.
Regra 16	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO ABBR quando tiverem sido incluídas abreviaturas/códigos no ficheiro de dados. As abreviaturas/códigos listados no GRUPO ABBR devem incluir definições para todas as abreviaturas/códigos introduzidos num CAMPO em que o TIPO de dados é definido como "PA" ou qualquer abreviatura/código que necessite de definição, utilizado em qualquer outro tipo de dados.
Regra 16a	Quando forem necessárias várias abreviaturas para codificar completamente um CAMPO, as abreviaturas devem ser separadas por um carácter de concatenação definido. Este carácter de concatenação único deve ser definido em TRAN_RCON. A predefinição é "+" (carácter ASCII 43). Cada abreviatura utilizada em tais combinações deve ser listada separadamente no GRUPO ABBR. Por exemplo, "CP+RC" deve ter entradas para "CP" e "RC" no GRUPO ABBR, juntamente com a sua definição completa.
Regra 17	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO TYPE para definir os TIPOS de campo utilizados no ficheiro de dados. Cada tipo de dados introduzido na linha TYPE/TIPO de um GRUPO deve ser listado e definido no GRUPO TYPE.
Regra 18	Cada ficheiro de dados deve conter o GRUPO DICT quando tiverem sido incluídos no ficheiro de dados nomes não normalizados de GROUP/GRUPO e HEADING/CABEÇALHO.
Regra 18a	A ordem pela qual os CABEÇALHOS definidos pelo utilizador são listados no GRUPO DICT define a ordem pela qual estes CABEÇALHOS são anexados a um GRUPO existente ou aparecem num GRUPO definido pelo utilizador. Esta ordem define também a sequência em que esses CABEÇALHOS são utilizados num campo de dados do TIPO "Ligação de registo"/"Record Link" (Regra 11).
Regra 19	O nome de um GRUPO não deve ter mais de 4 caracteres, e deve ser constituído apenas por letras maiúsculas e números.
Regra 19a	O nome de um CABEÇALHO não deve ter mais de 9 caracteres e deve ser constituído apenas por letras maiúsculas, números ou o carácter <i>underscore</i> ("_").
Regra 19b	Os nomes dos CABEÇALHOS começam com o nome do GRUPO seguido de um carácter <i>underscore</i> . Por exemplo: "NGRP_HED1". Quando um CABEÇALHO se refere a um CABEÇALHO existente noutro grupo, o nome do CABEÇALHO acrescentado ao GRUPO deve ter o mesmo nome. Por exemplo: "CMPG_TESN" no grupo "CMPT".
Regra 20	Podem ser incluídos ficheiros informáticos adicionais (por exemplo: imagens digitais) numa submissão de dados. Cada um desses ficheiros deve ser definido no GRUPO FILE. Os ficheiros adicionais devem ser transferidos para uma subpasta denominada FILE. Esta subpasta FILE conterá subpastas adicionais, cada uma delas designada pela referência FILE_FSET. Cada pasta designada por FILE_FSET conterá os ficheiros enumerados no GRUPO FILE.

Anexo II – Lista completa de entradas no grupo ABBR (Caso Prático)

ABBR_HDNG	ABBR_CODE	ABBR_DESC
SAMP_TYPE	ES	amostra de solo para ensaios de laboratório ambientais
ELRG_CODE	AS_ELU	arsénio (no eluato)
ELRG_CODE	BA	bário
ELRG_CODE	CD_ELU	cádmio (no eluato)
ELRG_CODE	CL	cloreto
ELRG_CODE	COND25_FILTR	condutividade
ELRG_CODE	CR_ELU	crómio (no eluato)
ELRG_CODE	CU_ELU	cobre (no eluato)
ELRG_CODE	F	fluoreto
ELRG_CODE	HG_ELU	mercúrio (no eluato)
ELRG_CODE	MO	molibdénio
ELRG_CODE	NI_ELU	níquel (no eluato)
ELRG_CODE	PB_ELU	chumbo (no eluato)
ELRG_CODE	PH	pH
ELRG_CODE	PHENOL	índice de fenol
ELRG_CODE	SB	antimónio
ELRG_CODE	SE	selénio
ELRG_CODE	SO4	sulfato
ELRG_CODE	L/S	L/S cumulativo
ELRG_CODE	TDS	sólidos dissolvidos totais
ELRG_CODE	TEMP_PH_MEAS	temperatura
ELRG_CODE	TOC_DOC_ELU	carbono orgânico dissolvido
ELRG_CODE	ZN_ELU	zinco (no eluato)
ELRG_CODE	ACENAPHTHENE	acenafteno
ELRG_CODE	ACENAPHTYLENE	acenaftileno
ELRG_CODE	ANTHRACENE	antraceno
ELRG_CODE	AS	arsénio
ELRG_CODE	BENZENE	benzeno
ELRG_CODE	BROMOFORM	bromofórmio (tribromometano)
ELRG_CODE	BTEX_SUM	BTEX total
ELRG_CODE	BZANT	benzo(a)antraceno
ELRG_CODE	BZAPYR	benzo(a)pireno
ELRG_CODE	BZBLU	benzo(b)fluoranteno
ELRG_CODE	BZGHIPYR	benzo(ghi)perileno
ELRG_CODE	BZKFLU	benzo(k)fluoranteno
ELRG_CODE	CARBON_TETRACHLORIDE	tetracloroeto de carbono (tetraclorometano)
ELRG_CODE	CD	cádmio
ELRG_CODE	CHCL3	clorofórmio (triclorometano)
ELRG_CODE	CHRYSENE	criseno
ELRG_CODE	CIS_DICHLOROETHENE	cis-1-2-dicloroeteno
ELRG_CODE	CIS_DICHLOROPROPENE	cis-1-3-dicloropropeno
ELRG_CODE	CR	crómio
ELRG_CODE	CU	cobre
ELRG_CODE	DBZAHANT	dibenzo(ah)antraceno
ELRG_CODE	DICHLOROETHANE	1-1-dicloroetano
ELRG_CODE	DICHLOROETHANE_12	1-2-dicloroetano
ELRG_CODE	DICHLOROETHENE_11	1-1-dicloroeteno
ELRG_CODE	DICHLOROETHENE_SUM	soma cis/trans-1-2-dicloroeteno
ELRG_CODE	DICHLOROMETHANE	diclorometano
ELRG_CODE	DICHLOROPROPANE	1-2-dicloropropano
ELRG_CODE	DICHLOROPROPENE_SUM	soma cis/trans-1-3-dicloropropeno
ELRG_CODE	DRY_MATTER	matéria seca (% peso)
ELRG_CODE	ETHYLBENZENE	etilbenzeno
ELRG_CODE	FLUORANTHENE	fluoranteno
ELRG_CODE	FLUORENE	fluoreno
ELRG_CODE	HC_C10_C16	C10-C16
ELRG_CODE	HC_C10_C40_SUM	C10-C40 (soma)
ELRG_CODE	HC_C16_C34	C16-C34
ELRG_CODE	HC_C34_C40	C34-C40
ELRG_CODE	HG	mercúrio
ELRG_CODE	IND123CDPY	indeno(1-2-3-cd)pireno
ELRG_CODE	MPXYLENE	para e meta xileno
ELRG_CODE	NAPHT	naftaleno
ELRG_CODE	NI	níquel
ELRG_CODE	OXYLENE	o-xileno
ELRG_CODE	PAH_EPA_SUM	PAH (EPA 16) soma
ELRG_CODE	PB	chumbo

ELRG_CODE	PCB (101)	PCB (101)
ELRG_CODE	PCB (118)	PCB (118)
ELRG_CODE	PCB (138)	PCB (138)
ELRG_CODE	PCB (153)	PCB (153)
ELRG_CODE	PCB (180)	PCB (180)
ELRG_CODE	PCB (28)	PCB (28)
ELRG_CODE	PCB (52)	PCB (52)
ELRG_CODE	PCB7SUM	soma 7 PCB
ELRG_CODE	PHENANTHRENE	fenantreno
ELRG_CODE	PYRENE	pireno
ELRG_CODE	TETRACHLORETHANE_1112	1-1-1-2-tetracloroetano
ELRG_CODE	TETRACHLORETHANE_1122	1-1-2-2-tetracloroetano
ELRG_CODE	TETRACHLOROETHENE	tetracloroeteno
ELRG_CODE	TOC	carbono orgânico total
ELRG_CODE	TOLUENE	tolueno
ELRG_CODE	TRANS_DICHLOROETHENE	trans-1-2-dicloroeteno
ELRG_CODE	TRANS_DICHLOROPROPENE	trans-1-3-dicloropropeno
ELRG_CODE	TRICHLOROETHANE	1-1-1-tricloroetano
ELRG_CODE	TRICHLOROETHANE_112	1-1-2-tricloroetano
ELRG_CODE	TRICHLOROETHENE	tricloroeteno
ELRG_CODE	VINYL_CHLORIDE	cloro de vinilo
ELRG_CODE	VPH_C6_C10	VPH >C6-C10
ELRG_CODE	XYLENES_SUM	soma xilenos
ELRG_CODE	ZN	zinco
ELRG_MATX	LIQUID	líquido (eluato)
ELRG_MATX	SOLID	sólido (amostras de solo)
ELRG_RTYP	INITIAL	inicial
ELRG_TADE	CEN_10_1	CEN 10-1
ELRG_LER	17 05 04	solos não perigosos
ELRG_LER	17 05 03*	solos perigosos
ELRG_AR	ARI	aterro resíduos inertes
ELRG_AR	ARNP	aterro resíduos industriais não perigosos
ELRG_AR	ARP	aterro resíduos perigosos
ELRG_VAL	Cimenteira	cimenteira - operação R5H
ELRG_VAL	Pedreira	pedreira - operação R10C
ELRG_CLAS	1	cumprir VRQS qualquer uso + VL ARI
ELRG_CLAS	2	cumprir VRQS qualquer uso do solo e não cumprir VL ARI
ELRG_CLAS	3	não cumprir VRQS UA e cumprir VL ARI
ELRG_CLAS	4	não cumprir VRQS UA/UU e cumprir VL ARNP
ELRG_CLAS	5	não cumprir VRQS nenhum uso e cumprir VL ARNP
ELRG_CLAS	6	não cumprir VRQS nenhum uso e cumprir VL ARP
LOCA_GREF	EPSC 3763	PT-TM06/ETRS89
DICT_TYPE	HEADING	sinal para indicar que a definição corresponde a um cabeçalho
DICT_STAT	OTHER	outro campo

Anexo III – Lista completa de entradas no cabeçalho ELRG_CASC (Caso Prático)

ELRG_NAME	ELRG_CASC
etilbenzeno	100-41-4
cis-1,3-dicloropropeno	10061-01-5
trans-1,3-dicloropropeno	10061-02-6
1,2-dicloroetano	107-06-2
para e meta xileno	108-38-3 / 106-42-3
tolueno	108-88-3
fenol (índice)	108-95-2
antraceno	120-12-7
tetracloroetano	127-18-4
pireno	129-00-0
sulfato	14808-79-8
cis-1,2-dicloroetano	156-59-2
trans-1,2-dicloroetano	156-60-5
cloreto	16887-00-6
fluoreto	16984-48-8
benzo(ghi)perileno	191-24-2
indeno(1,2,3-cd)pireno	193-39-5
benzo(b)fluoranteno	205-99-2
fluoranteno	206-44-0
benzo(k)fluoranteno	207-08-9
acenaftileno	208-96-8
criseno	218-01-9
PCB (118)	31508-00-6
PCB (153)	35065-27-1
PCB (138)	35065-28-2
PCB (180)	35065-29-3
PCB (52)	35693-99-3
PCB (101)	37680-73-2
benzo(a)pireno	50-32-8
dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3
tetracloroeto de carbono (tetraclorometano)	56-23-5
benzo(a)antraceno	56-55-3
1,1,1,2-tetracloroetano	630-20-6
clorofórmio (triclorometano)	67-66-3
PCB (28)	7012-37-5
benzeno	71-43-2
1,1,1-tricloroetano	71-55-6
chumbo	7439-92-1
mercúrio	7439-97-6
molibdénio	7439-98-7
níquel	7440-02-0

antimónio	7440-36-0
arsénio	7440-38-2
bário	7440-39-3
cádmio	7440-43-9
crómio	7440-47-3
cobre	7440-50-8
zinco	7440-66-6
cloreto de vinilo	75-01-4
diclorometano	75-09-2
bromofórmio (tribromometano)	75-25-2
1,1-dicloroetano	75-34-3
1,1-dicloroetano	75-35-4
selenio_LX	7782-49-2
1,2-dicloropropano	78-87-5
1,1,2-tricloroetano	79-00-5
tricloroetano	79-01-6
1,1,2,2-tetracloroetano	79-34-5
acenafteno	83-32-9
fenantreno	85-01-8
fluoreno	86-73-7
naftaleno	91-20-3
o-xileno	95-47-6

Anexo IV – Lista completa de entradas nos cabeçalhos ELRG_LSID e ELRG_SGRP (Caso Prático)

SAMP_ID	ELRG_LSID	ELRG_SGRP
SA7_010_040	502599	1488461
SA6_010_025	502600	1488461
SA2_010_100	502601	1488461
SA2_100_200	502602	1488461
SA2_200_290	502603	1488461
SA19_0_100	514739	1490927
SA19_100_200	514740	1490927
SA19_200_300	514741	1490927
SA19_300_400	514742	1490927
SA19_400_500	514743	1490927
SA19_500_600	514744	1490927
SA15_0_100	530279	1493603
SA15_100_130	530280	1493603
SA1_010_070	540671	1495421
SA16_010_030	540672	1495421
SA20_0_120	540673	1495421
SA20_120_200	540674	1495421
SA20_200_250	540675	1495421
SA20_250_400	540676	1495421
SA20_400_550	540677	1495421
SA4_010_120	540678	1495422
SA4_120_240	540679	1495422
SA4_240_330	540680	1495422
SA5_010_150	540681	1495422
SA5_150_300	540682	1495422
SA5_300_390	540683	1495422
SA9_010_100	540684	1495422
SA9_100_140	540685	1495422
SA17_010_100	540686	1495422
SA17_100_200	540687	1495422
SA17_200_300	540688	1495422
SA17_300_400	540689	1495422
SA10_0_040	552321	1497400
SA11_0_100	552322	1497400
SA11_100_200	552323	1497400
SA12_020_080	552324	1497400
SA12_080_120	552325	1497400
SA18_0_100	552326	1497400
SA18_100_150	552327	1497400
SA3_0_110	552328	1497401
SA13_0_020	552329	1497401
SA8_0_070	552330	1497401
SA8_070_150	552331	1497401
SA8_150_240	552332	1497401

[página propositadamente em branco]

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, **Bárbara Londreira Mesquita**, N.º CC: 1774607-5-ZWZ:

Declaro ter conduzido e desenvolvido este trabalho académico com integridade e ética. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à elaboração da dissertação/projeto/estágio.

Declaro ainda que não recorri a ferramentas de inteligência artificial (IA) — texto, imagem, vídeo ou outro formato — para fins académicos de pesquisa avançada de tópico específico e ainda fiz devida citação dos recursos bibliográficos sem colocar em causa os direitos de autor ou uso indevido de informações ou falsificação de conteúdos.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

Bárbara Londreira Mesquita

ISEP, Porto, 13 de junho de 2025