



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

ESTG

CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS E GASES PERIGOSOS EM EDIFÍCIOS

Davide Jorge Correia Pinto

2026



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS E GASES PERIGOSOS EM EDIFÍCIOS

Davide Jorge Correia Pinto

Escola Superior de Tecnologia e Gestão



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Davide Jorge Correia Pinto

CARACTERIZAÇÃO E GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS E GASES PERIGOSOS EM EDIFÍCIOS

Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação dos orientadores
Professor Doutor Domingos António Garcia Ribas
Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira

Janeiro de 2026

MEMBROS DO JÚRI

Presidente:

Professor Doutor José Manuel Ferreira da Silva

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Vogal:

Professor Doutor Carlos Afonso de Moura Teixeira

Professor Auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogal:

Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

DEDICATÓRIA

A ti, Mãe, que foste muito mais do que um pilar - foste chão firme quando vacilei, fôlego quando me faltou ar e fé quando a minha própria se desfez. Este trabalho é, antes de tudo, um reflexo da tua força silenciosa, da coragem com que sempre enfrentaste a vida e da confiança inabalável que depositaste em mim. Cada página ecoa o teu exemplo e a luz com que sempre iluminaste o meu caminho.

Ao meu Pai, cuja partida moldou de forma profunda o tempo em que esta dissertação ganhou forma. A tua ausência tornou-se presença diária - em memória, em ensinamento, em saudade que orienta. Em cada linha há um traço da tua voz, um gesto do teu carácter e o amor imenso que o tempo não apagou. Este trabalho também te pertence.

À minha irmã, ao meu cunhado, aos meus sobrinhos e à restante família que, mesmo longe, permanece como abrigo seguro, porto de descanso e raiz que me sustenta.

Ao Pacman, meu fiel amigo, companheiro silencioso de tantas noites longas e dias exaustos. A tua presença tranquila, o teu olhar atento e a tua lealdade sem condições foram força, companhia e conforto quando as palavras custavam a sair e o cansaço pesava mais.

Aos orientadores, pelo acompanhamento académico e pelo enquadramento científico prestado ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e à dedicação de diversas pessoas cuja presença marcou, de forma decisiva, cada etapa deste percurso académico.

Ao Instituto Politécnico de Viana do Castelo, expresso o meu reconhecimento pela qualidade do ensino, pelo ambiente estimulante de investigação e pelas oportunidades que fomentaram o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus orientadores, agradeço a orientação exigente, a disponibilidade constante e a capacidade de escuta que contribuíram para o rigor científico e a qualidade desta investigação.

À Sofia Amaral, agradeço o aconselhamento técnico prestado, em particular no apoio à organização e estruturação da documentação, cujo contributo foi determinante para a clareza, coerência e consistência do trabalho desenvolvido.

À Inpto Engineering e a todos os seus colaboradores, internos e externos, expresso o meu agradecimento pelo enquadramento profissional proporcionado, pela partilha de conhecimento técnico e pela colaboração ativa em diferentes fases do trabalho, fatores que contribuíram de forma decisiva para a consolidação e aplicabilidade prática da investigação desenvolvida.

Ao Laboratório Toxias, agradeço a colaboração técnica, a disponibilização de dados laboratoriais e o apoio prestado no âmbito das análises realizadas, fundamentais para o rigor e a credibilidade científica deste estudo.

A todos aqueles que estiveram presentes nos momentos de esforço, incerteza e conquista - aos que ouviram, incentivaram e acreditaram - manifesto a minha profunda gratidão.

A cada um de vós, o meu muito obrigado.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo a caracterização técnica e a gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com especial enfoque nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução. A investigação incide sobre materiais e substâncias como Amianto, Policlorobifenilos (PCB), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP), Hexabromociclododecano (HBCD), chumbo, Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e radão (Rn), avaliando os riscos associados à saúde pública, à segurança e saúde dos trabalhadores da construção e à preservação ambiental.

Foram aplicadas técnicas de inspeção visual, ensaios laboratoriais e medições *in situ*, complementadas por métodos normativos e boas práticas reconhecidas internacionalmente. O trabalho integrou quatro estudos de caso realizados na Suíça, onde se identificaram diferentes tipos de poluentes sólidos e gasosos, respeitando os critérios técnicos e legais definidos pela Associação Suíça dos Consultores em Amianto (ASCA), pelo Centro de Competência para Substâncias Perigosas da Construção – *Forum Amiante Suisse* (FACH) e pela legislação europeia aplicável.

A metodologia incluiu a análise comparativa da legislação europeia, portuguesa e suíça, propondo estratégias de harmonização normativa e a obrigatoriedade de inspeções preventivas e certificações pós-trabalhos. A dissertação defende a necessidade de tratamento e eliminação adequados dos resíduos perigosos, de forma a evitar a sua acumulação em aterros controlados e mitigar os riscos para o ambiente e a saúde ocupacional.

Foram também exploradas tecnologias emergentes, como plataformas digitais de inspeção, georreferenciação de elementos contaminados. A padronização dos relatórios de diagnóstico, a formação contínua dos técnicos e a criação da figura profissional do inspetor de resíduos e gases na construção surgem como propostas concretas para uma abordagem mais integrada e eficaz.

Conclui-se que a adoção destas medidas é fundamental para garantir uma gestão sustentável, segura e tecnicamente rigorosa dos resíduos e gases perigosos em edifícios, protegendo simultaneamente os trabalhadores da construção civil, o ambiente e as gerações futuras.

PALAVRAS CHAVE: Amianto; Policlorobifenilos (PCB); Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP); Hexabromociclododecano (HBCD); Chumbo; Radão; Resíduos perigosos; Gases perigosos; Diagnóstico de poluentes; Gestão sustentável; Reabilitação de edifícios

ABSTRACT

The present dissertation aims at the technical characterization and sustainable management of hazardous waste and gases in buildings, with a particular focus on the phases of use, rehabilitation and deconstruction. The investigation addresses materials and substances such as asbestos, polychlorinated biphenyls (PCB), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), hexabromocyclododecane (HBCD), lead, volatile organic compounds (VOC), and radon (Rn), assessing the risks associated with public health, the safety and health of construction workers, and environmental preservation.

Visual inspection techniques, laboratory tests and *in situ* measurements were applied, complemented by normative methods and internationally recognised good practices. The work integrated four case studies carried out in Switzerland, where different types of solid and gaseous pollutants were identified, complying with the technical and legal criteria defined by the Swiss Association of Asbestos Consultants (ASCA), the Competence Centre for Hazardous Substances in Construction – *Forum Amiante Suisse* (FACH), and the applicable European legislation.

The methodology included a comparative analysis of European, Portuguese and Swiss legislation, proposing strategies for normative harmonisation and the requirement of preventive inspections and post-work certifications. The dissertation argues for the need for proper treatment and disposal of hazardous waste, in order to avoid its accumulation in controlled landfills and to mitigate risks to the environment and occupational health.

Emerging technologies were also explored, such as digital inspection platforms and georeferencing of contaminated elements. The standardisation of diagnostic reports, the continuous training of technicians and the creation of the professional role of inspector of waste and gases in construction emerge as concrete proposals for a more integrated and effective approach.

It is concluded that the adoption of these measures is essential to ensure sustainable, safe and technically rigorous management of hazardous waste and gases in buildings, simultaneously protecting construction workers, the environment and future generations.

KEYWORDS: Asbestos; Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs); Hexabromocyclododecane (HBCD); Lead; Radon; Hazardous Waste; Hazardous Gases; Pollutant Assessment; Sustainable Management; Building Rehabilitation.

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

- ADR – Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada
- ASCA – Associação Suíça de Consultores em Amianto (*Association Suisse des Consultants Amiante*)
- BIM – Modelação da Informação da Construção (*Building Information Modeling*)
- BTP – Construção Civil e Obras Públicas (*Bâtiment et Travaux Publics*)
- BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*
- CE – Comunidade Europeia (*Communauté Européenne*)
- CEPA – Lei Canadiana de Proteção Ambiental (*Canadian Environmental Protection Act*)
- CH – Confederação Helvética (*Confoederatio Helvetica*)
- CHUV – Centro Hospitalar Universitário de Vaud (*Centre Hospitalier Universitaire Vaudois*)
- COV – Compostos Orgânicos Voláteis (*Composés Organiques Volatils / Volatile Organic Compounds*)
- CFC – Clorofluorocarbonetos
- DA – Documento de Apoio
- DS – Documento Suplementar
- EPA – Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency*)
- ETA – Avaliação Técnica Europeia (*European Technical Assessment*)
- EU – União Europeia (*European Union*)
- FACH – Centro de Competência Suíço para Substâncias Perigosas da Construção – *Forum Amiante Suisse*
- GC-MS - Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)
- HAP – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (*Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques / Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*)
- HBCD – Hexabromociclododecano (*Hexabromocyclododecane*)
- HCH - Hexaclorociclohexano
- HQE – *Haute Qualité Environnementale*
- HSE – Autoridade de Saúde e Segurança no Trabalho (Reino Unido) (*Health and Safety Executive*)
- IA - Inteligência Artificial

ISO – Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*)

LEED – Liderança em Energia e Design Ambiental (*Leadership in Energy and Environmental Design*)

MSP – Materiais Suscetíveis de Conter Poluentes

MP – Material Poluído

NP – Norma Portuguesa

OFSP – Departamento Federal de Saúde Pública (*Office fédéral de la santé publique*)

OMoD - Ordenança sobre o Movimento de Resíduos (*Ordonnance sur les mouvements de déchets*)

PCB – Bifenilos Policlorados (*Polychlorinated Biphenyls*)

POP – Poluentes Orgânicos Persistentes (*Persistent Organic Pollutants*)

QR – Código de Resposta Rápida (*Quick Response Code*)

RCD – Resíduos de Construção e Demolição (*Construction and Demolition Waste*)

RCRA – Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (*Resource Conservation and Recovery Act*)

SBTool – *Sustainable Building Tool*

SIA – Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos (*Société Suisse des Ingénieurs et Architectes*)

SUVA – Seguro Nacional Suíço de Acidentes (*Schweizerische Unfallversicherungsanstalt*)

UE – União Europeia

TSCA – Lei de Substâncias Tóxicas (*Toxic Substances Control Act*)

XRF – Fluorescência de Raios X (*X-ray Fluorescence*)

ÍNDICE

1.	Introdução.....	1
1.1	Relevância desta dissertação para a sustentabilidade na construção	2
1.2	Problemática do tema.....	3
1.3	Objectivos	5
1.4	Estrutura da dissertação.....	7
2.	Revisão bibliográfica.....	9
2.1	Conceitos e definições	9
2.2	Impacto ambiental e económico da gestão inadequada de resíduos	13
2.3	Estado da arte da gestão de resíduos	18
3.	Enquadramento Legislativo dos Resíduos Sólidos e Gases na Construção	21
3.1	Histórico da legislação sobre resíduos da construção	21
3.2	Diretrizes internacionais	25
3.3	Perspetivas futuras.....	31
3.4	Exemplos de aplicação normativa na gestão sustentável de resíduos	33
4.	Metodologia	37
4.1	Métodos de inspeção e diagnostico.....	37
4.2	Crítérios de selecção dos edifícios analisados.....	37
4.3	Caracterização e quantificação de resíduos	38
4.4	Procedimentos de sondagem	39
4.5	Identificação dos contaminantes:.....	50
4.6	Processo de análise e validação dos dados obtidos.....	51
4.7	Tecnologias emergentes para caracterização de resíduos	52
4.8	Tratamento e interpretação de dados	53
5.	Estratégias para a Gestão Sustentável de Resíduos	55
5.1	Minimização e reaproveitamento de resíduos.....	55
5.2	Influência dos novos materiais e soluções no impacto ambiental	57
5.3	Tecnologias na Gestão dos Riscos e dos Resíduos.....	58
5.4	Exemplos de boas práticas.....	60
6.	Casos de estudo.....	65
6.1	Comparação dos Casos de Estudo	75
6.2	Limitações e desafios da gestão sustentável de resíduos na construção	78
6.3	Boas Práticas Legislativas.....	79
7.	Conclusões.....	81
7.1	Contributos desta investigação.....	82
7.2	Desenvolvimentos Futuros	83

7.3	Conclusão Final.....	85
8.	Referências Bibliográficas	87
9.	Anexos	91
10.	Apêndices.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Taxas de reciclagem na Europa por tipo de resíduo (Agência Europeia do Ambiente)	3
Figura 2 - Evolução legislativa internacional – Histórico Mundial da Legislação sobre Resíduos Perigosos em Edifícios.....	26
Figura 3 - Amostragem de um revestimento de solo multicamadas em saco duplo (Inpto Engineering)	42
Figura 4 - Amostragem realizada com broca diamantada do tipo serra-copo (inpto Engineering)	42
Figura 5 - Hotte de preparação com forno de calcinação para análise de diferentes resíduos (Laboratorio Toxias, Satigny CH)	43
Figura 6 - Microscópio Eletrónico de Varredura (MEB) utilizado para a identificação morfológica e química de fibras de amianto e para a verificação de identificação (VI) em amostras ambientais e de materiais (Laboratorio Toxias, Satigny CH).....	44
Figura 7 – Parte do sistema de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas - GC-M (Laboratorio Toxias, Satigny CH)	45
Figura 8 - Amostra HAP testada positiva com Pak-Marker® (Inpto Engineering)	47
Figura 9 - Detecção de chumbo com aparelho raio X – XRF (Ecologis Suisse)	48
Figura 10 - Hierarquia de Gestão de Resíduos	55
Figura 11 - Environmental Product Declaration (2025 carbon trail).....	57
Figura 12 - Sistema de aplicações Diag-Tab, Diag-Tab Suivi e Diag-Desk (Inpto Engineering) ...	59
Figura 13 - Extrato do registo cadastral de relatorios amianto (https://www.amiante.vd.ch/)	61
Figura 14 - Antigo Colégio, Suíça (Inpto Engineering).....	66
Figura 15 - Dosimetro Radout fornecido pelos CHUV	67
Figura 16 - Fotografia aerea, coberturas planas (Inpto Engineering)	68
Figura 17 - Ficha de identificação de um material com poluente (inpto Engineering)	70
Figura 18 - Complexo de 4 edificios antes da desconstrução parcial (Inpto Engineering)	71
Figura 19 - Ficha de identificação da cola cimento de azulejo com amianto (Inpto Engineering)	72
Figura 20 - Fachada Norte do imovel (Inpto Engineering)	73
Figura 21 - Leitura com aparelho a raios-X (XRF) sobre pintura amarelada (Ecologis Suisse)	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados comparativos de mortes associadas à exposição ao amianto	14
Tabela 2 - Mortes anuais estimadas atribuíveis ao radão	15
Tabela 3 - Lacunas da literatura e contributos da dissertação	19
Tabela 4 - Evolução Legislativa Internacional na Gestão de Resíduos Perigosos e Materiais Contaminantes em Edifícios.....	21
Tabela 5 - Procedimentos de amostragem por tipologia de contaminante	39
Tabela 6 - Ensaio laboratoriais versus triagem baseadas em informação	50
Tabela 7 - Síntese comparativa e aplicabilidade	63
Tabela 8 - Síntese comparativa dos casos de estudo.....	75

1. Introdução

A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento económico, social e ambiental das sociedades, sendo responsável pela criação de infraestruturas que sustentam a vida moderna. No entanto, a sua complexidade e amplitude de atuação fazem com que o setor também enfrente desafios significativos no que diz respeito à sustentabilidade, nomeadamente na gestão de resíduos e substâncias potencialmente perigosas.

Durante muitos anos, a atenção esteve centrada sobretudo na fase de construção dos edifícios, onde os resíduos sólidos e os impactos ambientais diretos são mais visíveis. Contudo, é cada vez mais evidente que os riscos associados à presença de resíduos perigosos e à emissão de gases nocivos se estendem também às fases de utilização, reabilitação e desconstrução. A durabilidade dos materiais, as condições ambientais e os processos de envelhecimento e degradação contribuem para a libertação progressiva de compostos cuja perigosidade, em muitos casos, só se torna evidente com o tempo.

Ao longo do ciclo de vida de um edifício, materiais anteriormente considerados seguros podem ser reclassificados como perigosos, à medida que a investigação científica revela os seus efeitos adversos. O caso do amianto é um exemplo paradigmático, mas não o único. Em projetos de reabilitação, é comum a introdução de novos produtos, por vezes sem conhecimento total da sua composição ou comportamento a longo prazo. Por outro lado, durante a vida útil do edifício, podem formar-se gases perigosos devido a reações químicas, degradação de materiais ou condições de má ventilação, representando riscos relevantes para a qualidade do ar interior e a saúde dos utilizadores.

Deste modo, a problemática dos resíduos e gases perigosos deve ser analisada com uma abordagem abrangente, baseada em três vetores principais:

- ❖ O risco para os ocupantes, decorrente da exposição a substâncias nocivas em ambientes interiores, muitas vezes sem sinais visíveis;
- ❖ O risco para os trabalhadores, particularmente nas obras de reabilitação e desconstrução, onde o contacto direto com materiais contaminados exige medidas específicas de proteção e gestão;
- ❖ A necessidade de tratamento, neutralização ou eliminação segura dos resíduos, garantindo o cumprimento da legislação e a proteção ambiental.

Além disso, uma avaliação técnica adequada dos resíduos presentes nos edifícios não só permite uma gestão mais segura e eficiente, como abre caminho para a reutilização de materiais, a reciclagem seletiva e a eliminação controlada. Estas práticas reduzem significativamente a necessidade de envio de resíduos para descargas especiais ou aterros industriais, e contribuem diretamente para os princípios da economia circular, promovendo:

- ✓ A redução da extração de matérias-primas;
- ✓ A diminuição da pegada ecológica dos edifícios;
- ✓ O prolongamento do ciclo de vida útil dos materiais;
- ✓ A redução de custos operacionais e logísticos associados à gestão de resíduos perigosos;
- ✓ E a criação de oportunidades para inovação e valorização de materiais em fim de vida.

Assim, a caracterização e gestão sustentável de resíduos e gases perigosos deve ser encarada como uma ferramenta estratégica para melhorar a segurança sanitária, cumprir requisitos legais e promover uma construção mais circular, eficiente e ambientalmente responsável.

1.1 Relevância desta dissertação para a sustentabilidade na construção

A sustentabilidade na construção tem vindo a assumir um papel cada vez mais central nas políticas públicas, nas exigências regulamentares e nas práticas profissionais associadas ao ambiente edificado. O setor da construção, sendo um dos maiores consumidores de recursos naturais e gerador de resíduos, possui um elevado potencial de transformação através da adoção de estratégias que visem a redução do impacto ambiental, a proteção da saúde humana e a eficiência no uso de materiais ao longo do ciclo de vida dos edifícios.

Neste contexto, a gestão de resíduos e gases perigosos representa um desafio e, simultaneamente, uma oportunidade. Os resíduos contaminados, os materiais com potencial de emissão de substâncias nocivas e os gases libertados durante a vida útil dos edifícios constituem factores de risco tanto para os ocupantes como para os profissionais da construção, especialmente nas intervenções de reabilitação e desconstrução. Ao mesmo tempo, a sua identificação precoce, caracterização técnica e gestão adequada permitem não apenas mitigar riscos, mas também valorizar materiais, reduzir volumes de deposição em aterro e diminuir a necessidade de eliminação especial e dispendiosa.

A realização de uma avaliação técnica rigorosa dos resíduos presentes nos edifícios permite:

1. Detectar precocemente substâncias potencialmente perigosas, mesmo quando invisíveis ou esquecidas;
2. Reencaminhar materiais reutilizáveis ou recicláveis, promovendo uma abordagem de economia circular;
3. Reduzir os impactos ambientais e os custos associados ao armazenamento, transporte e eliminação de resíduos perigosos;
4. Evitar a contaminação de solos, águas subterrâneas e atmosferas interiores;
5. Melhorar a qualidade do ambiente construído e a segurança dos seus utilizadores.

Assim, este estudo é particularmente relevante no contexto da transição ecológica e da construção sustentável, pois aborda uma área ainda pouco explorada na prática técnica, mas com impactos concretos e significativos. Ao conjugar os aspetos técnicos, sanitários e ambientais da presença de resíduos e gases perigosos em edifícios, a investigação pretende contribuir para:

- a) Melhorar a prevenção e a gestão integrada dos riscos associados;
- b) Oferecer ferramentas de apoio à decisão para engenheiros, arquitetos e gestores de obra;
- c) Encorajar políticas públicas e regulamentações mais eficazes no domínio da gestão de resíduos no ambiente construído.

A relevância do presente trabalho reside, assim, na sua contribuição para a definição de soluções técnicas, estratégicas e sustentáveis que permitam tornar os edifícios mais seguros, circulares e resilientes, em alinhamento com os princípios do desenvolvimento sustentável e da economia verde.

1.2 Problemática do tema

Nas últimas décadas, a sustentabilidade no setor da construção tem assumido um papel central na investigação científica e nas políticas públicas, impulsionada pelo elevado impacto ambiental dos edifícios ao nível do consumo energético, da utilização de recursos naturais e da geração de resíduos ao longo do seu ciclo de vida. À escala europeia, esta evolução é fortemente enquadrada pelas estratégias da União Europeia para a neutralidade carbónica, a eficiência energética e a transição para uma economia circular, materializadas em diretivas e planos de ação que influenciam diretamente os Estados-Membros e países associados, como a Suíça (European Commission, 2024; Cabeza et al., 2014).

No contexto europeu, os edifícios representam uma parcela significativa do consumo energético final e os Resíduos de Construção e Demolição constituem uma das maiores frações de resíduos gerados, motivando o desenvolvimento de instrumentos legislativos e técnicos orientados para a melhoria do desempenho energético, a seleção sustentável de materiais e o aumento das taxas de reutilização e reciclagem (European Environment Agency, 2023).

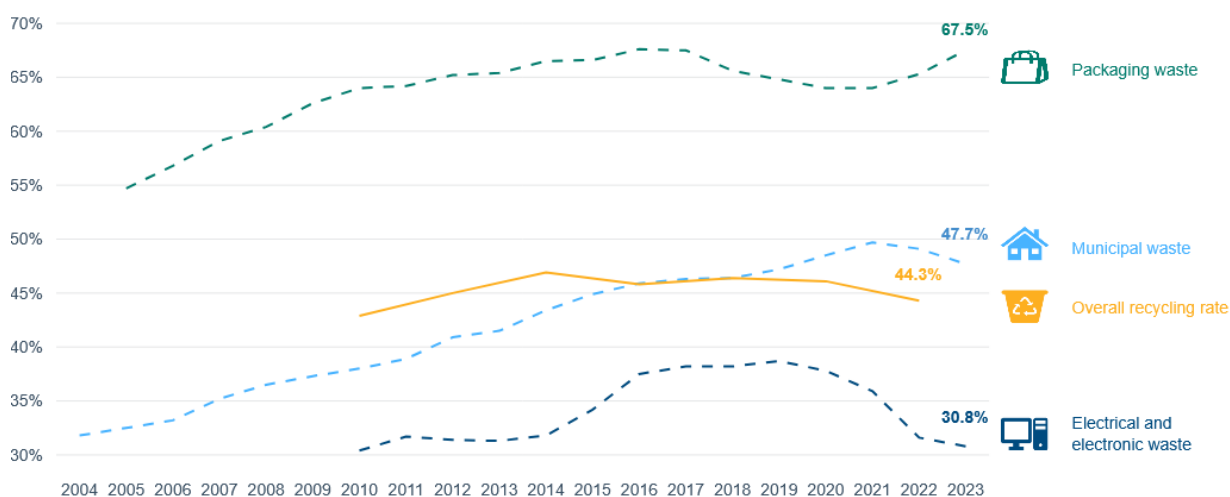


Figura 1 - Taxas de reciclagem na Europa por tipo de resíduo (Agência Europeia do Ambiente)

Em Portugal, a abordagem à sustentabilidade na construção tem-se centrado sobretudo na eficiência energética, na reabilitação do parque edificado e na gestão de resíduos de construção e demolição, enquadrada pelo regime geral de gestão de resíduos e pelas orientações técnicas da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Contudo, a integração sistemática de critérios relacionados com resíduos perigosos e emissões gasosas ao longo do ciclo de vida dos edifícios permanece ainda limitada. Na Suíça, embora fora da União Europeia (UE), observa-se uma forte convergência com as políticas europeias, sustentada por um quadro normativo rigoroso e por uma tradição consolidada de proteção da saúde pública, apoiada por diretrizes do Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) e de entidades especializadas como o Seguro Nacional Suíço de Acidentes (SUVA) e a Associação Suíça de Consultores em Amianto (ASCA).

Apesar deste enquadramento robusto, a literatura científica revela lacunas significativas no tratamento integrado dos resíduos classificados como perigosos e da libertação de gases nocivos durante as fases de utilização, reabilitação e desconstrução dos edifícios. Estas lacunas são particularmente relevantes em edifícios construídos antes da implementação de legislação ambiental restritiva, sobretudo entre as décadas de 1930 e 1991, período marcado pela utilização generalizada

de amianto, PCB, HAP, metais pesados e retardadores de chama (até 2015), frequentemente sem registos técnicos completos (World Health Organization, 2017; European Commission, 2019).

A maioria dos estudos continua a incidir predominantemente sobre edifícios novos e sobre a gestão de resíduos inertes em obra, negligenciando as fases do ciclo de vida onde se concentram os maiores riscos para a saúde humana e para o ambiente interior e exterior (Coelho, A. & de Brito, J., 2011). Paralelamente, a literatura científica sugere que os estudos que integram simultaneamente a caracterização técnica de resíduos perigosos, a monitorização de gases emitidos e a definição de estratégias de gestão sustentáveis permanecem relativamente escassos, com pesquisa tendendo a focar em aspetos isolados (por exemplo, gestão sustentável em revisões globais e abordagens de ciclo de vida) e apontando lacunas para futuras abordagens multidimensionais (Kumar, A. et al., 2023).

Acresce ainda a elevada heterogeneidade entre países no que respeita à classificação de resíduos, aos limites de exposição, aos métodos de diagnóstico e aos enquadramentos legais, dificultando a harmonização de procedimentos e a comparação internacional de dados (European Commission, 2021; OFSP, 2025). Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de aprofundar o conhecimento científico e técnico sobre a caracterização e gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios existentes, adotando uma abordagem integrada ao longo de todo o ciclo de vida das construções. Esta problemática constitui o ponto de partida da presente investigação, que visa contribuir para uma gestão mais segura, sustentável e tecnicamente fundamentada do edificado.

Em síntese, a literatura atual revela:

- a) sub-representação da problemática dos resíduos e gases perigosos no corpus científico;
- b) falta de integração entre diagnóstico técnico, regulamentação e gestão no terreno;
- c) divergências significativas entre países e autoridades reguladoras;
- d) necessidade urgente de conhecimento aplicado para melhorar segurança, eficiência ambiental e circularidade.

Este estudo propõe-se contribuir para a redução dessas lacunas, desenvolvendo uma abordagem estruturada e aplicada à caracterização e gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com ênfase especial nas fases de utilização e reabilitação.

1.3 Objectivos

O objetivo geral do presente estudo consiste em investigar e propor estratégias para a caracterização técnica e a gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com especial enfoque nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução, tendo em consideração os riscos associados à saúde humana, à segurança dos trabalhadores e à proteção do ambiente.

A investigação desenvolvida baseia-se na realização de múltiplas missões técnicas e diagnósticos especializados, conduzidos em diferentes tipos de edifícios (residenciais, administrativos, industriais e de serviços), com datas de construção distintas, localizados em regiões diversas e caracterizados pela presença de diferentes tipologias de resíduos perigosos e gases nocivos. Estas missões permitiram analisar realidades construtivas variadas e problemáticas específicas associadas à evolução dos materiais, das técnicas construtivas e do enquadramento regulamentar ao longo do tempo.

Por razões de natureza geográfica, normativa e social, todas as missões e diagnósticos considerados no âmbito deste estudo foram realizados na Suíça, país de residência do autor. A escolha deste contexto justifica-se pelo elevado nível de exigência normativa, pela forte sensibilização social para as questões da saúde pública e do ambiente construído, bem como pela existência de sistemas consolidados de diagnóstico, controlo e gestão de substâncias perigosas em edifícios. Este enquadramento confere particular relevância técnica e científica aos dados analisados, permitindo uma abordagem rigorosa e sistematizada das problemáticas em estudo.

A presente investigação alicerça-se ainda em mais de quinze anos de experiência profissional direta em obra, nomeadamente em atividades de diagnóstico técnico, direção e acompanhamento de trabalhos de descontaminação, remoção e eliminação de materiais perigosos, controlo da qualidade do ar interior e ambiente em diferentes fases de intervenção, bem como no acompanhamento técnico de operações de reabilitação e desconstrução. Esta experiência prática é complementada por uma formação contínua e especializada em diagnóstico de resíduos, segurança e controlo técnico de obra, bem como por uma participação ativa em conferências, simpósios e ações formativas no domínio da sustentabilidade, da segurança e do ambiente na construção. Estes elementos conferem ao estudo uma base empírica sólida e uma perspetiva integrada dos desafios reais enfrentados no terreno.

Para a concretização do objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os principais tipos de resíduos perigosos e gases nocivos presentes ao longo do ciclo de vida dos edifícios, com especial incidência nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução;
- Analisar os riscos para os ocupantes, trabalhadores e meio envolvente associados à presença, exposição e manipulação de substâncias perigosas nas diferentes fases de intervenção em edifícios;
- Caracterizar os métodos técnicos, laboratoriais e de campo utilizados para a deteção, amostragem e quantificação de resíduos e gases perigosos, com base na prática profissional e em referenciais normativos;
- Analisar e comparar o enquadramento normativo e regulamentar aplicável em Portugal, na União Europeia e na Suíça, evidenciando convergências, divergências, limitações e boas práticas;

- Propor estratégias de prevenção, reutilização, reciclagem e eliminação controlada de resíduos perigosos, com aplicação prática nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução, promovendo a integração dos princípios da economia circular no setor da construção;
- Sistematizar e analisar os dados obtidos nas diferentes missões e diagnósticos realizados, considerando a diversidade de edifícios, períodos construtivos, regiões e tipologias de resíduos e gases identificados;
- Contribuir para a definição de orientações técnicas e operacionais com potencial de aplicação por parte de engenheiros, projetistas, técnicos municipais, entidades fiscalizadoras e decisores políticos.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em dez capítulos, de forma a assegurar uma abordagem estruturada e coerente do tema, desde o enquadramento teórico e normativo até à aplicação prática através de casos de estudo.

Capítulo 1 – Introdução:

Apresenta o enquadramento geral da investigação, a problemática, os objetivos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica:

Desenvolve a revisão bibliográfica, abordando os principais conceitos, impactos ambientais e económicos da gestão de resíduos e os princípios da economia circular aplicados à construção.

Capítulo 3 – Enquadramento Legislativo dos Resíduos Sólidos e Gases na Construção:

Analisa o enquadramento legislativo e regulamentar aplicável à gestão de resíduos e substâncias perigosas, com enfoque nos contextos europeu, suíço e português.

Capítulo 4 – Metodologia:

Descreve a metodologia adotada, incluindo os procedimentos de inspeção, diagnóstico, caracterização e análise de resíduos e poluentes em edifícios existentes.

Capítulo 5 – Estratégias para Gestão Sustentável de Resíduos:

Apresenta estratégias para a gestão sustentável de resíduos, destacando boas práticas, novas soluções construtivas e o papel das tecnologias.

Capítulo 6 – Casos de estudo:

Apresenta e compara os casos de estudo, discutindo resultados, limitações e desafios associados à gestão sustentável de resíduos na construção.

Capítulo 7 – Conclusões:

Sintetiza as conclusões da investigação, os seus contributos científicos e práticos e perspetivas de desenvolvimento futuro.

Capítulo 8 - Referências Bibliográficas

Reúne as referências bibliográficas utilizadas.

Capítulo 9 – Anexos

Integra os anexos que complementam o corpo principal do trabalho.

Capítulo 10 – Apêndices

Apresenta os apêndices com documentação de apoio aos casos de estudo.

2. Revisão bibliográfica

A geração de resíduos na construção é uma consequência inevitável das actividades ligadas à criação, transformação e desmantelamento do ambiente edificado. No entanto, à medida que a sociedade evolui para modelos mais sustentáveis, a forma como esses resíduos são encarados tem vindo a mudar significativamente. De problema ambiental e sanitário, os resíduos da construção passaram a ser também reconhecidos como recursos potenciais, susceptíveis de valorização, reutilização ou reciclagem, especialmente quando geridos de forma planeada e tecnicamente fundamentada.

No contexto específico dos resíduos perigosos e gases nocivos, os desafios são maiores, uma vez que a falta de visibilidade imediata, a desconhecimento da sua composição e os riscos para a saúde humana e o ambiente dificultam a sua gestão adequada. Ainda assim, este subgrupo de resíduos representa uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento de soluções mais responsáveis, baseadas em diagnóstico técnico, rastreabilidade e economia circular.

2.1 Conceitos e definições

De acordo com a Directiva 2008/98/CE, transposta em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 102-D/2020, um resíduo é definido como *“qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou obrigação de se desfazer”*. No sector da construção, este conceito aplica-se tanto a materiais sólidos removidos em obra (como betão, tijolos, metais ou madeira), como a substâncias em suspensão ou libertadas no ar ambiente, como poeiras ou compostos orgânicos voláteis.

É comum referir-mo-nos aos Resíduos de Construção e Desconstrução (RCD) como a principal categoria associada ao sector. No entanto, este termo tende a ignorar os resíduos gerados durante a fase de utilização dos edifícios, onde ocorrem fenómenos de degradação, libertação de fibras ou gases, e acumulação de materiais contaminados ao longo do tempo (por exemplo, poeiras com chumbo em janelas antigas, ou fibras de amianto em coberturas, condutas e revestimentos ainda em uso).

Assim, no contexto desta investigação, propõe-se uma visão mais abrangente da tipologia dos resíduos, englobando:

- Resíduos inertes – materiais estáveis do ponto de vista químico e físico, como betão não contaminado, alvenarias, telhas ou cerâmica;
- Resíduos não perigosos – materiais que, embora não representem riscos imediatos, requerem gestão adequada (ex.: madeira tratada, vidro, plásticos, gesso);
- Resíduos perigosos – materiais com potencial de causar efeitos adversos à saúde humana e ao ambiente, quer pela sua composição (ex.: metais pesados, solventes, PCB, HAP), quer pela forma como são libertados (poeiras, fibras, lixiviados, gases tóxicos).

Nesta categoria incluem-se também substâncias gaseificadas ou semi-voláteis, libertadas ao longo da vida útil dos edifícios devido a degradação térmica, reacções químicas ou humidade acumulada. Substâncias como o radão, o formaldeído, os COVs, os ftalatos ou os produtos da decomposição de colas, espumas ou isolamentos constituem formas de resíduos menos visíveis, mas altamente relevantes do ponto de vista sanitário e ambiental.

É também importante distinguir entre resíduos identificáveis antes da intervenção (por inspeção visual ou por análise documental), e resíduos ocultos, cuja presença só se torna aparente durante os trabalhos ou após ensaios laboratoriais. A ausência de diagnóstico prévio nestes casos pode resultar em exposição não controlada, contaminação cruzada e aumento de custos de gestão.

Tipologia dos resíduos nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução

A tipologia, o risco e o volume dos resíduos perigosos variam em função da fase do ciclo de vida do edifício, sendo necessário aplicar abordagens diferenciadas em cada contexto:

Fase de utilização

Durante a utilização do edifício, a produção de resíduos perigosos pode não ser evidente, mas está associada a processos contínuos como:

- Substituição de equipamentos e materiais (lâmpadas com mercúrio, aparelhos com fluídos refrigerantes, baterias);
- Manutenção de sistemas (filtros contaminados, isolamentos degradados, resíduos de pinturas e vernizes antigos);
- Degradação de materiais (libertação de fibras de amianto, partículas de chumbo ou gases resultantes de colas e revestimentos);
- Formação de gases pela acção da humidade, temperatura ou reações químicas lentas (radão, formaldeído, etc.).

Estes resíduos, embora frequentemente ignorados, podem acumular-se no tempo e representar riscos reais para os ocupantes, especialmente em espaços mal ventilados ou com baixa renovação de ar. A monitorização da qualidade do ar interior, associada a uma avaliação dos materiais existentes, é essencial nesta fase.

Fase de reabilitação

Na reabilitação, os riscos intensificam-se. A remoção de pavimentos, revestimentos, tectos falsos ou instalações técnicas antigas pode libertar:

- Amianto em diferentes formas (chapas em fibrocimento, argamassas, revestimentos e canalizações);
- Pinturas e massas de pintura com chumbo ou crómio;
- Colas e betumes com solventes perigosos ou hidrocarbonetos aromáticos;
- Isolamentos com Clorofluorocarbonetos (CFC) ou Hexaclorociclohexano (HCH), proibidos desde os anos 90;
- Madeiras tratadas com produtos biocidas ou pesticidas de efeito residual.

Nesta fase, os trabalhadores estão particularmente expostos, sobretudo se não houver identificação prévia dos materiais contaminados. A ausência de planos de descontaminação ou de segregação de resíduos origina misturas de resíduos perigosos com inertes, dificultando a gestão posterior.

Fase de desconstrução

A fase de desconstrução representa o momento de maior volume de resíduos e também o maior potencial de contaminação cruzada. Aqui, a intervenção tem frequentemente um carácter destrutivo e não selectivo, o que:

- Liberta grandes quantidades de poeiras com sílica, amianto ou metais pesados;
- Mistura resíduos perigosos com inertes e recicláveis, perdendo-se a possibilidade de valorização;
- Aumenta os custos de triagem, transporte e eliminação;
- Gera emissões atmosféricas e contaminações localizadas no solo e nas águas superficiais.

Uma desconstrução planeada, baseada num diagnóstico prévio, na remoção seletiva de materiais e numa descontaminação faseada, permite não só minimizar os riscos de exposição para trabalhadores e ocupantes, como também maximizar a reutilização e a reciclagem de materiais. Esta abordagem encontra-se alinhada com os objetivos europeus definidos na Diretiva-Quadro dos Resíduos (Diretiva 2008/98/CE), que estabelece uma meta mínima de 70% (em peso) de preparação para reutilização, reciclagem e valorização material dos resíduos de construção e demolição.

A abordagem diferenciada por fase é essencial para garantir que os resíduos perigosos são identificados, controlados, tratados e encaminhados de forma segura, legal e sustentável. A ausência dessa distinção tem levado, na prática, a uma gestão deficiente, com consequências sanitárias, ambientais e económicas significativas, sobretudo em obras de pequena e média dimensão, onde o controlo técnico tende a ser menos rigoroso.

Resíduos perigosos e não perigosos na reabilitação e desconstrução

As fases de reabilitação e desconstrução correspondem aos momentos mais intensivos em termos de geração de resíduos no ciclo de vida dos edifícios. Além do elevado volume, caracteriza-se pela grande heterogeneidade dos materiais, muitos dos quais apresentam riscos químicos, físicos e ambientais difíceis de detetar sem diagnóstico especializado.

Na reabilitação, embora parte da estrutura do edifício seja normalmente mantida, a substituição de elementos construtivos e acabamentos antigos conduz frequentemente à libertação de materiais perigosos, tais como:

- Amianto em placas, massas, revestimentos, tubagens ou colas;
- Pinturas e revestimentos com chumbo ou crómio hexavalente;
- Isolamentos com fibras minerais respiráveis ou espumas com agentes nocivos;
- Colas, vernizes e betumes com solventes tóxicos ou hidrocarbonetos aromáticos;
- Madeiras tratadas com pesticidas, fungicidas ou creosoto;
- Produtos betuminosos antigos, como alcatrões e impermeabilizações com elevada concentração de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP), com propriedades cancerígenas e persistência ambiental.

Estes materiais eram frequentemente utilizados numa época em que o conhecimento técnico sobre os seus efeitos nocivos era limitado ou inexistente. Muitos foram integrados na construção por razões técnicas, estéticas ou culturais, sendo considerados, à data, inofensivos ou neutros do ponto de vista sanitário.

Na desconstrução, o problema é agravado pelo carácter não seletivo das operações. A ausência de um diagnóstico prévio e de uma desmontagem faseada e controlada leva à mistura de resíduos inertes com contaminados, comprometendo:

- A segurança dos trabalhadores e do ambiente envolvente;
- A segregação adequada dos materiais;
- A valorização dos resíduos recicláveis.

Um dos principais entraves à gestão eficiente dos resíduos nesta fase é o desconhecimento da verdadeira composição dos materiais, muitas vezes ocultos ou integrados noutros elementos construtivos. Por exemplo:

- Um betão estrutural aparentemente limpo pode ter estado em contacto prolongado com óleos industriais, combustíveis ou PCB, tornando-se um resíduo contaminado;
- Uma madeira reutilizável pode estar pintada com tinta com chumbo, ou impregnada com biocidas de uso restrito;
- Certos agregados de enchimento, massas ou argamassas decorativas podem conter fibras de amianto ou metais pesados, difíceis de detetar a olho nu;
- Impermeabilizações com alcatrão contendo HAP, utilizadas até aos anos 90 em coberturas, lajes técnicas e juntas, são frequentemente ignoradas, mas exigem tratamento específico e eliminação como resíduo perigoso.

Além disso, a migração de contaminantes entre materiais por contacto físico ou por absorção ao longo do tempo é um fenómeno bem documentado. Madeira em contacto com tintas à base de chumbo, estruturas porosas que absorvem hidrocarbonetos, ou juntas de dilatação contaminadas por colas antigas, constituem exemplos de contaminação indirecta, mas real, que transforma um material aparentemente reutilizável num resíduo perigoso.

Estas condições inviabilizam, na prática, a reutilização ou reciclagem de muitos materiais não contaminados, que passam a ter de ser eliminados como resíduos perigosos. A valorização torna-se impossível, quer por questões de segurança, quer por incumprimento legal.

Neste contexto, uma estratégia complementar e cada vez mais necessária é a protecção activa dos materiais não contaminados, através da sua remoção prévia, isolamento físico ou cobertura temporária durante os trabalhos de desconstrução ou descontaminação. Esta abordagem permite evitar contaminação cruzada, garantir a separação efectiva das fracções valorizáveis e maximizar o aproveitamento de recursos.

Por outro lado, os resíduos perigosos identificados devem ser manuseados e acondicionados de forma adequada, respeitando as normas técnicas e de segurança em vigor. O seu transporte exige equipas especializadas e veículos licenciados, com cumprimento rigoroso da legislação aplicável. Em Portugal e noutros países da União Europeia, esse transporte rege-se pelo Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR), que define as regras de embalagem, rotulagem, sinalização e documentação. Já na Suíça, é obrigatório o cumprimento das

disposições da Ordinância sobre os Movimentos de Resíduos (OmoD), que regula de forma rigorosa a rastreabilidade dos resíduos perigosos e o seu encaminhamento para instalações devidamente licenciadas.

Estes resíduos devem ser encaminhados para centros de tratamento, valorização ou aterros especializados, com rastreabilidade documental (por exemplo, as guias electrónicas de acompanhamento de resíduos – e-GAR em Portugal ou os formulários de acompanhamento obrigatórios na Suíça), assegurando a eliminação segura ou a recuperação controlada dos materiais contaminados.

Estas práticas, quando integradas num plano de gestão de resíduos específico para a obra, garantem o cumprimento legal, a protecção da saúde pública e a promoção de uma construção mais sustentável.

2.2 Impacto ambiental e económico da gestão inadequada de resíduos

A gestão inadequada de resíduos e gases perigosos em edifícios representa uma ameaça significativa, não apenas para o ambiente, mas também para a saúde pública, a durabilidade das construções e a economia do sector. A ausência de práticas de triagem, diagnóstico e encaminhamento apropriado destes materiais conduz a consequências graves, muitas vezes irreversíveis, que poderiam ser evitadas com planeamento e controlo técnico adequados.

Efeitos na saúde humana e qualidade ambiental

Do ponto de vista da saúde pública, os resíduos e gases perigosos libertados durante a vida útil, reabilitação ou desconstrução de edifícios podem expor os ocupantes e os trabalhadores a substâncias tóxicas, cancerígenas ou bioacumulativas. A exposição pode ocorrer por inalação, ingestão ou contacto dérmico, frequentemente sem sinais visíveis ou imediatos, o que dificulta o diagnóstico precoce e compromete a prevenção eficaz.

Entre os riscos mais relevantes destacam-se:

- Exposição a fibras de amianto, associada a doenças graves como asbestose, cancro do pulmão e mesotelioma. A nível mundial, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que mais de 107.000 pessoas morrem anualmente devido a doenças relacionadas com o amianto. No espaço europeu, o Parlamento Europeu estima que cerca de 70.000 mortes por ano estejam associadas a cancros profissionais provocados por esta exposição, representando aproximadamente 78% de todos os cancros de origem ocupacional. Projeções indicam que, entre 1995 e 2029, mais de 250.000 pessoas poderão morrer na Europa Ocidental em consequência de doenças relacionadas com o amianto (Tabela 1).

Em Portugal, embora a utilização de amianto tenha sido interdita em 2005, milhares de edifícios públicos e privados continuam a conter materiais com esta substância. A falta de estatísticas nacionais consolidadas impede uma avaliação precisa do impacto, mas prevê-se que o número de casos aumente nas próximas décadas, tendo em conta o longo período de latência (20 a 50 anos) das doenças associadas. Na Suíça, onde o amianto foi proibido em 1989, estima-se que o número de mortes atinja o seu pico por volta de 2025, devido ao histórico de uso intensivo e à persistência dos efeitos ao longo do tempo (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados comparativos de mortes associadas à exposição ao amianto

País / Região	Ano de proibição	Estimativa de mortes / casos	Indicador	Fonte principal
Mundo	-	>107 000 mortes/ano	Doenças relacionadas com amianto	<i>World Health Organization (WHO)</i>
União Europeia	-	~70 000 mortes/ano	Cancros profissionais (≈78% ligados ao amianto)	<i>European Parliament / ETUC</i>
Portugal	2005	Dados não consolidados	Risco futuro (latência 20–50 anos)	Diretiva 1999/77/CE / DGS
Suíça	1989	120–150 casos/ano	Mesotelioma	OFSP / SUVA
Reino Unido	1999	~2 500 casos/ano	Mesotelioma	<i>UK Health and Safety Executive</i>
Itália	1992	~1 600 casos/ano	Mesotelioma	<i>Italian National Mesothelioma Register</i>
Alemanha	1993	~1 500 casos/ano	Mesotelioma	<i>German Cancer Registry</i>
França	1997	~1 200 casos/ano	Mesotelioma	<i>Santé Publique France</i>
Espanha	2002	~600 casos/ano	Mesotelioma (tendência crescente)	<i>Instituto de Salud Carlos III</i>

- Inalação de poeiras com metais pesados, como chumbo, mercúrio, cádmio, arsénio, zinco, cobre e níquel, frequentemente presentes em tintas antigas, massas de vedação, canalizações ou revestimentos. Estes elementos têm efeitos comprovados sobre o sistema nervoso central, rins, fígado e ossos. A OMS estima que a exposição ao chumbo contribui para cerca de 0,6% da carga global de doenças, sobretudo em contextos urbanos, industriais e escolares.
- Contaminação por Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP), compostos altamente persistentes e cancerígenos, libertados por impermeabilizações antigas, alcatrões, colas e betumes utilizados em coberturas, juntas estruturais e caves técnicas. Estes compostos têm forte afinidade com tecidos humanos e animais, sendo reconhecidos como um dos principais poluentes atmosféricos urbanos.
- Exposição a compostos orgânicos voláteis (COVs), como formaldeído, tolueno, xileno e benzeno, emitidos por colas, tintas, espumas, plásticos ou madeiras tratadas. Estas substâncias provocam sintomas respiratórios, neurológicos e dermatológicos, sendo muitas delas classificadas como cancerígenas. Estudos europeus recentes revelam que até 40% dos edifícios monitorizados apresentam concentrações de COVs superiores aos valores de referência definidos pela OMS, especialmente em ambientes interiores mal ventilados.
- Exposição ao Hexabromociclododecano (HBCD), um retardador de chama amplamente utilizado em placas de poliestireno expandido (EPS/XPS) para isolamento térmico até meados da década de 2010. Classificado como poluente orgânico persistente (POP) pela Convenção de Estocolmo, o HBCD apresenta elevada toxicidade, persistência ambiental e bioacumulação. Apesar da sua proibição na Europa desde 2015, continua presente em muitos edifícios, sobretudo em coberturas e fachadas técnicas.

- Exposição ao radão, um gás radioactivo natural que se infiltra nos edifícios a partir do subsolo e se acumula em espaços fechados, como caves, garagens e pisos térreos. Segundo a OMS, o radão é responsável por entre 3% a 14% dos casos de cancro do pulmão na Europa, sendo a segunda principal causa desta doença depois do tabagismo. Em Portugal, de acordo com o Plano Nacional para o Radão (DGS, 2020), cerca de 10% dos edifícios habitacionais apresentam concentrações superiores a 300 Bq/m³. Na Suíça, o controlo é mais rigoroso, existindo zonas de risco oficialmente definidas e exigência legal de medidas preventivas em obras novas ou reabilitações em zonas críticas (Tabela 2).

Tabela 2 - Mortes anuais estimadas atribuíveis ao radão

País / Região	Mortes anuais estimadas atribuíveis ao radão	Percentagem do cancro do pulmão	Base metodológica	Fonte principal
União Europeia	~20 000	~9 %	Modelos epidemiológicos (risco atribuível)	<i>European Commission / JRC</i>
Alemanha	~2 800	~7–10 %	Estudo epidemiológico nacional	<i>German Federal Office for Radiation Protection</i>
Reino Unido	~1 100	~3 %	Modelos epidemiológicos + dados nacionais	<i>UK Health Security Agency / HSE</i>
França	~3 000	~12 %	Modelos de exposição residencial	<i>Santé Publique France</i>
Espanha	~1 500	~8 %	Estimativa epidemiológica	<i>Instituto de Salud Carlos III</i>
Portugal	~900	~10–12 %	Estimativa OMS / UE (subnotificação)	<i>World Health Organization / DGS</i>
Suíça	~200–300	~8–10 %	Modelos nacionais de exposição	OFSP (BAG)

Estes agentes, muitas vezes ocultos nos materiais de construção ou libertados durante intervenções técnicas, podem permanecer durante décadas nos ambientes interiores, acumulando-se progressivamente e afectando em especial os grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos, grávidas e pessoas com doenças respiratórias ou imunológicas. A ausência de diagnóstico e de medidas de contenção adequadas durante as intervenções contribui, frequentemente, para a exposição involuntária e contínua dos utilizadores e dos trabalhadores envolvidos.

Impacto na Durabilidade e Eficiência dos Edifícios

A presença de materiais contaminados, degradados ou tecnologicamente ultrapassados nos edifícios não afecta apenas a saúde humana, mas compromete também a sua durabilidade estrutural, funcionalidade e eficiência energética. A degradação química, física ou biológica de certos componentes pode acelerar fenómenos de deterioração, reduzir a vida útil dos elementos construtivos e aumentar significativamente os custos de manutenção e reabilitação.

Entre os efeitos mais comuns destacam-se:

- Alterações nas características físico-químicas dos materiais, como no caso de betões contaminados por hidrocarbonetos, óleos ou PCBs, que perdem coesão, tornam-se mais porosos e facilitam a penetração de agentes agressivos (cloretos, dióxido de carbono, sulfatos), comprometendo a durabilidade das armaduras e acelerando processos de corrosão.
- Reacções entre contaminantes e elementos construtivos adjacentes, como a lixiviação de metais pesados de argamassas ou tintas antigas para materiais porosos vizinhos, levando à contaminação secundária de elementos potencialmente valorizáveis.

- Degradação de sistemas de isolamento térmico ou acústico, por presença de humidade, bolores, colónias bacterianas ou agentes retardadores de chama obsoletos e tóxicos, como o HBCD. Estes materiais perdem desempenho técnico e, em muitos casos, tornam-se resíduos perigosos que exigem eliminação especializada.
- Danos provocados por gases ou compostos voláteis acumulados, como o radão, que pode interagir com certos materiais e estruturas metálicas, ou o formaldeído, que acelera o envelhecimento de colas, espumas e componentes interiores.

Estas situações comprometem a qualidade construtiva e a eficiência global dos edifícios, obrigando à substituição precoce de materiais e componentes, e à introdução de sistemas auxiliares (ventilação forçada, barreiras físicas, filtros), que aumentam o consumo energético e os custos operacionais. Em muitos casos, a presença de resíduos perigosos in situ inviabiliza a realização de obras de reabilitação energética, por falta de condições seguras para intervenção.

Por outro lado, edifícios com materiais contaminados não podem, na maioria dos casos, obter certificação ambiental (LEED, BREEAM, SBTool, HQE), nem beneficiar de incentivos associados à renovação sustentável. A simples presença de amianto, HAP, COVs ou metais pesados em certos elementos pode excluir automaticamente o edifício de candidaturas a fundos públicos, programas de eficiência ou operações de reutilização de materiais.

A ausência de diagnóstico e gestão atempada destes materiais pode também levar à necessidade de interdição ou evacuação preventiva de edifícios públicos e privados, como já ocorreu em escolas, hospitais e habitações sociais em diversos países europeus.

Por fim, importa salientar que a valorização de materiais contaminados é frequentemente impossível, devido ao seu estatuto legal de resíduo perigoso e à impossibilidade de separação eficaz das substâncias nocivas. Assim, mesmo componentes estruturalmente íntegros (ex.: madeira, betão, placas, painéis) tornam-se inutilizáveis, agravando o impacto ambiental e económico da intervenção.

A economia circular aplicada à construção

A transição do sector da construção para um modelo de economia circular constitui um dos grandes desafios da actualidade em matéria de sustentabilidade, eficiência no uso de recursos e redução de impactes ambientais. A economia circular propõe um sistema onde os materiais são mantidos em circulação o maior tempo possível, através da sua reutilização, reparação, renovação e reciclagem, minimizando simultaneamente a produção de resíduos e a extração de matérias-primas virgens.

No contexto da construção, os princípios da economia circular traduzem-se em várias práticas estratégicas:

- Conceção para desmontagem (design for disassembly): prevendo desde a fase de projecto a possibilidade de desmontar os elementos construtivos para futura reutilização;
- Selecção de materiais reutilizáveis ou recicláveis: privilegiando componentes com baixo impacte ambiental, sem substâncias perigosas e com ciclos de vida conhecidos;
- Reabilitação em vez de substituição: estendendo a vida útil dos edifícios existentes através de intervenções cirúrgicas e planeadas;

- Recuperação e valorização de materiais de construção: como o betão reciclado, madeira tratada, vidro, metais e componentes técnicos;
- Minimização de resíduos em obra: através de técnicas de construção mais limpas e de uma melhor gestão dos fluxos materiais.

Estes princípios estão alinhados com as metas do Pacto Ecológico Europeu e com os objectivos do Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia, que visam, até 2030, reduzir significativamente a produção de resíduos não reciclados e aumentar o reaproveitamento de materiais de construção e desconstrução.

No entanto, apesar do seu potencial, a aplicação da economia circular na construção enfrenta limitações importantes quando estão presentes resíduos perigosos ou materiais contaminados. Em muitos edifícios construídos até finais do século XX, é frequente encontrar:

- Componentes contendo amianto, que exigem remoção e eliminação especial, impossibilitando a sua reciclagem ou reutilização;
- Tintas, massas e isolamentos com metais pesados, que contaminam substratos como madeira, alvenarias e betões, tornando-os inutilizáveis;
- Impermeabilizações antigas com alcatrão e HAP, que contaminam coberturas, lajes técnicas e juntas estruturais;
- Materiais impregnados com retardadores de chama tóxicos (como o HBCD), frequentes em placas de isolamento térmico e em mobiliário técnico;
- Betões ou estruturas absorventes contaminadas por hidrocarbonetos ou PCBs, cuja descontaminação é tecnicamente complexa e economicamente inviável.

Nestes casos, a tentativa de reaproveitamento pode acarretar riscos sérios para a saúde pública e para o ambiente, além de infringir a legislação em vigor. Por esse motivo, qualquer estratégia de economia circular deve ser precedida de um diagnóstico técnico rigoroso, que permita distinguir entre materiais passíveis de reutilização e resíduos perigosos que devem ser segregados e eliminados de forma controlada.

Além disso, a presença destes materiais compromete a rastreabilidade e a certificação da origem dos produtos reciclados, dificultando a sua aceitação no mercado e a obtenção de créditos em sistemas de certificação ambiental. Também impõe custos adicionais de transporte, armazenamento e descontaminação, reduzindo a competitividade das soluções circulares.

Em Síntese, embora a economia circular represente uma oportunidade real de redução de impactes ambientais e conservação de recursos naturais, a sua implementação no sector da construção exige uma abordagem integrada, que inclua a identificação e gestão segura de resíduos perigosos, bem como o desenvolvimento de tecnologias de descontaminação e valorização adaptadas a contextos complexos.

2.3 Estado da arte da gestão de resíduos

A gestão de resíduos no setor da construção tem sido amplamente analisada na literatura científica, refletindo a relevância ambiental, técnica e sanitária associada às atividades de construção, reabilitação e demolição. O setor é caracterizado por um consumo intensivo de recursos naturais e por uma produção significativa de resíduos, o que tem motivado o desenvolvimento de modelos de gestão mais eficientes ao longo do ciclo de vida dos edifícios, desde a fase de projeto até ao fim de vida.

Os estudos iniciais sobre gestão de resíduos na construção centravam-se sobretudo na quantificação dos resíduos gerados e na otimização das operações de deposição final. Progressivamente, a investigação passou a integrar abordagens mais abrangentes, incorporando conceitos como prevenção na origem, reutilização de materiais e valorização de resíduos. Esta evolução reflete uma mudança de paradigma técnico, em que a gestão de resíduos deixa de ser encarada apenas como uma etapa final do processo construtivo e passa a ser considerada uma componente integrante da conceção, utilização e transformação dos edifícios (Coelho & de Brito, 2012).

A maioria da literatura existente incide predominantemente sobre os RCD de natureza inerte e potencialmente reciclável, tais como betão, cerâmica, madeira e metais. Estes materiais representam, em termos quantitativos, a maior fração dos resíduos gerados pelo setor da construção, justificando a atenção dedicada à sua reciclagem, valorização material e reintegração em novos ciclos produtivos. Diversos estudos demonstram avanços significativos na eficiência dos processos de reciclagem destes resíduos, bem como no desenvolvimento de aplicações técnicas para a sua reutilização, particularmente no caso do betão reciclado e dos agregados secundários.

Em contraste, a gestão de resíduos perigosos e de materiais contaminados provenientes de edifícios existentes permanece um domínio menos desenvolvido e menos sistematizado na literatura científica. Este aspeto assume particular relevância nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução, em que a presença de substâncias perigosas pode representar riscos elevados para a saúde humana e para o ambiente (Curado, A., Nunes, L. J. R., Carvalho, A., Abrantes, J., Lima, E., & Tomé, M, 2024). A literatura identifica como principais exemplos destes resíduos o amianto, os PCB, os HAP, os metais pesados, bem como determinados retardadores de chama e compostos orgânicos voláteis.

A complexidade associada à gestão destes resíduos resulta não apenas das suas propriedades físico-químicas, mas também da sua integração nos elementos construtivos dos edifícios. Ao contrário dos resíduos inertes, os resíduos perigosos encontram-se frequentemente incorporados em pavimentos, colas, selantes, isolamentos, revestimentos e equipamentos técnicos, o que dificulta a sua identificação e remoção seletiva. Além disso, a exposição prolongada de ocupantes e trabalhadores a estes contaminantes, sobretudo em edifícios antigos, constitui um fator adicional de risco que tem sido amplamente reconhecido na literatura sobre saúde ambiental e qualidade do ar interior (World Health Organization, 2017).

Um dos pontos centrais identificados pelos estudos mais recentes é a importância do diagnóstico técnico prévio como base para uma gestão eficaz dos resíduos perigosos. A ausência de inventários sistemáticos de materiais e substâncias perigosas conduz frequentemente a decisões conservadoras em contexto de obra, limitando a triagem seletiva e conduzindo ao encaminhamento indiferenciado de resíduos que poderiam, em determinadas condições, ser sujeitos a processos de descontaminação ou valorização. Esta limitação é apontada como um dos principais entraves à aplicação de práticas mais sustentáveis em operações de reabilitação e desconstrução.

Paralelamente, a literatura tem vindo a destacar a necessidade de integrar a gestão de resíduos perigosos com a avaliação dos riscos para a saúde humana. Diversos autores sublinham que a abordagem tradicional, centrada exclusivamente na classificação e encaminhamento dos resíduos, é insuficiente quando aplicada a edifícios existentes, onde a exposição pode ocorrer durante longos períodos e envolver diferentes grupos de utilizadores. Assim, tem-se defendido uma abordagem integrada que considere simultaneamente a caracterização técnica dos materiais, os cenários de exposição e as medidas de proteção adequadas para ocupantes e trabalhadores.

Nos últimos anos, têm também emergido estudos que exploram o potencial das ferramentas digitais como suporte à gestão de resíduos no setor da construção. Sistemas de modelação da informação da construção (BIM), bases de dados de materiais e passaportes de materiais são referidos como instrumentos capazes de melhorar a rastreabilidade dos componentes construtivos e de integrar informação relativa à composição, perigosidade e opções de encaminhamento dos resíduos. Embora a aplicação prática destas ferramentas ainda se encontre em desenvolvimento, a literatura reconhece o seu potencial para apoiar a tomada de decisão em intervenções em edifícios existentes (Adama Olumo, Carl Hass, 2024).

Apesar dos avanços registados, revisões científicas recentes indicam que persistem barreiras significativas à gestão sustentável de resíduos perigosos na construção. Entre estas destacam-se a falta de diagnóstico antecipado, a inexistência de critérios técnicos harmonizados para a avaliação de contaminantes, os custos associados à descontaminação e a escassez de dados sistematizados sobre a composição dos edifícios existentes. Estes fatores contribuem para a manutenção de práticas de gestão pouco otimizadas, especialmente em contextos de reabilitação e desconstrução de edifícios antigos.

Em síntese, a análise do estado da arte evidencia que, embora a gestão de resíduos de construção tenha registado progressos significativos, a integração efetiva dos resíduos e gases perigosos nos modelos de gestão sustentável continua a representar um desafio relevante. A literatura converge na necessidade de abordagens integradas, assentes em diagnóstico técnico rigoroso, avaliação de riscos para a saúde e utilização de ferramentas de apoio à decisão. É neste enquadramento que se insere a presente dissertação, procurando contribuir para a caracterização e gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com particular enfoque em contextos de reabilitação e desconstrução (Tabela 3).

Tabela 3 - Lacunas da literatura e contributos da dissertação

Dimensão de análise	Lacunas identificadas na literatura científica	Contributo específico da presente dissertação
Âmbito temático	Predominância de estudos focados em resíduos de construção e demolição (RCD) inertes, com atenção limitada a resíduos e gases perigosos em edifícios	Enfoque específico na caracterização e gestão de resíduos e gases perigosos em edifícios existentes
Tipologia de substâncias analisadas	Análise fragmentada de contaminantes individuais (ex.: apenas amianto ou apenas COV)	Abordagem integrada a múltiplos contaminantes: amianto, PCB, HAP, chumbo, HBCD, COV, PFAS e radão
Gases perigosos em edifícios	Menor desenvolvimento científico relativamente aos gases perigosos, face aos resíduos sólidos	Inclusão explícita dos gases perigosos (radão, CO, COV) na análise da perigosidade do ambiente construído

Dimensão de análise	Lacunas identificadas na literatura científica	Contributo específico da presente dissertação
Localização dos contaminantes	Identificação genérica da presença de poluentes, sem correlação espacial detalhada	Mapeamento sistemático dos resíduos e gases perigosos por compartimento e elemento construtivo
Diagnóstico técnico prévio	Ausência de metodologias estruturadas de diagnóstico antes de intervenções	Proposta de abordagem integrada baseada em inspeção visual, ensaios in situ e análises laboratoriais
Integração saúde-ambiente	Tratamento separado da gestão de resíduos e da avaliação de riscos para a saúde humana	Integração da caracterização dos resíduos e gases perigosos com a avaliação de riscos para ocupantes e trabalhadores
Ciclo de vida do edifício	Ênfase maior na fase de demolição, com menor atenção às fases de utilização e reabilitação	Análise das fases de utilização, reabilitação e desconstrução no contexto da gestão sustentável
Ferramentas digitais	Referências teóricas a BIM e passaportes de materiais, com aplicação limitada	Enquadramento do uso de ferramentas digitais como suporte à rastreabilidade e gestão técnica dos resíduos
Economia circular	Abordagem teórica da economia circular, pouco condicionada pela perigosidade dos materiais	Análise crítica da aplicação da economia circular condicionada pela presença de resíduos e gases perigosos
Sustentabilidade	Sustentabilidade analisada sobretudo em termos quantitativos de reciclagem	Integração da sustentabilidade ambiental com proteção da saúde humana e segurança em obra
Enquadramento normativo	Análises normativas frequentemente desarticuladas da prática técnica	Articulação entre requisitos normativos e procedimentos técnicos de diagnóstico e gestão
Tomada de decisão em contexto real	Falta de apoio técnico à decisão em edifícios existentes com contaminação	Contributo para decisões mais informadas através de diagnóstico antecipado e informação estruturada
Aplicabilidade prática	Estudos predominantemente teóricos ou de âmbito genérico	Aplicação dos conceitos a contextos reais de edifícios existentes, típicos do parque edificado europeu

3. Enquadramento Legislativo dos Resíduos Sólidos e Gases na Construção

A regulamentação relativa à gestão de resíduos sólidos e gases perigosos na construção tem vindo a consolidar-se como uma prioridade no contexto da sustentabilidade ambiental e da proteção da saúde pública. A crescente consciencialização acerca dos impactos negativos da má gestão dos RCD, bem como da exposição a gases tóxicos como o radão, os COVs, os HAP ou os PCB, tem conduzido a avanços significativos no plano legislativo, tanto a nível europeu como nacional.

As normas em vigor procuram assegurar uma gestão responsável e segura de materiais perigosos, impondo regras para a sua identificação, tratamento, transporte e destino final. A legislação abrange desde os resíduos sólidos de origem mineral (betão, alvenarias, argamassas, etc.) até aos resíduos contaminados com substâncias perigosas, passando pela avaliação da qualidade do ar interior e a presença de poluentes gasosos em edifícios.

Este capítulo analisa a evolução e o estado atual do enquadramento legal em diferentes contextos geográficos, nomeadamente na União Europeia, em Portugal, na Suíça e noutros países com práticas de referência. Também se abordam as normas técnicas aplicáveis, as responsabilidades dos operadores e as perspetivas de evolução normativa, com destaque para a necessidade de harmonização internacional e de reforço dos mecanismos de fiscalização e sensibilização.

3.1 Histórico da legislação sobre resíduos da construção

A regulamentação sobre resíduos de construção e desconstrução (RCD), bem como sobre a manipulação de materiais perigosos em edifícios, tem evoluído significativamente nas últimas décadas, acompanhando o aumento da consciencialização ambiental, a transição para modelos circulares e a crescente exigência de proteção da saúde pública. Esta evolução tem sido desigual entre países, refletindo diferenças nos contextos técnicos, económicos e sociais (Tabela 4).

Tabela 4 - Evolução Legislativa Internacional na Gestão de Resíduos Perigosos e Materiais Contaminantes em Edifícios

Ano	País/Região	Evento	Resíduos Legislad
1976	Estados Unidos	Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)	Resíduos diversos
1976	Estados Unidos	Toxic Substances Control Act (TSCA)	Amianto
1983	Suíça	LPE - Lei de Proteção Ambiental	RCD
1989	Internacional	Convenção de Basileia	COVs, metais pesados, PCB
1989	Suíça	Proibição do amianto	Amianto
1990	Estados Unidos	Clean Air Act – regulação de amianto e COVs	Resíduos perigosos
1990	Reino Unido	Environmental Protection Act	Resíduos perigosos
1992	Itália	Lei n.º 257/1992 - Proibição do amianto	Resíduos
1993	Países Baixos	Proibição do amianto	HAP, PCB, metais pesados
1995	Internacional	Convenção de Roterdão	Amianto, COVs

Ano	País/Região	Evento	Resíduos Legislativos
1996	Alemanha	Regulamento TRGS 519 - Amianto	Todos (ambiental geral)
1997	França	Proibição do amianto	Amianto
1997	Portugal	DL n.º 239/97 - Regime geral de resíduos	Resíduos e substâncias perigosas
1998	Bélgica	Proibição total do amianto	Resíduos perigosos
1998	África do Sul	National Environmental Management Act (NEMA)	Amianto
1999	Canadá	Canadian Environmental Protection Act (CEPA)	Amianto
2000	Países Baixos	Política Nacional para Reutilização de Materiais de Construção	Resíduos perigosos
2001	Internacional	Convenção de Estocolmo	Amianto, PCB, metais pesados
2001	África do Sul	Asbestos Regulations – proibição e gestão	POP (HBCD, PCB, HAP)
2002	Brasil	Resolução CONAMA n.º 307 – RCD	POP e resíduos perigosos
2004	Portugal	Portaria n.º 209/2004 - Transporte de resíduos perigosos	Amianto
2005	Reino Unido	Hazardous Waste Regulations	Resíduos perigosos
2006	Espanha	Real Decreto 396/2006 - Riscos com amianto	Resíduos perigosos
2006	Itália	Decreto Legislativo 152/2006 - Gestão ambiental e resíduos	Resíduos perigosos
2007	Portugal	DL n.º 266/2007 - Gestão de resíduos com amianto	Resíduos perigosos
2008	França	Plano Nacional de Descontaminação (HAP, PCB, chumbo)	Amianto, resíduos urbanos
2008	Portugal	DL n.º 46/2008 - RCD	Amianto
2008	UE	Diretiva 2008/98/CE - Quadro de resíduos	RCD, resíduos perigosos
2010	Brasil	Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305)	Amianto
2012	Alemanha	Lei de Gestão de Resíduos (KrWG)	Resíduos reutilizáveis
2012	Reino Unido	Control of Asbestos Regulations	Resíduos perigosos
2014	Portugal	Despacho n.º 40/2014 - Levantamento de amianto	Substâncias tóxicas
2015	Internacional	Proibição internacional do HBCD	Amianto, COVs
2017	UE	LER - Atualização de resíduos perigosos	Poluentes diversos
2018	Bélgica	Plano de gestão de amianto obrigatório nos edifícios	RCD
2018	Canadá	Proibição do amianto	Resíduos gerais
2020	Portugal	DL n.º 102-D/2020 - Novo regime geral de resíduos	Amianto
2021	Portugal	e-GAR obrigatório	Amianto
2022	Espanha	Lei 7/2022 - Economia Circular e resíduos perigosos	Materiais recicláveis
2023	UE	Revisão diretiva sobre amianto e COVs	Amianto

União Europeia

O enquadramento comunitário tem sido essencial para a definição de princípios comuns e a harmonização da legislação nos Estados-Membros. A Diretiva 2008/98/CE, revista em 2018 no âmbito do Pacote da Economia Circular, estabelece a hierarquia dos resíduos (prevenção, reutilização, reciclagem, valorização e eliminação), e impõe metas ambiciosas como a reciclagem de pelo menos 70% dos resíduos não perigosos de construção até 2025.

Além disso, a diretiva define os critérios para a classificação de resíduos perigosos, os requisitos para operadores licenciados e a responsabilidade dos produtores. Em 2023, o Parlamento Europeu aprovou a revisão da Diretiva sobre exposição ao amianto no trabalho, que reduziu drasticamente os limites de exposição admissíveis e passou a exigir métodos de deteção mais sensíveis.

Embora a legislação comunitária aborde maioritariamente resíduos sólidos, começam a surgir orientações complementares sobre a qualidade do ar interior e a presença de COVs, HAPs e gases radioativos em edifícios, incentivando os Estados-Membros a adotarem medidas preventivas.

Transposição para o Ordenamento Jurídico de Portugal

Em Portugal, a transposição da Diretiva 2008/98/CE materializou-se em vários diplomas legais.

O Decreto-Lei n.º 102-D/2020, que estabelece o Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR), introduz medidas concretas para assegurar a rastreabilidade, triagem e valorização dos resíduos, exigindo que os fluxos de RCD sejam tratados por operadores licenciados.

O Decreto-Lei n.º 46/2008 define as obrigações relativas à gestão de RCD em obras públicas e privadas com custo estimado superior a €350.000, incluindo a elaboração de planos de gestão de resíduos e a separação dos resíduos na origem.

No que respeita a materiais perigosos, o Decreto-Lei n.º 266/2007, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 63/2020, regula a remoção e gestão de resíduos contendo amianto, enquanto o Despacho n.º 40/2014 da DGS e ACT fornece orientações técnicas para a proteção dos trabalhadores.

Quanto aos gases perigosos, a regulamentação nacional é ainda parcial, mas existem orientações específicas:

- O radão é reconhecido como um agente cancerígeno, sendo alvo de recomendações por parte da DGS e do LNEG para avaliação da exposição em zonas críticas.
- Os COVs, como o formaldeído, são tratados nas normas de qualidade do ar interior e por entidades como o LNEC, que divulgam boas práticas de monitorização.
- Os vapores de PCB e HAP têm enquadramento técnico e recomendações de atuação, mas ainda carecem de uma regulamentação integrada e obrigatória.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a Direção-Geral da Saúde (DGS), a Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) e as autarquias assumem competências complementares na fiscalização, emissão de licenças e definição de orientações técnicas (Tabela 4). Suíça

Na Suíça, a regulamentação sobre resíduos de construção e poluentes em edifícios é altamente desenvolvida e reconhecida pela sua abordagem preventiva e integradora. A Ordenança sobre Limitação e Eliminação de Resíduos (OLED) e a Ordenança sobre a Redução dos Riscos Químicos (ORRChem) estabelecem as bases legais para a identificação, remoção e tratamento de materiais perigosos, incluindo resíduos contendo amianto, PCB, HAP, chumbo e HBCD.

A Suíça exige um diagnóstico obrigatório para poluentes antes de qualquer obra de reabilitação ou desconstrução em edifícios anteriores a 1991. Este diagnóstico deve ser realizado por peritos reconhecidos, e os resultados influenciam diretamente os procedimentos de gestão dos resíduos.

A SUVA (instituição de seguro contra acidentes) desempenha um papel fundamental na divulgação de orientações técnicas, fichas de segurança e formação de profissionais. A sua "casa virtual" permite identificar os locais mais prováveis de contaminação por amianto em edifícios residenciais.

Grande parte das práticas suíças baseiam-se em referências alemãs e francesas, o que demonstra a interdependência normativa da Europa Central. Esta convergência normativa faz da Suíça um exemplo de boas práticas que pode ser replicado noutros países, com vantagens na harmonização internacional e na proteção ambiental e sanitária.

Propõe-se a tornada obrigatória de inspeções preventivas antes de qualquer intervenção, a certificação das condições pós-obra e a divulgação das bases de dados de risco junto dos trabalhadores, para evitar a exposição inadvertida. A standardização dos relatórios de diagnóstico é uma ferramenta essencial para facilitar a partilha de dados, o rastreio dos poluentes e o controlo dos resíduos perigosos, evitando sobrecargas nos aterros.

Contexto intercontinental

A nível extra-europeu, vários países desenvolveram enquadramentos robustos que podem servir de referência para a harmonização global (Tabela 1).

Estados Unidos – A gestão de resíduos perigosos é regida sobretudo pela Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) para resíduos sólidos e pela Toxic Substances Control Act (TSCA) para substâncias tóxicas específicas. A TSCA abrange amianto, PCB, chumbo, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e solventes orgânicos, e fixa procedimentos de remoção, transporte e eliminação em instalações licenciadas. A Environmental Protection Agency (EPA) publica ainda directrizes de qualidade do ar interior, com valores-limite para radão (148 Bq/m³ como nível de acção) e COV (referências da norma ANSI/ASHRAE 62.1).

Canadá – A Canadian Environmental Protection Act (CEPA) estabelece requisitos federais para resíduos perigosos e poluentes atmosféricos, enquanto regulamentos provinciais (ex.: O. Reg 347/90 no Ontário; Hazardous Waste Regulation na Colúmbia-Britânica) detalham licenciamento, rotulagem e transporte. O país proibiu o amianto em 2018 e impõe planos de gestão de gás radão em edifícios públicos situados em zonas de risco geológico.

Japão e Coreia do Sul – Ambos os países adoptaram sistemas avançados de auditoria pré-desconstrução, bases de dados digitais de materiais contaminados e incentivos fiscais à reutilização segura. O Japão foi pioneiro na “Lei de Promoção da Reciclagem de Materiais de Construção” (2000), que exige a desmontagem selectiva e a monitorização de COV e formaldeído em interiores; a Coreia impõe testes obrigatórios de radão antes da ocupação de edifícios novos.

Instrumentos multilaterais:

- Convenção de Basileia (1989) – controla movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e respectivo destino final;
- Convenção de Estocolmo (2001) – visa a eliminação ou restrição de poluentes orgânicos persistentes (POP), entre os quais PCB e HBCD;

- Convenção de Roterdão (1998) – estabelece o procedimento de consentimento prévio informado para o comércio internacional de químicos perigosos, incluindo certos materiais de construção tóxicos.

Estas convenções contribuem para alinhar requisitos de documentação, rotulagem e reporte, tanto para resíduos sólidos como para emissões gasosas que contenham POP.

Reino Unido

Após o Brexit, o Reino Unido manteve grande parte do acervo comunitário, mas introduziu ajustes autónomos (tabela 1):

- A *Environmental Protection Act* (1990) consagrou os princípios da responsabilidade alargada do produtor e da rastreabilidade de resíduos perigosos.
- Os *Hazardous Waste Regulations* (2005) exigem o registo obrigatório do local de produção, identificação precisa do resíduo (incluindo códigos para gases venenosos ou inflamáveis) e documentação de transporte até ao destino final. Incluem avaliações de risco específicas para COV, HAP e vapores de PCB libertados durante obras.
- O *Control of Asbestos Regulations* (2012) obriga à elaboração de um plano de gestão do risco de amianto em todos os edifícios susceptíveis de conter este material; qualquer remoção requer empresas certificadas e notificação prévia à Health and Safety Executive (HSE).
- Para gases, o *Ionising Radiations Regulations* (2017) fixa limites de exposição ao radão (300 Bq/m³ para locais de trabalho); e a norma BS EN ISO 16000 é adoptada como referência para monitorização de COV.
- O Reino Unido foi pioneiro nas auditorias pré-desconstrução (*pre-demolition audits*), recomendadas pela UE, que incluem levantamento de materiais perigosos (sólidos e gasosos) e plano de triagem antes do início das obras, facilitando a reciclagem ou reutilização segura.

Este corpo normativo reforça a rastreabilidade dos resíduos, a protecção dos trabalhadores e a integração de gases nocivos na avaliação de risco, constituindo um referencial exportável para outros contextos.

3.2 Diretrizes internacionais

A complexidade e o impacto ambiental da gestão de resíduos perigosos no sector da construção justificam uma crescente harmonização de políticas e práticas a nível internacional. Embora os enquadramentos legais nacionais sejam diversos, várias normas internacionais, diretivas comunitárias e convenções multilaterais têm vindo a estabelecer princípios comuns e requisitos mínimos de protecção ambiental, segurança no trabalho e gestão sustentável de materiais contaminados (Figura 2).

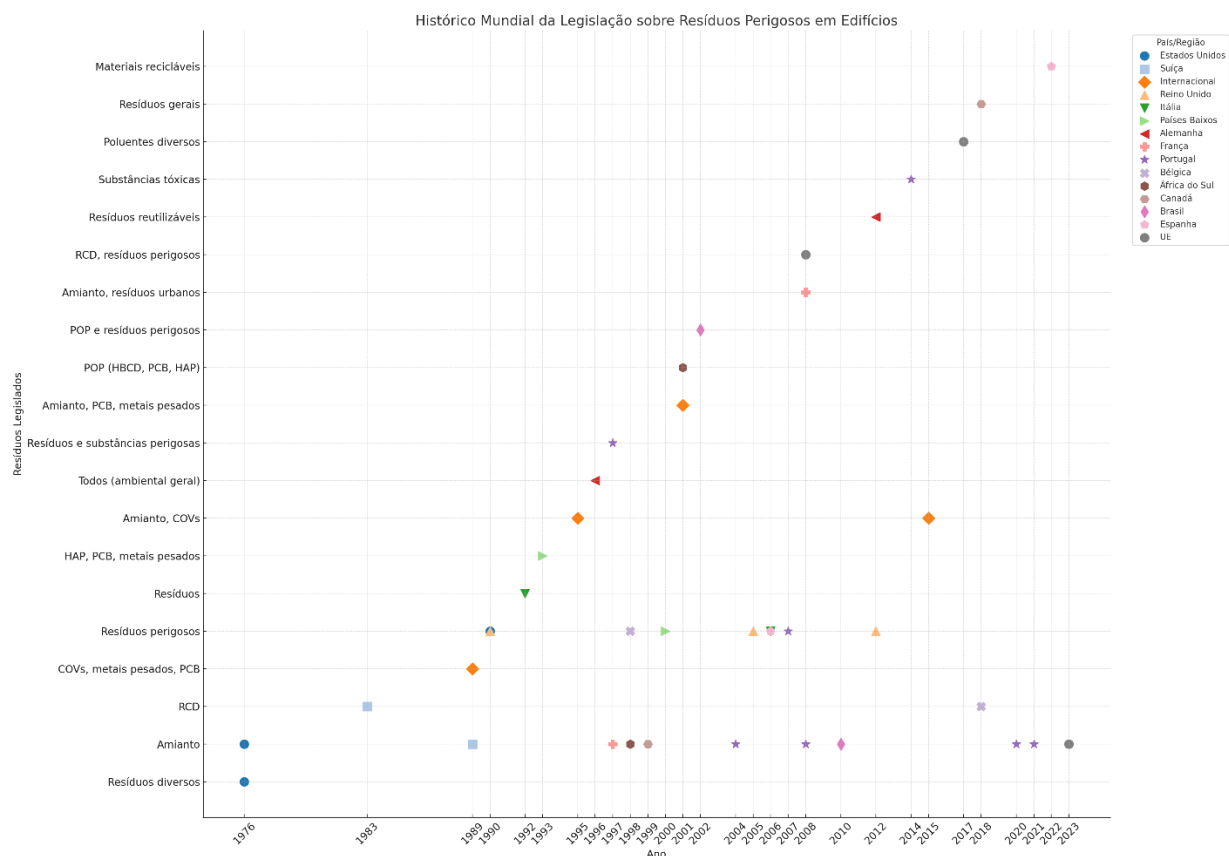


Figura 2 - Evolução legislativa internacional – Histórico Mundial da Legislação sobre Resíduos Perigosos em Edifícios

Diretivas da União Europeia

A União Europeia tem desempenhado um papel central na definição de normas comuns para os Estados-Membros em matéria de resíduos de construção e poluentes perigosos:

- Diretiva (UE) 2008/98 – Diretiva-Quadro dos Resíduos: estabelece a hierarquia de gestão (prevenção, reutilização, reciclagem, valorização e eliminação), define o conceito de resíduo perigoso, impõe a obrigatoriedade de planos de gestão e a triagem na origem;
- Regulamento (UE) 2020/852 – Regulamento Taxonomia Verde: exige que os investimentos e projectos de construção demonstrem conformidade ambiental, incluindo critérios de gestão de resíduos e ausência de poluentes proibidos;
- Diretiva (UE) 2010/31 – Eficiência Energética dos Edifícios: inclui exigências relacionadas com a remoção de materiais tóxicos e com a melhoria ambiental dos edifícios existentes;
- Diretiva (UE) 2019/983 – Protecção dos trabalhadores contra agentes cancerígenos: estabelece limites de exposição ocupacional, nomeadamente para o amianto, formaldeído, benzeno e sílica cristalina;

- Revisão da Diretiva do Amianto (2023) – reduz significativamente os valores-limite de exposição a fibras de amianto (para 0,01 fibras/cm³) e exige métodos de medição mais sensíveis (microscopia electrónica), assim como controlo rigoroso em obras de reabilitação.

Estas diretivas são obrigatoriamente transpostas para o ordenamento jurídico dos Estados-Membros, influenciando diretamente as políticas e práticas de diagnóstico, remoção e gestão de resíduos perigosos em edifícios.

Normas ISO e EN aplicáveis à gestão de resíduos

As normas internacionais ISO (International Organization for Standardization) e europeias EN (European Norms) são amplamente adoptadas pelos Estados-Membros e constituem referências técnicas essenciais para o diagnóstico, caracterização, monitorização e tratamento de resíduos. Entre as mais relevantes destacam-se:

- ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental (inclui gestão de resíduos e substâncias perigosas);
- ISO 16000 – Qualidade do ar interior: avaliação de COVs, formaldeído, partículas e fibras;
- ISO 10381 – Técnicas de amostragem de solos e resíduos sólidos;
- EN 1504 – Reabilitação de estruturas de betão (inclui pré-condições como diagnóstico e remoção de materiais contaminados);
- EN 689 – Exposição por inalação no local de trabalho – medição e avaliação;
- EN 13982, EN 14605 e EN 14126 – Requisitos para vestuário de protecção contra partículas, agentes químicos líquidos e contaminantes biológicos.

Estas normas são particularmente relevantes na fase de caracterização e triagem de materiais, bem como na selecção de técnicas de descontaminação e na protecção dos trabalhadores em obra.

Convenções e acordos multilaterais

A nível global, três convenções internacionais constituem pilares fundamentais para a regulação da gestão de resíduos perigosos e substâncias tóxicas:

- Convenção de Basileia (1989) – regula o movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e a sua eliminação. Estabelece obrigações de notificação, consentimento prévio e tratamento em condições ambientalmente seguras.
- Convenção de Estocolmo (2001) – trata dos poluentes orgânicos persistentes (POPs) como o PCB, HBCD, aldrina, dioxinas, furanos e certos retardadores de chama, incluindo a sua eliminação progressiva e proibição em novas aplicações.
- Convenção de Roterdão (1998) – regula o comércio internacional de substâncias perigosas, exigindo consentimento informado entre países exportadores e importadores de químicos tóxicos, como pesticidas, solventes industriais, chumbo ou amianto.

Portugal, como Estado-Membro da União Europeia, é parte signatária destas convenções, que moldam directamente a legislação nacional relativa ao transporte, acondicionamento, eliminação e reutilização

de resíduos contaminados, incluindo as exigências para obras de reabilitação, desconstrução e reconversão de edifícios.

Normas e legislação na Suíça

A Suíça, embora não sendo membro da União Europeia, possui uma das legislações ambientais mais rigorosas do mundo, baseada em princípios como o poluidor-pagador, a precaução, e a responsabilidade alargada dos produtores. A regulação é estruturada a nível federal, com implementações detalhadas ao nível cantonal.

As principais bases legais e normativas incluem:

- *Loi sur la protection de l'environnement* (LPE) – Lei federal de proteção do ambiente (1983): estabelece os princípios fundamentais da proteção contra poluição, incluindo resíduos, ruído e substâncias perigosas.
- *Ordonnance sur le traitement des déchets* (OTD) – Regulamento federal sobre gestão de resíduos: obriga à separação, identificação e rastreamento de resíduos, incluindo os perigosos.
- *Ordonnance sur les mouvements de déchets* (OMoD / VeVA) – Regulamento sobre os movimentos de resíduos: exige o registo, autorização e rastreabilidade de todos os transportes de resíduos perigosos. Define códigos de resíduos semelhantes à Lista Europeia (LER) e impõe o uso de formulários específicos.
- *Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt)* – A autoridade de segurança no trabalho publica normas técnicas e guias obrigatórios para a protecção dos trabalhadores, incluindo:
 - Ficha 88327 – Trabalhos com amianto: procedimentos, equipamentos de protecção, ventilação e descontaminação (apêndice 1);
 - Ficha 44097 – Riscos ligados ao radão (apêndice 2);
 - Ficha 33106 – Trabalhos com hidrocarbonetos e solos contaminados (apêndice 3);
 - Boas práticas para HAP, PCB, metais pesados e formaldeído, com limites de exposição e métodos de medição específicos.
- Diretrizes da BAFU (Bundesamt für Umwelt) – O Departamento Federal do Ambiente emite documentos técnicos sobre:
 - Classificação de resíduos (perigosos e não perigosos);
 - Métodos de amostragem e ensaio (ex.: amianto, alcatrão, betão contaminado);
 - Critérios de aceitação para centros de triagem e eliminação;
 - Planificação e execução de obras de descontaminação (démolition contrôlée).
- Normas SN (Normes Suisses) – adaptadas frequentemente das normas EN e ISO, incluem:
 - SN EN ISO 16000 – Qualidade do ar interior (como na UE);
 - SN EN 689 – Avaliação da exposição ocupacional;

- SN EN 1504 – Reparação e reforço de betão;
- SN 640 826 – Avaliação e classificação de materiais contaminados;
- SN 640 829 – Medidas correctivas em solos poluídos e obras urbanas.

Além disso, a legislação suíça exige que qualquer projecto de reabilitação ou desconstrução que envolva materiais contaminados (mesmo suspeitos) seja precedido por um diagnóstico ambiental obrigatório, com relatórios técnicos entregues às autoridades cantonais e às empresas especializadas envolvidas. A ausência deste diagnóstico impede legalmente o início da obra.

O transporte de resíduos perigosos na Suíça é regulamentado em articulação com os requisitos do ADR europeu, mas com adaptações próprias exigidas pela OMoD e pela BAFU.

Normas Intercontinentais

A crescente globalização da indústria da construção civil, bem como a intensificação das preocupações ambientais e sanitárias, têm impulsionado o desenvolvimento e a aplicação de normas e orientações técnicas com alcance intercontinental. Estas normas são fundamentais para garantir a segurança na manipulação de resíduos e substâncias perigosas, a rastreabilidade dos materiais ao longo do ciclo de vida do edifício e a harmonização de práticas sustentáveis entre diferentes países e continentes.

Estas normas não substituem a legislação nacional ou europeia, mas complementam-na, oferecendo critérios técnicos normalizados e metodologias amplamente reconhecidas. A sua adopção é frequentemente voluntária, mas pode tornar-se obrigatória em contextos contratuais ou de certificação ambiental.

A ISO - Organização Internacional de Normalização, composta por organismos nacionais de normalização de 167 países, tem sido um dos principais motores da harmonização técnica global. No domínio da construção e da gestão de resíduos perigosos em edifícios, destacam-se as seguintes normas:

- ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental: Fornece um quadro normativo para que as organizações desenvolvam uma abordagem sistemática na gestão ambiental, incluindo o controlo e a redução de resíduos perigosos durante as fases de construção, utilização, reabilitação e desconstrução dos edifícios.
- ISO 14024 – Rótulo ambiental tipo I: Fomenta o uso de materiais com reduzido impacto ambiental através da rotulagem ecológica, facilitando decisões informadas por parte dos projectistas, construtores e consumidores.
- ISO 21930 – Sustentabilidade na construção – Declarações Ambientais de Produto (EPD): Esta norma permite quantificar os impactos ambientais de produtos de construção (incluindo resíduos gerados) com base na análise do seu ciclo de vida, sendo essencial na seleção de soluções construtivas mais sustentáveis.
- ISO 16000 (série) – Qualidade do ar interior: Fundamental para a monitorização de contaminantes químicos e biológicos nos edifícios, como COVs, formaldeído, fibras de amianto em suspensão, entre outros. Estas medições são essenciais para avaliar a exposição dos ocupantes a substâncias perigosas.

A ASTM International, uma organização de normalização sediada nos EUA, é amplamente aceite fora da América do Norte, sendo frequentemente utilizada em laboratórios e projectos de investigação a

nível global. As suas normas são altamente específicas, práticas e voltadas para a aplicação directa no terreno. Exemplos relevantes incluem:

- ASTM D6007 – Determinação de formaldeído em painéis de madeira:
Aplica-se na avaliação da libertação de formaldeído em materiais utilizados em interiores, com implicações directas na saúde dos ocupantes.
- ASTM E2121 – Prática para mitigação de radão em edifícios existentes:
Define metodologias para reduzir os níveis de radão no interior dos edifícios, com base em intervenções estruturais e melhorias na ventilação.
- ASTM D6051 – Identificação de amianto em materiais de construção por microscopia electrónica:
Norma técnica essencial para a análise laboratorial de materiais suspeitos, assegurando a identificação precisa de fibras de amianto em matrizes sólidas.

Estas normas são também frequentemente utilizadas como base para concursos internacionais, auditorias de segurança e certificações ambientais.

Além das normas técnicas, existem tratados internacionais que estabelecem princípios legais e directrizes técnicas para a gestão sustentável de resíduos perigosos, nomeadamente:

- Convenção da Basileia (1989):
Trata dos movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e da sua eliminação. A Convenção proíbe a exportação de resíduos perigosos para países que não disponham de meios técnicos adequados para o seu tratamento. É aplicável a resíduos gerados em edifícios, como materiais com PCB, amianto, metais pesados e solventes orgânicos;
- Convenção de Estocolmo (2001):
Visa a eliminação ou restrição do uso de poluentes orgânicos persistentes (POPs). Muitos destes contaminantes estão presentes em edifícios antigos, como tintas à base de PCB ou PAH (ex.: alcatrão e betumes utilizados como impermeabilizantes ou adesivos);
- Directrizes do PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente:
Incluem manuais técnicos e recomendações para a gestão ambiental de resíduos perigosos na construção e desconstrução, com enfoque em práticas seguras, reutilização e tratamento.

Estas convenções fornecem uma base legal comum para os países signatários, influenciando as políticas ambientais nacionais e incentivando a criação de instrumentos técnicos compatíveis.

Apesar dos avanços na normalização internacional, persistem desafios significativos para uma harmonização efectiva:

- A diversidade de realidades económicas e tecnológicas entre países dificulta a implementação uniforme destas normas;
- As barreiras linguísticas e jurídicas podem limitar a interpretação e aplicação prática dos documentos técnicos;

- Nem todos os países têm infraestruturas laboratoriais ou sistemas de controlo de qualidade compatíveis com os requisitos mais exigentes das normas internacionais.

Contudo, existe um movimento crescente de convergência normativa, impulsionado pela globalização dos mercados, pelos requisitos das cadeias de fornecimento e pelas certificações ambientais internacionais. Certificações como o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ou o DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) integram normas e princípios intercontinentais, influenciando directamente a concepção e gestão dos edifícios em diferentes continentes.

A adopção progressiva destas normas contribui para a comparabilidade internacional de práticas, facilita o comércio de materiais sustentáveis, e melhora o desempenho ambiental e sanitário dos edifícios a uma escala global.

3.3 Perspetivas futuras

A regulamentação ambiental no sector da construção e na gestão de resíduos perigosos tem vindo a evoluir significativamente, acompanhando os avanços científicos, as crescentes exigências sociais e os compromissos globais assumidos no âmbito do desenvolvimento sustentável. No entanto, a complexidade dos desafios ambientais e sanitários associados à edificação exige uma constante actualização e aprofundamento das normas existentes.

As tendências futuras apontam para um reforço dos instrumentos reguladores, com vista à minimização dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos edifícios, à protecção da saúde pública e à promoção de uma economia mais circular e digital.

A transição de um modelo linear para uma economia circular será um dos principais eixos orientadores da regulamentação futura. Neste contexto, prevê-se:

- A exigência de planos de gestão de resíduos de construção e desconstrução mais detalhados, desde a fase de projecto;
- A valorização obrigatória de materiais reutilizáveis e recicláveis, com metas quantificadas nos regulamentos nacionais e comunitários;
- O incentivo à utilização de materiais com declarações ambientais de produto (EPD) e rastreabilidade de componentes perigosos;
- A criação de "passaportes digitais de materiais", contendo informação técnica sobre composição, perigosidade e potencial de reutilização dos elementos construtivos.

Estas medidas poderão ser reforçadas por instrumentos fiscais e financeiros, como penalizações para deposição em aterro e benefícios para projectos com alto desempenho ambiental.

A crescente digitalização da construção, através do BIM (Building Information Modelling) e de sistemas inteligentes de monitorização ambiental, trará implicações directas na regulamentação futura. Estima-se que as normas venham a exigir:

- A integração de dados ambientais nos modelos BIM, incluindo a identificação de materiais perigosos, emissões estimadas e indicadores de sustentabilidade;
- A utilização de sensores inteligentes para monitorização contínua da qualidade do ar interior (radão, COV, formaldeído, partículas finas);
- A implementação de plataformas digitais de registo ambiental, permitindo auditorias, fiscalização e partilha de dados em tempo real entre entidades públicas e privadas.

Estas soluções irão contribuir para uma gestão preventiva dos riscos ambientais e para o aumento da transparência na cadeia de valor da construção.

A regulamentação ambiental futura deverá alargar o seu campo de aplicação a novas substâncias emergentes, actualmente não abrangidas por legislação específica, tais como:

- Nanomateriais utilizados em revestimentos, isolamentos e tintas;
- Compostos fluorados (PFAS), presentes em produtos de impermeabilização;
- Resinas sintéticas e aditivos com efeitos comprovados na saúde humana (ex.: disruptores endócrinos);
- Microplásticos resultantes da degradação de materiais compósitos ou de plásticos de baixa qualidade.

A abordagem futura deverá basear-se no princípio da precaução, impondo restrições à utilização de determinadas substâncias e promovendo alternativas mais seguras.

A regulamentação ambiental tenderá a integrar de forma mais estreita os domínios da saúde pública e da justiça ambiental, com particular incidência nos seguintes aspectos:

- Estabelecimento de limites legais mais rigorosos para a concentração de contaminantes nos espaços interiores, com base em estudos de exposição cumulativa;
- Requisitos obrigatórios de ventilação e filtragem do ar em edifícios escolares, habitação social, hospitais e espaços de uso contínuo;
- Avaliação dos impactos ambientais e sanitários diferenciados em comunidades vulneráveis ou desfavorecidas, promovendo medidas compensatórias e equitativas.

Esta integração será fundamental para garantir ambientes construídos mais seguros e saudáveis para todos os utilizadores.

A crescente urgência das alterações climáticas e a interdependência económica dos mercados irão impulsionar uma maior harmonização normativa internacional, designadamente:

- A adopção de directrizes das Nações Unidas (ONU), da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da União Europeia como referenciais vinculativos em mais países;
- A criação de acordos multilaterais focados na gestão segura de resíduos perigosos em edifícios;

- A definição de padrões mínimos globais de desempenho ambiental aplicáveis a projectos financiados por instituições multilaterais ou em concursos internacionais.

Neste cenário, a regulamentação ambiental será cada vez mais um instrumento estratégico para promover a inovação, a competitividade e a sustentabilidade global do sector da construção.

3.4 Exemplos de aplicação normativa na gestão sustentável de resíduos

A aplicação das normas e regulamentações ambientais na prática exige uma abordagem contextualizada, adaptada às exigências legais de cada país ou região. A Suíça, em particular, destaca-se por ter implementado exigências normativas rigorosas e pioneiras na avaliação e gestão de resíduos perigosos em edifícios existentes. Este capítulo apresenta diferentes estudos de caso, com ênfase nas estratégias aplicadas em edifícios em fase de utilização, reabilitação e desconstrução, e destaca o modelo suíço como referência de boas práticas.

Caso 1 – Diagnósticos obrigatórios em edifícios anteriores a 1991 (Suíça)

Na Suíça, é obrigatória a realização de um diagnóstico de poluentes do edifício (Gebäudeschadstoff-Diagnose / Diagnostic des polluants du bâtiment) antes de qualquer intervenção relevante (reabilitação, desconstrução ou transformação) em edifícios construídos antes de 1991. Esta exigência aplica-se a nível nacional e visa a identificação prévia de materiais contendo substâncias perigosas, com particular destaque para:

- Amianto (fibrocimento, colas, isolamentos, revestimentos);
- Policloreto de bifenilo (PCB), presentes em tintas, selantes, condensadores);
- Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP ou PAH), usados em betumes, alcatrões e colas antigas).

O objectivo deste diagnóstico é garantir a segurança dos trabalhadores, dos ocupantes e do ambiente, evitando a dispersão de poluentes perigosos durante as obras. O relatório de diagnóstico deve ser elaborado por uma entidade ou técnico certificado, e os resíduos identificados devem ser declarados, classificados e eliminados de acordo com os regulamentos de resíduos cantonais e federais.

Caso 2 – Requisitos específicos do Cantão de Genebra

O Cantão de Genebra implementa, desde 2020, uma regulamentação ainda mais exigente, impondo a identificação obrigatória de outros resíduos além dos clássicos (amianto, PCB e HAP). Em edifícios construídos até 2015, é necessário verificar também a presença de:

- Chumbo (em tintas e revestimentos decorativos antigos);
- HBCD (Hexabromociclododecano), retardador de chama proibido desde 2015, frequentemente encontrado em painéis de isolamento térmico em EPS, XPS e outros derivados do poliuretano);
- Compostos fenólicos, solventes e metais pesados em espumas, colas, vernizes e sistemas de impermeabilização antigos.

Estes requisitos foram integrados na estratégia regional de sustentabilidade e saúde pública, que obriga a rastrear e tratar separadamente estes resíduos perigosos durante a fase de desmantelamento ou renovação. A não realização do diagnóstico impede a obtenção da autorização de construção e pode implicar sanções legais.

Caso 3 – Reabilitação de edifício com presença de amianto (Lisboa, Portugal)

Num projecto de reabilitação de um edifício de escritórios da década de 1960 em Lisboa, foi identificado, durante a fase de inspecção prévia, a presença de materiais com amianto nos revestimentos das condutas de ar e em placas de fibrocimento da cobertura.

Acções tomadas:

- Aplicação da legislação nacional (Decreto-Lei n.º 266/2007) e das normas da NP EN ISO 16000-7 e NP 4483;
- Contratação de empresa certificada para remoção segura dos materiais contendo amianto;
- Monitorização da qualidade do ar antes, durante e após a intervenção;
- Encaminhamento dos resíduos para operador licenciado com rastreabilidade completa.

Impacto:

- A intervenção permitiu a eliminação de riscos para os futuros ocupantes e o cumprimento rigoroso da legislação aplicável;
- Os resíduos foram devidamente classificados e enviados para destino final autorizado, garantindo a conformidade ambiental.

Caso 4 – Desconstrução selectiva e reaproveitamento de materiais (Munique, Alemanha)

No âmbito de um projecto de reurbanização em Munique, foi promovida a desconstrução selectiva de um conjunto habitacional dos anos 1950, com vista à maximização da reutilização e reciclagem dos resíduos de construção.

Estratégia aplicada:

- Realização de inventário prévio de materiais e substâncias perigosas, conforme o modelo da norma DIN 18958;
- Separação em obra de componentes recicláveis (betão, madeira, vidro) e resíduos perigosos (tintas com chumbo, PCB);
- Implementação de um sistema digital de rastreamento de fluxos de resíduos (BIM-integrado).

Resultados:

- 85% dos resíduos foram reciclados ou reutilizados em obra;
- Redução de 40% dos custos com deposição em aterro;
- Cumprimento dos requisitos do selo DGNB para demolições sustentáveis.

Conclusão dos estudos analisados

A análise dos casos apresentados evidencia que a integração sistemática de diagnósticos ambientais prévios constitui um instrumento fundamental para a prevenção de riscos sanitários e ambientais associados à gestão de resíduos em edifícios existentes. A experiência suíça demonstra que a obrigatoriedade de identificação e caracterização detalhada dos materiais perigosos permite não só proteger a saúde pública, mas também otimizar os processos de planeamento, execução e controlo das intervenções.

O modelo suíço, em particular as práticas adotadas em cantões como Genebra, afirma-se como uma referência internacional, ao combinar rigor técnico, responsabilidade ambiental e transparência na gestão dos resíduos ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Em paralelo, os exemplos de Portugal e da Alemanha ilustram uma tendência clara de convergência normativa a nível europeu, reforçando a exigência de diagnósticos prévios, a rastreabilidade dos resíduos e a adoção de estratégias alinhadas com os princípios da economia circular.

Estes casos demonstram que a evolução regulamentar constitui um fator determinante para a transição para modelos de construção e reabilitação mais seguros, sustentáveis e ambientalmente responsáveis, sublinhando a importância da harmonização das boas práticas a nível europeu.

4. Metodologia

A presente investigação foi conduzida com base numa abordagem metodológica mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos, exploratórios e aplicados, com o objectivo de caracterizar resíduos e substâncias perigosas presentes em edifícios existentes e propor estratégias de gestão sustentável. A metodologia fundamenta-se não só em investigação bibliográfica e normativa, mas também numa forte componente prática, alicerçada na experiência directa no terreno, na aplicação de técnicas de ensaio e na análise de um caso real localizado no Cantão de Genebra, Suíça.

A quantificação dos resíduos e a avaliação da sua perigosidade basearam-se em normas suíças e europeias, como a Lista Europeia de Resíduos (LER), bem como nos limiares definidos por regulamentos aplicáveis, incluindo a ORRPChim (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques) e a SN EN ISO 16000 para qualidade do ar interior.

A combinação destes métodos permitiu não só validar as hipódiessertações teóricas formuladas na revisão da literatura, como também avaliar na prática a viabilidade de estratégias de gestão sustentável adaptadas ao contexto urbano e regulatório suíço. O cruzamento entre dados técnicos e considerações normativas e ambientais contribuiu para uma análise crítica robusta, com relevância tanto científica como prática.

Este trabalho incorpora ainda contributos de especialistas do sector, preconizações técnicas emitidas por entidades cantonais e nacionais, e a consideração de factores como a segurança e higiene no trabalho, a evolução dos métodos construtivos e a cronologia técnica dos materiais aplicados.

4.1 Métodos de inspeção e diagnóstico

A investigação seguiu uma estratégia metodológica estruturada em quatro grandes eixos:

- Revisão bibliográfica e normativa;
- Interacção com especialistas e autoridades;
- Experiência prática em terreno;
- Análise de 4 estudos de casos reais.

4.2 Critérios de selecção dos edifícios analisados

O edifício escolhido localiza-se no Cantão de Genebra, foi construído antes de 1991 e encontra-se em fase de planeamento de obras de reabilitação. Foi seleccionado com base nos seguintes critérios:

- Elevada probabilidade de presença de poluentes perigosos (amianto, PCB, HAP, chumbo, HBCD);
- Regulamentação cantonale exigente que obriga à realização de diagnóstico antes da intervenção;
- Viabilidade técnica de acesso para levantamento, ensaios e sondagens;
- Relevância académica e prática, permitindo testar métodos e interpretar resultados com base legal actualizada.

4.3 Caracterização e quantificação de resíduos

A caracterização e quantificação dos resíduos e gases perigosos presentes no edifício selecionado foram conduzidas através de uma abordagem integrada, combinando metodologias de observação direta, levantamento documental, ensaios laboratoriais e aplicação de normas técnicas em vigor. O objetivo central desta etapa foi identificar, tipificar e estimar os volumes e tipos de resíduos potencialmente perigosos, com vista à definição de estratégias sustentáveis para a sua gestão nas fases subsequentes do ciclo de vida do edifício.

A primeira etapa consistiu na realização de inspeções visuais sistemáticas, com registo fotográfico e preenchimento de fichas técnicas padronizadas, elaboradas com base em guias suíços e europeus (incluindo o guia VABS/ASCA, SIA 2030, EN 1504 e a diretiva suíça OMoD). As inspeções incidiram sobre elementos interiores e exteriores, nomeadamente revestimentos de paredes e pisos, colas, massas de vedação, instalações técnicas (aquecimento, ventilação, eletricidade) e elementos estruturais aparentes.

Posteriormente, foi executada uma campanha de amostragem de materiais, com recolha de amostras representativas nos locais onde se suspeitou da presença de resíduos perigosos, nomeadamente: colas de mosaico e linóleo, placas de fibrocimento, revestimentos betuminosos, mastic de janelas e massas isolantes. Estas amostras foram analisadas em laboratório acreditado, com recurso a técnicas de espectroscopia (FTIR), microscopia eletrónica de varrimento (SEM) e cromatografia gasosa, conforme apropriado à substância alvo.

Para os gases e vapores perigosos, como compostos orgânicos voláteis (COV) ou eventuais emissões de HAP, foram utilizados métodos de monitorização ambiental in situ, incluindo análises por tubos adsorventes e bombas de amostragem passiva, seguindo os procedimentos indicados na norma ISO 16000 e nos protocolos do OFEV.

A quantificação dos resíduos foi estimada com base na extrapolação volumétrica dos elementos analisados, associada à leitura de planos de arquitetura e à medição direta em obra. Para os materiais homogêneos, aplicou-se a fórmula padrão de volume ($\text{espessura} \times \text{área} \times \text{densidade}$), e para os sistemas compostos ou complexos, foi utilizada uma abordagem por unidades equivalentes, conforme indicado no guia técnico suíço SIA 2031.

Todos os dados recolhidos foram sistematizados numa matriz de caracterização de resíduos, permitindo uma visão global das tipologias encontradas, seus volumes aproximados, perigosidade associada e classificação legal segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER) e os códigos suíços VeVA.

Esta abordagem metodológica garantiu não só a precisão técnica na caracterização dos materiais, como também assegurou a conformidade com as exigências normativas em vigor, servindo de base para o desenvolvimento das estratégias de gestão sustentável apresentadas nos capítulos seguintes.

4.4 Procedimentos de sondagem

A caracterização rigorosa de resíduos perigosos e substâncias contaminantes presentes em edifícios existentes depende, de forma determinante, da correta definição dos procedimentos de sondagem e recolha de amostras. Estes procedimentos devem assegurar simultaneamente a representatividade dos materiais analisados, a fiabilidade dos resultados laboratoriais e a proteção da saúde dos técnicos intervenientes, dos ocupantes do edifício e do ambiente envolvente.

No contexto de edifícios construídos ao longo do século XX, a presença potencial de materiais contendo amianto, PCB, HBCD, HAP, metais pesados e radão exige metodologias de amostragem específicas, adaptadas à natureza físico-química de cada substância e ao meio construtivo em que se encontra integrada. A realização inadequada destas operações pode conduzir a resultados analíticos enviesados, à libertação involuntária de contaminantes e ao incumprimento das obrigações legais em matéria de segurança e gestão de resíduos.

As indicações apresentadas neste subcapítulo baseiam-se nas boas práticas consagradas pelo enquadramento regulamentar suíço, nomeadamente o regulamento OMoD/VeVA, pelos manuais técnicos da SUVA (referências 33047 e 67172) e por normas internacionais reconhecidas, como a ISO 22262-1, DIN 38414-20, EN 62321-6 e EPA 6200. Estas metodologias demonstram elevada robustez técnica e são plenamente compatíveis, com adaptações pontuais, com o enquadramento legal português (Decreto-Lei n.º 266/2007 e Portaria n.º 209/2004) e com a regulamentação em vigor na União Europeia.

Para cada tipologia de contaminante analisada, são definidos procedimentos específicos relativos à localização das zonas a amostrar, às ferramentas de sondagem recomendadas, ao tamanho mínimo da amostra, ao tipo de embalagem, aos equipamentos de proteção individual (EPI) e às medidas de contenção e higiene final. Esta abordagem sistemática permite harmonizar práticas de campo, facilitar a rastreabilidade das amostras e garantir a conformidade com os requisitos de segurança, transporte e eliminação de resíduos perigosos (tabela 5).

Tabela 5 - Procedimentos de amostragem por tipologia de contaminante

Aspecto:	Procedimento recomendado
Amianto (Placas de fibrocimento (coberturas, fachadas e divisórias), telhas e chapas onduladas, condutas e tubos de fibrocimento, isolamentos térmicos e acústicos projetados (flocagens), revestimentos de tubagens e caldeiras, argamassas e rebocos, colas vinílicas e betuminosas, massas de enchimento e juntas, pavimentos vinílicos e respetivos adesivos, placas de falso teto, painéis isolantes, juntas de dilatação, elementos corta-fogo, caixas e quadros elétricos, guarnições, mastiques, gaxetas e entre outros)	
Localização:	Zonas suspeitas identificadas por inspeção visual
Ferramentas de sondagem:	Cinzel e martelo leve ou broca diamantada do tipo serra-copo, com diâmetro típico de 2.5 a 5 cm, utilizada a húmido (pulverização contínua), preferencialmente acoplada a sistema de aspiração na fonte com aspirador industrial de classe H e filtro HEPA, de modo a minimizar a libertação de poeiras e fibras.
Tamanho da amostra:	5–20 g / 1 a 3cm ² e de 0.5 a 5 cm de profundidade segundo o tipo de material

Aspecto:	Procedimento recomendado
Embalagem:	Saco plástico selado em duplicado (saco grosso + saco zip), com rótulo exterior contendo código, local e data.
PPE:	Fato descartável tipo 5/6; luvas nitrilo; máscara semi-facial com filtro P3 (ou FFP3); óculos fechados.
Contenção local:	Consoante o tipo de material e a profundidade da intervenção, procede-se à colocação de uma cápsula de contenção por clipsagem, devidamente identificada e etiquetada. A área de trabalho deve ser protegida com folha de plástico de espessura mínima de 200 µm colocada no pavimento, complementada com fita adesiva de vedação. As ferramentas utilizadas devem ser sujeitas a descontaminação húmida, sendo os equipamentos de proteção individual descartáveis acondicionados em saco adequado e classificados como resíduo contendo amianto.
Higiene final	Descontaminação húmida das ferramentas; saco de EPI usado classificado como resíduo com amianto.
PCB (Selantes e mastiques de juntas, tintas e revestimentos antigos, betumes de impermeabilização, condensadores e transformadores elétricos, óleos dielétricos e outros componentes)	
Localização:	Juntas de fachada (pré-1975), caixilhos, betumes de impermeabilização, condensadores e balastros antigos.
Ferramentas:	X-acto/lâmina para retirar 1–2 cm de selante; colher inox para betume.
Amostra:	10–15 g, armazenada em frasco de vidro âmbar com tampa PTFE.
PPE:	Luvas nitrilo (≥0,4 mm) + luvas exteriores <i>cut-resist</i> ; máscara A/P3 (vapores + partículas); óculos de segurança.
Contenção:	Folha absorvente descartável sob a junta; limpeza com toalhetes impregnados (isopropanol).
Eliminação restos:	Fragmentos e panos → resíduo perigoso LER 17 09 02» (PCB).
HBCD (Painéis e placas de isolamento térmico em poliestireno expandido (EPS) e extrudido (XPS), espumas rígidas de poliuretano e poliisocianurato (PUR/PIR) e outros produtos isolantes)	
Localização:	Isolamentos térmicos colocados 1965-2015 (coberturas, fachadas, pisos).
Ferramentas:	Serra manual de costas ou serra-copos Ø 40 mm; corte limpo para evitar migalhas.
Amostra:	Disco de 3–5 cm Ø, 1 cm espessura, em saco alumínio/PE selado.
PPE:	Máscara P3; luvas nitrilo; fato tipo 5 em trabalhos no tecto.
Observação documental:	Se o fabricante comprovar «EPS/XPS livre de HBCD» (> 2016) pode dispensar amostragem.
HAP (PAH) (Betumes e alcatrões de origem betuminosa, revestimentos e colas antigas, mastiques, asfaltos e outros produtos à base de piche)	
Triagem rápida:	<i>Pak-Marker</i> ®: contacto 30 s; cor amarelada = suspeita.
Ferramentas:	Broca de pá Ø 10 mm ou formão quente para retirar pellet de 1–2 g.

Aspecto:	Procedimento recomendado
Embalagem:	Frasco vidro âmbar com folha de alumínio na tampa.
PPE:	Máscara A/P3; luvas nitrilo; fato tipo 6.
Ventilação local:	Exaustor portátil com filtro carvão activado quando em espaços fechados.
Metais pesados (ex. Chumbo) (Tintas e revestimentos antigos, vernizes, esmaltes, canalizações e soldaduras, pigmentos decorativos, elementos metálicos protegidos por pinturas anticorrosivas e outros componentes construtivos)	
Triagem:	XRF portátil: $\geq 0,1 \text{ \% m/m} \Rightarrow$ recolher raspagem para ICP-MS.
Ferramentas:	Espátula e lixa fina; recolher $< 1 \text{ g}$ de pó.
PPE:	Máscara P3; óculos; luvas nitrilo; fato tipo 6.
Controlo poeiras:	Pano húmido por baixo da raspagem; aspiração classe H.
Radão (gás) (Gás radioativo de origem natural que pode acumular-se no interior dos edifícios, sobretudo em caves e pisos térreos, infiltrando-se a partir do solo e de materiais de construção, especialmente em zonas com fraca ventilação)	
Dispositivo:	Dosímetro passivo CR-39 colocado a 0,8–2 m do piso.
Tempo de exposição:	≥ 30 dias (ou 90 dias, inverno recomendado).
PPE:	Não requerido (método não intrusivo).
Localização:	Cave, rés-do-chão, zonas com baixa ventilação.

Higiene e segurança no trabalho (HST)

1. Planeamento prévio – incluir no Plano de Segurança e Saúde (PSS) a matriz de perigos, rotas de evacuação e procedimento de primeiros socorros.
2. Cadeia de amostras – cada amostra recebe código único; formulário com data, nome do técnico e local.
3. Transporte – amostras classificadas UN 2590 (amianto), UN 3077 (PCB/HAP) ou UN 3082 (substância perigosa ambiente, n.e.) devem viajar em embalagem homologada (ADR).
4. Formação exigida – operadores devem possuir certificado SUVA/ACT para trabalhos com amianto ou PCB, bem como formação ADR se transportarem resíduos perigosos.

Estas directrizes asseguram uma recolha representativa, minimizam a exposição dos trabalhadores e cumprem as obrigações legais em Portugal, Suíça e restantes países europeus.

Sondagens destrutivas

Foram realizadas sondagens localizadas com caráter destrutivo em materiais suspeitos, de forma a obter amostras representativas para posterior análise laboratorial (Figura 3 e 4). A seleção das zonas de intervenção foi orientada por inspeção visual, histórico construtivo e análise tipológica.

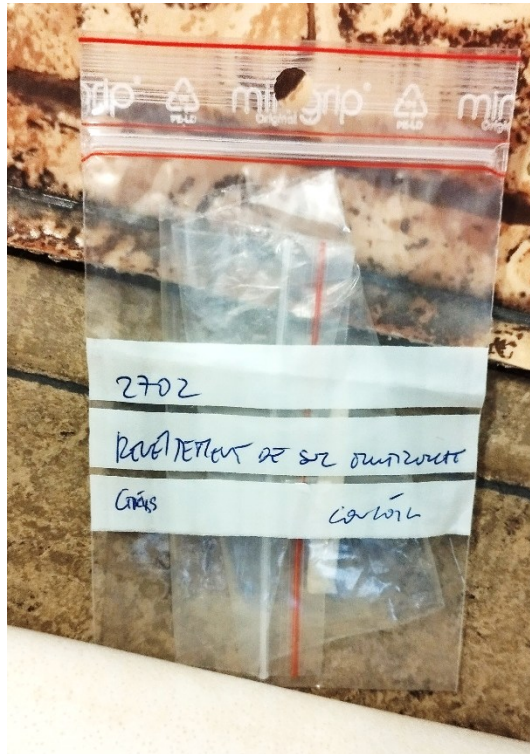


Figura 3 - Amostragem de um revestimento de solo multicamadas em saco duplo (Inpto Engineering)



Figura 4 - Amostragem realizada com broca diamantada do tipo serra-copo (inpto Engineering)

A Figura 5 apresenta a *hotte* de preparação com forno de calcinação, equipamento utilizado nos procedimentos laboratoriais de análise de amianto. A *hotte* assegura condições de trabalho em pressão negativa, com filtragem HEPA e contenção de fibras respiráveis, permitindo a preparação segura de amostras suspeitas de conter amianto. O forno de calcinação acoplado possibilita o aquecimento controlado das amostras entre 450 °C e 600 °C, removendo a matéria orgânica e facilitando a posterior identificação mineralógica das fibras. Este sistema integrado cumpre os requisitos previstos nas normas internacionais para análise de amianto, garantindo segurança operacional, reprodutibilidade dos ensaios e qualidade dos resultados laboratoriais.



Figura 5 - Hotte de preparação com forno de calcinação para análise de diferentes resíduos (Laboratório Toxias, Satigny CH)

A identificação e quantificação dos resíduos perigosos recolhidos durante as sondagens foi realizada em laboratórios acreditados segundo a norma ISO/IEC 17025, garantindo a rastreabilidade e validade dos resultados. A seguir detalham-se os métodos utilizados para cada substância se analisada em laboratório:

Amianto:

A identificação de fibras de amianto foi realizada por Microscopia Electrónica de Varrimento (MEB/SEM) como poderemos verificar na Figura 3, conforme os requisitos da norma ISO 22262-1. Esta técnica permite a observação direta da morfologia, estrutura e dimensões das fibras, garantindo elevada sensibilidade e especificidade, mesmo para concentrações reduzidas.

Técnica utilizada: Microscopia Electrónica de Varrimento (MEB/SEM) com sistema de dispersão de energia por raios-X (EDS).

A Figura 6 apresenta um Microscópio Eletrónico de Varredura (MEB), equipamento amplamente utilizado nos ensaios de identificação e caracterização de fibras de amianto e outros minerais de interesse higiénico-sanitário. O MEB permite a observação detalhada da morfologia das fibras através de feixes de eletrões que interagem com a superfície da amostra, produzindo imagens de elevada resolução e grande profundidade de campo.



Figura 6 - Microscópio Eletrónico de Varredura (MEB) utilizado para a identificação morfológica e química de fibras de amianto e para a verificação de identificação (VI) em amostras ambientais e de materiais (Laboratório Toxias, Satigny CH)

Além da análise morfológica, o MEB é frequentemente equipado com um sistema de espectrometria por dispersão de energia (EDS/EDX), que possibilita a determinação da composição química elementar, permitindo distinguir fibras de amianto de materiais fibrosos não perigosos, como fibras sintéticas ou naturais. Este método é indispensável quando as técnicas de microscopia ótica (MO e MOLP) não permitem uma discriminação inequívoca das espécies minerais presentes.

O termo VI (verificação de identificação) refere-se ao processo de confirmação da natureza das fibras observadas, assegurando que os critérios normativos de identificação são cumpridos, conforme exigido por normas internacionais como a ISO 22262 ou diretrizes nacionais (OFSP, SUVA, VDI). A utilização do MEB/EDS é considerada uma das técnicas mais fiáveis para a identificação de amianto em amostras complexas, heterogéneas ou fortemente degradadas.

Este equipamento desempenha, assim, um papel central na caracterização de fibras respiráveis, na avaliação de risco em edifícios e na validação de diagnósticos técnicos em processos de reabilitação e desconstrução.

Normas aplicáveis: ISO 22262-1, VDI 3492, SUVA 60.001.

Princípio: As amostras sólidas são preparadas com revestimento metálico (ex. ouro/paládio), sendo depois examinadas no microscópio para identificar fibras com morfologia e dimensão compatível com os tipos regulamentados de amianto (crisótilo, crocidolite, amosite, etc.).

Deteção limite: até 0,01% m/m, dependendo da preparação da amostra.

Comentário: A MEB é especialmente indicada para materiais complexos e fibras muito finas, sendo considerada método de referência em Suíça e Alemanha.

Bifenilos Policlorados (PCB)

- Técnica utilizada: Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS).
- Normas aplicáveis: DIN 38414-20, EPA 8082A, ISO 10382.
- Princípio: Os PCB são extraídos com solventes orgânicos (frequentemente hexano ou diclorometano), concentrados e injetados no cromatógrafo, que separa os diferentes congêneres (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180, etc.) e os quantifica com elevada sensibilidade.
- Detecção limite: inferior a 0,01 mg/kg (ppm), dependendo do congénere.
- Comentário: O método permite distinguir entre contaminantes industriais e resíduos dielétricos de aparelhos antigos.



Figura 7 – Parte do sistema de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas - GC-M (Laboratório Toxias, Satigny CH)

A Figura 7, apresenta um sistema de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS - Gas Chromatography-Mass Spectrometry), amplamente utilizado na análise laboratorial de poluentes orgânicos persistentes presentes em materiais de construção, poeiras sedimentadas e amostras ambientais. Este equipamento combina a separação cromatográfica de compostos voláteis ou semi-voláteis com a identificação molecular baseada na razão massa-carga, proporcionando elevada sensibilidade e especificidade.

O método GC-MS é considerado a técnica de referência para a detecção e quantificação de PCB, HAP e HBCD, substâncias frequentemente encontradas em edifícios anteriores às regulamentações ambientais modernas. Estes compostos são classificados como perigosos devido ao seu carácter carcinogénico, persistência ambiental e tendência para bioacumulação.

O processo analítico inclui:

- extração dos compostos orgânicos da matriz (materiais, argamassas, tintas, selantes, betumes, poeiras);

- purificação e concentração do extrato;
- injeção cromatográfica, onde os compostos são separados segundo as suas propriedades físico-químicas;
- análise por espectrometria de massas, que permite a identificação precisa das moléculas e a determinação quantitativa com limites de detecção muito baixos.

A utilização do GC-MS segue metodologias padronizadas, como as normas EPA 8082, EPA 8270, ISO 18287, EN 15308, garantindo reprodutibilidade e comparabilidade dos resultados. Em contexto de diagnóstico de edifícios, esta técnica é essencial para confirmar a presença e a concentração de poluentes orgânicos que não podem ser identificados visualmente, mas que representam risco para a saúde humana e para o ambiente.

O GC-MS constitui, assim, um instrumento fundamental na caracterização química de materiais contaminados, permitindo avaliar com rigor os níveis de PCB, HAP e HBCD e suportando decisões de reabilitação, descontaminação ou gestão adequada dos resíduos produzidos.

Hexabromociclododecano (HBCD)

- Técnica utilizada: Pirólise térmica acoplada à GC-MS (Py-GC-MS) ou extração líquida seguida de LC-MS/MS.
- Normas aplicáveis: EN 62321-6, ISO 5667-3.
- Princípio: O HBCD presente em plásticos (EPS/XPS) é libertado por pirólise ou solventes, sendo separado por cromatografia líquida ou gasosa e identificado com base no padrão espectral.
- Detecção limite: cerca de 5 mg/kg.
- Comentário: O HBCD foi amplamente usado como retardador de chama até cerca de 2015, sendo atualmente classificado como substância altamente persistente e bioacumulável (regulamentação REACH).

Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)

- Técnica utilizada: Cromatografia Gasosa com Detetor de Massa (GC-MS).
- Normas aplicáveis: DIN ISO 13877, EPA 8270D, EN 15936.
- Princípio: Após extração com solventes polares ou apolares (acetona, tolueno), os HAP são separados por GC e analisados individualmente, permitindo a quantificação dos 16 HAP prioritários da EPA, incluindo benzo(a)pireno, criseno, fenantreno, antraceno, entre outros.
- Detecção limite: < 0,1 mg/kg, com elevada precisão.
- Comentário: Este tipo de análise é essencial para determinar o risco cancerígeno associado a betumes antigos, colas e asfaltos.

Metais pesados (ex. chumbo)

- Técnica utilizada: Espectrometria por Absorção Atómica (AAS) ou Plasma Acoplado Indutivamente com Espectrometria de Massa (ICP-MS).
- Normas aplicáveis: EN 12457-4, ISO 11885, EPA 3051A.

- Princípio: Após digestão ácida da amostra (com HNO_3 e HCl ou HF), os metais são libertos em solução. O AAS mede a absorção de luz a um comprimento de onda específico, enquanto o ICP-MS deteta iões metálicos com maior sensibilidade.
- Detecção limite: pode atingir $< 0,01$ ppm para chumbo com ICP-MS.
- Comentário: As análises foram aplicadas sobretudo em tintas e vernizes em substratos interiores, com maior incidência em construções anteriores a 1980.

Técnicas de análise in situ

As metodologias in situ aplicadas no diagnóstico de resíduos perigosos foram selecionadas pela sua eficácia na triagem inicial, permitindo reduzir o número de análises laboratoriais necessárias, sem comprometer a fiabilidade do processo. Seguem-se as principais técnicas utilizadas:

Detetor Pak-Marker® para HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos)

- Objetivo: Detecção rápida de compostos HAP em betumes, colas, asfaltos e revestimentos escuros (Figura 8).



Figura 8 - Amostra HAP testada positiva com Pak-Marker® (Inpto Engineering)

- Princípio de funcionamento: O reagente entra em contacto direto com o material suspeito e, caso exista presença significativa de HAP, ocorre uma alteração de cor (Amarela ou verde).
- Vantagens: Resposta imediata, método não destrutivo e de baixo custo.
- Limitações: A deteção é apenas qualitativa; a confirmação e quantificação exigem análise laboratorial por GC-MS.
- Aplicação: Utilizado de forma sistemática em pisos betuminosos, impermeabilizações, colas de cerâmica, entre outros materiais anteriores a 1990.

Fluorescência de raios X portátil (XRF) para metais pesados

- Objetivo: Detecção de metais pesados como chumbo, cádmio, crômio, mercúrio e zinco em tintas, vernizes e outros revestimentos superficiais (Figura 9).

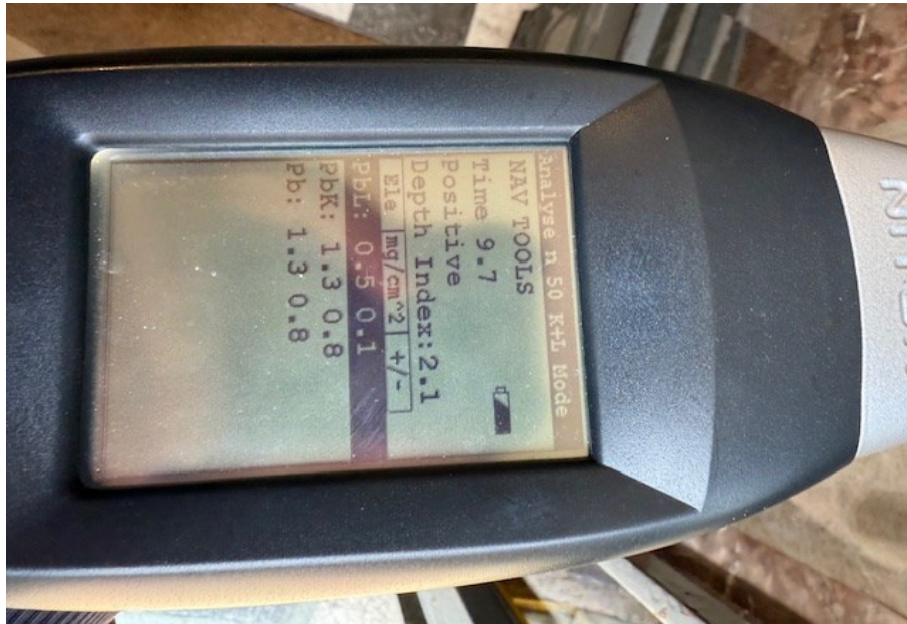


Figura 9 - Detecção de chumbo com aparelho raio X – XRF (Ecologis Suisse)

- Princípio de funcionamento: O equipamento emite raios X que excitam os átomos do material. A radiação secundária emitida permite identificar os elementos presentes e estimar a sua concentração.
- Normas de referência: EN ISO 11885, EPA 6200.
- Vantagens: Método não destrutivo, leitura imediata, boa precisão em superfícies homogêneas.
- Limitações: A precisão pode ser reduzida em superfícies irregulares ou com várias camadas de tinta; valores próximos dos limites exigem confirmação laboratorial.
- Aplicação: Utilizado em portas, janelas, rodapés, estruturas metálicas pintadas e outros elementos com revestimentos antigos (pré-1980).

Triagem visual orientada por listas técnicas (listas positivas)

- Objetivo: Identificação presuntiva da presença de contaminantes com base em bases de dados técnicas e normativas reconhecidas.
- Princípio de funcionamento: Correlação entre o ano de construção, tipo de material e aplicação, com base em inventários oficiais de materiais potencialmente perigosos.
- Exemplos de listas utilizadas:
 - Lista positiva de selantes com PCB (BAFU – Suíça)
 - Lista de betumes contaminados com PCB (SUVA – Suíça)
 - Plataforma de cartografia de edifícios com amianto detetado (cantonal – amiante.ch)
- Vantagens: Permite priorizar zonas para amostragem e evitar análises laboratoriais desnecessárias.
- Limitações: Não substitui a análise laboratorial quando existe risco efetivo ou exigência legal de confirmação.

Avaliação *in situ* do potencial de libertação de fibras de amianto

- Objetivo: Determinar a friabilidade de materiais suspeitos que possam libertar fibras de amianto para o ar.
- Método: Análise visual e teste mecânico suave com espátula, para avaliar a coesão e estabilidade superficial do material.
- Classificação preliminar: Muito friável, friável ou não friável – com base na resistência à deformação e esfarelamento.
- Vantagens: Permite uma decisão rápida sobre a necessidade de contenção ou remoção.
- Limitações: Subjetivo; apenas uma avaliação qualitativa. A identificação do tipo de fibra exige sempre análise laboratorial por microscopia eletrónica.

Medição do gás radão com dosímetros passivos

- Objetivo: Avaliar a concentração de gás radão em espaços interiores.
- Método: Instalação de dosímetros passivos (ex.: fornecidos pelo CHUV ou OFEV) em zonas representativas do edifício, durante um período mínimo de 120 dias (idealmente em período hibernar).
- Observação: Embora o tratamento dos dados seja feito em laboratório, todo o processo de medição decorre *in situ*, sem necessidade de equipamento ativo ou energia elétrica.
- Vantagens: Método fiável, económico e aceite legalmente na avaliação de risco de radão.
- Limitações: Requer tempo mínimo de exposição e análise posterior em laboratório certificado.

4.5 Identificação dos contaminantes:

Em determinados casos, existem aparelhos, equipamentos e instalações cuja desmontagem não é permitida ou se revela tecnicamente impossível, seja por razões de segurança, funcionamento, integridade do sistema ou constrangimentos operacionais. Nestes casos, e na ausência de informação técnica fiável por parte dos fabricantes, instaladores ou proprietários, estes elementos são considerados, por defeito, como potencialmente contaminados ou contendo poluentes, tendo em conta o seu ano de fabrico e o contexto tecnológico da época.

Nestes cenários, a caracterização dos materiais pode basear-se em duas abordagens complementares: por um lado, a realização de ensaios laboratoriais, sempre que a recolha de amostras seja viável e segura; por outro, a aplicação de triagens baseadas em listas de referência, critérios documentais e dados históricos, conforme apresentado na Tabela 6. Esta abordagem permite uma avaliação prudente e conservadora do risco, assegurando a proteção da saúde humana e o cumprimento do enquadramento legal aplicável, mesmo quando a confirmação analítica direta não é possível.

Tabela 6 - Ensaios laboratoriais versus triagem baseadas em informação

Grupo de contaminantes	Método principal de verificação	Quando é necessário ensaio laboratorial?	Triagem/documentação que pode dispensar ensaio
Amianto	SEM-EDS (ISO 22262-1)	Sempre que exista suspeita visual ou data de construção < 1991 na Suíça	—
PCB em selantes/betumes	GC-MS (DIN 38414-20)	Quando o material não consta em listas positivas («PCB-positivliste») ou apresenta valores indicativos > 50 mg/kg	Listas Suíças reconhecidas 1. Lista de Selantes PCB 1955-1975 (BAFU, 2019) 2. Lista de Mastics PCB em fachadas 1965-1975 (OFEN) 3. Tabela de pavimentos betuminosos com PCB (SUVA 67172)
HAP (PAH)	GC-MS (DIN ISO 13877)	Betumes ou impermeabilizações anteriores a 1990, se Pak-Marker® reagir positivo	Catálogo de produtos HAP>5 mg/kg da FACH “Betonsanierung” (Cantão GE)
HBCD em EPS/XPS	Py-GC-MS (EN 62321-6)	Isolamentos aplicados entre 1965 e 2015 sempre que não exista rotulagem	Ano-chave 2015: proibição UE/Suíça (Reg. POP 2015/2030); lotes posteriores a 2016 dispensam ensaio se declaração CE disponível
Metais pesados (Chumbo, Cr ⁶⁺)	XRF portátil in situ (EN ISO 11885) → validação laboratorial por ICP-MS apenas se valor > 0,1 % m/m	Pinturas aplicadas antes de 1980 ou superfícies suspeitas	Tabelas de cores-padrão «RAL-Classic» com pigmentos de chumbo (DIN 55945)
Radão	Dosímetro passivo (CHUV)	Sempre – ensaio obrigatório ≥30 dias (período hivernal)	Mapas nacionais de potencial de radão (OFEV 2024) apenas orientam, não substituem medição

Síntese

- Ensaio laboratorial obrigatório: amianto, PCB sem referência em listas positivas, HAP com sinal Pak-Marker®, HBCD em isolamentos ≤ 2015 , metais pesados se XRF indicar valores acima do limiar.
- Triagem documental/listas pode dispensar análise quando:
 - selante/cola aparece numa das listas suíças de componentes PCB já inventariados;
 - isolamento EPS/XPS é posterior a 2016 e traz declaração de conformidade sem HBCD;
 - a pintura está catalogada como “sem pigmentos de chumbo” segundo a paleta RAL pós-1980.

Deste modo, optimiza-se o número de sondagens destrutivas, reduz-se custo e tempo de obra e garante-se conformidade legal sem comprometer a segurança sanitária.

4.6 Processo de análise e validação dos dados obtidos

O processo de análise e validação dos dados obtidos seguiu uma metodologia estruturada, com o objetivo de garantir a fiabilidade técnica, a rastreabilidade e a conformidade normativa dos resultados.

Registo e organização dos dados

Todos os dados recolhidos durante a fase de inspeção *in situ* foram registados em fichas técnicas normalizadas, incluindo:

- Identificação do local e elemento avaliado;
- Referência fotográfica e georreferenciação (quando aplicável);
- Tipo de material suspeito e condição de conservação;
- Método de recolha ou análise utilizado (ex: amostragem destrutiva, teste com Pak-Marker®, leitura com XRF);
- Resultados preliminares ou leituras diretas;
- Observações e recomendações para análise complementar.

Os dados laboratoriais foram associados às fichas mediante código alfanumérico único, garantindo a rastreabilidade da amostra desde o local de recolha até ao relatório final (Apendice 1).

Tratamento e validação dos dados laboratoriais

Os resultados das análises laboratoriais foram interpretados com base:

- Nos valores-limite legalmente estabelecidos (ex.: positivo para amianto, 50 mg/kg para PCB, 1.000 mg/kg para HBCD, 0,1% para chumbo);
- Nas normas de referência (ISO, EN, OMoD, SUVA, VDI);
- Na comparação com dados históricos de casos semelhantes (por exemplo, outros edifícios da mesma tipologia e época);

- Na validade do método analítico e da acreditação do laboratório (ISO/IEC 17025).

Resultados duvidosos, inconclusivos ou próximos do limiar legal foram objeto de nova validação com o laboratório, podendo implicar nova amostragem ou análise complementar.

Consolidação dos dados

Após o tratamento individualizado de cada resultado, foi efetuada uma consolidação dos dados por:

- Tipo de substância perigosa detetada;
- Localização no edifício;
- Nível de risco potencial (exposição, acessibilidade, estado de conservação);
- Relevância para a fase de reabilitação ou desconstrução;
- Implicações legais e técnicas para o projeto.

Essa consolidação permitiu a elaboração de um mapa de risco e uma estratégia de intervenção diferenciada, orientando as decisões técnicas no contexto da gestão sustentável dos resíduos.

4.7 Tecnologias emergentes para caracterização de resíduos

Nas últimas décadas, o avanço tecnológico tem impulsionado significativamente as metodologias de caracterização de resíduos na construção civil. As tecnologias emergentes oferecem maior precisão, rapidez e potencial de integração digital, sendo particularmente relevantes em contextos de reabilitação urbana, economia circular e avaliação ambiental integrada.

Entre as principais tecnologias destacam-se:

- Espectrometria de fluorescência de raios-X portátil (XRF portátil de última geração) – permite detecção *in situ* de metais pesados em tintas, vernizes, materiais metálicos e poeiras superficiais com alta resolução espectral e integração com plataformas BIM para mapeamento direto;
- Espectroscopia Raman portátil – aplicada na identificação rápida de materiais orgânicos (ex. ligantes betuminosos, adesivos, selantes), com capacidade de discriminação entre polímeros com e sem contaminantes (ex. presença de HBCD);
- Análise por imagens hiperespectrais (HSI) – em desenvolvimento para aplicação em fachadas e coberturas, permitindo mapear materiais com base na sua assinatura espectral sem contacto físico;
- Sensores baseados em nanomateriais – incluindo sensores de grafeno e materiais piezoelétricos para deteção em tempo real de compostos voláteis (ex. COV, HAP) em ambientes interiores e estruturas encapsuladas;
- Tecnologias de Machine Learning aplicadas a bancos de dados de resíduos – utilizadas para prever, com base na tipologia do edifício, ano de construção e materiais visíveis, a probabilidade de presença de resíduos perigosos, otimizando as campanhas de amostragem;

- Integração com plataformas BIM e GIS – permite a georreferenciação e o rastreio dos resíduos perigosos ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, facilitando a sua gestão e cumprimento normativo.

Estas tecnologias emergentes ainda requerem validação contínua e normatização em alguns casos, mas representam um passo decisivo na digitalização e na sustentabilidade da engenharia civil e ambiental.

4.8 Tratamento e interpretação de dados

O tratamento e interpretação dos dados de ensaio requer uma abordagem sistemática, baseada em critérios técnicos, estatísticos e legais. Este processo garante a consistência dos resultados, a conformidade com os valores-limite regulamentares e a adequada comunicação dos riscos e responsabilidades associadas.

As etapas principais são:

- Verificação de conformidade laboratorial
Verifica-se a validade dos relatórios laboratoriais recebidos (assinatura, data, método analítico, LQ e LD – limites de quantificação e deteção), assegurando que os ensaios seguem normas reconhecidas (ex.: ISO 22262-1 para amianto, EN 62321-6 para PCB, EPA 8270 para HAP).
- Comparação com os valores-limite legais e de referência
Cada resultado é comparado com os valores-limite estabelecidos na legislação nacional e europeia (ex.: 50 mg/kg para PCB, 0,1% para amianto, 300 Bq/m³ para radão). Em casos de ausência de limite legal, utilizam-se valores de referência técnicos (como os da SUVA, ANSES ou da Lista Europeia de Resíduos).
- Classificação do risco
Os resíduos identificados são classificados como perigosos ou não perigosos (ex. LER 17 06 05» – materiais de construção contendo amianto), e categorizados segundo o seu impacto: risco para saúde humana, risco ambiental, dificuldade de eliminação ou restrição à reutilização.
- Representatividade das amostras
Avalia-se se as amostras recolhidas são suficientes para caracterizar de forma representativa cada zona ou elemento construtivo. Sempre que necessário, propõe-se recolha adicional ou reamostragem em função da variabilidade observada.
- Interpretação gráfica e cartográfica dos resultados
Sempre que possível, os dados são integrados em esquemas do edifício (plantas, cortes, maquetas BIM), com cores indicativas dos níveis de risco, permitindo leitura rápida por técnicos, clientes ou autoridades.
- Recomendações e medidas a adotar
Cada resultado implica, conforme a sua gravidade e extensão, uma proposta de medida: remoção, confinamento, monitorização, substituição ou reavaliação periódica.

Este processo garante não só a fiabilidade técnica dos dados obtidos, mas também a sua utilidade prática na tomada de decisão, no planeamento de obras e no cumprimento da legislação ambiental e de segurança em vigor.

5. Estratégias para a Gestão Sustentável de Resíduos

A gestão sustentável dos resíduos perigosos nos edifícios exige uma abordagem integrada, centrada na minimização da produção de resíduos, na sua correcta triagem, tratamento e valorização, bem como na eliminação segura dos materiais que representam risco para a saúde pública e o ambiente.

Estas estratégias devem ser adaptadas às diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios - utilização, reabilitação e desconstrução -, tendo como referência a hierarquia europeia de gestão de resíduos (Figura 10):

Prevenção → Reutilização → Reciclagem → Outras formas de valorização → Eliminação



Figura 10 - Hierarquia de Gestão de Resíduos

Neste capítulo são descritas medidas técnicas, operacionais e regulatórias com vista à aplicação de práticas ambientalmente sustentáveis, em alinhamento com os princípios da economia circular e as metas de neutralidade carbónica no setor da construção.

5.1 Minimização e reaproveitamento de resíduos

A minimização dos resíduos deve ser planeada desde a fase de projecto e estender-se ao longo da vida útil do edifício, promovendo a longevidade dos materiais, a facilidade de manutenção, a desmontabilidade e a separação eficiente dos resíduos no final de vida.

Entre as medidas prioritárias incluem-se:

- Selecção de materiais duráveis, recicláveis e com baixa toxicidade;
- Construção adaptável e modular, facilitando futuras intervenções;
- Separação na origem dos resíduos perigosos e não perigosos, ainda em fase de obra;
- Implementação de um Plano de Gestão de Resíduos de Construção e Desconstrução (PGRCD);
- Formação contínua das equipas técnicas e operacionais em práticas de gestão sustentável de resíduos.

Estratégias durante a fase de utilização

- Substituição gradual de materiais e produtos com substâncias perigosas por alternativas seguras e ambientalmente certificadas;
- Manutenção preventiva de elementos potencialmente perigosos (ex.: amianto não friável, pinturas com metais pesados), evitando a sua degradação e dispersão;
- Reabilitação localizada, com intervenção limitada às áreas afectadas, reduzindo a geração de resíduos;
- Inventariação periódica dos materiais perigosos existentes no edifício, com registo técnico centralizado.

Práticas sustentáveis na reabilitação

- Diagnóstico prévio detalhado, com identificação dos resíduos perigosos e plano de remoção;
- Isolamento físico das zonas contaminadas, com ventilação controlada e acesso condicionado;
- Recuperação e reaproveitamento de materiais não contaminados, como madeira, metais, alvenarias ou cerâmicas;
- Recolha e transporte por operadores licenciados, em conformidade com a legislação sobre resíduos perigosos e transporte de mercadorias perigosas (ADR, OMoD).

Gestão eficiente de resíduos na desconstrução

- Desconstrução seletiva, por fases e por tipo de material, para garantir a separação e correta valorização;
- Utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), sistemas de contenção de poeiras e partículas e ventilação dos espaços (EPC);
- Encaminhamento dos resíduos para operadores licenciados, com rastreabilidade documental e Declaração de Entrega de Resíduos (DER);
- Integração com plataformas digitais (ex. BIM e GIS), permitindo registo, quantificação e localização dos resíduos gerados.

5.2 Influência dos novos materiais e soluções no impacto ambiental

A redução dos impactos ambientais dos resíduos perigosos e não perigosos depende fortemente da escolha de materiais adequados e de soluções construtivas adaptadas a cada fase do ciclo de vida do edifício. A seguir, apresentam-se propostas concretas para as fases de utilização, reabilitação e desconstrução, tendo em conta a prevenção da geração de resíduos, a segurança dos utilizadores e a viabilidade da valorização dos materiais no fim de vida.

Durante a fase de utilização

- Substituição progressiva de componentes perigosos por materiais inócuos, como pinturas sem chumbo ou pavimentos sem HAP;
- Escolha de materiais com elevada durabilidade e baixo teor de contaminantes, para reduzir a necessidade de substituição frequente (ex.: revestimentos laváveis, madeira tratada sem biocidas nocivos);
- Implementação de políticas de manutenção preventiva, que evitem a deterioração de materiais perigosos, como placas de amianto não friável ou calorifugagens antigas com PCB;
- Utilização de materiais certificados com rastreabilidade e ficha técnica, garantindo uma futura gestão eficaz em caso de intervenção (ex.: Environmental Product Declaration – EPD (Figura 11)).



Figura 11 - Environmental Product Declaration (2025 carbon trail)

Durante a fase de reabilitação

- Reaproveitamento de componentes não contaminados, como portas, janelas, estruturas metálicas ou madeira maciça, desde que validados por diagnóstico.
- Aplicação de materiais de substituição com menor impacto ambiental, tais como:
- Isolamentos em cortiça ou fibra de madeira, em vez de XPS/EPS com HBCD;
 - Betão com adição de agregados reciclados;
 - Argamassas de cal hidráulica natural em vez de argamassas sintéticas.
- Sistemas reversíveis e desmontáveis que permitam intervenções futuras sem geração de resíduos (ex.: pavimentos flutuantes, tectos modulares);
- Integração de tecnologias de reabilitação limpa, como jatos de gelo seco para remoção de tintas, evitando abrasivos e geração de poeiras contaminadas.

Durante a fase de desconstrução

- Planeamento da desconstrução seletiva, com separação de materiais perigosos, recicláveis e inertes, respeitando as boas práticas técnicas e legais;
- Utilização de materiais que favoreçam o desmantelamento, como fixações mecânicas em vez de colas ou massas de difícil remoção;
- Desmonte de elementos pré-fabricados (paredes, lajes, escadas), permitindo sua reutilização em novas obras ou reciclagem sem contaminação cruzada;
- Aplicação de sistemas BIM integrados com bases de dados de resíduos, para antecipar a composição e o volume dos materiais a remover;
- Encaminhamento para operadores licenciados com capacidade de triagem e valorização de resíduos, reduzindo os custos de eliminação e maximizando a recuperação de recursos.

5.3 Tecnologias na Gestão dos Ricos e dos Resíduos

O avanço das tecnologias digitais tem permitido o desenvolvimento de ferramentas inteligentes para apoiar a inspeção de edifícios e a gestão de resíduos e substâncias perigosas de forma mais eficiente, rastreável e segura. Estas tecnologias incluem aplicações móveis, plataformas web ligadas a bases de dados normativas e materiais, e sistemas potenciados por inteligência artificial (IA).

Abaixo descrevem-se os principais mecanismos e a sua utilidade nas diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios:

Aplicações móveis de inspecção no terreno

Aplicações desenvolvidas para dispositivos móveis permitem que técnicos e engenheiros realizem inspecções sistematizadas no local, com funções como:

- Checklists inteligentes com base na tipologia do edifício e nos materiais presentes;
- Geolocalização das amostras e zonas inspeccionadas;
- Inserção de fotografias georreferenciadas e comentários técnicos;
- Associação directa a normas e limites legais em vigor (ex.: amianto, PCB, HAP);
- Geração automática de relatórios pré-formatados.



Figura 12 - Sistema de aplicações Diag-Tab, Diag-Tab Suivi e Diag-Desk (Inpto Engineering)

Estas aplicações (Figura 12) podem ser ligadas a sistemas baseados em cloud computing, que centralizam os dados em tempo real e facilitam o trabalho colaborativo entre equipas técnicas, laboratoriais e entidades de fiscalização.

Etiquetagem e sinalização de elementos inspeccionados

A implementação de sistemas de etiquetagem digital permite identificar de forma clara os elementos:

- Com risco confirmado (ex.: presença de amianto, PCB, chumbo);
- Com ausência de risco confirmada por diagnóstico;
- Não inspeccionados ou com risco a verificar.

Estas etiquetas podem incluir:

- Códigos QR que, quando lidos por telemóvel, abrem a ficha técnica ou o relatório da inspecção;
- Informações visuais padronizadas (ex.: cor vermelha para risco, azul para ausência de risco, verde para retirado, cinzento para não verificado);
- Data da inspecção, nome do técnico e laboratório responsável;
- Referência normativa e resultados de ensaio laboratoriais.

Esta sinalização é particularmente útil durante obras de reabilitação e desconstrução, onde vários intervenientes (demolidores, encarregados, fiscais, técnicos ambientais) necessitam de aceder de forma clara e imediata à informação de risco.

Plataformas ligadas à Inteligência Artificial

As plataformas digitais mais avançadas utilizam Inteligência Artificial (IA) para:

- Analisar padrões em relatórios técnicos e sugerir zonas prioritárias para inspeção com base em edifícios semelhantes;
- Reconhecer materiais e patologias através de análise de imagem (por exemplo, fissuras, corrosão ou presença de materiais suspeitos);
- Estimar volumes de resíduos e tipos de substâncias com base em dados anteriores, acelerando o planeamento da remoção ou reabilitação;
- Gerar alertas automáticos para requisitos legais e obrigações de tratamento, com base na localização e tipologia do edifício.

Estas ferramentas aumentam significativamente a eficácia do diagnóstico e da gestão de resíduos perigosos, permitindo às entidades intervenientes tomar decisões informadas, com menor margem de erro e maior segurança para os trabalhadores e o ambiente.

5.4 Exemplos de boas práticas

A crescente preocupação com os impactos ambientais e sanitários dos resíduos perigosos na construção tem levado vários países a adotar modelos de gestão mais sustentáveis, baseados na digitalização, na triagem seletiva e na valorização de materiais. Asbera, Diag-Desk, Diag-Tab, entre outros apresentam-se alguns exemplos relevantes de boas práticas e experiências internacionais aplicáveis ao contexto suíço.

Suíça – Cartografia pública e plataformas digitais de gestão de poluentes

Na Suíça, diversos cantões adotaram políticas rigorosas para a identificação e rastreabilidade de materiais perigosos nos edifícios. Um dos exemplos mais avançados é o uso da Cartografia Amiante, uma base de dados pública que permite:

- Consultar a presença de materiais com amianto por endereço;
- Aceder a históricos de relatórios;
- Antecipar diagnósticos obrigatórios antes de qualquer intervenção.

O Cantão de Vaud, implementou uma plataforma digital dedicada à gestão e divulgação de diagnósticos de poluentes em edifícios. Mediante autorização prévia dos proprietários, esta plataforma torna públicos os resultados das inspeções realizadas no cantão, abrangendo tanto a

avaliação inicial como os resultados obtidos após os trabalhos de despoluição, promovendo transparência e rastreabilidade dos processos (Figura 13).



Figura 13 - Extrato do registo cadastral de relatorios amianto (<https://www.amiante.vd.ch/>)

Além disso, empresas especializadas utilizam aplicações móveis conectadas a plataformas como Diag-Tab e Asbera (desenvolvidas para o mercado suíço), que permitem:

- Fazer a inspeção *in loco*;
- Atribuir códigos aos elementos inspecionados;
- Partilhar resultados com laboratórios.

A integração com o BIM (Building Information Modeling) permite uma gestão a longo prazo dos riscos e dos materiais a remover ou conservar, promovendo decisões sustentáveis desde a fase de projeto até à desconstrução.

França - Diagnóstico ambiental pré-desconstrução e recuperação de materiais

Em França, a legislação obriga à realização de um diagnóstico de resíduos antes de qualquer desconstrução de edifícios com mais de 1.000 m². Esta prática, conhecida como “Diagnostic Produits, Matériaux, Déchets” (PMD), exige:

- Inventariação detalhada dos produtos presentes (com ou sem poluentes);
- Identificação dos resíduos valorizáveis;
- Definição de fluxos de triagem obrigatória.

Algumas regiões, como Île-de-France, promovem o uso de plataformas regionais de reutilização de materiais, onde empresas podem registar e consultar materiais recuperáveis (ex.: madeira estrutural, pavimentos, janelas). Este modelo favorece a economia circular e reduz substancialmente o volume de resíduos enviados para eliminação.

Alemanha – Reabilitação com rastreabilidade digital e protocolos de certificação

A Alemanha implementa uma abordagem integrada, onde a rastreabilidade digital de resíduos e substâncias perigosas é exigida por normas como a LAGA PN 98 e diretrizes ambientais locais. Destacam-se:

- A exigência de diagnósticos prévios à reabilitação e desconstrução;
- O uso de etiquetas eletrônicas e códigos QR nos elementos a remover;
- O uso de sistemas de planeamento e controlo digital (ex.: BAUSTOFFBÖRSE) que integram arquitetura, engenharia e gestão ambiental.

Este modelo permite reduzir riscos, custos de eliminação e melhorar a qualidade ambiental dos projetos, especialmente em edifícios públicos e património protegido.

Bélgica – Inventário de amianto obrigatório e modelo de passaporte de materiais

Desde 2022, a região da Flandres (Bélgica) tornou obrigatória a realização de um inventário de amianto para todos os edifícios construídos antes de 2001, antes de qualquer transação ou renovação. Este inventário está integrado num passaporte digital do edifício, que contém:

- Lista dos materiais com risco e sua localização;
- Grau de acessibilidade e estado de conservação;
- Estratégia de remoção, encapsulamento ou controlo.

Esta medida reforça a transparência para compradores e técnicos, incentiva a renovação sustentável e diminui os riscos para os trabalhadores da construção.

Síntese e conclusão dos estudos apresentados

Os exemplos analisados permitem identificar tendências convergentes na gestão sustentável de resíduos e substâncias perigosas em edifícios:

O diagnóstico prévio (substâncias perigosas) é um instrumento estruturante para prevenir riscos sanitários e ambientais, permitindo planear medidas de proteção, segregação de fluxos e destinos finais adequados.

Modelos como o suíço (com variações cantonais, e exigências reforçadas em cantões como Genebra) demonstram a eficácia de combinar requisitos técnicos, documentação e rastreabilidade, apoiados por diretivas e guias específicos por substância.

A evolução normativa e técnica tende a reforçar a necessidade de inventários, segregação e rastreamento, favorecendo fluxos de reciclagem com menor contaminação e maior qualidade, em linha com princípios de economia circular e sistemas de certificação aplicados à desconstrução.

Tabela 7 - Síntese comparativa e aplicabilidade

País	Boa prática	Aplicabilidade
Suíça	Cartografia de edifícios com amianto + apps	Elevada
França	Diagnóstico PMD + plataformas de reutilização	Alta replicabilidade
Alemanha	Rastreabilidade digital + normas ambientais	Elevada, compatível com BIM
Bélgica	Passaporte de amianto digital e obrigatório	Elevada, aplicável a prédios antigos

A tabela 7 apresenta uma síntese de diferentes boas práticas internacionais relacionadas com a gestão de materiais perigosos em edifícios, destacando simultaneamente a sua potencial aplicabilidade ao contexto português. Quatro países europeus — Suíça, França, Alemanha e Bélgica — são utilizados como referência, cada um contribuindo com abordagens específicas que podem servir de modelo ou inspiração para o desenvolvimento de sistemas mais eficazes de diagnóstico, rastreabilidade e gestão de resíduos perigosos.

No caso da Suíça, destaca-se a existência de cartografias cantonais de edifícios com presença conhecida de amianto, associadas ao uso de aplicações digitais que facilitam o acesso à informação durante as fases de inspeção e reabilitação. Esta prática apresenta elevada aplicabilidade, uma vez que já se encontra parcialmente implementada em algumas regiões do país, podendo ser expandida e uniformizada.

A França contribui com o modelo de Diagnóstico Técnico das Matérias Perigosas (PMD) e com a integração de plataformas de reutilização de materiais, promovendo circularidade e rastreabilidade. A replicabilidade destas soluções é considerada alta, tanto em Portugal como na Suíça, sobretudo em programas de reabilitação urbana.

A Alemanha apresenta sistemas robustos de rastreabilidade digital, complementados por normas ambientais detalhadas e compatíveis com fluxos de trabalho Building Information Modeling (BIM). A aplicabilidade destas práticas é considerada elevada, dado o avanço tecnológico e normativo existente nos dois países.

Por fim, a Bélgica destaca-se pelo passaporte digital de amianto, obrigatório para edifícios construídos antes de determinada data, permitindo uma avaliação sistemática do risco ao longo do ciclo de vida do imóvel. Esta medida revela elevada aplicabilidade, especialmente em edifícios antigos de Portugal, onde grande parte do parque edificado antecede regulamentações modernas.

Assim, a tabela evidencia não apenas a diversidade das soluções já implementadas na Europa, mas também o seu potencial de adaptação para reforçar a segurança, a transparência e a eficiência dos processos de diagnóstico e gestão de poluentes na construção.

6. Casos de estudo

Os casos de estudo apresentados nesta investigação foram desenvolvidos de acordo com o Caderno de Encargos da ASCA – versão 1.5, documento de referência que estabelece os critérios técnicos e metodológicos aplicáveis ao diagnóstico de poluentes e à gestão de resíduos e gases perigosos em edifícios. Este caderno de encargos define, de forma padronizada, as fases de inspeção, os tipos de sondagem admissíveis, os procedimentos de recolha de amostras, os métodos de ensaio laboratoriais e os critérios de análise e classificação do risco, assegurando a conformidade com os regulamentos federais e cantonais em vigor na Suíça.

Todos os estudos e inspeções considerados foram realizados por especialistas devidamente autorizados, inscritos nas listas oficiais reconhecidas para este tipo de atividade (FACH, ASCA, SABRA e SUVA), conforme exigido pelo enquadramento regulamentar suíço. O exercício destas missões está sujeito a formação específica obrigatória, avaliações periódicas e à aprovação em exame nacional, garantindo a competência técnica, a independência profissional e o cumprimento rigoroso das normas de segurança e qualidade exigidas para o diagnóstico de poluentes em edifícios.

A avaliação do risco associado aos materiais e aos locais identificados é realizada com base nos critérios definidos pelo FACH – Forum Amiante Suisse, entidade de referência que reúne especialistas, instituições técnicas e autoridades suíças na área dos poluentes em edifícios. As orientações do FACH permitem classificar os níveis de risco, identificar situações críticas de exposição e definir as medidas de proteção e segurança a aplicar durante as fases de utilização, reabilitação ou desconstrução dos edifícios, ver Apêndice 1.

Atendendo à elevada diversidade de poluentes sólidos e gasosos considerados neste estudo — nomeadamente amianto, PCB, HAP, chumbo, HBCD, radão, entre outros — verificou-se que é pouco frequente a existência de um único edifício que concentre, de forma simultânea, todos estes contaminantes. Por este motivo, optou-se por uma abordagem multi-casos, selecionando diferentes edifícios representativos, cada um ilustrando a identificação, caracterização e gestão de grupos específicos de poluentes, de acordo com os procedimentos definidos pela ASCA.

A seleção dos casos de estudo teve ainda como critério fundamental a representatividade do parque edificado, tendo sido considerados:

- Diferentes tipologias construtivas, incluindo edifícios de habitação, edifícios de serviços e estruturas com uso técnico ou misto;
- Diferentes afetações de utilização, abrangendo edifícios em fase de utilização normal, edifícios em processo de reabilitação e edifícios destinados à desconstrução;
- Diferentes regiões geográficas, permitindo integrar variações contextuais ao nível climático, construtivo e regulamentar;
- Diferentes períodos de construção, desde edifícios anteriores às primeiras restrições ao uso de substâncias perigosas até construções mais recentes, refletindo a evolução dos materiais, técnicas construtivas e enquadramento normativo.

Esta abordagem permite analisar de forma integrada a influência do ano de construção, da função do edifício e do contexto territorial na presença e tipologia dos poluentes identificados, bem como nas

estratégias de gestão dos resíduos e gases perigosos gerados. Simultaneamente, demonstra a aplicabilidade prática das normas, metodologias e boas práticas internacionais em situações reais, reforçando a relevância técnica e científica dos resultados obtidos.

Estudo de Caso 1 – Diagnóstico de Gases Perigosos (Radão)

Antigo Colégio

O presente estudo incide sobre a avaliação da presença de gás radão no edifício conhecido como Antigo Colégio (Figura 14), situado no Cantão de Vaud, Suíça. Trata-se de uma construção histórica composta por dois corpos principais, originalmente utilizados como estabelecimento escolar público.



Figura 14 - Antigo Colégio, Suíça (Inpto Engineering)

O edifício possui valor patrimonial local, refletido na sua arquitetura tradicional, com elementos construtivos em pedra natural, madeira maciça e rebocos minerais, característicos das construções educacionais rurais helvéticas do final do século XIX e início do século XX. A sua tipologia semi-enterrada e os seus espaços fechados e pouco ventilados suscitaram a necessidade de uma avaliação específica da qualidade do ar interior, no âmbito de um projeto de reabilitação e mudança de afetação do uso.

Objetivo e metodologia

O diagnóstico foi conduzido como parte de um levantamento técnico de poluentes anterior às obras, conforme o caderno de encargos ASCA v1.5 e segundo os protocolos de avaliação de risco do FACH, ver relatório Anexo 1.

Foram utilizados detetores de traços CR39 (Figura 15), distribuídos estrategicamente nas zonas potencialmente afetadas (caves, corredores, garagens). Os dispositivos foram colocados a 09 de novembro de 2023 e recolhidos a 15 de março de 2024, respeitando o tempo de exposição mínima exigido.



Figura 15 - Dosímetro Radout fornecido pelos CHUV

As análises laboratoriais foram executadas pelo Instituto de Radiophysique do CHUV (Apêndice 2), entidade certificada pelo Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP). Os resultados obtidos foram validados pelo OFSP e devidamente cartografados na plataforma oficial de monitorização do radão na Suíça, garantindo a rastreabilidade dos dados e a integração no sistema nacional de vigilância sanitária.

Enquadramento normativo

A campanha foi realizada segundo a *Ordonnance sur la Radioprotection* (ORaP, 2017), que fixa o nível de referência de 300 Bq/m³ para locais sem permanência prolongada, como caves e áreas técnicas.

Resultados

Foram analisados nove locais distintos. Dois locais apresentaram concentrações relativamente elevadas:

- Couloir (EGID 9020794): 244 Bq/m³
- Cave 5 (EGID 9020794): 243 Bq/m³

Os restantes valores oscilaram entre 15 e 157 Bq/m³, situando-se todos abaixo do limite legal.

Recomendações técnicas

Apesar da conformidade com a legislação, devido à proximidade do limite nos pontos acima, foram recomendadas:

- Melhoria da ventilação natural ou instalação de ventilação mecânica controlada (VMC)
- Selagem de fissuras e juntas nos pavimentos e paredes com materiais técnicos apropriados
- Monitorização periódica anual, especialmente em espaços enterrados, para garantir eficácia contínua

Considerações finais

Este caso destaca a importância da avaliação precoce de gases perigosos em edifícios antigos, especialmente quando há proximidade com o solo, baixa ventilação e mudanças de uso previstas. A aplicação rigorosa dos protocolos da ASCA e do FACH garante não só a conformidade legal, mas

também a segurança sanitária futura dos ocupantes. A validação oficial pelo OFSP e a integração dos dados na plataforma nacional reforçam a credibilidade e utilidade do diagnóstico no contexto da reabilitação sustentável. Esta abordagem evidencia ainda a importância de tratar os gases perigosos como o radão com o mesmo grau de exigência que os resíduos sólidos contaminados.

Caso de Estudo 2 – Diagnóstico de Poluentes da Construção

Imóvel em Genebra (Suíça)

O segundo caso de estudo refere-se ao diagnóstico técnico de poluentes no edifício localizado no centro urbano de Genebra. Este edifício multifamiliar foi construído em 1973 (Figura 16), enquadrando-se na tipologia de edifícios com elevado risco de conter materiais perigosos anteriores à regulamentação moderna. A inspeção foi realizada no âmbito de um projeto de reabilitação, com o objetivo de identificar a presença de materiais perigosos potencialmente poluentes.

O diagnóstico foi realizado em conformidade com a versão 1.5 do caderno de encargos da ASCA e exigências do Cantão de Genebra.

Caracterização do Edifício

O edifício apresenta características típicas da construção das décadas de 1960–1980, com vários níveis (subsolo técnico, rés-do-chão, andares superiores e áreas comuns). A tipologia dos materiais utilizados e os elementos construtivos levantaram suspeitas sobre a eventual presença de poluentes históricos, o que justificou a realização de um diagnóstico completo e detalhado.



Figura 16 - Fotografia aerea, coberturas planas (Inpto Engineering)

Metodologia Aplicada

A campanha de diagnóstico seguiu os seguintes procedimentos:

- Inspeção visual sistemática;
- Abertura de sondagens destrutivas para recolha de amostras sólidas;
- Análises laboratoriais acreditadas (ISO 17025) a materiais suspeitos;
- Classificação das amostras segundo risco, tipo de material e acessibilidade;
- Cartografia dos elementos contaminados, ver Anexo 2;
- Recomendações específicas para cada elemento afetado.

Poluentes Identificados

O relatório técnico confirma a presença dos seguintes poluentes nos materiais de construção inspecionados :

- HBCD - Identificado em espumas de isolamento térmico (poliestireno expandido ou extrudido), comuns em paredes, tetos ou pavimentos, neste caso foram detectados nas isolações das coberturas planas (Anexo 3), ver resultados no Apêndice 3.

Cada um destes materiais foi descrito nas fichas técnicas do relatório de inspeção (Figura 17), com informação detalhada sobre a localização, estado de conservação, perigosidade e classe de resíduo aplicável. As análises laboratoriais confirmaram a presença destes poluentes em concentrações que requerem remoção e gestão especializada.

Fiche d'identification n°1 : Isolation EPS rose

Localisation		Élément						Polluant			
Etag	Lieu, local	Référence		Description de l'élément	Quantité approximative	Type de matériau (F/C/FP/FA/SOL/NFA)	Prélevé (O/N)	Type de polluant	OUI	NON	Déterminé par (EXP, LAB, DEF)
		N° d'élément	Prélevé								
Extérieur	Toiture Est	HBCD1	P	Isolation EPS rose	110 m²	NFA	O	HBCD	HBCD		LAB 8615.08 mg/kg
Extérieur	Toiture Ouest	HBCD2	P	Isolation EPS rose	110 m²	NFA	O	HBCD	HBCD		LAB 8939.81 mg/kg
Conseils pour l'assainissement : L'assainissement est à réaliser par une entreprise spécialisée.											
											
Attention : S'informer sur les consignes de sécurité avant d'intervenir sur cet élément !!!											
Plan / Croquis n°	Evaluation selon méthode FACH						Remarques				
	Evaluation globale du matériau (Total)	Type et fréquence d'utilisation des locaux	Degrés d'urgence	Mesures à prendre			Date prochaine évaluation				
1	0	B	III	Effectuer l'assainissement avant de lancer d'autres travaux. Procéder à une réévaluation en cas d'incidents ou de modification de l'utilisation des locaux.			2033	Suivre la Directive SABB HBCD, voir chapitre IX Usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM)			

Figura 17 - Ficha de identificação de um material com poluente (inpto Engineering)

O relatório recomenda:

- A remoção dos materiais contaminados por empresas autorizadas antes;
- A notificação prévia aos serviços cantonais de proteção ambiental;
- A implementação de medidas de proteção coletiva e individual, nomeadamente em zonas com materiais friáveis ou de fácil degradação;
- A cartografia e rotulagem interna dos elementos afetados;
- A eventual monitorização da qualidade do ar, em especial em áreas com suspeita de emissão ou degradação de HBCD.

A conformidade com a legislação suíça (OLED, ORRChem) foi respeitada em todas as fases. O edifício deverá ser objeto de gestão rigorosa durante as fases de obra, com encaminhamento adequado dos resíduos perigosos para aterros ou incineração autorizada.

Estudo de Caso 3 – Diagnóstico de Poluentes no Edifício Comercial

Complexo de 4 edifícios em Fribourg (Suíça)

Os quatro edifícios localizados no Cantão de Fribourg fazem parte de um complexo composto por várias construções erigidas em diferentes períodos, destinados exclusivamente a atividades não residenciais (Figura 18). As estruturas acolhiam anteriormente um restaurante, um salão de festas, pequenos armazéns e garagens. A campanha de diagnóstico foi realizada no âmbito de uma intervenção planeada e teve como objetivo identificar os materiais potencialmente perigosos ainda presentes no edifício.



Figura 18 - Complexo de 4 edifícios antes da desconstrução parcial (Inpto Engineering)

Características e contexto do edifício

A inspeção seguiu o caderno de encargos da ASCA v1.5, tendo sido realizada em abril de 2024. Dado o ano de construção, os edifícios estão na zona de transição legislativa relativamente ao uso de determinadas substâncias perigosas, justificando uma avaliação preventiva e abrangente.

Metodologia e análises realizadas

Foram realizadas sondagens destrutivas e recolha de amostras para posterior análise em laboratório, segundo os seguintes métodos:

- Amianto – Analisado por Microscopia Eletrónica de Varrimento (MEB), ver Apêndice 4.
- PCB (Bifenilos Policlorados) – Os PCB foram localizados nos balastos de lâmpadas fluorescentes, conforme as tipologias de componentes identificadas durante a inspeção, ver anexo 4;
- HAP (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) – Deteção in situ com PakMarker®
- HBCD (Hexabromociclododecano) – Investigado em materiais de isolamento em EPS/XPS segundo o ano.

Resultados principais

- Presença de amianto detetada em placa e telhas em fibrocimento, mastiques de janelas e portas e massas de colagem de pavimentos (Figura 19), ver apêndice 6.

Fiche d'identification n°5 : Colle de carrelage nuancé brun

Plan / Croquis n°	Etage	Lieu, local	Elément								
			Référence d'élément	P=Prélevé	Description de l'élément	Quantité approximative	Type de matériau (FC/FP/FA/SOL/NFA)	Déterminé par (EXP. LAB. DEF)	Type de pontant (MSP)	(A/PCB/HAP/ML/HBC)	
3	Etage	WC	AML_35	P	Colle de carrelage noir et blanc	2 m²	SOL	LAB	A		
Effectuer l'assainissement avant de lancer d'autres travaux. Procéder à une réévaluation en cas d'incidents ou de modification de l'utilisation des locaux.											
											
Fiche SUVA 33077.1			L'assainissement est à réaliser par une entreprise spécialisée.								
Conditionnement			En double sacs de benne ou en big-bag, avec étiquette « Attention, contient de l'amiante » (Voir annexe 1.6 ORRChim)								
Pollué (Evaluation selon méthode FACH)											
NON	OUI	Retiré	Fiche d'identification	Evaluation globale du matériau (Total)	Type et fréquence d'utilisation des locaux	Degrés d'urgence	Mesure d'air VDI nécessaire	Date prochaine évaluation :	Filière d'élimination	Transport (code OMoD)	Remarques
	X		5	0	B	III	OUI	2034	Type E DCB	17 06 05 [ds]	Voir chapitre IX

Figura 19 - Ficha de identificação da cola cimento de azulejo com amianto (Inpto Engineering)

- Identificação de PCB nos balastros das lâmpadas fluorescentes, considerados resíduos perigosos e exigindo remoção especializada, ver anexo 4.

Conclusões e recomendações

Os materiais contaminados foram corretamente identificados e localizados. Recomenda-se a sua remoção por empresas especializadas, respeitando os protocolos legais de acondicionamento e eliminação. Este diagnóstico cumpre as exigências da legislação suíça (ORRChem e OLED), e deve servir como base para o planeamento seguro das fases subsequentes da reabilitação ou desconstrução.

Estudo de Caso 4 – Diagnóstico de Poluentes no Edifício Habitacional Imovel em Genève

O edifício inspecionado está situado em Genebra na suíça. É um imóvel de habitação coletiva com cave, rés-do-chão e cinco andares superiores (Figura 20). A construção é datada de 1956, conforme indicado nas fontes catastrais e confirmado pelo cliente. O imóvel apresenta características típicas das construções da época, com elementos estruturais e de acabamento potencialmente suscetíveis de conter poluentes históricos.



Figura 20 - Fachada Norte do imovel (Inpto Engineering)

Objetivo e Condições da Peritagem:

A inspeção teve como finalidade identificar a presença de poluentes do edifício antes da realização de obras de renovação ou transformação. A intervenção foi feita sem a presença de obras em curso e com os locais habitados ou parcialmente acessíveis, exigindo adaptações na realização das sondagens.

Materiais e Substâncias Identificadas:

Foram realizados ensaios com base em sondagens destrutivas e não destrutivas, resultando na deteção de diversos materiais com poluentes perigosos:

- Chumbo (Pb) Identificado por ensaios de fluorescência de raios-X (XRF) (Figura 21) em pinturas e vernizes antigos, ver anexos 5, 6 e 7; superfícies metálicas e madeiras pintadas que em muitos casos, os valores superam o limiar legal de 0,1% (1000 ppm).
- Amianto Identificado em várias localizações, nomeadamente em colas cimento no chão e muros; a presença foi confirmada por análises laboratoriais com MEB, ver Apêndice 7, anexos 8, 9 e 10;

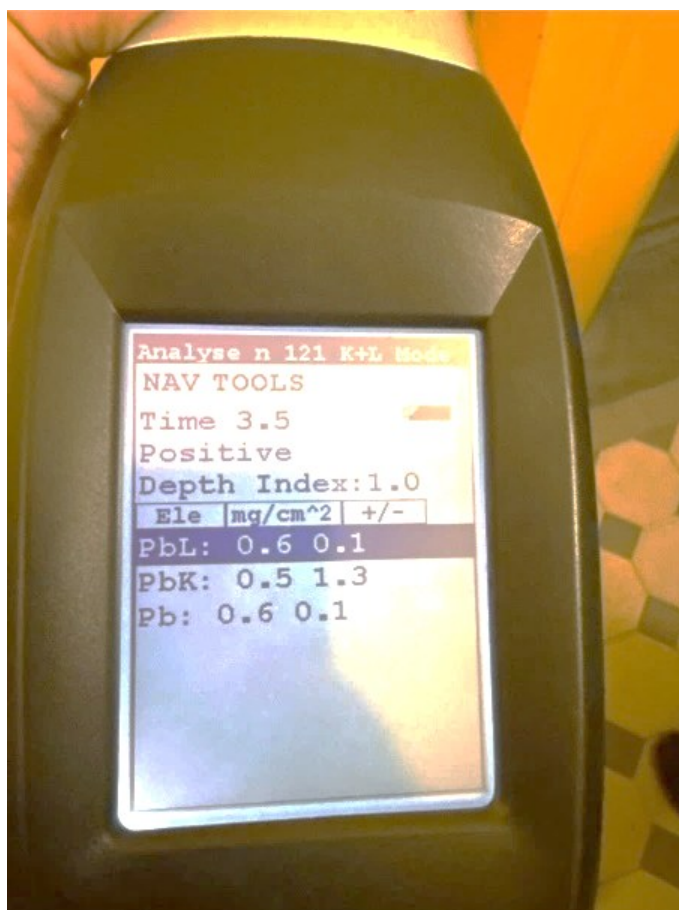


Figura 21 - Leitura com aparelho a raios-X (XRF) sobre pintura amarelada (Ecologis Suisse)

Conclusão e Recomendações:

A presença de diversos poluentes perigosos foi confirmada no edifício. De acordo com os regulamentos suíços, qualquer intervenção deve ser precedida por planeamento de remoção seletiva e a contratação de empresas certificadas para a gestão segura dos materiais contaminados.

Além disso, é necessário:

- Notificar as autoridades cantonais competentes (segundo a OLED/ORRChem), atestado G01, OLED sobre substâncias perigosas, ver Apêndice 8;
- Realizar medições complementares em locais de acesso limitado;
- Garantir a proteção dos ocupantes e trabalhadores durante as fases de obra.

6.1 Comparação dos Casos de Estudo

Foram analisados quatro edifícios localizados em diferentes regiões da Suíça (cantões de Vaud, Friburgo e Genebra), construídos entre 1956 e 1987, que representam diferentes tipologias funcionais: edifícios escolares, habitacionais e administrativos (Tabela 8). As peritagens seguiram os critérios da versão 1.5 do Caderno de Encargos da ASCA (Associação Suíça para o Controlo de Amianto), assegurando um procedimento harmonizado para a deteção e avaliação de poluentes.

Características comuns dos edifícios:

- Todos os edifícios foram construídos antes da década de 1990, período crítico em termos de uso de materiais perigosos;
- Foram detetadas várias classes de poluentes: amianto, PCB, HAP, chumbo (Pb) e, em dois casos, HBCD;
- As campanhas de diagnóstico incluíram sondagens destrutivas, ensaios laboratoriais especializados (MEB, cromatografia, espectrometria) e análises in-situ (XRF para chumbo);
- As zonas contaminadas incluíam tanto elementos visíveis (revestimentos, colas, pisos, tetos), como componentes invisíveis (isolamentos de canalizações, balastros, impermeabilizações enterradas).

Tabela 8 - Síntese comparativa dos casos de estudo

Caso de Estudo	Edifício / Tipologia	Ano de Construção	Região (Cantão)	Poluentes / Gases Analisados	Poluentes / Gases Detetados	Métodos de Diagnóstico e Ensaio
Caso 1 Antigo Colégio	Edifício escolar histórico	Fim séc. XIX	Vaud	Radão	Radão	• Detetores passivos CR-39 (Radout) • Exposição prolongada (nov. 2023 – mar. 2024) • Análise laboratorial pelo Institut de Radiophysique (CHUV)
Caso 2 Imóvel multifamiliar	Edifício residencial coletivo	1973	Genebra	HBCD Amianto PCB HAP	HBCD	• Inspeção visual sistemática • Sondagens destrutivas • Análises laboratoriais acreditadas (ISO 17025) • Cartografia técnica dos materiais contaminados
Caso 3 Complexo comercial (4 edifícios)	Edifícios comerciais e técnicos	Pré-1990 (vários períodos)	Fribourg	Amianto PCB Chumbo HBCD HAP	Amianto PCB Chumbo	• Amianto: Microscopia Eletrónica de Varrimento • PCB: Base de dados • HAP: deteção in situ (PakMarker®) • Chumbo: fluorescência de raios-X (XRF) in situ

Caso de Estudo	Edifício / Tipologia	Ano de Construção	Região (Cantão)	Poluentes / Gases Analisados	Poluentes / Gases Detetados	Métodos de Diagnóstico e Ensaio
Caso 4 Edifício habitacional	Edifício de habitação coletiva	1956	Genebra	Amianto PCB HBCD HAP Chumbo	Amianto HBCD Chumbo	• Sondagens destrutivas e não destrutivas • Amianto: MEB • HBCD: identificação por defeito segundo o ano de construção das camaras frigoríficas • Chumbo: fluorescência de raios-X (XRF) in situ

Especificidades de Cada Caso:

Caso 1 – Antigo Colégio em Vaud, Suíça:

- Diagnóstico com relatório de radão em ambiente interior com base em sondagens e medição de concentração (em Bq/m³).
- Resultados validados pela OFSP e cartografados na plataforma federal oficial.

Caso 2 – Imóvel em Genebra (1975), Suíça:

- Diagnóstico parcial com relatório
- Presença de HBCD.
- Edifício residencial coletivo com grande diversidade de possíveis materiais contaminados.
- HBCD encontrado em camadas de isolamento térmico das coberturas planas.
- Necessidade de remoção seletiva e controlada antes da obra.

Caso 3 – Complexo de edifícios em Fribourg, Suíça:

- Diagnóstico com relatório
- Poluentes identificados: amianto, PCB e chumbo.
- PCB presente nos balastros fluorescentes.
- Elevada concentração de chumbo em pinturas antigas.

Caso 4 – Imóvel em Genebra (1956), Suíça:

- Presença confirmada de amianto e chumbo.

Validação e Conformidade:

Todos os relatórios incluíram:

- ✓ A cartografia técnica das zonas contaminadas;
- ✓ A validação dos resultados por laboratórios acreditados;
- ✓ A menção explícita às obrigações legais, nomeadamente ORRChem e OLED;
- ✓ A recomendação de empresas certificadas para a remoção.

Contributo para a Dissertação:

Estes casos permitem ilustrar:

1. A variedade e persistência dos poluentes nos edifícios existentes;
2. A importância da avaliação técnica detalhada na fase prévia a qualquer intervenção;
3. A utilidade da normalização de metodologias de inspeção (ASCA) e da cartografia digital dos riscos;
4. A urgência de promover sistemas integrados de gestão de resíduos e gases, com reutilização segura, formação obrigatória dos trabalhadores e uso de plataformas digitais para rastreio e etiquetagem dos materiais.

6.2 Limitações e desafios da gestão sustentável de resíduos na construção

Apesar do crescente reconhecimento da importância da gestão sustentável de resíduos perigosos na construção, persistem diversas limitações e desafios que condicionam a sua implementação efetiva em contextos reais. Estes obstáculos são de natureza normativa, técnica, económica e cultural, afetando tanto os projetos de reabilitação como os processos de desconstrução e, em menor grau, a fase de utilização dos edifícios.

Uma das principais limitações identificadas prende-se com a fragmentação normativa e a inconsistência entre legislações nacionais e internacionais. A ausência de um quadro legal harmonizado em matéria de resíduos perigosos dificulta a uniformização dos critérios de identificação, recolha, triagem e eliminação. Em países como Portugal, a legislação é por vezes genérica ou aplicada de forma desigual entre diferentes regiões e municípios, o que compromete a eficácia dos diagnósticos e o controlo da exposição a substâncias nocivas. Esta realidade contrasta com países como a Suíça ou a Bélgica, onde existem bases de dados centralizadas e exigências legais claras sobre a rastreabilidade dos materiais perigosos ao longo do ciclo de vida do edifício.

Outro desafio crítico é a escassez de formação especializada e de sensibilização entre os diversos intervenientes do setor da construção, desde projetistas e engenheiros até empreiteiros e operários. A falta de conhecimento técnico sobre os riscos associados a materiais como amianto, PCB, chumbo ou HAP, e sobre os procedimentos adequados para a sua deteção, manipulação e remoção segura, conduz a práticas inadequadas, muitas vezes com consequências graves para a saúde humana e para o ambiente.

Neste contexto, destaca-se o contributo da SUVA, a instituição suíça de seguros contra acidentes, que disponibiliza fichas informativas práticas e acessíveis sobre como proceder em caso de presença de materiais perigosos, especialmente o amianto. Além disso, a SUVA desenvolveu uma “casa virtual” interativa no seu portal online, onde os utilizadores podem explorar os locais típicos onde o amianto pode estar presente numa moradia comum, de forma didática e preventiva. Este tipo de recurso constitui uma ferramenta essencial para aumentar a consciência dos riscos e melhorar a capacidade de resposta dos profissionais no terreno.

Do ponto de vista económico, a gestão sustentável de resíduos implica custos acrescidos de diagnóstico, análise laboratorial, planificação e tratamento. Em contextos com forte pressão orçamental, como obras públicas ou pequenas intervenções privadas, esta dimensão financeira é frequentemente encarada como um obstáculo, levando à minimização ou omissão de processos de triagem e caracterização. A inexistência de incentivos fiscais ou de programas de apoio técnico-financeiro agrava esta tendência.

Adicionalmente, é importante referir a dificuldade de acesso a informação técnica fidedigna sobre a composição dos materiais existentes nos edifícios, sobretudo naqueles construídos antes da década de 1990. A ausência de documentação original, alterações sucessivas sem registo e a inexistência de um “passaporte digital” do edifício constituem entraves significativos à rastreabilidade e ao planeamento de uma gestão eficaz dos resíduos.

Por fim, destaca-se a baixa adoção de ferramentas digitais e de tecnologias emergentes, que poderiam facilitar significativamente a monitorização, etiquetagem e integração dos dados relativos aos resíduos e substâncias perigosas. A resistência à inovação, associada à perceção de complexidade e à falta de interoperabilidade entre sistemas, contribui para manter a gestão de resíduos num paradigma ainda muito reativo e fragmentado.

Superar estes desafios exige uma abordagem estruturada e multissetorial, envolvendo o reforço da legislação, a capacitação técnica dos agentes do setor, o estímulo à digitalização e a criação de incentivos económicos que favoreçam práticas mais responsáveis e alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

6.3 Boas Práticas Legislativas

A análise dos dados obtidos e das práticas observadas no contexto da gestão de resíduos e gases perigosos em edifícios evidencia a necessidade urgente de reforço e atualização das políticas públicas e regulamentações técnicas. Estas implicações tornam-se especialmente relevantes nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução, onde os riscos para a saúde humana e o ambiente são frequentemente subestimados ou negligenciados.

Em primeiro lugar, é evidente a importância da implementação obrigatória de diagnósticos prévios completos para qualquer intervenção que envolva alterações significativas em edifícios construídos antes de 1990. Esta exigência, que já está parcialmente em vigor em países como a Suíça, deveria ser estendida e reforçada em Portugal e noutros países europeus, com base em critérios técnicos e de saúde pública, e não apenas por exigências legais associadas a licenças municipais.

Importa destacar que grande parte da legislação, metodologias de diagnóstico e processos de avaliação utilizados na Suíça são inspirados ou adaptados de regulamentos oriundos de países vizinhos, sobretudo da Alemanha e da França, reconhecidos pela sua experiência em matéria de segurança ambiental e gestão de resíduos. Esta base comum representa uma oportunidade concreta de harmonizar práticas e regulamentações a nível europeu, facilitando a padronização de comportamentos técnicos e administrativos, e aumentando a eficácia global da resposta aos riscos associados aos resíduos perigosos.

Outra implicação relevante prende-se com a criação de incentivos económicos e fiscais para a realização de diagnósticos, remoções seguras e reaproveitamento de materiais. Atualmente, os custos associados à gestão correta de resíduos perigosos recaem quase exclusivamente sobre os proprietários ou promotores da obra, sem contrapartidas claras. A atribuição de benefícios fiscais, cofinanciamentos ou acesso prioritário a programas de apoio à reabilitação poderá fomentar uma maior adesão às práticas sustentáveis.

É igualmente essencial que se assegure uma divulgação mais ampla e eficaz junto dos operadores e trabalhadores da construção, especialmente daqueles que contactam diretamente com os materiais potencialmente perigosos. Não basta tornar habitual a execução de diagnósticos e controlos: é fundamental que se torne obrigatória a realização de inspeções preventivas e a emissão de certificados pós-trabalho, validando a segurança dos espaços após intervenções que envolvam a exposição a resíduos perigosos. Estes processos devem ser supervisionados por técnicos acreditados e integrados nas boas práticas profissionais do setor.

Do ponto de vista regulamentar, torna-se também imperativo harmonizar os limites legais de concentração de substâncias perigosas (como PCB, amianto, chumbo, HBCD e HAP) com as normas europeias mais restritivas. Em vários casos, os valores-limite definidos nas normas portuguesas estão desatualizados ou não estão claramente estabelecidos em regulamentos específicos, dificultando a atuação técnica e a fiscalização.

Paralelamente, importa reforçar a formação técnica obrigatória e contínua para todos os intervenientes no setor, incluindo formações específicas sobre diagnóstico, manuseamento,

transporte e eliminação de resíduos perigosos. Esta formação pode ser integrada em plataformas digitais como a da SUVA, em parceria com ordens profissionais e instituições de ensino técnico, promovendo uma cultura de prevenção e segurança desde as fases iniciais do projeto.

Por fim, é essencial reduzir progressivamente o encaminhamento de resíduos perigosos para aterros controlados, uma vez que o risco de saturação (*“overstock”*) destes locais representa uma ameaça ambiental e logística a médio prazo. Isto implica reforçar a triagem, a pré-tratamento e a valorização de materiais sempre que possível, privilegiando a sua eliminação segura apenas como último recurso.

Em suma, as implicações práticas aqui descritas apontam para a necessidade de uma mudança de paradigma político e técnico, baseada na harmonização legislativa, na responsabilização dos agentes do setor, na proteção da saúde pública e na sustentabilidade ambiental a longo prazo.

7. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo central a caracterização e análise da gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com especial enfoque nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução. Através da revisão da literatura, do enquadramento legislativo e normativo, da descrição de metodologias de diagnóstico e ensaio, da identificação de tecnologias emergentes e da análise crítica das práticas atuais, foi possível obter uma visão abrangente e fundamentada sobre os principais desafios e oportunidades nesta área.

Conclui-se que:

- Os resíduos e gases perigosos em edifícios representam riscos reais para a saúde humana, o ambiente e a durabilidade dos materiais, especialmente quando não identificados ou geridos de forma adequada;
- A maioria destes resíduos (amianto, PCB, HAP, chumbo, HBCD, entre outros) permanece oculta na construção tradicional, sendo frequentemente ignorada em intervenções que não exigem processos administrativos formais;
- Existem ferramentas técnicas e laboratoriais fiáveis para a deteção, caracterização e quantificação destes materiais, mas a sua aplicação ainda é irregular, sobretudo em contextos de pequena e média intervenção;
- A legislação nacional, embora existente, carece de atualização, harmonização e obrigatoriedade prática no que se refere a diagnósticos prévios, formação dos trabalhadores e certificação pós-trabalhos;
- A experiência suíça destaca-se como um exemplo relevante de integração de práticas técnicas, regulatórias e preventivas, podendo servir de modelo replicável para outros países europeus;
- A digitalização, a etiquetagem sistemática dos elementos e a integração de plataformas inteligentes com inteligência artificial são caminhos promissores para garantir rastreabilidade, segurança e eficiência na gestão de resíduos perigosos;
- A implementação de estratégias sustentáveis baseadas na minimização, reaproveitamento e valorização de resíduos, associada a uma abordagem preventiva desde a fase de utilização dos edifícios, revela-se essencial para reduzir o impacto ambiental global do setor da construção.

Estas conclusões reforçam a necessidade de um compromisso coletivo e multidisciplinar, onde técnicos, decisores políticos, trabalhadores, proprietários e académicos devem atuar de forma coordenada para transformar os princípios de segurança e sustentabilidade numa prática corrente e verificável.

7.1 Contributos desta investigação

Esta investigação contribui para o avanço da construção sustentável ao trazer uma abordagem integrada que articula aspetos técnicos, normativos, ambientais e de saúde pública no contexto da gestão de resíduos e gases perigosos em edifícios.

Um dos principais contributos prende-se com a valorização da fase de utilização e reabilitação dos edifícios como momentos-chave para a deteção e mitigação de riscos ambientais. Tradicionalmente, os resíduos perigosos são associados quase exclusivamente à fase de desconstrução. No entanto, esta dissertação evidencia que materiais contaminantes permanecem ativos durante décadas, podendo afetar ocupantes, técnicos e trabalhadores, e exigem monitorização contínua e ações preventivas, mesmo fora de cenários de obras.

A sistematização das técnicas de ensaio laboratoriais e in situ, aliada ao enquadramento legal em diferentes países, fornece uma ferramenta prática para técnicos e engenheiros, permitindo melhorar o planeamento de obras, a seleção de metodologias seguras e a decisão sobre o destino final dos resíduos.

Ao destacar o exemplo suíço, esta investigação propõe uma ponte entre boas práticas nacionais e internacionais, salientando o valor da harmonização de critérios de inspeção, certificação e comunicação de risco. Esta perspetiva comparativa amplia o debate sobre políticas públicas e responsabilidade compartilhada, incentivando modelos de gestão replicáveis e adaptáveis a outros contextos europeus.

Outro contributo reside na introdução de soluções tecnológicas emergentes e no apelo à digitalização do ciclo de vida dos materiais perigosos nos edifícios. Ao propor ferramentas como etiquetas inteligentes, integração com BIM, uso de inteligência artificial e rastreabilidade digital, o estudo antecipa cenários futuros de gestão eficiente, transparente e colaborativa, em linha com os objetivos do Pacto Ecológico Europeu e da *Renovation Wave Strategy*.

Por fim, esta dissertação sensibiliza para a urgência de integrar a educação, formação e comunicação de risco nas práticas profissionais, sobretudo junto dos trabalhadores de obra e dos pequenos promotores que, muitas vezes, operam à margem das exigências legais. A consciencialização sobre o perigo invisível de certos materiais é, em si mesma, uma ação transformadora e sustentável.

Em conjunto, estes contributos reforçam a importância de integrar a gestão de resíduos perigosos nos princípios da economia circular, da prevenção ambiental e da equidade na saúde pública, posicionando esta temática como uma componente essencial da construção sustentável contemporânea.

Esta dissertação procurou não só identificar os principais resíduos e substâncias perigosas presentes em edifícios, como também propor métodos eficazes para a sua caracterização, gestão e mitigação, sempre com uma visão orientada para a sustentabilidade na construção.

Entre os contributos mais relevantes desta investigação destacam-se:

- A sistematização clara e acessível das tipologias de resíduos perigosos, respetivos limites legais e métodos de deteção, permitindo apoiar técnicos e decisores em processos de diagnóstico mais rigorosos e eficazes;
- A proposta de integração de tecnologias de ensaio e ferramentas digitais, como plataformas BIM, inteligência artificial, mapeamentos georreferenciados e aplicações móveis de inspeção,

que poderão revolucionar a forma como os resíduos perigosos são identificados, geridos e rastreados ao longo do ciclo de vida dos edifícios;

- A valorização da fase de utilização dos edifícios, frequentemente descurada na literatura e na prática profissional, como momento crítico para o monitoramento de degradação de materiais contaminantes, libertação de gases nocivos e exposição crónica dos utilizadores;
- A reflexão crítica sobre o enquadramento normativo, identificando boas práticas existentes na Suíça e noutros países europeus, e propondo a harmonização das directivas legais e a certificação obrigatória de processos e profissionais;
- A introdução de uma nova abordagem estratégica, centrada na prevenção, educação, formação profissional e transparência dos dados, visando reduzir o número de intervenções de emergência, melhorar a segurança das obras e garantir o cumprimento das obrigações legais e ambientais;
- O incentivo à criação da figura do inspetor/investigador de resíduos e gases perigosos na construção, como um novo agente técnico capaz de garantir a aplicação correta dos procedimentos de diagnóstico e descontaminação.

Estes contributos reforçam o papel da construção civil como sector-chave na transição para uma economia mais verde e segura, colocando a saúde humana e a proteção ambiental no centro das decisões técnicas e políticas.

7.2 Desenvolvimentos Futuros

A presente investigação permitiu consolidar um conjunto relevante de conhecimentos sobre a caracterização e a gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios. No entanto, foram também identificadas diversas lacunas e oportunidades de aprofundamento, que poderão servir de base a futuras linhas de investigação e inovação no sector da construção.

Entre as principais sugestões, destacam-se:

- A realização de estudos longitudinais sobre a exposição cumulativa a contaminantes em edifícios com longa vida útil, particularmente em contextos de habitação social ou locais de trabalho pouco ventilados;
- O desenvolvimento de modelos preditivos baseados em inteligência artificial, utilizando bases de dados georreferenciadas e informações de época construtiva, materiais utilizados e localização geológica, de forma a antecipar zonas de maior risco de presença de materiais perigosos;
- A avaliação comparada de métodos de diagnóstico e saneamento, com enfoque na sua eficiência económica, ambiental e em saúde pública, permitindo otimizar decisões em projectos de reabilitação;
- A investigação e promoção de materiais alternativos mais seguros e ecológicos, como substitutos de compostos historicamente perigosos, por exemplo, o HBCD em isolamentos ou os HAP em revestimentos betuminosos;
- A criação da figura profissional do “investigador” ou “inspetor de resíduos e gases perigosos na construção”, com formação certificada e competências reconhecidas, à semelhança do que já acontece com os peritos em segurança, higiene ou controlo ambiental. Esta função teria como missão garantir a realização de diagnósticos prévios fiáveis, a fiscalização dos trabalhos

de remoção ou contenção, bem como a certificação final de segurança dos espaços intervencionados;

- O estudo de metodologias participativas e colaborativas, que envolvam os diversos actores do processo construtivo – desde os proprietários aos técnicos, passando pelas autoridades locais e os utilizadores finais –, fomentando uma abordagem transversal, educativa e preventiva;
- A criação de plataformas digitais interoperáveis que permitam o registo, a partilha e a monitorização de diagnósticos, soluções adoptadas e riscos remanescentes, contribuindo para maior transparência, traçabilidade e apoio à decisão política.

Estas linhas de investigação e acção futura visam transformar a abordagem aos resíduos e gases perigosos na construção, integrando-a de forma clara nos princípios da sustentabilidade, da saúde pública e da economia circular, com benefícios diretos para os profissionais, os utilizadores e o ambiente.

Uma das principais perspetivas futuras está na digitalização dos processos de diagnóstico e rastreio de materiais perigosos, nomeadamente através da integração de plataformas com bases de dados de resíduos, sensores inteligentes e tecnologias de etiquetagem (como QR codes). Estas ferramentas permitem não só documentar os elementos de risco ao longo da vida útil do edifício, como também facilitar a sua monitorização contínua, revalidação periódica e gestão em caso de desconstrução.

Outra frente de evolução consiste na normalização europeia e internacional das práticas de diagnóstico, amostragem e eliminação de resíduos perigosos. A criação de um corpo normativo comum, inspirado por boas práticas já aplicadas em países como a Suíça, Alemanha, França e países nórdicos, pode contribuir para eliminar desigualdades regulatórias, garantir maior proteção dos trabalhadores e promover uma maior responsabilização dos agentes económicos. A investigação futura pode focar-se na comparação de regulamentações e na proposta de critérios mínimos de diagnóstico e certificação aplicáveis a nível transnacional.

Do ponto de vista tecnológico, há um enorme potencial em explorar técnicas não destrutivas de diagnóstico – como sensores portáteis de espectrometria, drones com câmaras hiperespectrais ou inteligência artificial aplicada à deteção visual de materiais perigosos. Estas tecnologias emergentes permitirão intervenções mais rápidas, seguras e económicas, reduzindo a exposição dos trabalhadores e melhorando a precisão da triagem.

No plano académico e científico, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre a toxicidade cumulativa de certos resíduos (como HAP, PCB ou HBCD) e a sua interação com diferentes materiais de construção. Além disso, é necessária uma melhor quantificação do impacto ambiental de diferentes estratégias de gestão de resíduos, através de análises de ciclo de vida (LCA – *Life Cycle Assessment*), permitindo decisões mais informadas e sustentáveis.

A investigação deve igualmente considerar dimensões sociais e comportamentais, como o nível de conhecimento e perceção de risco dos trabalhadores da construção, as barreiras à adoção de práticas seguras e os fatores económicos que condicionam o cumprimento das normas. Estudos qualitativos nesta área poderão informar políticas mais ajustadas à realidade do setor.

Por fim, é desejável que se promova uma maior colaboração entre entidades públicas, empresas privadas, universidades e centros de investigação, criando redes de partilha de conhecimento, experiências e dados técnicos. Esta cooperação é fundamental para acelerar a transição para práticas mais sustentáveis, seguras e economicamente viáveis na construção e reabilitação de edifícios.

Em suma, o futuro da gestão de resíduos e gases perigosos em edifícios dependerá não apenas da aplicação de normas técnicas, mas também de inovação, formação, regulamentação coerente e compromisso coletivo com a sustentabilidade.

7.3 Conclusão Final

A presente dissertação abordou de forma integrada a caracterização e gestão sustentável de resíduos e gases perigosos em edifícios, com especial enfoque nas fases de utilização, reabilitação e desconstrução. O trabalho evidenciou que, apesar dos avanços tecnológicos e normativos registados nas últimas décadas, persistem lacunas significativas na prevenção, identificação e tratamento eficaz destes contaminantes, tanto ao nível técnico como regulamentar.

Através da revisão da literatura, da análise normativa em múltiplos contextos (Portugal, Suíça, União Europeia e outros) e da aplicação prática no estudo de caso, foi possível confirmar a relevância e urgência de melhorar os processos de diagnóstico, gestão e comunicação de risco, sobretudo em edifícios construídos antes da década de 1990.

Neste contexto, torna-se evidente que a padronização dos relatórios de diagnóstico, com formatos, categorias e critérios técnicos uniformizados, representa uma medida funcional de elevada relevância. Para além de garantir a coerência e a rastreabilidade da informação, esta uniformização permite facilitar a partilha entre profissionais, autoridades e utilizadores, contribuindo para um ecossistema de dados aberto e útil à prevenção e planeamento de intervenções futuras.

A dissertação demonstrou também que a incorporação de novas tecnologias, como plataformas digitais integradas com BIM, sistemas de etiquetagem, inteligência artificial e técnicas de ensaio não destrutivas, pode representar uma mudança de paradigma na forma como os resíduos perigosos são geridos no sector da construção. Destacou-se ainda a necessidade de harmonizar legislações, formar profissionais certificados e criar figuras técnicas específicas, como o inspetor de resíduos e gases perigosos, para garantir a conformidade e a segurança sanitária em todos os tipos de intervenção.

No plano ambiental e social, a promoção da transparência dos dados, da rastreabilidade dos materiais e da consciencialização dos diversos agentes (trabalhadores, projetistas, promotores e utilizadores) é fundamental para reduzir riscos à saúde e proteger o ambiente. A sustentabilidade na construção não poderá ser alcançada sem uma mudança cultural e estrutural, onde os resíduos e substâncias perigosas deixem de ser ignorados ou subestimados.

Conclui-se, assim, que a gestão sustentável destes resíduos deve ser assumida como uma prioridade transversal, incorporada desde as fases iniciais de projeto até ao desmantelamento final dos edifícios, com base em evidência técnica, responsabilidade ética e compromisso com o futuro coletivo.

8. Referências Bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2025). *Plano nacional para o radão*.
<https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/plano-nacional-para-o-radao>
- American National Standards Institute. (2022). *ANSI/ASHRAE 62.1-2022 - Ventilation and acceptable indoor air quality*. ANSI
- Association Suisse des Consultants Amiante. (2021). *Directive technique pour le diagnostic amiante*. ASCA
- Bourdeau, L. (2010). *Sustainable development and the future of construction: a comparison of visions from various countries*. Building Research & Information, 27(6), Artigo e1999.
<https://doi.org/10.1080/096132199369183>
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- Canadian Environmental Protection Act, 1999, (S.C. 1999, c. 33). Government of Canada. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-15.31/>
- Canton de Vaud. (2025). *Diagnostics amiante*. <https://www.amiante.vd.ch/>
- Despacho n.º 6573-A/2020 dos Gabinetes do Ministro da Educação e da Ministra da Coesão Territorial: *Identifica equipamentos escolares para intervenção de remoção e substituição do amianto*. (2020) Diário da República n.º 120, 2.ª série de 23-06-2020.
<https://files.diariodarepublica.pt/2s/2020/06/120000001/0000200018.pdf>
- Coelho, A., & Brito, J. (2012). *Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings*. Waste Management, 32(3), 532-541.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.011>
- Comissão Europeia. (2016). *Protocolo de gestão de resíduos de construção e demolição da UE*. CE. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509>
- Comissão Europeia. (2018). *Orientações para auditorias aos resíduos antes de obras de demolição e renovação de edifícios: Gestão de resíduos de construção e demolição da UE*. CE. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521>
- Comissão Europeia. (2020). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Um novo plano de ação para a economia circular: Para uma Europa mais limpa e competitiva*. CE. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF
- Commission Fédérale de Coordination pour la Sécurité au Travail CFST. (2025). *Directive CFST n.º 6503 – Directive amiante*. <https://www.ekas.admin.ch/fr/dokumente/detail/directive-amiante>
- Confédération Suisse. (2016). *Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED)*, RS 814.600. Fedlex. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/fr>

- Confédération Suisse. (2022). *Ordonnance sur la radioprotection (ORaP)*, RS 814.501. Fedlex. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/502/fr>
- Curado, A., Nunes, L. J. R., Carvalho, A., Abrantes, J., Lima, E., & Tomé, M. (2024). *The use of asbestos and its consequences: An assessment of environmental impacts and public health risks*. *Fibers*, 12(12), Article e102. <https://doi.org/10.3390/fib12120102>
- Curwell, S., Fox, B., Greenberg, M., & March, C. (2002). *Hazardous building materials: A guide to the selection of environmentally responsible alternatives*. Routledge.
- Decisão nº. 2014/955/EU: *Decisão da Comissão, de 18 de dezembro de 2014, que altera a Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos, nos termos da Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. *Jornal Oficial da União Europeia*, L370, 44–86. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014D0955>
- Decreto-Lei n.º 266/2007 do Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social: *Proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho*. (2007) *Diário da República*, n.º 141, Série I. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/266-2007-636752>
- Decreto-Lei n.º 46/2008 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional: *Regime da gestão de resíduos de construção e demolição*. *Diário da República*, n.º 51, Série I. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/46-2008-247037>
- Decreto-Lei n.º 102-D/2020 da Presidência do Conselho de Ministros: *Regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852*. (2020) *Diário da República* n.º 239, Série I de 10-10-2020. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012>
- Despacho n.º 6573-A/2020 dos Gabinetes do Ministro da Educação e da Ministra da Coesão Territorial: *Identifica equipamentos escolares para intervenção de remoção e substituição do amianto*. (2020) *Diário da República* n.º 120, 2.ª série de 23-06-2020. <https://files.diariodarepublica.pt/2s/2020/06/120000001/0000200018.pdf>
- Diretiva (UE) 2024/1275 do Parlamento Europeu e do Conselho de 24 de abril de 2024: *Desempenho energético dos edifícios*. (2024). *Jornal Oficial da União Europeia*, série L de 05/05/2024. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- Environmental Protection Agency. (1985). *Guidance for controlling asbestos-containing materials in buildings*. EPA. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-02/documents/purple-book_epa_705-g-2020-2762.pdf
- European Committee for Standardization. (2005). *EN 1504-1: Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – Part 1: Definitions*. CEN.
- European Committee for Standardization. (2008). *EN 15308: 2008—Characterization of waste: Determination of selected polychlorinated biphenyls (PCB) in solid waste by capillary gas chromatography with electron capture or mass spectrometric detection*. CEN.

- European Environment Agency. (2020). *Construction and demolition waste: Challenges and opportunities in a circular economy*. EEA.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/construction-and-demolition-waste-challenges>
- Ferreira, B. L. A. (2010). *Construção de edifícios sustentáveis : Contribuição para a definição de um processo operativo*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa]. RUN - Repositório Institucional da Universidade NOVA de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10362/4141>
- Forum Amiante Suisse. (2018). *Désamiantage en cas de travaux de transformation ou de déconstruction: Guide destiné aux maîtres d'ouvrage et aux architectes*. FACH.
<https://www.suva.ch/fr-ch/download/document/guide--desamiantage-lors-de-transformations-ou-de-deconstructions/standard-variante--2994.F>
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO 16000-1: 2004 - Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy*. ISO
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO 22262-1: 2012 - Air quality — Bulk materials Part 1: Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 10312: 2019 - Ambient air - Determination of asbestos fibres—Direct-transfer transmission electron microscopy method*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 16000-9: 2024 - Indoor air — Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from samples of building products and furnishing — Emission test chamber method*. ISO
- Janela, J., & Pereira, P. (2020). *Amianto em Portugal: A difícil aplicação da Lei n.º 2/2011*. Geonovas, 33(1-2), 47-54.
https://www.apgeologos.pt/images/Geonovas/geonovas%2033%20pub_online_v2_correcao-48-55.pdf
- Kumar, A., Thakur, A., Gaurav, G. K., Klemes, J. J., Sandhwar, V. K., Pant, K. K., & Kumar, R. (2023). *A critical review on sustainable hazardous waste management strategies: A step towards a circular economy*. Environmental Science and Pollution Research, 30, 105030–105055. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29511-8>
- Lange, J. H., Lange, P. R., Reinhard; t. k., & Thomulka, K. W. (1996). *A study of personal and area airborne asbestos concentrations during asbestos abatement: A statistical evaluation of fibre concentration data*. The Annals of Occupational Hygiene, 40(4), 449-466.
[https://doi.org/10.1016/0003-4878\(95\)00081-X](https://doi.org/10.1016/0003-4878(95)00081-X)
- Lee, R. J., & Van Orden, D. R. (2008). *Airborne asbestos in buildings*. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 50 (2), 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2007.10.005>
- Office fédéral de la Santé Publique. (2025, novembro). *Polluants d'intérieur*.
<https://www.bag.admin.ch/fr/polluants-dinterieur>

- Olumo, A., & Haas, C. (2024). *Building material reuse: An optimization framework for sourcing new and reclaimed building materials*. Journal of Cleaner Production, 479(10), Artigo e143892. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143892>
- Pinto, A. (2013). *Ventilação de edifícios de habitação: Qualidade do ar interior e eficiência energética princípios gerais da proposta para a revisão do RCCTE*. Edifícios e Energia, 85, 68-75. <http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/1004546>
- Rodríguez, G., Alegre, F. J., & Martínez, G. (2007). *The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: The case of the Autonomous Community of Madrid (Spain)*. Resources, Conservation and Recycling, 50(3), 334-349. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.06.008>
- Société Suisse des Ingénierurs et des Architectes. (2013). *SIA 118: 2013. Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction*. SIA.
- Société Suisse des Ingénierurs et des Architectes. (2014). *SIA 180: 2014 - Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments*. SIA.
- Société Suisse des Ingénierurs et des Architectes. (2019). *SIA 382.711: 2019 - Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1: Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique (Module M1-6)*. SIA
- SUVA. (2023). *Six règles vitales relatives à la protection contre l'amiante*. SUVA. <https://www.suva.ch/fr-ch/download/document/six-regles-vitales-relatives-a-la-protection-contre-l-amiante/six-regles-vitales-relatives-a-la-protection-contre-l-amiante--84080.F>
- SUVA. (2025). *Retrait de matériaux amiantés : Vue d'ensemble des mesures*. SUVA. <https://www.suva.ch/fr-ch/download/document/retrait-de-materiaux-amiantes---vue-d-ensemble-des-mesures/retrait-de-materiaux-amiantes---vue-d-ensemble-des-mesures--88327.F>
- Wang, C., Wang, J., Zhou, S., Tang, J., Jia, Z., Ge, L., Li, Y., & Wu, S. (2019). *Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in urban environments: Concentrations and joint risks in surface soils with diverse land uses*. Land Degradation & Development, 31(3), 383-391. <https://doi.org/10.1002/ldr.3456>
- Verein Deutscher Ingenieure. (2018). *VDI 3492 – Indoor air, ambient air - Measurement of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method*. VDI
- World Health Organization. (2017). *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. WHO. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/202feb0d-06e8-418d-8e38-8927ec2d166b/content>

9. Anexos

Anexo 1 – Relatório de radão

Anexo 2 – Extrato de relatório: lista de diagnóstico

Anexo 3 – Extrato de relatório: plano de diagnóstico

Anexo 4 – Extrato de relatório: plano de localização

Anexo 5 – Lista de leituras XRF

Anexo 6 – Extrato de relatório: Lista de materiais verificados com presença de chumbo

Anexo 7 – Extrato de relatório: Plano de localização do chumbo

Anexo 8 – Extrato de relatório: lista de materiais verificados

Anexo 9 – Extrato de relatório: ficha de material poluído

Anexo 10 – Extrato de relatório: plano de localização

10. Apêndices

Apêndice 1 – Amianto nos locais: determinação da urgência das medidas a adotar (FACH)

Apêndice 2 – Formulário de medição de radão em habitações (099_1a)

Apêndice 3 – Relatório de resultados de radão – CHUV

Apêndice 4 – Resultados de análise de amianto – Toxias

Apêndice 5 – Resultados de análise de HBCD – Le Labo

Apêndice 6 – Resultados de análise de amianto – Toxias

Apêndice 7 – Resultados de análise de amianto – Toxias

Apêndice 8 – Atestado de substâncias perigosas G01 (Genebra)