

## Observação e auscultação do estado de conservação das ancoragens em estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi: Caso de estudo

PEDRO MIGUEL GOMES TEIXEIRA

Julho de 2022





**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Observação e auscultação do estado de conservação das ancoragens em estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi: Caso de estudo**

**Pedro Miguel Gomes Teixeira**



**isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

**P. PORTO**

**2022**

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Observação e auscultação do estado de conservação das ancoragens em estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi: caso de estudo**

*Observation and auscultation of the state of conservation of anchorages in road geotechnical structures in the Ascendi network: case study*

**Pedro Miguel Gomes Teixeira**

**1151389**

*Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Engenheiro José Filinto Trigo, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Civil do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

*Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Mestre Especialista José Filinto Castro Trigo

*Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor José Cândido Gonçalves Freitas

*Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

---

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, por **Pedro Miguel Gomes Teixeira**, em 25 de Julho de 2022 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **18 (dezoito) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

---

## **Agradecimentos**

Esta dissertação é o fechar de uma fase que começou em 2015. Devo por isso os meus primeiros agradecimentos a Deus, o qual eu acredito desde a minha infância, por nunca me ter deixado sozinho nesta que se mostrou ser a minha maior aventura até à data.

Agradeço aos meus Pais pela sua paciência e esforço, que em tudo ajudou a superar de forma decisiva os meus dois primeiros anos no ISEP. A sua educação e os seus conselhos fizeram de mim quem sou hoje. Vocês serão sempre o meu exemplo de amor e dedicação. À minha irmã, na esperança de que esta dissertação a motive a continuar a acreditar em si. Na academia cada um tem a sua história...

Agradeço à Elisa, agora minha noiva, por estar ao meu lado, me ajudar a crescer e por sempre me ouvir e apoiar nas minhas decisões. És a maior bênção que Deus me deu.

Agradeço em especial à Sra. Engenheira Alexandra Ferreira (ASCENDI) e ao Sr. Professor Engenheiro José Filinto Trigo (DEC|SEP) por todo o apoio e orientação científica e técnica ao longo deste longo e frutuoso processo. Pelas sucessivas e minuciosas revisões ao manuscrito, pela partilha de tempo e conhecimentos, por terem acreditado nas minhas capacidades e pelos conselhos, um muito obrigado. Estendo, ainda, o agradecimento à ASCENDI pela oportunidade de estágio, por me permitir evoluir e por me proporcionar a primeira experiência profissional, como Geotécnico. Estarei sempre grato ao ISEP e à ASCENDI.

Grato ainda ao Sr. Professor Helder I. Chaminé (DEGI|SEP) por sempre ter acreditado em mim. Nesta fase da conclusão do mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente foi fundamental o seu desafio em proporcionar-me uma entrevista junto da ASCENDI e assim ter materializado “o seu acreditar nas minhas capacidades”. O meu muito obrigado ao Professor Helder Chaminé.

Um particular obrigado a toda a equipa da Gestão da Conservação 2 da ASCENDI pela simpatia e hospitalidade. Em especial agradeço a todos os colegas da equipa Muros e Taludes, Engenheira Adriana Neves, Engenheiro Pedro Varela, Engenheiro Jorge Dias e não menos importante Engenheiro José Sousa. À Vanessa, companheira do café da manhã e à restante equipa ASCENDI, obrigado.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do ISEP que me viram crescer e superar, pelos vossos conhecimentos, experiência e por tudo partilhado na sala de aula, laboratório e campo. Uma especial referência ao Sr. Professor José Augusto Fernandes por todos os conselhos e cuidado.

Ao Rui Ferreira e ao Daniel Lopes, os meus amigos e colegas, por estes anos juntos. Foi só o início.

Obrigado a todos os colegas que de uma maneira ou de outra contribuíram para a construção de memórias, as quais levarei na vida.

A todos os restantes amigos, não me sendo permitido enumerar os seus nomes, à minha família e à minha futura família, um muito obrigado por fazerem parte da minha vida.

(página propositadamente em branco)

## **Palavras-chave**

Ancoragem, Vida Útil, Ensaios, Patologias, Estados, Geotecnia

## **Resumo**

O estudo das ancoragens é um tema que, ao longo dos anos, tem ganho importância, fruto da necessidade e, infelizmente, de incidentes. De maneira a contribuir para o conhecimento da área apresenta-se, ao longo de sete capítulos, o panorama nacional e internacional, quer ao nível construtivo, quer durante a vida útil das ancoragens. As estruturas ancoradas são estruturas que carecem de um plano de observação e auscultação e, uma vez instrumentadas, o seu acompanhamento ao longo da fase de exploração. As ancoragens são componentes da estrutura ancorada, pelo que são o principal alvo deste plano, mas não exclusivo. Deste acompanhamento e após a leitura, em regra das células de carga, aplicam-se critérios de alerta e alarme, preferencialmente definidos em projeto. Estes são um dos principais indicativos, que auxiliam o Gestor de ativos na tomada de decisão, no que toca à necessidade de intervenção. Contudo, não são os únicos indicadores do estado de conservação e manutenção da ancoragem, pelo contrário, são complementados com a inspeção visual e a aplicação de ensaios *in situ*. Os ensaios *in situ* dividem-se em ensaios durante a fase de construção, ensaios de carga, e durante a vida útil da ancoragem, ensaios destrutivos e não destrutivos. Na inspeção visual procede-se ao registo das patologias observáveis sem recurso a qualquer equipamento. Para o efeito, a Ascendi elaborou um catálogo de patologias com a identificação e descrição das mais preponderantes. Os ensaios destrutivos são de rara aplicação uma vez que promovem a destruição de um ativo. Já em gabinete, as estruturas ancoradas são classificadas consoante um conjunto de estados de conservação e manutenção dos quais resultam ações de carácter paliativo ou curativo.

(página propositadamente em branco)

**Keywords**

Anchoring, Service life, Testing, Pathologies, States, Geotechnics

**Abstract**

The study of anchorages is a subject that, over the years, has gained importance due to the necessity and, unfortunately, incidents. To contribute to the knowledge of the area, the national and international panorama, both at the constructive level and during the service life of the anchorages, is presented in seven chapters. Anchored structures require an observation and auscultation plan, and once instrumented, they are monitored throughout the operation phase. The anchorages are components of the anchored structure, so they are the main target of this plan but not exclusive. From this monitoring and after reading, as a rule, the load cells, alert, and alarm criteria are applied, preferably defined in the project. These are some of the main indicators that help the Asset Manager make decisions regarding the need for intervention. However, they are not the only indicators of the state of conservation and maintenance of the anchorage; on the contrary, they are complemented by visual inspection and the application of in situ tests. In situ tests are divided into tests during the construction phase, load tests, and during the service life of the anchorage, destructive and non-destructive tests. In the visual inspection, observable pathologies are recorded without the use of any equipment. For this purpose, Ascendi has prepared a catalogue of pathologies with the identification and description of the most prevalent ones. Destructive tests are rare since they promote an asset's destruction. In desk studies, anchored structures are classified according to a set of conservation and maintenance states, resulting in palliative or corrective actions.

(página propositadamente em branco)

*Dedico esta dissertação a Deus e a meus Pais pelo apoio inequívoco à minha formação e evolução...*

(página propositadamente em branco)

---

## Índice

1.	Introdução .....	3
1.1.	Enquadramento geral.....	3
1.2.	Enquadramento da empresa Ascendi .....	3
1.3.	Caracterização geológica-geotécnica .....	5
1.4.	Objetivos .....	6
1.5.	Bibliografia Base .....	7
2.	Estado de arte .....	11
2.1.	Conceito de ancoragem .....	11
2.1.1.	Tipos de ancoragem .....	13
2.1.2.	Aplicação de uma ancoragem .....	14
2.1.3.	Mecanismos de rotura .....	17
2.1.4.	Geometria da ancoragem.....	21
2.1.5.	Proteção contra a corrosão.....	24
2.2.	Plano de Monitorização de uma ancoragem .....	29
3.	Ensaaios de carga na fase construtiva .....	35
3.1.	Métodos de ensaio 1.....	36
3.1.1.	Ensaio prévio .....	36
3.1.2.	Ensaio de adequabilidade .....	37
3.1.3.	Ensaio de receção.....	38
3.2.	Métodos de ensaio 2.....	39
3.2.1.	Ensaio prévio .....	39
3.2.2.	Ensaio de adequabilidade .....	39
3.2.3.	Ensaio de receção.....	40
3.3.	Métodos de ensaio 3.....	41
3.3.1.	Ensaio prévio .....	41
3.3.2.	Ensaio de adequabilidade .....	41
3.3.3.	Ensaio de receção.....	42
3.4.	Metodologia adotada na União Europeia .....	42
3.5.	Ensaaios elétricos .....	43
3.5.1.	Medição da resistência elétrica I (ERM I).....	44
3.5.2.	Medição da resistência elétrica II (ERM II).....	44
3.6.	Outra bibliografia .....	44
4.	Auscultação na fase exploratória .....	49
4.1.	Inspeção visual .....	49
4.1.1.	Catálogo de patologias em ancoragens .....	52
4.2.	Ensaaios aplicáveis .....	56
4.2.1.	Ensaaios não destrutivos.....	57
4.2.1.1.	Método de inspeção simples .....	57
4.2.1.2.	Endoscopia .....	58
4.2.1.3.	Ensaio de verificação da tração (EVT) .....	58
4.2.1.4.	Half-cell Corrosion Potential .....	60
4.2.1.5.	Método de impacto.....	61
4.2.1.6.	Método ultrassónico .....	62
4.2.2.	Ensaaios destrutivos.....	64
4.3.	Critérios de alerta e alarme.....	65
4.4.	Elaboração de catálogo de ações de manutenção e conservação.....	67
4.4.1.	Estados de manutenção e conservação .....	67
4.4.1.1.	Metodologia adotada na Ascendi .....	67
4.4.1.2.	Metodologia adotada pela Betar Consultores .....	70
4.4.1.3.	Metodologia adotada em Taiwan .....	71

---

4.4.1.4.	Metodologia adotada pela Associação Japonesa de Ancoragens .....	73
4.4.1.5.	Metodologia francesa.....	74
4.4.1.6.	Metodologia norte-americana .....	77
4.4.2.	Ações de manutenção e conservação .....	78
5.	Caso de estudo .....	83
5.1.	Inventário de estruturas ancoradas na rede Ascendi .....	83
5.1.1.	Muros ancorados sites na concessão Grande Porto .....	84
5.2.	Muro ancorado – Pk 000+299 .....	85
5.2.1.	Enquadramento geológico-geotécnico .....	87
5.2.2.	Enquadramento da estrutura.....	87
5.2.3.	Histórico de inspeções.....	91
5.3.	Inspeção visual do muro.....	95
5.3.1.	Ancoragem A1.6 - CC1 .....	97
5.3.2.	Ancoragem A1.14 - CC2 .....	98
5.3.3.	Ancoragem A1.20 - CC3 .....	98
5.3.4.	Ancoragem A1.27 - CC4 .....	98
5.3.5.	Ancoragem A1.34 - CC5 .....	99
5.3.5.1.	Avaliação da carga em excesso .....	99
5.3.6.	Ancoragem A1.41 - CC6 .....	100
5.4.	Estado de conservação e manutenção do muro .....	100
5.4.1.	Metodologia da Ascendi.....	100
5.4.2.	Metodologia de Taiwan.....	104
5.4.3.	Restantes metodologias .....	105
5.4.4.	Resumo das metodologias .....	106
5.5.	Ações de conservação e manutenção .....	107
5.6.	Proposta de catálogo de patologias .....	107
6.	Conclusões.....	111
7.	Referências bibliográficas.....	121

---

## Índice de figuras

Figura 1 - Ciclo de operações da Ascendi .....	5
Figura 2 - Bibliografia base para a elaboração da dissertação .....	7
Figura 3 - Constituição de uma ancoragem (Adaptado de PTI, 2004 citado em G. Heslin et al) .....	11
Figura 4 – Pormenor da cabeça de ancoragens segundo o tipo de armadura (Carvalho, 2009).....	13
Figura 5 – Configuração do bolbo de selagem (Adaptado de FHWA-IF-99-015, 1999) .....	14
Figura 6 - Modos de rotura de uma ancoragem (Adaptado de Mariana dos Anjos Carvalho, 2009) .....	18
Figura 7 - Rotura externa global (Adaptado de FHWA-IF-99-015).....	20
Figura 8 – Evolução da carga de uma ancoragem ao longo do tempo (Adaptado de Yu Fujiwara & Toshinori Sakai, 2016) .....	20
Figura 9 - Requisitos mínimos da geometria da ancoragem (Fernandes, 1990) .....	22
Figura 10 - Proteção contra a corrosão da armadura (Carvalho, 2009).....	26
Figura 11 - Proteção contra a corrosão Classe I (Carvalho, 2009) .....	26
Figura 12 - Proteção contra a corrosão Classe II (Carvalho, 2009) .....	27
Figura 13 - Corrosividade do solo baseado no pH e na resistividade de acordo com a norma BS 12501-2:2003 (Adaptado de Rafael Amaya-Gómez et al. 2021).....	29
Figura 14 - Pormenor da bainha corrugada e da bainha linha.....	49
Figura 15 – a) Condição inicial, b) Aumento de carga, c) Diminuição de carga (Adaptado de Liao Hung Jiun et al. 2017).....	58
Figura 16 - Exemplo representativo do ensaio <i>Lift-Off</i> em cordões .....	60
Figura 17 – Esquema representativo do ensaio Half-Cell (Adaptado de Robert M. Ebeling et al. 2013) .....	61
Figura 18 - Esquema representativo do método acústico (Adaptado de Robert M. Ebeling et al. 2013) .....	62
Figura 19 - Reflexão das no método ultrassónico (Adaptado de S.B. Tamrakar et al. 2016).....	63
Figura 20 - Exemplo representativo do efeito da qualidade da selagem (Adaptado de B Zima & M Rucka, 2015).....	63
Figura 21 - Escavação do comprimento de selagem da ancoragem (Mariana de Carvalho, 2018) .	64
Figura 22 – Secção transversal de uma ancoragem (Thiago Porto, 2015).....	65
Figura 23 – Raciocínio para a atribuição de estados de conservação e manutenção da estrutura. 68	
Figura 24 - Fluxograma para atribuição das classes após a inspeção (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014) .....	75
Figura 25 - Exemplo de análise de patologias de diferentes cotações (IQA Murs) .....	76
Figura 26 - Exemplo da análise de patologias com a mesma cotação (IQA Murs).....	76
Figura 27 - Fluxograma para atribuição das classes após a inspeção (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014).....	77
Figura 28 - Desempenho de uma ancoragem bem dimensionada (Japan Anchor Association, 2015) .....	78
Figura 29 - Ancoragem que necessita de ações de conservação (Japan anchor association, 2015)	78
Figura 30 – Muro ancorado sito na Concessão do Grande Porto ao Pk 000+299 ( <i>Software Google Earth</i> ).....	85
Figura 31 - Fotografia Aérea do muro (Ascendi).....	86
Figura 32 - a) Perspetiva lateral esquerda do muro; b) Perspetiva lateral direita do muro .....	86
Figura 33 - Perfil transversal do muro da A4 ao Pk 000+299 (Adaptado de Ascendi) .....	88
Figura 34 – Alçado em projeto do muro da A4 ao Pk 000+299 (Ascendi) .....	89
Figura 35 - Continuação do alçado em projeto do muro da A4 ao Pk 000+299 (Ascendi) .....	90
Figura 36 - Preparação da zona e equipamentos de trabalho .....	95
Figura 37 - a) Trabalhos de montagem e desmontagem da caixa metálica; b) Inspeção visual; c) Endoscopia; d) Ensaio de resistência elétrica .....	96

---

Figura 38 - Método de seleção das medidas remediativas (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	134
Figura 39 - Medidas de proteção contra a corrosão (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015) .....	135
Figura 40 - Contramedidas para a armadura, placa porta-cunhas, chapa de descarga e cabeça da ancoragem (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015) .....	136

---

## Índice de quadros

Quadro 1 - Número de taludes e muros por concessão.....	4
Quadro 2 – Descrição dos componentes de uma ancoragem.....	12
Quadro 3 - Características a estudar dos solos e rochas.....	16
Quadro 4 - Carga última estimada de acordo com o solo e o intervalo de SPT (Adaptado de “ <i>Handbook of geotechnical investigation and design tables</i> ” de Burt Look, 2014) .....	23
Quadro 5 - Carga de blocagem de acordo com o ângulo de atrito e altura da parede (Adaptado de “ <i>Handbook of geotechnical investigation and design tables</i> ” Burt Look, 2014) .....	24
Quadro 6 - Critérios para avaliação da agressividade do solo (Adaptado de Rafael Amaya-Gómez et al. 2021) .....	28
Quadro 7 - Recomendações para a monitorização de ancoragens (Adaptado de Mariana dos Anjos Carvalho, 2009).....	32
Quadro 8 – Metodologia dos ensaios de carga de acordo com a EN 1537:1999 (Mariana Carvalho dos Anjos, 2009).....	36
Quadro 9 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio prévio, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	37
Quadro 10 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio de adequabilidade, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	38
Quadro 11 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio de receção, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	38
Quadro 12 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio prévio, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	39
Quadro 13 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio adequabilidade, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	40
Quadro 14 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio receção, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	41
Quadro 15 – Incrementos de carga no ensaio prévio, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	41
Quadro 16 - Incrementos de carga no ensaio de adequabilidade, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	42
Quadro 17 - Incrementos de carga sem ciclo de carga – descarga no ensaio de receção, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	42
Quadro 18 - Incrementos de carga com ciclo de carga – descarga no ensaio de receção, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018) .....	42
Quadro 19 - Método de ensaio de carga adotado por cada país da União Europeia ( <i>European practice in ground anchor design related to the framework of EC7</i> ) .....	43
Quadro 20 - Carga máxima de ensaio, carga de blocagem, carga inicial e número de ensaios de acordo com bibliografia internacional (Mariana dos Anjos Carvalho, 2009) .....	45
Quadro 21 - Intervalos de inspeção de acordo com o Departamento de transporte do Colorado (Hearn, 2003, citado em João Luís Amado et al., 2014).....	50
Quadro 22 – Causas que provocam a mudança de cor do composto anticorrosivo (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	52
Quadro 23 - Catálogo de patologias nas ancoragens na rede rodoviária Ascendi (Adaptado de Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	53
Quadro 24 - Continuação do catálogo de patologias nas ancoragens na rede rodoviária Ascendi (Adaptado de Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	54
Quadro 25 – Patologias de manutenção associadas às ancoragens (Arlindo de Sousa, 2016) .....	54
Quadro 26 – Patologias estruturais associadas às ancoragens (Arlindo de Sousa, 2016).....	55
Quadro 27 - Patologias associadas às ancoragens (João Chaves, 2016) .....	55
Quadro 28 - Patologias associadas às ancoragens (Japan Anchor Association, 2015) .....	56
Quadro 29 - Patologias associadas às ancoragens (Ching-Jiang Jeng & Yen-Cheng Chen, 2013).....	56
Quadro 30 - Ensaios aplicáveis para monitorizar a carga residual numa ancoragem não instrumentada .....	57
Quadro 31 - Critério de alerta e alarme para Muros Ancorados/Escorados definidos pela Ascendi (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	66
Quadro 32 - Dimensão da patologia e o seu risco (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	68
Quadro 33 - Pesos atribuídos a cada componente para o cálculo do estado de conservação (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022) .....	69

---

Quadro 34 – Estados de conservação definidos pela Ascendi (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	69
Quadro 35 – Estados de manutenção definidos pela Ascendi (Fonte: Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022).....	70
Quadro 36 - Estado de conservação das obras de arte segundo a Betar Consultores (Luís Martins, 2014)....	70
Quadro 37 – Pesos atribuídos a cada patologia segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh H.n-S et al. 2013).....	72
Quadro 38 - Estado de conservação da ancoragem segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh et al. 2013) .....	73
Quadro 39 - Estado de conservação da estrutura segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh et al. 2013) .....	73
Quadro 40 - Estado de conservação de acordo com o ensaio Lift-Off (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	74
Quadro 41 - Estruturas consideradas nos métodos IQOA <i>Murs</i> (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014) .....	74
Quadro 42 - Definição de estados/classes segundo o método <i>IQOA Murs</i> (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014) .....	75
Quadro 43 – Estado de conservação da estrutura segundo o Colorado <i>Department of Transportation</i> (Amado et al, 2014).....	77
Quadro 44 – Exemplos de ações de manutenção e conservação praticadas pela Ascendi .....	79
Quadro 45 - Características das seis células de carga do muro 000+299 .....	87
Quadro 46 - Plano de instrumentação definido em projeto.....	91
Quadro 47 - Valores das leituras das células de carga (Ascendi) .....	92
Quadro 48 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo X .....	93
Quadro 49 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo Y.....	93
Quadro 50 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo Z.....	93
Quadro 51 - Resumo das patologias registadas na inspeção visual.....	101
Quadro 52 - Continuação do resumo das patologias registadas na inspeção visual .....	102
Quadro 53 - Pesos atribuídos a cada componente para o cálculo do estado de conservação.....	103
Quadro 54 - Estado de conservação de cada componente e de cada ancoragem .....	103
Quadro 55 - Estado de manutenção de cada componente e de cada ancoragem .....	104
Quadro 56 - Estado de conservação segundo a metodologia de Taiwan .....	104
Quadro 57 - Pesos de acordo com os valores das leituras das células de carga.....	105
Quadro 58 - Estado de conservação segundo o método IQOA <i>Murs</i> .....	105
Quadro 59 - Resumo do estado de conservação e manutenção de acordo com as metodologias aplicadas.....	106
Quadro 60 - Catálogo de patologias proposto.....	108
Quadro 61 - Inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	127
Quadro 62 - Continuação inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	128
Quadro 63 - Continuação inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	129
Quadro 64 - Inspeção diária (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015) .....	130
Quadro 65 - Inspeção periódica (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015) .....	131
Quadro 66 - Continuação inspeção periódica (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015).....	132
Quadro 67 - Inspeção de emergência (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015) .....	133

---

## Índice de gráficos

Gráfico 1 - Distribuição dos muros de suporte pelas concessões e subconcessões da rede Ascendi.....	83
Gráfico 2 - Distribuição dos muros ancorados pelas concessões e subconcessões da rede Ascendi.....	84
Gráfico 3 - Distribuição dos muros ancorados na concessão do Grande Porto .....	84
Gráfico 4 - Variação da carga consoante a temperatura para a CC1, CC2 e CC5 .....	92
Gráfico 5 - Leitura dos alvos topográficos no eixo X .....	94
Gráfico 6 - Leitura dos alvos topográficos no eixo Y.....	94
Gráfico 7 - Leitura dos alvos topográficos no eixo Z.....	94

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de fórmulas

Fórmula 1 - Variação de carga pelo método simples .....	58
Fórmula 2 - Estado de conservação da patologia .....	68
Fórmula 3 - Estado de conservação do subcomponente .....	68
Fórmula 4 - Estado de conservação do componente .....	69
Fórmula 5 - Cálculo do estado de conservação do muro .....	69
Fórmula 6 - Cálculo do estado de manutenção do muro .....	70
Fórmula 7 - Cálculo da capacidade resistente da armadura .....	99
Fórmula 8 - Cálculo da resistência da armadura .....	99
Fórmula 9 - Verificação da segurança ao estado limite último .....	100

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo I**

### **Introdução**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento geral**

A presente dissertação intitulada “Observação e auscultação do estado de conservação das ancoragens em estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi - Caso de estudo” encontra-se inserida na unidade curricular “Dissertação/Estágio/Projeto” do 2º ano de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Esta dissertação desenvolveu-se paralelamente a um estágio curricular na empresa Ascendi, durante um período de 8 meses. O estágio visava apoiar o Serviço de Gestão da Conservação 2, na especialidade Muros e Taludes, da Direção de Gestão da Conservação, na recolha de bibliografia nacional e internacional, na elaboração de um catálogo de patologias e de um plano de auscultação.

A segurança rodoviária e a gestão adequada durante todo ciclo de vida dos ativos muros e taludes são as principais preocupações da equipa, motivando os vários elementos a adotar um raciocínio crítico face aos dados recolhidos.

As inspeções visuais e as campanhas de leitura da instrumentação fazem parte do plano de observação e auscultação destes ativos. Anualmente é efetuada uma inspeção visual ao componente de drenagem superficial a todas as estruturas (M&T) e com a periodicidade de 6 anos uma campanha completa a todos os componentes. Esta última é de igual modo realizada após uma intervenção de reabilitação ou reforço na estrutura. A campanha de leitura da instrumentação é, em regra, anual. Em situações excecionais poderá ser ajustada a frequência de ambas.

Existe alguma divergência no uso do termo “Patologia”. Por patologia entende-se um dano com evolução ao longo do tempo. Um dano esporádico, sem evolução, é comum a denominação de “Anomalia”. A Ascendi aplica o termo “Patologia” para qualquer tipo de dano nas suas estruturas, pelo que será este o aplicado em toda a dissertação.

O tema “Ancoragem” é composto por algumas incongruências e conhecimento disperso, quer em artigos publicados, teses de doutoramento ou normas orientativas. Para além disso, o descrito na legislação em vigor muitas vezes não se reflete em obra e pode ainda ser sujeita a interpretação por parte do projetista.

### **1.2. Enquadramento da empresa Ascendi**

A Ascendi é uma entidade de referência na gestão de ativos, na prestação de serviços de cobrança de portagens e na operação e manutenção de infraestruturas rodoviárias, tendo como compromisso promover a eficiência, inovação e sustentabilidade na operação e manutenção de

---

infraestruturas de mobilidade rodoviária, garantir a conveniência para os clientes, o desenvolvimento dos colaboradores e a criação de valor para os acionistas.

A Ascendi marca presença em Portugal nas seguintes concessões:

- **Concessão Norte**, atribuída em julho de 1999, liga o litoral com o interior montanhoso de Portugal, até próximo da fronteira com Espanha;
- **Concessão Grande Porto**, atribuída em setembro de 2002, contorna a zona metropolitana do Porto, melhorando os acessos ao aeroporto e ao porto de Leixões;
- **Concessão Costa de Prata**, atribuída em maio de 2000, permite a ligação entre as principais localidades do litoral a sul do Porto;
- **Concessão Grande Lisboa**, atribuída em janeiro de 2007, a autoestrada A16 permite aceder a Lisboa de Cascais e Sintra;
- **Concessão Beiras Litoral e Alta**, atribuída em abril de 2001, eixo transversal do país, que liga o litoral à fronteira com Espanha, por onde circulam milhares de toneladas de mercadorias diariamente;
- **Subconcessão Pinhal Interior**, atribuída em abril de 2010, os principais eixos desta subconcessão são a A13, que liga Tomar a Condeixa, e a A13-1, que liga Condeixa à A1.

Num total de 627 km incluem-se as seguintes infraestruturas: 201 Nós de Ligação, 5554 Taludes e 248 Muros. O quadro 1 apresenta o número de taludes e muros por concessão.

Quadro 1 - Número de taludes e muros por concessão

Concessão	Taludes	Muros
Norte	1400	51
Grande Porto	571	88
Costa de Prata	822	32
Beira Litoral e Alta	1656	30
Pinhal Interior	826	18
Grande Lisboa	279	29

O ciclo de operações da equipa de Muros e Taludes é o apresentado na figura 1. O ambiente impacta negativamente o desempenho das estruturas, degradando-as. A Ascendi promove campanhas de observação e auscultação anuais, identificando patologias e atribuindo estados de

manutenção e conservação. No final das campanhas são analisados os relatórios e selecionados os taludes e muros a intervir. É articulado um planeamento e um orçamento anual. De seguida, são desenvolvidas as Notas Técnicas e Projetos de Execução por consultores externos ou pela equipa interna do SGC2, e realizadas as empreitadas de reabilitação ou reforço. As ações de manutenção são executadas por equipas internas. Após as medidas corretivas ocorre a atualização do cadastro e dos estados. O ciclo repete-se.



Figura 1 - Ciclo de operações da Ascendi

A Ascendi desenvolveu em cooperação com as Universidades do Minho e Nova de Lisboa, a plataforma de Gestão Sustentável de Infraestruturas Rodoviárias- SustIMS, que permite gerir, de modo integrado e sustentável, os principais ativos de uma infraestrutura, incluindo (Ferreira, 2015a,b): I) Taludes, II) Muros, III) Pavimentos, IV) Obras-de-arte, V) Equipamentos telemáticos, entre outros ativos. Este software possui uma versão mobile que possibilita a identificação de patologias e o registo fotográfico. Em gabinete é produzido um relatório automático da inspeção.

### 1.3. Caracterização geológica-geotécnica

Sucintamente, o ambiente geológico no qual se desenvolvem as seis concessões caracteriza-se por:

- **Concessão Norte**, presença de rochas magmáticas e metamórficas. Predominantemente granitoides.
- **Concessão Grande Porto**, presença de rochas magmáticas e metamórficas que se destacam numa zona maioritariamente constituída por granitos.
- **Concessão Costa de Prata**, predominantemente xistos, gnaisses, areias, silte e argila.

- 
- **Concessão Beira Litoral e Altas**, presença de xistos e granitos.
  - **Concessão Pinhal Interior**, maioritariamente xistos, arenitos e argilitos.
  - **Concessão Grande Lisboa**, predominantemente calcário, mármore e arenitos.

#### **1.4. Objetivos**

Esta dissertação divide-se em sete capítulos e tem como principal objetivo a pesquisa e estudo da bibliografia nacional e internacional para avaliação do estado de arte das ancoragens. Destaca-se a auscultação e observação, os ensaios aplicáveis e a elaboração de um catálogo de patologias.

O primeiro capítulo introduz o tema, enquadra a dissertação, apresenta a geologia de cada concessão e ainda a legislação e normas consultadas para a elaboração deste documento.

O segundo capítulo é dedicado ao estado de arte, iniciando-se com a apresentação do conceito de ancoragem, o seu campo de aplicação, principais condicionantes e o plano de monitorização apresentado nas bibliografias consultadas.

O terceiro capítulo compila-se a metodologia dos vários ensaios de carga aplicados a uma ancoragem antes de esta entrar em serviço, para verificação da sua qualidade.

O quarto capítulo salienta a importância da auscultação da ancoragem durante a sua vida útil, as normas que identificam a sua periodicidade, os principais equipamentos e os ensaios destrutivos e não destrutivos aplicáveis. Apresenta ainda um catálogo de patologias, os critérios de alerta e alarme, o estado de manutenção e de conservação e por fim ações corretivas.

O quinto capítulo é a aplicação do estado de arte a um caso estudo. O trabalho desenvolvido consistiu na auscultação e observação de seis ancoragens no muro de suporte ao Pk 000+299 da A4, concessão do Grande Porto. São aplicados os métodos de cálculo do estado de conservação e manutenção apresentados no capítulo quatro.

No sexto capítulo são retiradas algumas conclusões do caso de estudo, tecidas comparações entre os ensaios definidos no estado de arte e ainda algumas notas sobre as boas práticas para uma adequada manutenção e conservação das ancoragens.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de base para a elaboração desta dissertação.

---

## 1.5. Bibliografia Base

A legislação e as normas que abrangem as ancoragens e que serviram de base para a elaboração desta dissertação encontram-se apresentadas na figura 2. Destas, destacam-se o Eurocódigo 7, a norma 1537:2016, que revogou a norma 1537:1999 e a ISO 22477-5:2018. É relevante apresentar duas dissertações de doutoramento e um manual internacional.

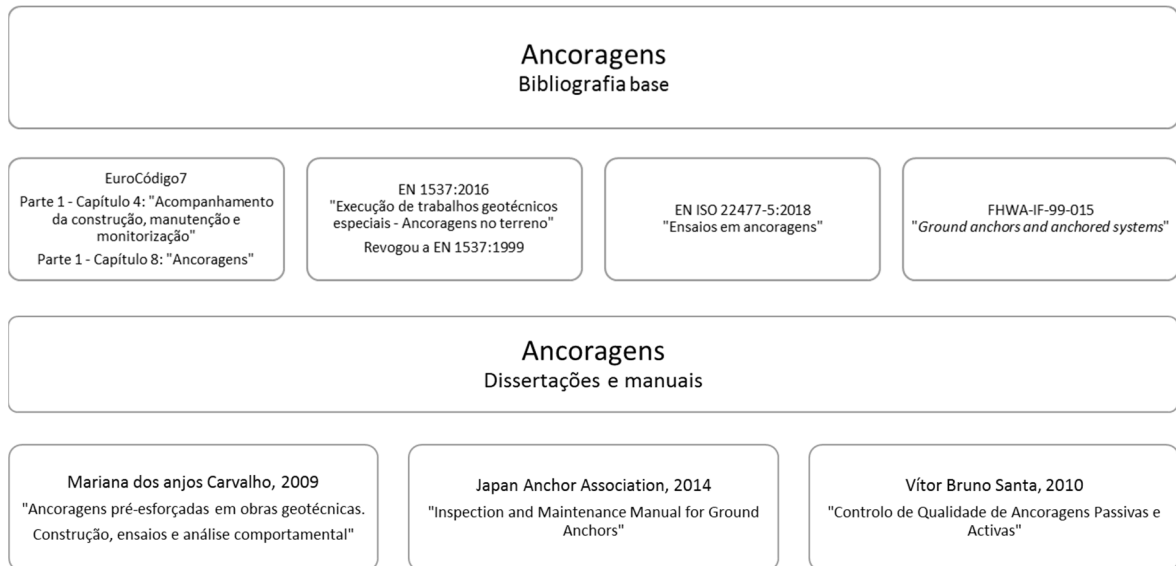


Figura 2 - Bibliografia base para a elaboração da dissertação

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo II**

### **Estado de arte**

---

---

(página propositadamente em branco)

## 2. Estado de arte

### 2.1. Conceito de ancoragem

Uma ancoragem é um elemento estrutural, económico e eficiente, instalado em solo ou rocha, utilizada, fundamentalmente, para estabilizar estruturas de suporte de terras e prevenir a deformação de zonas de solos superficiais ao transferir a carga para uma camada mais profunda. Segundo o Professor Manuel de Matos Fernandes, em geotecnia, uma ancoragem pode ser definida como qualquer elemento estrutural capaz de transmitir a um estrato portante um esforço de compressão que lhe seja aplicado.

A capacidade de carga é condicionada pela preservação da resistência intrínseca de cada uma das suas componentes e pelas reações mobilizadas no terreno ao longo do comprimento de selagem e na zona da cabeça, ao nível do suporte (Carvalho, 2009). É através do bolbo de selagem que o pré-esforço, conferido à ancoragem, e aplicado à armadura, é transmitido para o terreno. Esta componente pode ainda contribuir como proteção contra a corrosão (Ribeiro, 2012). Na zona do comprimento livre não deve haver qualquer tipo de aderência entre a calda de cimento e o aço para que as cargas não sejam transmitidas nesse comprimento à estrutura de suporte. Na figura 3 é apresentado um esquema representativo de uma ancoragem e no quadro 2 identifica-se cada um dos seus componentes.

A construção de uma ancoragem envolve procedimentos complexos e altamente especializados, que requerem cuidados com a produção e a montagem da armadura, com a realização do furo, com a colocação da armadura no interior do furo, a realização das injeções de calda, a aplicação do pré-esforço, controlo da qualidade e, por fim, a monitorização e a inspeção (Carvalho, 2009).

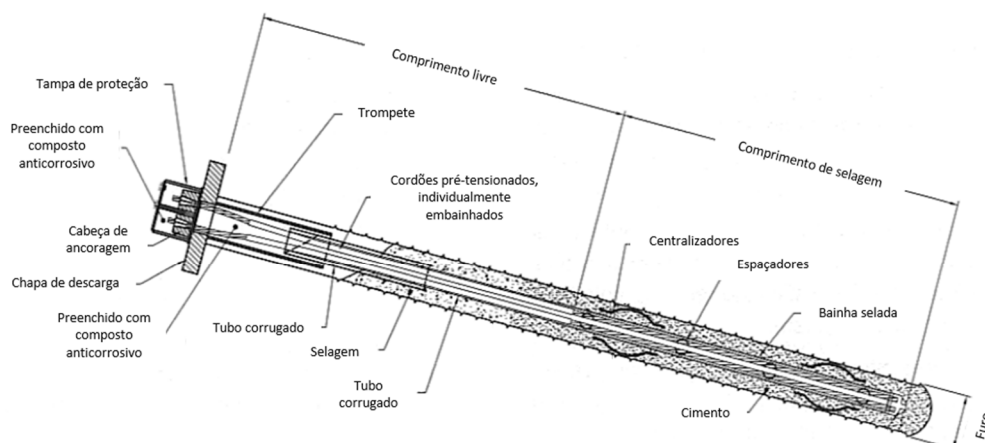


Figura 3 - Constituição de uma ancoragem (Adaptado de PTI, 2004 citado em G. Heslin et al)

Quadro 2 – Descrição dos componentes de uma ancoragem

Componente	Descrição
Cabeça da ancoragem	Conjunto formado pela chapa de descarga, placa porta-cunhas e cunhas.
Chapa de descarga	Componente que transmite uniformemente a carga de tração da placa porta cunhas à estrutura ancorada.
Placa porta-cunhas	Componente para fixar o cordão à cabeça da ancoragem (Japan Anchor Association, 2015).
Cunha	Componente que fixa o cordão saliente à placa porta cunhas, garantindo que este se encontra seguro para o tensionamento.
Trompete	Consiste num tubo de aço soldado a uma chapa de encosto ao maciço de apoio. Elemento colocado no interior do furo, responsável por transmitir e distribuir a tensão ao betão durante o tensionamento. Funciona como ligação entre a chapa de descarga e a bainha.
Armadura	Componente da ancoragem, constituída por aço de alta resistência, responsável por transmitir a carga de tração desde a cabeça até ao bolbo de selagem.
Comprimento livre	Troço compreendido entre a cabeça da ancoragem e o bolbo de selagem, onde não é transmitida tensão ao terreno (Vitor Bruno Santa, 2010).
Bolbo de selagem	Comprimento resistente da ancoragem, conseguido pela injeção de calda de selagem, de forma a transmitir a carga de tração para o terreno.
Bainha de proteção	Tubo de plástico flexível que reveste o comprimento livre do cordão para prevenir o contacto entre o terreno e assim proporcionar proteção à corrosão (Japan anchor association, 2015).

A armadura pode ser constituída por fios, barras, cordões ou associações de fios, barras ou cordões, em feixe, distribuídos paralelamente entre si (M.R. Carvalho & F. M. 2010), ver figura 4. Esta dissertação irá centrar-se nas armaduras de cordões, uma vez que é a realidade da Ascendi.

Na figura 4 é possível observar o pormenor dos diferentes tipos de cabeça da ancoragem. Os diferentes tipos são consequência da carga a ser aplicada e das características do muro. Ao mesmo tempo, a cabeça da ancoragem é muitas vezes isolada, ou protegida, dos agentes climáticas por uma caixa de proteção, uma tampa de PVC ou ainda um maciço de encabeçamento.

Nos casos onde é necessário construir a ancoragem com inclinação, é necessário a construção de um pequeno suporte em betão, geralmente denominado por plinto.

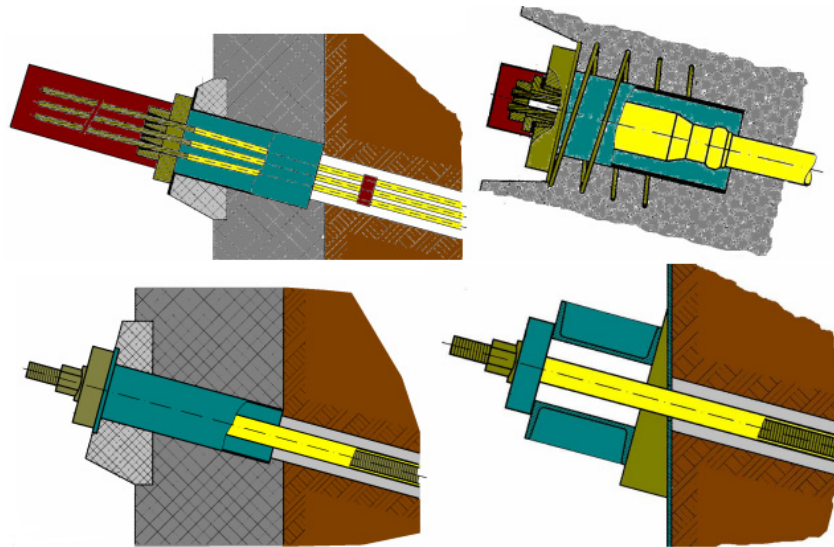


Figura 4 – Pormenor da cabeça de ancoragens segundo o tipo de armadura (Carvalho, 2009)

### 2.1.1. Tipos de ancoragem

As ancoragens podem agrupar-se em dois grupos distintos, de acordo com o tempo de vida útil, as ancoragens provisórias e as ancoragens definitivas. As ancoragens provisórias, tal como o nome indica, são de natureza temporária, enquanto as ancoragens definitivas devem garantir a integridade e estabilidade da obra em toda a sua vida útil.

De acordo com a norma EN 1537:2016, uma ancoragem definitiva é aquela que tem uma vida útil superior a 2 anos e uma ancoragem provisória aquela com vida útil inferior a 2 anos.

As normas europeias SAI V191/1995, 1996 e BS8081, 1989 apresentam divisões mais conservativas para a vida útil:

- Construções temporárias com tempo de vida útil inferior a 6 meses, sem necessidade de proteção anticorrosiva, dependendo do meio, e plano de monitorização;
- Suportes semipermanentes com tempo de vida útil entre 6 e 24 meses, sendo aconselhável um plano de monitorização;
- Contenções definitivas com tempo de vida útil superior a 24 meses, sendo exigido proteção anticorrosiva e um plano de monitorização.

As ancoragens podem ainda ser classificadas como ancoragens ativas e passivas.

As ancoragens ativas, ou pré-esforçadas, são aquelas onde é aplicada uma força inicial à estrutura. Encontram-se permanentemente sob tensão, independentemente das pressões exercidas sobre ou pelo solo ou dos esforços na estrutura de contenção.

Nas ancoragens passivas não se aplica pré-esforço. Estas, porém, funcionam por reação, entrando em carga quando o solo ou a estrutura o exigem.

No entanto, é possível sub classificar as ancoragens tendo em consideração a tração de serviço ( $F_{Ts}$ ) e a tração de rotura ( $F_{Tr}$ ) de acordo com Guerra (1993), citado em Bejinha (2009):

- Ancoragens pré-esforçadas:  $0,5 \times F_{Tr} < F_{Ts} \leq 0,75 \times F_{Tr}$
- Ancoragens tensas:  $0,25 \times F_{Tr} < F_{Ts} \leq 0,5 \times F_{Tr}$
- Ancoragens passivas:  $0 < F_{Ts} \leq 0,25 \times F_{Tr}$

Para as ancoragens seladas com caldas de cimento, a sua capacidade resistente ao arrancamento, para um dado conjunto de características do terreno, depende largamente da geometria, da configuração e da dimensão do bolbo de selagem (Anjos Carvalho, 2009). Em regra geral, a configuração do bolbo de selagem segue quatro tipos principais, adequando-se às características geológico-geotécnicas do terreno, ver figura 5.

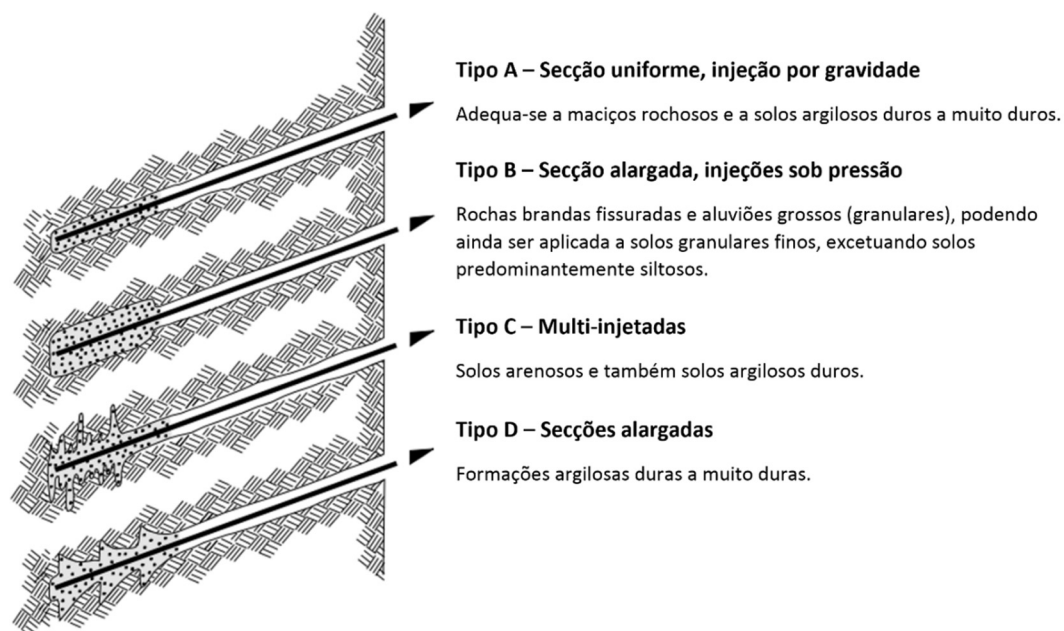


Figura 5 – Configuração do bolbo de selagem (Adaptado de FHWA-IF-99-015, 1999)

### 2.1.2. Aplicação de uma ancoragem

As ancoragens em solo ou rocha, constituem sistemas versáteis, de ampla utilização no âmbito da engenharia geotécnica. Estes sistemas apresentam inúmeras vantagens, quer técnicas quer económicas, quando comparados com sistemas convencionais.

---

Integram-se na obra como um suporte definitivo, ou provisório, com o mínimo impacto, podendo-se ajustar à variação das condições do terreno, reduzem o volume de escavação e reduzem os distúrbios na zona de obra. As ancoragens são ensaiadas individualmente, o que permite um bom controlo de qualidade.

A principal vantagem da aplicação de uma ancoragem está relacionada com a sua elevada capacidade resistente por tração. Ao aplicarem uma força no sentido contrário ao do impulso das terras, diminuem significativamente o deslocamento horizontal da estrutura (Bejinha, 2009).

No entanto, necessitam de acompanhamento durante a fase de exploração e são limitadas pela existência de edifícios nas proximidades, pelo facto dos processos de furação e selagem poderem afetar os mesmos. Para além dos factos enunciados, têm a sua aplicação limitada em solos de baixa resistência, solos moles e compressíveis, limitações geométricas e de comprimentos mínimos para o bolbo de selagem e para o comprimento livre.

Geralmente as ancoragens construídas em solos, como argilas rijas, siltes densas, areias e cascalhos, permitem boas soluções para resolver problemas de engenharia geotécnica. A capacidade de carga das ancoragens em solos depende fundamentalmente da resistência dos solos (Mariana dos Anjos Carvalho, 2009).

De acordo com Puller (1996), citado em Bejinha (2009), os deslocamentos de uma estrutura de contenção e os assentamentos superficiais do terreno são influenciados pelos seguintes fatores:

- Estado de tensão do terreno inicial;
- Dimensões da escavação;
- Deformabilidade e resistência do terreno;
- Hidrologia e a sua variação;
- Rigidez da estrutura e do sistema de suporte;
- Pré-esforço das ancoragens;
- Processo, faseamento construtivo e qualidade de mão de obra.

A principal causa da falha da ancoragem no teste de receção é a falta de conhecimento das condições do solo, logo é essencial uma prospeção geotécnica que assegure:

- que é provada uma formação geológica conhecida; ou
- nenhum estrato subjacente irá afetar a conceção; e
- as condições das águas subterrâneas estão bem definidas.

---

Quando aplicável, devem ser estudadas as características dos solos e das rochas, ver quadro 3.

Quadro 3 - Características a estudar dos solos e rochas

Solos	Rochas
Classificação e descrição (granulometria, teor em água, peso específico, ângulo de atrito, densidade, limites de Atterberg)	Classificação (geometria das descontinuidades, grau de alteração, ensaios de identificação)
Resistência ao corte, índice de compressibilidade e de rigidez	Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta, resistência ao corte e deformabilidade da rocha
Permeabilidade, nível freático	Estratificação da rocha, permeabilidade, presença de água
Agressividade do solo, existência de correntes fantasma	Agressividade da rocha, existência de correntes fantasma

Durante a fase de prospeção geotécnica devem ainda distinguir-se as zonas geotécnicas que compõem o maciço rochoso. Esta divisão deve ser suportada por uma boa caracterização geológica e geotécnica do maciço, incluindo as superfícies de descontinuidade estruturais, planos de estratificação, diáclases e zonas de rotura de corte.

O estudo geomecânico permite caracterizar a compartimentação do maciço rochoso, tendo em especial atenção ao espaçamento das diáclases, a sua orientação, abertura, inclinação, continuidade, espaçamento, rugosidade, condutividade hidráulica e tipo de enchimento.

Os trabalhos de reconhecimento e caracterização geotécnica, quando de acordo com o Eurocódigo 7, têm como objetivo final auxiliar o correto dimensionamento da ancoragem, o adequado planeamento construtivo e a antecipação de dificuldades em todo o processo.

A correta investigação e avaliação das características do terreno são elementos vitais nos trabalhos de ancoragens (Santa, 2010). Como diretrizes, o Eurocódigo 7 lista os seguintes fatores, a ter em consideração na fase de dimensionamento:

- Estabilidade global e movimentos do terreno;
- Natureza e dimensão da estrutura e dos seus elementos;
- Sismicidade regional;
- Condições da água do terreno e do terreno em si;
- Condições relativas à vizinhança.

---

Se a suposta resistência ao corte do solo ou rocha for inferior à real, as cargas de ancoragem serão sobredimensionadas. Isto resulta em possíveis deformações interiores da face da parede com o tempo. Além disso, pode ocorrer uma redução da carga de ancoragem devido ao encurtamento do comprimento livre da ancoragem (FHWA-WY-03/03F).

Para impedir este sobredimensionamento, Pearlman e Wolosick (1990) sugerem investigações geotécnicas sondagens geotécnicas com ensaios SPT até aos 35 metros e sondagens adicionais atrás do muro de suporte, de maneira a identificar os materiais na zona de selagem. Para além disso, recomendam ensaios para determinar a resistência e a deformabilidade dos solos e ainda, se estas forem rocha, deverão ser retiradas amostras para determinar a resistência ao corte da rocha.

### *2.1.3. Mecanismos de rotura*

O objetivo de um sistema ancorado é criar uma massa de solo interna, estável, de modo que o sistema resista à rotura (FHWA-IF-99-015). O sistema está continuamente a ser solicitado por ações distintas causadas pelos terrenos, água e cargas externas. A ancoragem deve ser capaz de transmitir forças estabilizadoras, segundo uma geometria adequada, de maneira a cumprir o dimensionamento de projeto.

O estado limite último define-se como um estado para além do qual a estrutura deixa de satisfazer as exigências do projeto (Ribeiro, 2012). Este é dividido em:

**Estados limites últimos:** Associados ao colapso, deformações excessivas ou formas de rotura estrutural que ponha em perigo a segurança de terceiros.

**Estados limites de utilização:** Estados para além dos quais as condições de utilização especificadas deixam de ser satisfeitas e/ou rotura ou deformação excessiva da estrutura resultante das cargas transmitidas pela ancoragem.

De acordo com o Eurocódigo 7, na verificação dos estados limites últimos, devem ser considerados os seguintes modos de rotura, ver figura 6:

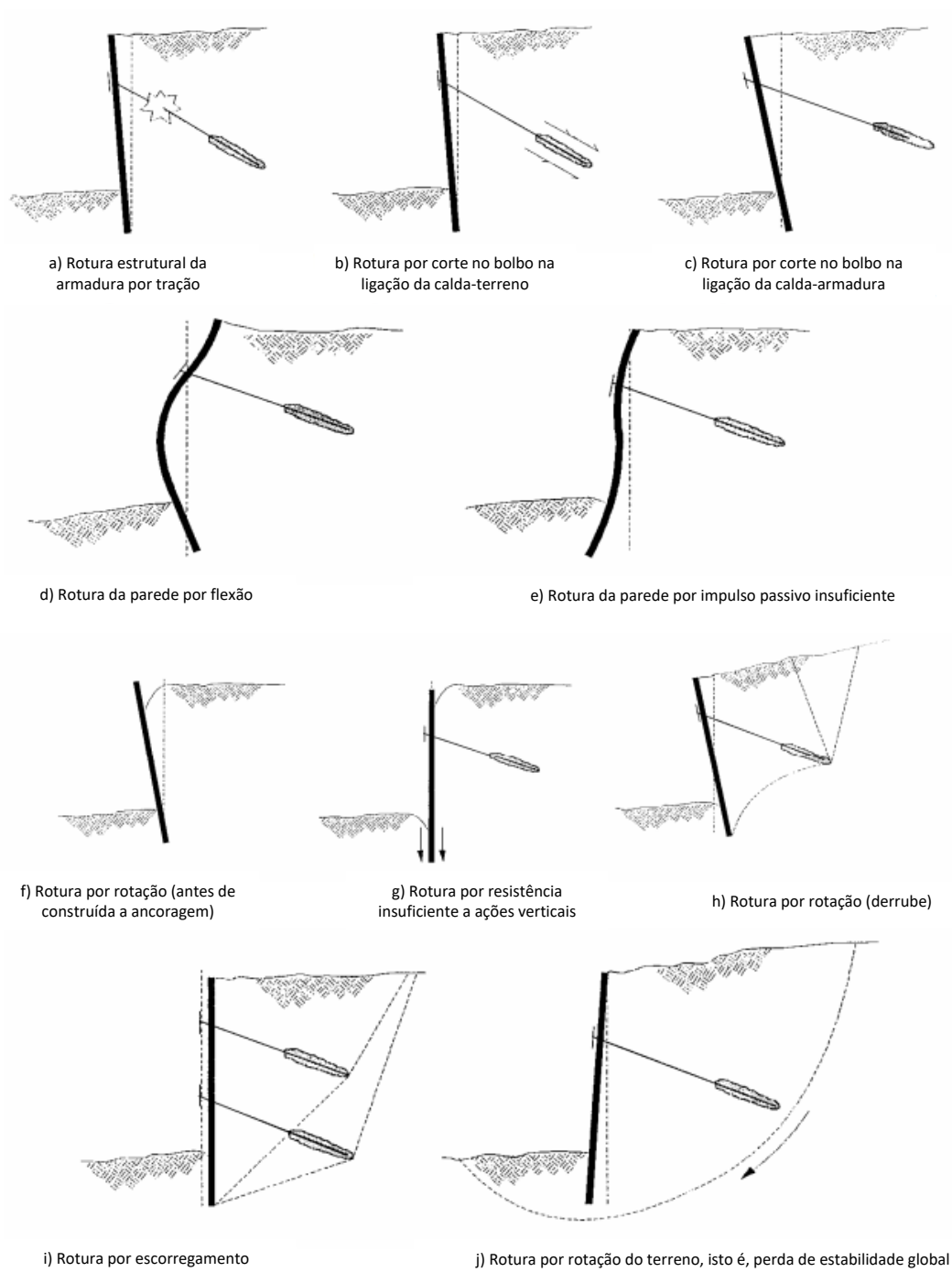


Figura 6 - Modos de rotura de uma ancoragem (Adaptado de Mariana dos Anjos Carvalho, 2009)

---

Estes tipos de rotura traduzem-se como:

**Rotura estrutural da armadura ou da cabeça da ancoragem:** A carga aplicada é maior do que a capacidade estrutural da armadura. Excede-se a resistência dos materiais ou dá-se a rotura das ligações entre os vários elementos.

**Rotura da ligação entre a interface armadura – calda:** A rotura ocorre após a resistência máxima desta interface ter sido mobilizada, na totalidade, na zona de selagem (FHWA-IF-99-015).

A resistência da ligação deve ser superior à resistência da ligação calda - terreno. Esta resistência aumenta com o comprimento de selagem da armadura.

De acordo com a FHWA-IF-99-015, este tipo de rotura envolve: a adesão, o atrito e a ligação mecânica entre a armadura e a calda.

A aderência entre a calda e a armadura depende da resistência ao corte da calda (Ribeiro, 2012).

**Rotura da ligação entre a interface calda - terreno:** Quando a tensão admissível é superior à resistência última da interface calda-terreno verifica-se a rotura na selagem.

Segundo a FHWA-IF-99-015 (1999), como também citado em Ribeiro (2012), as ancoragens mobilizam resistência lateral entre a selagem e o terreno envolvente.

A resistência ao arranque depende da geometria da ancoragem, embora a transferência de tensões para o maciço envolvente seja influenciada pela tecnologia de execução (EuroCódigo 7). Geralmente, a ligação calda-terreno depende da tensão normal no bolbo de selagem, da adesão e do atrito entre o terreno e a calda (Ribeiro, 2012).

**Rotura global pelo terreno:** A rotura é resultante do carregamento das ancoragens.

**Rotura externa global:** O terreno não tem capacidade de suportar a carga transmitida pelas ancoragens, ver figura 7.

A combinação da rotura externa da estrutura e de um aumento significativo da carga na ancoragem, pode indicar que o solo tem um comportamento mais fraco que o previsto, resultando num aumento de carga na parede (FHWA-IF-99-015). No caso de a ancoragem atingir o valor de carga máxima admissível, esta deve ser reduzida até à carga de projeto.

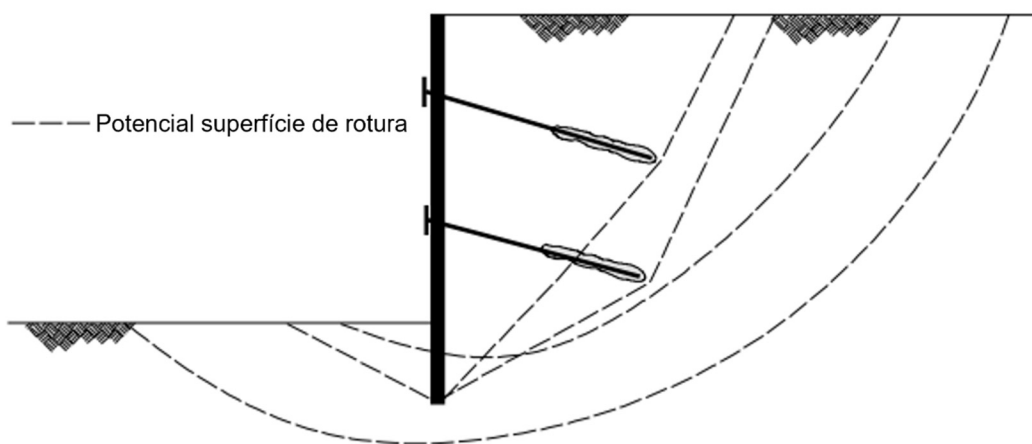


Figura 7 - Rotura externa global (Adaptado de FHWA-IF-99-015)

O estado limite de utilização mais importante corresponde à deformação excessiva, com a correspondente perda de pré-esforço, por fluência do maciço envolvente da selagem e da interface maciço-bolbo. Em regra, a consideração desde estado é apenas indispensável em ancoragens definitivas seladas em maciços de características argilosas. As perdas de pré-esforço devem adicionar-se àquelas que resultam da relaxação dos cordões (Matos Fernandes, 1990).

Por fluência entende-se o movimento lento da selagem através do solo, sob carga constante, ao longo do tempo (Ribeiro, 2012).

Após o tensionamento, a tensão instalada diminui devido a efeitos de fluência no solo ou pelo relaxamento da ancoragem, ver figura 8.

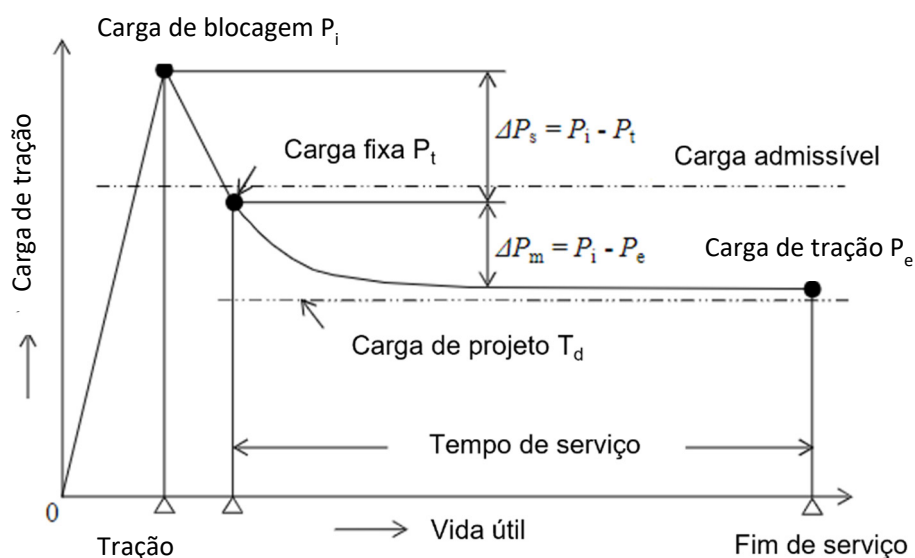


Figura 8 – Evolução da carga de uma ancoragem ao longo do tempo (Adaptado de Yu Fujiwara & Toshinori Sakai, 2016)

---

Após isso, a tensão reduz-se até se tornar uma tensão residual constante. Contudo, por efeito de cargas externas ou escavações na área de obra, a carga pode aumentar (Fujiwara & Sakai, 2016). Por outro lado, por rotura da ancoragem, movimentos no solo no tardo ou eventos climatéricos adversos, a carga na ancoragem pode diminuir. Existem casos onde a tensão da ancoragem não converge para um valor constante, oscilando com a temperatura ambiente e, por consequência, com as características do solo, pelo que é importante um sistema de monitorização adequado.

Em regra geral, a origem das cargas estáticas excessivas sobre as ancoragens são as seguintes, entre outras (Carvalho, 2009):

- Aplicadas na ancoragem durante o ensaio de carga ou durante a blocagem;
- Na sequência construtiva da obra, nomeadamente de escavações;
- Sobrecargas construtivas, como a colocação de aterros, ou por ação de equipamento de obra e ainda a Construção de estruturas adjacentes.

O risco de rotura pode ser mitigado implementado medidas, tais como (Strom & Ebeling, 2002):

- Correto dimensionamento da geometria e capacidade de carga da ancoragem;
- Aplicando ensaios de desempenho, ensaios de prova, ensaios de fluência, e ensaios de *Lift Off* para assegurar que as ancoragens não sofrem rotura e que o sistema ancoragem estrutura cumpre todos os requisitos de dimensionamento;
- Avaliação do estado limite último;
- Fator de segurança bem fundamentado.

#### 2.1.4. Geometria da ancoragem

O mais conveniente seria que as ancoragens fossem horizontais, já que a componente “eficaz” do pré-esforço é, em geral, a horizontal. Contudo, problemas relacionados com a execução do furo e a introdução das caldas (de selagem e de proteção) tornam inconvenientes inclinações menores que 10° - 15° (Fernandes, 1990).

A presença nas imediatas vizinhanças da obra ancorada de fundações, caves, túneis de metropolitano, condutas enterradas, entre outros, obrigam a inclinar as ancoragens mais próximas da superfície do terreno. Por outro lado, a necessidade de aumentar a inclinação deriva igualmente do facto de as formações onde as ancoragens podem ser seladas se encontrarem muitas vezes a determinada profundidade abaixo da estabelecida para as respetivas cabeças.

Relativamente ao comprimento total, este tem ainda que obedecer a um conjunto de exigências no tocante à estabilidade global do conjunto, para que as ancoragens tenham a resistência apropriada e/ou não danifiquem as estruturas e infraestruturas vizinhas. De acordo com Littlejohn (1972) e Ostemayer (1976), citados em Fernandes (1990), terão de ser cumpridos os seguintes requisitos na colocação da ancoragem, ver figura 9:

- Os bolbos de selagem devem ser alojados fora da cunha ativa do solo suportado pela cortina ancorada;
- A profundidade das zonas de selagem abaixo da superfície do terreno e das fundações de edifícios vizinhos deve ser maior do que, respetivamente, 5 a 6 m e 3 m, devido às elevadas pressões de injeção que são usadas para amarração do bolbo de selagem ao maciço;
- O afastamento mínimo entre bolbos de selagem deverá ser da ordem de 1,5 m, de modo a minimizar a interferência recíproca entre ancoragens, logo eventuais reduções na respetiva capacidade resistente;
- O comprimento livre não deve ser inferior a 5 a 6 m, de modo que as tensões associadas à força dirigida para a escavação, aplicada na extremidade anterior do bolbo de selagem, se degradem no interior do maciço sem ocasionar significativos incrementos nas pressões sobre a cortina;
- Os comprimentos de bolbo inferiores a 3 m não são aconselháveis; o valor final depende da capacidade de carga desejável na ancoragem.

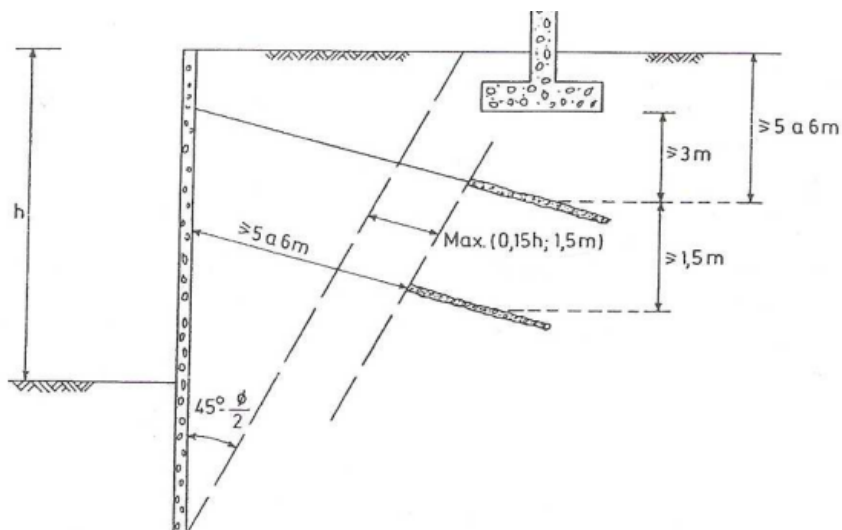


Figura 9 - Requisitos mínimos da geometria da ancoragem (Fernandes, 1990)

---

O comprimento de selagem condiciona de forma acentuada o comprimento mecânico da ancoragem. Este é estabelecido em função dos valores de tração limites desejados (Matos Fernandes, 1990).

Em relação ao diâmetro das ancoragens, este depende e, em regra geral, é determinado pelo equipamento de perfuração, 10 a 15 cm. No entanto, depende ainda do mecanismo de transferência de carga.

A carga de tração da ancoragem depende de fatores como a altura da estrutura, tipo de material, a presença de água e a sobrecarga.

Quanto ao tipo de material, de acordo com as tecnologias correntes, podem construir-se ancoragens numa vasta gama de solos arenosos e argilosos, praticamente com a exceção das argilas moles e médias. Trações de serviço da ordem dos 500 kN a 700 kN nos solos do tipo argiloso e ultrapassando os 1.000 kN nos solos arenosos compactos são de utilização corrente, quer em ancoragens provisórias, quer definitivas (Matos Fernandes, 1990). O quadro 4 apresenta uma série de valores de referência para o tipo de material e valores de SPT.

Quadro 4 - Carga última estimada de acordo com o solo e o intervalo de SPT (Adaptado de “*Handbook of geotechnical investigation and design tables*” de Burt Look, 2014)

<b>Tipo de solo</b>	<b>Intervalo de SPT</b>	<b>Carga última estimada (kN/m)</b>
Areia e cascalho	Solto (4-10)	145
	Medianamente compacto (11-30)	220
	Compacto (31-50)	290
Areia	Solta (4-10)	100
	Medianamente compacta (11-30)	145
	Compacta (31-50)	190
Areia e Silte	Solto (4-10)	70
	Medianamente compacto (11-30)	100
	Compacto (31-50)	130
Silte-Argiloso com baixa plasticidade, areia fina e mistura de silte	Rijo (10-20)	30
	Dura (21-40)	60

No quadro 5 é apresentada a variação da carga de acordo com o nível freático e a sobrecarga. Os valores correspondem a uma ancoragem com uma inclinação de 15° na horizontal, com um fator de segurança de 1.5, coesão com valores de 10 kPa e peso específico do solo de 18 kN/m<sup>3</sup>.

Quadro 5 - Carga de blocagem de acordo com o ângulo de atrito e altura da parede (Adaptado de “*Handbook of geotechnical investigation and design tables*” Burt Look, 2014)

Altura da parede (m)	Carga	Carga da ancoragem (kN)	
		ϕ = 25°	ϕ = 35°
3	Terraplanagem + sobrecarga de 20 kPa	50	40
	Talude a tardoiz da parede com 30° + sobrecarga	120	100
	Nível freático a 50% da altura + sobrecarga	60	50
	Nível freático a 100% da altura + sobrecarga	70	70
4	Terraplanagem + sobrecarga de 20 kPa	80	70
	Talude a tardoiz da parede com 30° + sobrecarga	180	150
	Nível freático a 50% da altura + sobrecarga	110	90
	Nível freático a 100% da altura + sobrecarga	130	130
5	Terraplanagem + sobrecarga de 20 kPa	130	110
	Talude a tardoiz da parede com 30° + sobrecarga	260	220
	Nível freático a 50% da altura + sobrecarga	170	150
	Nível freático a 100% da altura + sobrecarga	200	200
6	Terraplanagem + sobrecarga de 20 kPa	190	160
	Talude a tardoiz da parede com 30° + sobrecarga	350	300
	Nível freático a 50% da altura + sobrecarga	240	220
	Nível freático a 100% da altura + sobrecarga	280	280

### 2.1.5. Proteção contra a corrosão

A capacidade de carga das ancoragens, em solo ou rocha, é condicionada pela integridade da resistência de cada um dos seus componentes e pelas reações na cabeça da ancoragem e ao longo do comprimento da interface da mesma com o terreno (Santa, 2010).

De acordo com a norma EN 1537:2016, todos os elementos de aço sob tensão devem ser protegidos contra a corrosão durante a vida útil de projeto. A corrosão pode agrupar-se nos seguintes tipos:

---

**Corrosão generalizada:** Corrosão uniforme por toda a superfície metálica do aço de pré-esforço. Geralmente ocorre na fase de armazenamento (Santa, 2010).

**Corrosão localizada:** Formação de cavidades, sem grandes perdas de material. Este tipo de corrosão pode ainda ser dividida em corrosão por picadas, na presença de iões agressivos, corrosão intersticial, por defeitos de laminagem ou na zona de contacto do aço com outro corpo e a corrosão sob depósitos. Pelo facto de ser localizada, as tensões tendem a concentrar-se, o que pode resultar numa rotura frágil (Carvalho, 2009).

**Corrosão sob tensão:** Resultam da combinação da ação estática das trações no aço e da corrosão localizada (Carvalho, 2009). Apresenta-se sob o aspeto de fissuras.

Se for identificada corrosão localizada sob a forma de picadas ou fissuras, em uma ou mais secções desprotegidas do aço de pré-esforço, a armadura deve ser rejeitada (Santa, 2010).

**Corrosão por fadiga:** Ação combinada dos ciclos de carga e descarga. Uma vez que, em regra geral, as ancoragens tensionadas tendem a manter a carga de serviço, podendo existir alguma variação que, em condições normais, não é expressiva.

**Corrosão bacteriana:** Consequência do metabolismo de bactérias. Este tipo de corrosão deve ser considerado em terrenos a cotas inferiores ao nível freático, nomeadamente em terrenos margosos e argilosos com sulfatos (Santa, 2010).

**Corrosão por correntes fantasma:** Resultado de fugas de corrente, ou roturas no isolamento de cabos elétricos, que podem circular no terreno.

Estes três últimos tipos de corrosão devem ser considerados sob cargas ou condições especiais.

O tipo e o detalhe da proteção contra a corrosão devem ser baseados no tempo de vida, o meio em que se encontra instalada a ancoragem e o faseamento construtivo.

A proteção contra a corrosão da armadura é necessária para garantir a durabilidade e a eficiência da ancoragem. Esta proteção inclui uma ou mais barreiras físicas, incluindo as caixas de proteção, compostos anticorrosivos, bainhas, encapsulamentos, revestimentos epoxídicos e caldas de cimento, ver figura 10. A escolha e o dimensionamento do tipo de proteção dependem da avaliação do nível de corrosividade do terreno. Existem duas classes de proteção contra a corrosão, sem considerar a possibilidade de não aplicar proteção, classe I e classe II, proteção dupla e proteção simples respetivamente, ver figura 11 e 12.

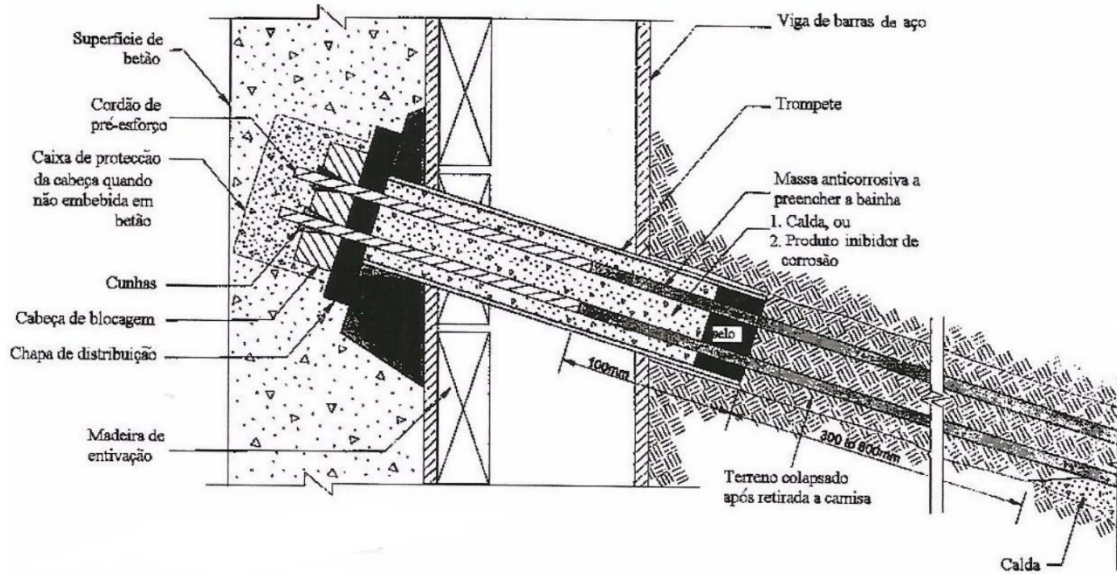


Figura 10 - Proteção contra a corrosão da armadura (Carvalho, 2009)

Na proteção simples é instalada uma barreira física na armadura, antes da sua instalação, entre a armadura e o terreno. Na proteção dupla é aplicada uma segunda barreira exterior.

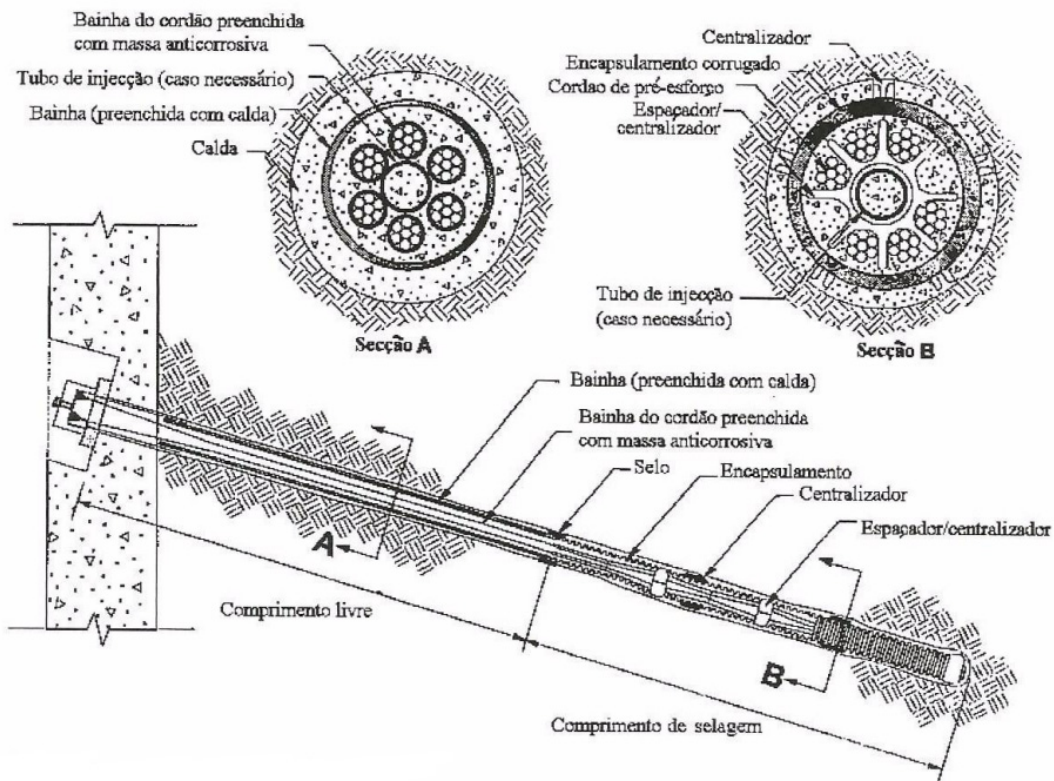


Figura 11 - Proteção contra a corrosão Classe I (Carvalho, 2009)

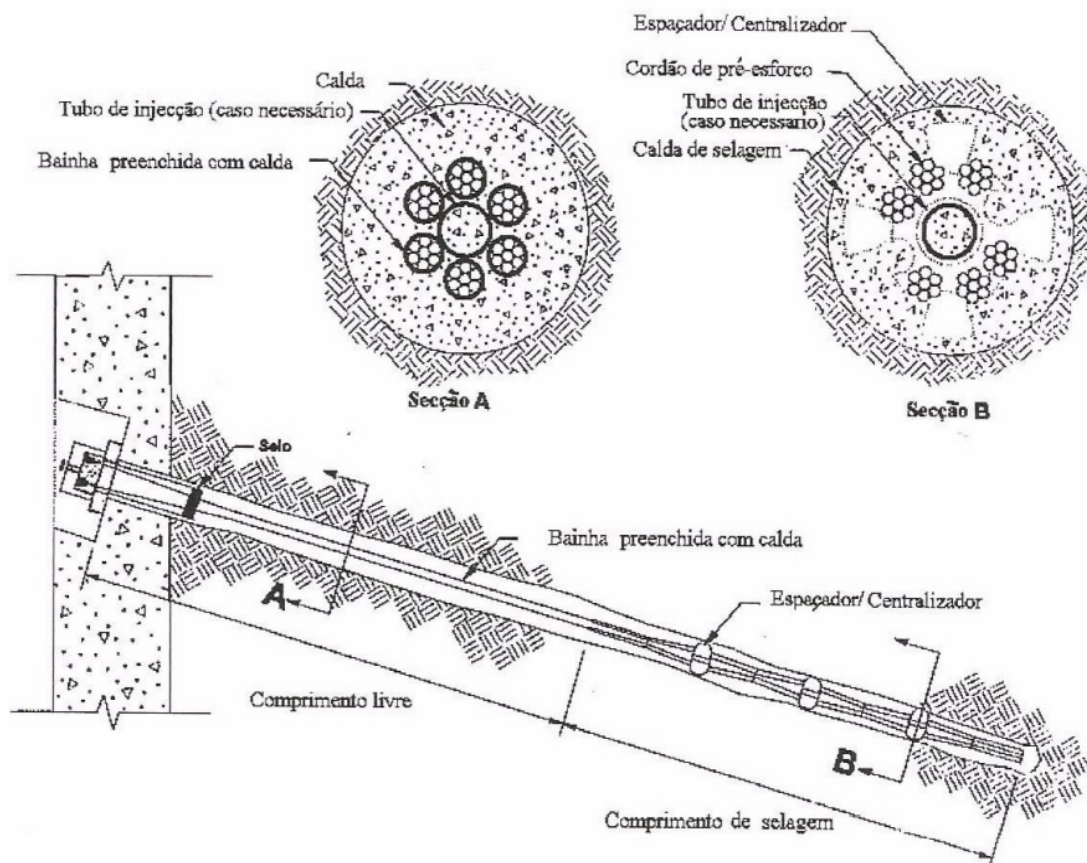


Figura 12 - Proteção contra a corrosão Classe II (Carvalho, 2009)

O tipo de proteção deve satisfazer os seguintes critérios (Santa, 2010):

- Assegurar que a vida útil efetiva da ancoragem, no que diz respeito à corrosão, é, no mínimo, igual à requerida para a ancoragem;
- Não deve produzir efeitos adversos no meio envolvente ou reduzir a capacidade da ancoragem;
- Permitir os movimentos do comprimento livre para que a carga total seja transferida para o comprimento de selagem;
- Compreender materiais quimicamente estáveis e não reativos;
- Não necessitar de manutenção ou substituição (salvo o composto anticorrosivo) durante a vida útil da ancoragem.
- Ter resistência e flexibilidade suficiente para resistir às deformações induzidas pelo ensaio de carga;
- Resistir ao manuseamento sem se danificar durante a fase de fabrico, transporte, armazenamento e construtiva.

---

O risco de corrosão é elevado em solos próximos do nível freático, em solos com pH baixo, em solos com concentrações elevadas de íons agressivos, particularmente cloretos, sulfuretos e sulfatos e locais onde ocorram correntes fantasma. Para além disso, o terreno é considerado agressivo quando é caracterizado por elevados grau de humidade, percolação de água ou quando existem agentes corrosivos, nomeadamente cloretos. Uma caracterização deficiente do solo, aumenta, em ancoragens não protegidas, a probabilidade de acidentes relacionados com a corrosão. Segundo Santa (2010), a corrosão é geralmente realçada pela exposição ou combinação de ações do oxigénio e de cloretos, condições anaeróbicas na presença de sulfatos, significativas variações de carga e por elevados níveis de tensão quando em rochas duras.

A corrosão provoca danos nos componentes da ancoragem, levando à sua rotura e consequentemente da obra de suporte. Na maioria dos casos, a principal causa do risco de corrosão do aço deve-se à inadequabilidade ou deficiente técnica construtiva, para além do referido anteriormente, da caracterização do terreno.

Para uma correta avaliação do sistema de corrosão é necessário recolher informação sobre os elementos seguintes (Carvalho, 2009):

- Material, tipo, função, dimensão e localização do sistema;
- Agente corrosivo, sua natureza química, duração da exposição, área coberta pelo agente corrosivo, qualidade do solo e da água;
- Temperaturas e respetivas variações, tipo e grandeza das tensões mecânicas;
- Tipos de metais presentes.

A norma britânica BS 08081 apresenta um conjunto de critérios para avaliação da agressividade do solo, ver quadro 6. É possível relacionar o pH e a resistividade, ver figura 13, de acordo com a norma britânica 12501-2:2003 que se refere à proteção dos metais contra a corrosão.

Quadro 6 - Critérios para avaliação da agressividade do solo (Adaptado de Rafael Amaya-Gómez et al. 2021)

Corrosividade	Resistividade ( $\Omega$ .cm)	Potencial de redução mV
Ligeira a nenhuma corrosão	>5000	>400 >430 em solos argilosos
Corrosão moderada	2000 – 5000	200 – 400
Corrosivo	700 – 2000	100 – 200
Muito corrosivo	<700	<100

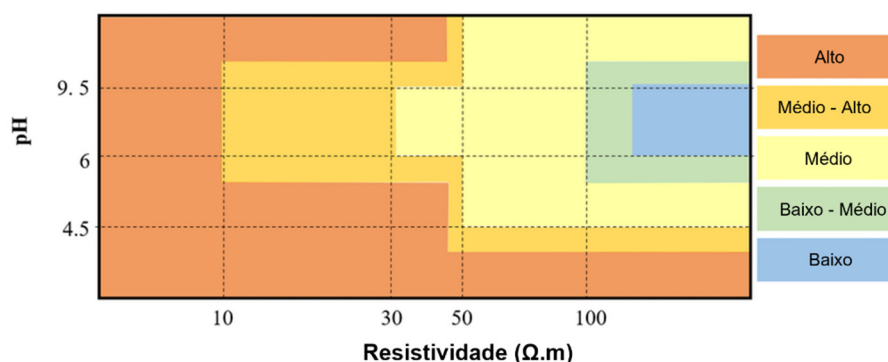


Figura 13 - Corrosividade do solo baseado no pH e na resistividade de acordo com a norma BS 12501-2:2003 (Adaptado de Rafael Amaya-Gómez et al. 2021)

De acordo com a norma europeia EN 1537:2016, todos os elementos de aço da ancoragem definitiva devem ser protegidos contra a corrosão. É requerido que esta proteção deve totalizar o comprimento da armadura, incluindo a cabeça de ancoragem. A cabeça da ancoragem deve ser protegida logo após a sua construção. A proteção mínima das ancoragens definitivas é a aplicação prévia, em toda a sua extensão, de material anticorrosivo que envolva cada elemento do aço.

O problema mais frequente no comprimento livre é a ocorrência de zonas que possibilitem a entrada de água e a sua percolação no interior da bainha (Santa, 2010). Para prevenir tal acontecimento as bainhas devem ser preenchidas com um composto anticorrosivo ou com calda de cimento. Os cordões, por sua vez, devem ser revestidos individualmente com um produto inibidor de corrosão.

Nas ancoragens de cordões com proteção Classe I utiliza-se uma bainha lisa para encapsular toda a armadura, já envolta com bainhas individuais preenchidas com massas anticorrosivas aplicadas sobre os cordões.

## **2.2. Plano de Monitorização de uma ancoragem**

O comportamento de uma estrutura durante a fase de exploração pode ser controlado implementando instrumentos de monitorização. Particularmente, se estiver previsto um comportamento estrutural sensível a alterações de carga ou movimentos de terreno (Santa, 2010). É a interpretação dos diversos dados recolhidos que permite avaliar a condição da estrutura.

O Eurocódigo 7, no seu capítulo quarto, apresenta um conjunto de princípios e regras base a ter em consideração nos trabalhos de observação e manutenção, durante a fase de exploração das estruturas. Segundo este mesmo documento, a monitorização deve ser aplicada para verificar os pressupostos de desempenho durante a vida útil da estrutura e de maneira a controlar o comportamento da mesma. Neste mesmo capítulo é referido que a monitorização deve consistir

---

na leitura de deformações do terreno afetado pela estrutura, valores de ações, pressões instaladas entre o terreno e a estrutura, pressão da água e deslocamentos (movimentos verticais, horizontais, rotações e distorções).

O sistema de observações a instalar e a periodicidade de monitorização do sistema estrutura terreno ancoragens deverá adequar-se a cada caso, tendo em consideração a sua localização e tipo de obra (Carvalho, 2009).

A monitorização pode ser dividida em monitorização de curto-prazo e longo-prazo (FHWA-IF-99-015). Em regra geral, a monitorização de curto-prazo é, em obra, o controlo durante a fase de tensionamento de movimentos da estrutura e assentamentos do solo.

A monitorização a curto-prazo pode envolver a avaliação da concordância dos materiais às condições de obra, um correto faseamento construtivo e métodos bem fundamentados (FHWA-IF-99-015). Por outro lado, a monitorização a curto-prazo pode consistir em inspeções visuais durante a fase de projeto e construção.

A inspeção visual deve ser realizada periodicamente durante a fase de construção, de maneira que qualquer anomalia seja identificada antecipadamente. Caso esteja definido um plano de monitorização, devem ser realizadas leituras, em regra geral semanalmente, dos movimentos verticais e laterais, dos inclinómetros e das células de carga (FHWA-RD-97-130).

A monitorização a longo-prazo inclui o acompanhamento dos valores definidos pela anterior. Consiste ainda no controlo da carga de serviço e os movimentos da estrutura ancorada, implementando (Carvalho, 2009):

- Medição das cargas das ancoragens, quer por observação dos valores obtidos a partir de células de carga ou com ensaios de carga até se verificar o levantamento ou deslocamento da cabeça da ancoragem relativamente à chapa de descarga;
- Observação das deformações da estrutura, com observações óticas, medições com extensómetros, inclinómetros e por controlo topográfico.

Os ensaios de carga permitem verificar se a carga de serviço sofreu alterações substanciais. Esta operação consiste no registo da carga necessária para deslocar a cabeça da ancoragem da chapa de descarga (Carvalho, 2009). É frequente que a carga registada seja inferior à carga de blocagem, devido ao relaxamento da ancoragem e aos movimentos da estrutura.

Nos movimentos da estrutura ancorada, são observadas as deformações da estrutura com recurso a extensómetros ou por controlo topográfico, com recurso a alvos topográficos na estrutura e marcos topográficos no terreno circundante (Santa, 2010).

---

Em termos de monitorização, pode ainda ser dividida em monitorização direta ou monitorização implícita. A monitorização direta da ancoragem é conseguida através de células de carga, quer sejam hidráulicas, elétricas, corda vibrante, entre outras.

A monitorização implícita é a monitorização da ancoragem, acompanhando o comportamento da estrutura, por meio de inclinómetros, alvos topográficos, extensómetros, fissuómetros e varrimento laser.

No quadro 7 é apresentada recomendações quanto à periodicidade da monitorização e quanto ao número de ancoragens instrumentadas, de acordo com várias referências bibliográficas.

Quadro 7 - Recomendações para a monitorização de ancoragens (Adaptado de Mariana dos Anjos Carvalho, 2009)

Referência bibliográfica	Recomendações								
EC7 (NP EN1997-1, 2007)	<p>O Relatório do Projeto Geotécnico deve incluir um plano de supervisão e observação apropriado. Deve ser fornecido ao dono da obra ou ao cliente um extrato do Relatório do Projeto Geotécnico contendo os requisitos relativos à supervisão, à observação e à manutenção da estrutura construída. Relativamente à supervisão e a observação do comportamento da obra, o Relatório do Projeto Geotécnico deverá explicitar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- o objetivo de cada conjunto de inspeções ou medições;</li> <li>- as partes da estrutura que serão objeto de observação e os locais das medições;</li> <li>- a frequência com que serão feitas as leituras;</li> <li>- o modo como serão obtidos os resultados das medições;</li> <li>- a gama previsível dos resultados das medições;</li> <li>- o período de tempo em que a observação prosseguirá após o final da construção;</li> <li>- as entidades responsáveis pela realização das medições e das inspeções, pela interpretação dos resultados obtidos e pela manutenção dos instrumentos de medição.</li> </ul>								
PTI, 1996	<p>O projetista deve realizar o programa de monitorização em termos de quantidade de ancoragens, localização, frequência da monitorização e de realização do relatório respetivo.</p> <p>O projetista deve determinar a grandeza máxima da perda ou ganho de carga, que possa ser verificada em qualquer ancoragem durante a sua vida útil, tomando em consideração o projeto do sistema global.</p> <p>Se forem registados aumentos de carga, a monitorização deve continuar até à sua estabilização.</p> <p>Instrumentar de 3 a 10% das ancoragens.</p>								
BS8081, 1989 e FIP, 1996b	<p>Quando o objetivo da monitorização proposta é limitado apenas à verificação dos efeitos dos movimentos do terreno, o que pode ser possível quando se souber que o terreno não é heterogéneo, podem ser monitorizadas menos ancoragens, isto é, 5% das ancoragens em serviço, ou 3 ancoragens, selecionando o maior número. O número de ancoragens a monitorizar deve ser indicado pelo projetista.</p> <p>A observação deve ser realizada com a medição de carga individual em cada ancoragem e com medição do desempenho da estrutura ou das escavações como um todo.</p> <p>Nas obras com menos de 100 ancoragens, quando se objetiva identificar corrosão, devem ser alvo de monitorização pelo menos 10% ou 3 ancoragens, optando pelo maior valor.</p> <p>Em projetos de maiores dimensões, pelo menos 5% das ancoragens excedentes das 100 devem ser monitorizadas.</p>								
Recomendações francesas (Habib, 1989)	<p>As ancoragens definitivas devem ser monitorizadas. No primeiro ano a periodicidade de observação deve ser trimestral e posteriormente anual, durante a vida útil da obra.</p> <p>O número de ancoragens a instrumentar varia com a sua quantidade, assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- até 50 ancoragens: instrumentar 10%;</li> <li>- de 51 a 100 ancoragens: instrumentar 7%;</li> <li>- mais de 100 ancoragens instrumentar 5%.</li> </ul> <p>Os dispositivos de monitorização devem ter uma exatidão de <math>\pm 10\%</math>.</p>								
SIA191, 1996	<p>A observação das obras ancoradas deve estender-se durante toda a sua duração de utilização. A frequência e duração das medições serão fixadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- no programa de controlo para o período de construção;</li> <li>- no programa de observação para o período de observação.</li> </ul> <p>O número mínimo de ancoragens instrumentadas deve ser de 5% do total de ancoragens e pelo menos 3 ancoragens em cada zona da obra.</p>								
AS 4678-2002 (2001)	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Classificação da estrutura</th> <th>Trabalhos de monitorização recomendados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Monitorização de deformações verticais e horizontais, fluxos provenientes dos sistemas de drenagem, pressões intersticiais possíveis, pressões dos terrenos e cargas em ancoragens selecionadas. Verificar corrosão ou degradação de elementos de reforço.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Inclui verificar a eficácia dos sistemas de drenagem. Monitorização elementar das deformações laterais.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Não se requer monitorização.</td> </tr> </tbody> </table>	Classificação da estrutura	Trabalhos de monitorização recomendados	1	Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Monitorização de deformações verticais e horizontais, fluxos provenientes dos sistemas de drenagem, pressões intersticiais possíveis, pressões dos terrenos e cargas em ancoragens selecionadas. Verificar corrosão ou degradação de elementos de reforço.	2	Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Inclui verificar a eficácia dos sistemas de drenagem. Monitorização elementar das deformações laterais.	3	Não se requer monitorização.
	Classificação da estrutura	Trabalhos de monitorização recomendados							
	1	Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Monitorização de deformações verticais e horizontais, fluxos provenientes dos sistemas de drenagem, pressões intersticiais possíveis, pressões dos terrenos e cargas em ancoragens selecionadas. Verificar corrosão ou degradação de elementos de reforço.							
	2	Visitas de inspeção regulares e após eventos como cheias ou sismos. Inclui verificar a eficácia dos sistemas de drenagem. Monitorização elementar das deformações laterais.							
3	Não se requer monitorização.								
<p>– Os indicadores básicos do comportamento das estruturas de suporte são a deformação lateral e os assentamentos.</p> <p>– Na inspeção visual deve avaliar-se a eventual ocorrência de movimentos, fissuras ou roturas, a capacidade de drenagem, alterações físicas e das condições da envolvente.</p> <p>– Quando o muro apresenta evidências de descompressão estrutural, verificar o grau de instabilidade e auxiliar na seleção de medidas de remediação, podendo considerar o fluxo por percolação (incluindo os fluxos provenientes de furos de drenagem); a pressão intersticial; a pressão vertical do terreno; a pressão horizontal do terreno; as vibrações; as tensões nos elementos estruturais (incluindo os de reforço); a velocidade de corrosão ou degradação química de faixas ou bandas; a temperatura; qualquer outro fator com probabilidade de afetar o comportamento.</p> <p>– Pode-se considerar regulares inspeções de periodicidade anual, para o proposto.</p> <p>– A monitorização pretende assegurar pelo menos um dos objetivos: a segurança da estrutura e verificar as premissas de projeto, isto é, contribuir com elementos que a longo prazo permitam melhorar os procedimentos de projeto.</p>									

---

## **Capítulo III**

### **Ensaio de carga na fase construtiva**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

### 3. Ensaio de carga na fase construtiva

A realização de ensaios de carga às ancoragens é uma fase intrínseca do projeto e execução, normalizada e requerida pelo Eurocódigo 7, pela norma EN 1537:2016 e pela ISO/FDIS 22477-5:2018. Da EN 1537:2016, que substituiu a EN 1537:1999, foram retiradas as secções referentes ao projeto e aos ensaios de carga, remetendo-as para a EN ISO 22477-5:2018.

Nesta dissertação é apresentada, sucintamente, a metodologia tal como apresentada na ISO 22477-5:2018, com pequenos apontamentos da norma 1537:2016. A metodologia de determinação da taxa de fluência, perda de carga, carga de fluência e o comprimento livre aparente do cordão não é apresentada nesta dissertação, mas está presente nos anexos A a D da ISO 22477-5:2018.

Segundo a bibliografia, são reconhecidos três ensaios de carga aplicados às ancoragens antes da sua entrada em serviço:

**Ensaio prévio/investigação (EP):** Permite estabelecer, antes da instalação das ancoragens de serviço (EN 1537:2016), em ancoragens sacrificiais, isto é, ancoragens instaladas *in situ*, com características idênticas às de serviço:

- A capacidade resistente ao arrancamento da ancoragem na interface calda-terreno;
- Carga crítica de fluência do sistema de ancoragem (Método 3);
- As características de fluência da ancoragem, ou características de fluência do sistema ancorado até às cargas de rotura, ou características de perda de carga da ancoragem no estado limite de utilização  $P_0$ , ou a carga correspondente ao valor crítico de fluência do sistema;
- O comprimento livre aparente da ancoragem ( $L_{app}$ ).

No caso de não serem realizados ensaios prévios, as ancoragens devem ter armaduras com resistência superior à prevista em obra.

**Ensaio de adequabilidade (EA):** Executados *in-situ* para confirmar uma situação particular de projeto (EN 1537:2016):

- A capacidade de a ancoragem suportar a carga máxima de ensaio ( $P_p$ );
- As características de fluência ou de perda de carga de um sistema ancorado até  $P_p$ ;
- O comprimento livre aparente da ancoragem ( $L_{app}$ ).

**Ensaio de aceitação ou de receção simplificados (ERS):** Executados em todas as ancoragens permanentes instaladas, para confirmar se estas estão conforme os critérios de receção.

Todas as ancoragens devem ser sujeitas a ensaios de receção, excetuando as ancoragens sujeitas a outros ensaios de carga. Os objetivos do ensaio de receção simplificado são:

- Demonstrar que a carga máxima de ensaio, que dependerá do método de ensaio aplicado, pode ser suportada pela ancoragem;
- Determinar o comprimento livre aparente da ancoragem ( $L_{app}$ );
- Assegurar que a carga de blocagem aplicada é adequada para garantir a carga de projeto, excluindo o atrito;
- Avaliar as características de fluência ou de perdas de carga no estado limite de utilização, se necessário.

Segundo a mesma norma, existem fundamentalmente três métodos de aplicação destes ensaios. O quadro 8 apresenta a metodologia tal como apresentada na norma 1537:1999. Ainda que esta esteja revogada permite uma ideia das diferenças entre cada ensaio e método.

Quadro 8 – Metodologia dos ensaios de carga de acordo com a EN 1537:1999 (Mariana Carvalho dos Anjos, 2009)

Tipo de ensaio/ancoragem		Carga máxima de ensaio ( $P_p$ )	Carga de blocagem ( $P_0$ )	Carga inicial ( $P_a$ )
Métodos 1 e 2	EP	$R_a$ ou $\leq 0,80 P_{tk}$ e $\leq 0,95 P_{t0,1k}$	$\leq 0,60 P_{tk}$ , respeitando os limites de fluência e de perdas de carga	10% $P_p$
	EA	$\geq 1,25 P_0$ ; $\geq R_d$ ; $\leq 0,95 P_{t0,1k}$		
	ERS	$\geq 1,25 P_0$ ; $\leq 0,90 P_{t0,1k}$		
Método 3	EP	$R_a$ ou $< 0,80 P_{tk}$ e $\leq 0,95 P_{t0,1k}$		
	EA	$\geq 1,25 P_0$ ; $\leq P_c$ ; $\leq 0,90 P_{t0,1k}$ ; $\leq R_d$		
	ERS	$\geq 1,25 P_0$ ; $\leq R_d$		

Os métodos de ensaio prévio, de adequabilidade e de receção especificados na ISO 22477-5:2018 aplicam-se tanto a ancoragens provisórias como a ancoragens definitivas (EN 1537:2016).

### 3.1. Métodos de ensaio 1

#### 3.1.1. Ensaio prévio

A ancoragem deve ser tracionada, no mínimo em 6 ciclos, até à rotura ou até se atingir a carga máxima, limitada a 80% da capacidade de carga característica da armadura ou 95% da carga de tração característica, a partir da qual ocorre uma deformação permanente de 0,1% do comprimento inicial.

---

Nas ancoragens onde são observadas deformações por fluência, a carga máxima deve ser mantida constante durante 15 minutos, no mínimo, para cargas inferiores à carga máxima, 60 minutos à carga igual à carga máxima nos solos não coesivos e 180 minutos em solos coesivos, ver quadro 9.

Este tempo deve ser ajustado até à taxa de deformação por fluência ser aproximadamente constante. A deformação da armadura deve ser medida, imediatamente após cada ciclo de carga e descarga, e no final do tempo de carga constante.

Quadro 9 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio prévio, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada ciclo (minutos)	
		Solos não coesivos	Solo coesivos
0	$P_a$	1	1
1	$0,40 P_p$	15	15
2	$0,55 P_p$	15	15
3	$0,70 P_p$	30	60
4	$0,80 P_p$	30	60
5	$0,90 P_p$	30	60
6	$1,00 P_p$	60	180

### 3.1.2. Ensaio de adequabilidade

Neste ensaio é aplicado à ancoragem uma carga axial em incrementos, no mínimo 5 ciclos, ver quadro 10, até uma carga máxima, a qual deve ser superior ou igual 25% à carga de blocagem ou superior ou igual ao valor de cálculo da resistência de projeto. A tensão na armadura não deve exceder o limite de 95% da carga característica com deformação permanente de 0,1%.

A taxa de deformação por fluência ( $K_s$ ) na carga máxima não deve ser superior a 1 mm, onde ensaios prévios foram realizados. Onde a rotura (definida como  $k_s = 2$  mm) não foi confirmada pelo ensaio prévio, então o valor de  $K_s$  na carga máxima não deve exceder os 0.8 mm.

Quadro 10 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio de adequabilidade, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada ciclo (minutos)			
		Ancoragens temporárias		Ancoragens definitivas	
		Solos não coesivos	Solo coesivos	Solos não coesivos	Solo coesivos
0	$P_a$	1	1	1	1
1	$0,40 P_p$	1	1	15	15
2	$0,55 P_p$	1	1	15	15
3	$0,70 P_p$	5	10	30	60
4	$0,85 P_p$	5	10	30	60
5	$1,00 P_p$	30	60	60	180

### 3.1.3. Ensaio de receção

A ancoragem deve ser carregada até à carga máxima de ensaio em 5 incrementos, no mínimo, ver quadro 11. Primeiramente é carregada da carga de inicial de referência ( $P_a$ ) até a carga de tração de blocagem ( $P_p$ ). A carga máxima deve ser no mínimo 1,25 vezes a carga de tração de blocagem, mas inferior a 90% a carga de tração característica da armadura ( $P_{tk}$ ).

Quadro 11 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio de receção, método 1 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada ciclo (minutos)	
		Solos não coesivos	Solo coesivos
0	$P_a$	1	1
1	$0,40 P_p$	1	1
2	$0,55 P_p$	1	1
3	$0,70 P_p$	1	1
4	$0,85 P_p$	1	1
5	$1,00 P_p$	5	15

## 3.2. Métodos de ensaio 2

### 3.2.1. Ensaio prévio

A ancoragem é tracionada até à rotura ou até à carga máxima de ensaio, a qual deve estar limitada ao menor valor: 80% a capacidade de carga característica da armadura ou 95% da sua carga de tração característica, ver quadro 12.

Quadro 12 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio prévio, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Níveis de carga (%P <sub>p</sub> )						Tempo mínimo de observação (minutos)
Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	
10	10	10	10	10	10	1
20	30	40	40	40	40	1
30	40	55	70	80	90	1
40	50	70	80	90	100	15, 50, 150 ou 1500
30	40	55	70	80	90	1
20	30	40	40	40	40	1
10	10	10	10	10	10	1

Nota: Recomenda-se que os resultados da carga-deslocamento sejam traçados à medida que o ensaio prossegue. Desta forma, deve ser possível observar tendências e, em particular, o rendimento da ancoragem à medida que a rotura se aproxima.

Quando possível, o ciclo de carga final deve ser repetido, de maneira a permitir um controlo do deslocamento e para confirmar a repetibilidade do ensaio.

### 3.2.2. Ensaio de adequabilidade

A carga máxima deve ser superior ou igual a 1.25 vezes a carga de serviço ou a carga máxima superior ou igual ao valor de resistência de projeto, ver quadro 13. A tensão na armadura não deve exceder o limite de 95% de P<sub>t0,1k</sub>.

Quadro 13 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio adequabilidade, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Níveis de carga (%P <sub>p</sub> )		Tempo mínimo de observação (minutos)
Ciclo 1 <sup>a</sup>	Ciclo 2 e 3	
10	10	1
40	40	1
80	80	1
100	100	15
80	80	1
40	40	1
10	10	10

a - Para este ciclo de carga, não há pausa a não ser a necessária para o registo dos dados de deslocação.

Na maior carga em cada ciclo, se necessário, e após a blocagem, os valores de perda de carga ao nível da cabeça da ancoragem devem ser registados nos seguintes tempos, dependendo da duração da aplicação da carga (ISO 22477-5:2018):

0 → 5 → 50 → 150 → 1500 (min)

### 3.2.3. Ensaio de receção

A ancoragem deve ser tracionada até à carga máxima de ensaio, com pelo menos 3 incrementos de carga iguais. A ancoragem deve, de seguida, ser descarregada até à carga inicial de referência e novamente tracionada até à carga de tração de blocagem. A carga máxima deve ser, no mínimo, 1,25 vezes a carga de tração de blocagem, mas inferior a 0,9 vezes a carga de tração característica da armadura, ver quadro 14.

Quadro 14 - Relação entre a carga máxima e o tempo mínimo de observação no ensaio receção, método 2 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Níveis de carga (%P <sub>p</sub> )		Tempo mínimo de observação (minutos)
Ciclo 1 <sup>a</sup>	Ciclo 2	
10	10	1
40	40	1
80	80	1
100	100	15
80	80	1
40	40	1
10	10	10

a - Para este ciclo de carga, não há pausa a não ser a necessária para o registo dos dados de deslocação.

### 3.3. Métodos de ensaio 3

#### 3.3.1. Ensaio prévio

A ancoragem é solicitada desde uma carga inicial de referência até uma carga máxima de ensaio, incrementalmente em 8 ciclos, no mínimo, ver quadro 15. Os deslocamentos da cabeça de ancoragem são registados à carga constante, em cada incremento de carga.

Quadro 15 – Incrementos de carga no ensaio prévio, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Incrementos de carga									
Estágio de carregamento		1	2	3	4	5	6	7	8
Carga aplicada (%P <sub>p</sub> )	P <sub>a</sub>	25	40	50	60	70	80	90	100
Período de observação (min)	0	60	60	60	60	60	60	60	60

#### 3.3.2. Ensaio de adequabilidade

A carga deve ser tracionada até à carga máxima de ensaio em, pelo menos, 6 patamares, ver quadro 16. O carregamento pode ser interrompido aos 30 minutos se a taxa de deformação por fluência for inferior a 0.1 milímetros.

Quadro 16 - Incrementos de carga no ensaio de adequabilidade, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Incrementos de carga							
Estágio de carregamento		1	2	3	4	5	6
Carga aplicada (%P <sub>p</sub> )	P <sub>a</sub>	25	40	55	70	85	100
Período de observação (min)	0	60	60	60	60	60	60

### 3.3.3. Ensaio de receção

A ancoragem deve ser tracionada desde a carga inicial de referência até à carga máxima de ensaio, em, pelo menos, 5 incrementos de carga, ver quadro 17 e quadro 18.

Quadro 17 - Incrementos de carga sem ciclo de carga – descarga no ensaio de receção, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Incrementos de carga						
Estágio de carregamento		1	2	3	4	5
Carga aplicada (%P <sub>p</sub> )	P <sub>a</sub>	30	50	70	90	100
Período de observação (min)	0	O tempo necessário para medições				15

Quadro 18 - Incrementos de carga com ciclo de carga – descarga no ensaio de receção, método 3 (ISO/FDIS 22477-5:2018)

Incrementos de carga												
Estágio de carregamento		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Carga aplicada (%P <sub>p</sub> )	P <sub>a</sub>	30	50	70	90	100	90	80	70	80	90	100
Período de observação (min)	0					15	O tempo necessário para medições					

### 3.4. Metodologia adotada na União Europeia

De acordo com o artigo “*European practice in ground anchor design related to the framework of EC7*” e como refletido no quadro 19, a escolha do método normalizado pelo Eurocódigo 7 é uma opção de cada país.

Quadro 19 - Método de ensaio de carga adotado por cada país da União Europeia (*European practice in ground anchor design related to the framework of EC7*)

País	Método 1	Método 2	Método 3
Alemanha	X		
Dinamarca	X		X
França			X
Reino Unido	X	X	
Irlanda	X	X	
Portugal	X		

Entre todos os países, a França é o país em que a conduta mais se assemelha às recomendações do EC7. O valor da carga limite ( $F_{ULS,d}$ ) é determinada pela análise do estado limite último da estrutura ancorada. A carga de serviço é calculada com os valores característicos das ações e dos parâmetros dos solos.

O Reino Unido exclui a secção 8 do Eurocódigo 7 e requer que as ancoragens sejam dimensionadas de acordo com a norma BS8081. A norma é baseada na denominada “carga de trabalho” ( $T_w$ ), contudo não esclarece como esta é calculada.

O mesmo é adotado na Irlanda, ainda que não exista uma específica exclusão da secção 8. A prática é adotar a norma BS8081, ainda que alguns projetistas também considerem o valor da carga limite ( $F_{ULS,d}$ ), definido pelo Eurocódigo 7, se este valor for superior.

A Dinamarca aplica o EC7, secção 8, baseando o seu estado limite último no cálculo da estrutura ancorada com fatores parciais aplicados aos parâmetros do solo.

Em Portugal é adotado o método 1, com a diferença que o ensaio de adequabilidade, pelo tempo de execução e pelo custo, não é realizado, optando-se por um ensaio de receção detalhado.

### **3.5. Ensaios elétricos**

Para avaliar o estado do sistema de proteção contra a corrosão, a norma EN 1537:1999 apresenta dois métodos para medição da resistência elétrica entre a cabeça da ancoragem, o terreno e/ou a estrutura. O primeiro mede o isolamento da ancoragem relativamente ao solo (ERM I) e o segundo relativamente à estrutura (ERM II).

---

Os ensaios elétricos pressupõem que a ancoragem se encontre eletricamente isolada do terreno envolvente. Este não é o caso para a maioria das ancoragens em Portugal, sobretudo as com maior tempo de exploração.

### *3.5.1. Medição da resistência elétrica I (ERM I)*

Durante o ensaio, a ancoragem deve estar ligada ao polo positivo enquanto o polo negativo deve, em regra, estar ligado ao solo envolvente.

O ensaio é executado em 2 fases. Numa primeira fase, é avaliada a integridade da bainha plástica no comprimento livre e no bolbo de selagem, logo após o ensaio de receção.

Uma resistência elétrica entre a armadura e o terreno com valores iguais ou superiores a 0,1 MΩ demonstram uma integridade aceitável da bainha. Uma bainha plástica sem defeitos e impermeável apresenta valores de  $R_i$  superiores a 100 MΩ (EN 1537:1999).

Numa segunda fase, o ensaio tem como objetivo avaliar o isolamento elétrico total da ancoragem relativamente ao terreno e à estrutura, e inclui as seguintes etapas:

- Após blocagem da ancoragem;
- Após injeção da cabeça da ancoragem;
- Em qualquer altura da vida útil da ancoragem.

O valor da resistência elétrica,  $R_i$ , entre a ancoragem e o terreno e a estrutura, igual ou superior a 0,1 MΩ, comprova o isolamento elétrico da ancoragem.

### *3.5.2. Medição da resistência elétrica II (ERM II)*

Este método só é aplicado se a  $R_i$  após a blocagem for inferior a 0,1 MΩ, o que prova não existir contacto direto entre a armadura e a armadura de pré-esforço da estrutura ancorada. Este ensaio só é aplicado com a ancoragem pré-esforçada.

Geralmente utiliza-se a chapa de descarga como ligação à terra. Durante a medição, a cabeça da ancoragem deve permanecer seca. Para além disso, este ensaio é sensível às condições climáticas como a humidade na zona da cabeça e de correntes fantasma no terreno.

Se o valor de  $R_{II}$ , entre a cabeça da ancoragem e a chapa de distribuição, for superior a 100 Ω comprova-se não haver contacto direto entre a cabeça e a chapa de apoio.

## **3.6. Outra bibliografia**

O quadro 20 apresenta uma série de ensaios normalizados provenientes de bibliografia internacional. Salientar que se trata de bibliografia antiga podendo já ter sido revogada.

Quadro 20 - Carga máxima de ensaio, carga de blocagem, carga inicial e número de ensaios de acordo com bibliografia internacional (Mariana dos Anjos Carvalho, 2009)

Referência	Tipo de ensaio/ancoragem		Carga máxima de ensaio (Pp)	Carga de blocagem (P0)	Carga inicial (Pa)	Número de ensaios
ABNT NBR5629/96 (1996)	Anc. Provisórias	EA	$1.50P \leq 0.90P_{tk}$	0.8P ≤ P0 ≤ P	10% $f_{tk}A_t$	2 e ≥1%N ERS nas restantes ancoragens
		ERS: tipo C/ tipo D	1.50P / 1.20P			
	Anc. Definitivas	EA	$1.75P \leq 0.90P_{tk}$			
		ERS: tipo A/ tipo B	1.75P / 1.40P			
FIP (1996b)	Anc. Provisórias	Duração: ≤ 6 meses > 6 e ≤ 24 meses	1.10P 1.20P	1.10P	5%Pp	2EP ≤2%EA por tipo de terreno ERS nas restantes ancoragens
	Anc. Definitivas	> 24 meses	1.50P			
SAI V191/1995 (1996)	EP		$\leq 0.95P_{tk}; \geq 1.67 P_0$	≤0.60Ra	10%Pp a 15%Pp	3EA por tipo de terreno e 10%N ERS nas restantes ancoragens
	EA		$\geq 1.25 P_0 \text{ e } \leq 0.75P_{tk}$		10%Pp a 20%Pp	
	ERS					
BS8081 (1989)	EP		$\leq 0.80P_{tk} \text{ e } \leq 0.95P_{t0.1k}$	1.10P	≥5%Ptk	3EP 3EA, com mais ensaios por tipo de terreno e tipo de ancoragens ERS nas restantes ancoragens
	Anc. Provisórias (EA e ERS)		$1.25P \text{ e } \leq 0.78P_{tk} \leq 0.95P_{t0.1k}$		10%P	
	Anc. Definitivas (EA e ERS)		$1.50P \text{ e } \leq 0.75P_{tk} \leq 0.95P_{t0.1k}$			
FHWA/RD-82/047 (1982)	EA		≤ 1.33P	-	2%P a 10%P	≥ 3EA +2%N ERS nas restantes ancoragens
	ERS		≤ 1.20P			
PTI (1996)	EP		≤0.80Ptk	0.5P ≤ P0 ≤ 0.70Ptk	5%P a 25%P (10%P mais frequente)	1 a 3EP por tipo de terreno 2EA e 2%N ou 5%N
	EA		≤0.80Ptk; ≥1.33P			
	ERS					
NF P94-153 (1993)	Ensaio de rotura (ER)		≤0.90Ptk	-	5%Pp	2ER %EC definidos contratualmente
	Ensaio de controlo (EC)		Em função de P			
Habib (1989)	EP		Ra; ≤0.90Ptk	≤Pp	10%Ptk	≥ 2EP ≥ 3EA ERS nas restantes ancoragens
	EA		Função de P		10%Pp	
	ERS					
COPAS (1989)	EP	Anc. Provisórias	1.25P; Ra	1.10P	10%P a 25%P	3EP por tipo de terreno ≥ 3EA por tipo de terreno
		Anc. Definitivas	1.50P; Ra			
	EA/ERS	Anc. Provisórias	1.25P			
		Anc. Definitivas	1.50P			
CFEM (1992)	EP		$\leq 0.80R_d \text{ e } \leq 0.95P_{tk}$	1.10P	≤5%Pp	1EP por tipo de terreno e 1%N
	ERS		≤1.33P			

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo IV**

### **Auscultação na fase exploratória**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

#### 4. Auscultação na fase exploratória

No começo do estudo para esta dissertação partiu-se do pressuposto que o comprimento livre das ancoragens se dava pelo interior da bainha corrugada. Contudo, na verdade, para além da bainha corrugada selada até à sua boca, cada cordão é revestido por uma bainha lisa, ver figura 14.



Figura 14 - Pormenor da bainha corrugada e da bainha lisa

Dado este facto, não é possível a inspeção do estado dos cordões ao longo do seu comprimento, nem do estado do bolbo de selagem, pelo que a auscultação da ancoragem passa pela inspeção visual dos componentes externos e de ensaios não destrutivos que permitem avaliar não só os cordões e o bolbo de selagem, mas também a carga residual. É possível a realização de ensaios destrutivos, os quais resultam na inutilização/desativação da ancoragem, mas promovem o conhecimento da tecnologia.

##### **4.1. Inspeção visual**

O objetivo da inspeção visual é avaliar o estado dos componentes externos, observáveis da ancoragem e o estado da proteção contra a corrosão tal como composto anticorrosivo (volume e condição), vedantes, tampas de proteção, caixas de proteção, maciço de encabeçamento, entre outros.

A inspeção visual compreende a inspeção da estrutura envolvente, do maciço de encabeçamento, da tampa de proteção e/ou caixa de proteção metálica. Aqui ocorre uma possível primeira divisão da inspeção visual entre inspeção destrutiva e não destrutiva, isto porque para uma inspeção completa da cabeça da ancoragem é necessário demolir o maciço de encabeçamento, sendo necessária a sua reposição no fim dos trabalhos. Por outro lado, a caixa de proteção metálica permite a inspeção visual de todos os elementos da cabeça, incluindo a leitura da carga da

---

ancoragem. A tampa de proteção pode ser removida, quer para a inspeção quer para a renovação do composto anticorrosivo.

Para uma acertada campanha de inspeção dos elementos mencionados é necessária uma correta gestão de ativos. Dentro da gestão de ativos importa considerar (Amado et al., 2014):

- Elaboração de manuais de inspeção e procedimento de campo;
- Definição da política para as práticas de inspeção, respetivos intervalos e inspetores;
- Inspeção inicial das obras para estabelecimento de um ponto de comparação;
- Estabelecimento de inspeções periódicas.

Como princípio orientador define-se que as inspeções devam ter uma frequência que garanta a deteção da deterioração da estrutura antes de ocorrer um avanço significativo da mesma (Amado et al., 2014).

A publicação “*Feasibility of a Management System for Retaining Walls and Sound Barriers*” do departamento de transportes do estado de Colorado, Estados Unidos, define a inspeção como uma observação *in situ* da estrutura, a partir da qual é realizada uma classificação do seu estado. Apresenta três tipos de inspeção, com periodicidade definida no quadro 21:

- Visita: Inspeção superficial, expedita, às estruturas de forma a identificar situações anómalas ou agravamento de patologias já identificadas;
- Rotina: Inspeções visuais periódicas;
- Especiais: Investigações a um grupo selecionado de estruturas onde há suspeitas de existência de anomalias que o justifiquem.

Quadro 21 - Intervalos de inspeção de acordo com o Departamento de transporte do Colorado (Hearn, 2003, citado em João Luís Amado et al., 2014)

Obra de contenção	Tipo de inspeção	Intervalo
Obra nova (menos de 10 anos de serviço)	Visita	1 ano
	Rotina	2 anos
Obra antiga sem anomalia relevante	Visita	1 ano
	Rotina	5 anos
Obra com anomalias (nova ou antiga)	Rotina	Em regra geral, 2 anos
	Especial	A definir pelo inspetor

---

A associação de ancoragens do Japão é uma instituição que padroniza as exigências de projeto, construção, gestão e qualidade das ancoragens em solos e rochas. Para tal elaborou um manual que compila toda a informação referente à inspeção, testes de integridade e medidas de remediação de âmbito preventivo. Neste mesmo manual apresenta quatro tipos de inspeções:

- Inspeção preliminar - O objetivo é recolher todos os dados de projeto, assim como peças escritas, especificações das ancoragens e estruturas associadas e ainda relatórios de manutenção. Esta inspeção deve ser acompanhada de uma inspeção inicial.
- Inspeção inicial - Durante a inspeção inicial, o estado do maciço de encabeçamento, o estado da cabeça de ancoragem, da chapa de descarga, do composto anticorrosivo e o estado da estrutura envolvente devem ser avaliados. Esta inspeção deve incluir todas as ancoragens, com ênfase nas com maior tempo de exploração e naquelas com histórico de rotura. Caso não seja possível inspecionar todas as ancoragens que compõem uma estruturada ancorada, deve ser inspecionado um mínimo de 20% do número total, pelo menos 10. Se a estrutura for composta por menos de 10 ancoragens, todas devem ser inspecionadas.
- Inspeção diária - A inspeção diária envolve a avaliação das ancoragens, cabeças de ancoragem, chapas de descarga e outras estruturas.
- Inspeção periódica - As inspeções periódicas envolvem a inspeção detalhada do estado da ancoragem. Os resultados desta inspeção definirão o estado da ancoragem e da estrutura ancorada. Estas devem ser realizadas regularmente a cada 6 meses a 1 ano. Qualquer patologia de maior gravidade deve ser estudada e priorizada tendo em consideração a estabilidade, a importância da estrutura e a possibilidade de danos a terceiros.
- Inspeção de emergência - A inspeção de emergência é uma inspeção de carácter reativo, isto é, quando é considerado necessário e/ou em resposta a eventos naturais como chuva torrencial e tremores de terra.

Cada tipo de inspeção é acompanhado por uma lista de itens de inspeção obrigatória e outros de inspeção opcional. Estes quadros encontram-se no anexo 1.

Para além do referido, no seu manual ainda apresenta, num carácter geral, algumas considerações a propósito da cor do composto anticorrosivo, observável durante a inspeção visual às ancoragens instrumentadas. O quadro 22 apresenta estas considerações.

Quadro 22 – Causas que provocam a mudança de cor do composto anticorrosivo (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Mudança de cor	Condição	Causa
Opacidade	Amolecimento	Emulsificação pela exposição à água e ao ar
Castanho avermelhado		Surgimento de corrosão
Castanho avermelhado/Preto	Solidificação	Deterioração pelas mudanças de temperatura

A norma americana FHWA-IF-99-015 remete para a FHWA-RD-97-130 para indicações referentes à inspeção visual da estrutura. Durante a construção a inspeção visual da estrutura deve ser de rotina. Se a estrutura já estiver equipada com instrumentação de monitorização deve ser realizada uma leitura semanal dos movimentos laterais e verticais, inclinómetros e células de carga.

Na fase de exploração da estrutura, as leituras são realizadas 3, 6 e 12 meses após a conclusão dos trabalhos. Se não for detetada situações anómalas, as leituras são descontinuadas.

A Ascendi tem estabelecido no plano de observação e auscultação das estruturas geotécnica três tipos de inspeção:

- Inspeção de rotina, com periodicidade anual do componente de drenagem superficial;
- Inspeção completa a cada 6 anos de todos os componentes. É também aplicada numa situação pós-intervenção, em estrutura com comportamentos anómalos ou em estruturas referenciadas.
- Campanha de leituras da instrumentação anual. Em estruturas em estado de alerta ou alarme é ajustada a frequência das inspeções visuais e campanhas de leituras (diária, semanal, mensal ou anual).

#### *4.1.1. Catálogo de patologias em ancoragens*

A identificação de patologias nas ancoragens deve ser uma das principais preocupações a ter em conta nas inspeções visuais (Sousa, 2016).



É sobretudo através de uma inspeção visual, na sua maioria realizada por prestadores de serviços, em equipas de, em regra geral, dois elementos, que são inspecionadas as estruturas. É por isso um trabalho subjetivo dependente da experiência do inspetor. Como medida proativa, para mitigação deste facto e como guião orientativo, a Ascendi elaborou um Manual de observação e Auscultação

de Estruturas Geotécnicas. Um dos capítulos desse manual é o catálogo de patologias. O quadro 23 e 24 apresentam as patologias catalogadas.

Quadro 23 - Catálogo de patologias nas ancoragens na rede rodoviária Ascendi (Adaptado de Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Patologia	Descrição	Exemplos Representativos
Vidro danificado	O vidro da caixa de proteção encontra-se danificado/partido.	
Vidro inexistente	Vidro da caixa de proteção inexistente.	
Vidro - Humidade	Presença de humidade no vidro da caixa de proteção, que dificulta ou impede a leitura da célula de carga.	
Caixa de proteção - Presença de Vegetação	Presença de vegetação no interior da caixa de proteção ou na sua periferia.	
Caixa de proteção - Proteção danificada	A caixa de proteção da cabeça da ancoragem encontra-se danificada.	
Caixa de proteção inexistente	Caixa de proteção inexistente.	

Quadro 24 - Continuação do catálogo de patologias nas ancoragens na rede rodoviária Ascendi (Adaptado de Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Patologia	Descrição	Exemplos Representativos
Caixa de proteção - Corrosão	Caixa de proteção com corrosão ou manchas de corrosão.	
Caixa de proteção - Manómetro inexistente	Manómetro inexistente.	
Outros	Outra patologia que não seja compatível com as apresentadas neste catálogo. Sendo obrigatório descrever a patologia identificada no campo "observações".	
Em conformidade	Quando não se regista patologias.	

Na bibliografia portuguesa, Sousa (2016) classifica as patologias observáveis como estruturais e de manutenção. As patologias estruturais resultam de erros de projeto, enquanto as de manutenção resultam de uma periodicidade de inspeção inadequada ao contexto da ancoragem. Este mesmo autor identifica as patologias presentes no quadro 25 e 26.

Quadro 25 – Patologias de manutenção associadas às ancoragens (Arlindo de Sousa, 2016)

Classificação da patologia	Patologia
Manutenção	Escorrência de óxido de ferro e água proveniente da zona da cabeça;
	Humidade ou alteração de cor do maciço de apoio ou de proteção da cabeça
	Fissuração dos vedantes da junta entre a caixa de proteção da cabeça e a estrutura de suporte

Quadro 26 – Patologias estruturais associadas às ancoragens (Arlindo de Sousa, 2016)

Classificação da patologia	Patologia
Estrutural	Retração do fio central (indicia rotura de tipo frágil) na zona de selagem ou de alguns fios na zona livre numa secção afastada da cabeça;
	Projeção do fio central (indicia rotura de tipo frágil) na cabeça ou de alguns fios na zona livre numa secção próxima da cabeça;
	Alteração do padrão de evolução da tração ao longo do tempo (indicia alteração da estabilidade da estrutura ancorada ou rotura por fluência na zona de selagem);
	Estrias de fricção entre a chapa de distribuição e o maciço de apoio ou a face da estrutura de suporte (indicam perda total de carga na ancoragem por rotura da fundação da estrutura de suporte ou da ancoragem, ou por fluência, quer na zona de selagem quer no terreno do tardo da estrutura de suporte;
	Folga entre elementos da cabeça devido a rotura da ancoragem por fluência na zona de selagem ou do terreno no tardo da estrutura de suporte;
	Fissuração de punçoamento da estrutura de suporte.

Ainda na bibliografia nacional, o autor Chaves (2016) classifica as patologias como aquelas reconhecíveis numa inspeção visual externa e aquelas numa inspeção visual detalhada. No quadro 27 são apresentadas estas patologias.

Quadro 27 - Patologias associadas às ancoragens (João Chaves, 2016)

Tipo de inspeção	Patologia
Inspeção visual externa	Fissuração / fraturação, descolamento, queda dos maciços de betão e exposição de armadura
	Corrosão nas peças metálicas expostas e danos na caixa de proteção
	Escorrência da proteção anticorrosiva
	Escorrência de águas, crescimento de vegetação e deposição de carbonatos
Inspeção visual detalhada	Inexistência ou insuficiência de proteção corrosiva e corrosão nas peças metálicas da cabeça
	Deslocamento dos cordões
	Perda de óleo na célula de carga
	Circulação de água

Na bibliografia internacional, a Associação Japonesa de Ancoragens tece algumas considerações consoante a proteção da cabeça, maciço de encabeçamento ou tampa de proteção, mencionando as patologias no quadro 28.

Quadro 28 - Patologias associadas às ancoragens (Japan Anchor Association, 2015)

Patologia		
Rotura da armadura	Presença de água	Corrosão do cordão excedente
Subsidência	Depósitos	Retração do cordão
Deterioração da cabeça da ancoragem	Exurgência	Corrosão da cabeça da ancoragem
Queda de rochas	Presença de vegetação	Corrosão da chapa de descarga
Geada e carga de neve	Escorrência do composto anticorrosivo	Movimentos da chapa de descarga
Deterioração do maciço de encabeçamento	Deterioração do vedante	Cordões desfaçados

Os autores Jeng & Chen (2013), tendo por base o contexto de Taiwan, classificam as patologias como: falha da cabeça de ancoragem, integridade dos componentes, corrosão e carga residual. No quadro 29 são apresentadas as patologias identificadas pelos autores.

Quadro 29 - Patologias associadas às ancoragens (Ching-Jiang Jeng & Yen-Cheng Chen, 2013)

Patologia		
Rotura do cordão	Corrosão da cabeça de ancoragem	Presença de vegetação
Subsidência	Retração do cordão	Cabeça da ancoragem soterrada
Rotação da ancoragem	Rotura total da ancoragem	Cedência do solo a tardoz da ancoragem Perda de carga
Deterioração do betão	Eflorescência	Escorregamento do solo Acréscimo de carga
Dobramento dos tendões	Exurgência	Rotura da estrutura ancorada

#### **4.2. Ensaios aplicáveis**

A monitorização da carga residual de uma ancoragem, durante a sua vida útil, em ancoragens em que não se encontra instalada uma célula de carga, é uma atividade muito disputada entre os inspetores responsáveis. No passado, para determinar o valor de carga residual da ancoragem, o

único recurso era recorrer a um ensaio destrutivo, aumento incremental da carga até à rotura da ancoragem, o que é contrário ao objetivo da monitorização, tal como referido anteriormente, é o acompanhamento do ativo e não a sua desativação.

Atualmente, todas as estruturas ancoradas são acompanhadas por uma fase de projeto e dimensionamento na qual são definidas as cargas de serviço, a instrumentação a aplicar, o número de células de carga a instalar e ainda os critérios de alerta e alarme para análise dos dados recolhidos nas diversas campanhas. Contudo, no caso desta informação se perder ou na falha de qualquer tipo na instrumentação, a carga residual da ancoragem é desconhecida.

Neste sentido, ao longo dos últimos anos, desenvolveu-se um número de ensaios não destrutivos para obter, através de extrapolações ou de aproximações, a carga residual da ancoragem. Contudo, os ensaios destrutivos continuam a ser aplicáveis em determinadas situações. No quadro 30 são apresentados os ensaios não destrutivos e destrutivos descritos nesta dissertação.

Quadro 30 - Ensaios aplicáveis para monitorizar a carga residual numa ancoragem não instrumentada

Tipo de ensaio	Ensaio
Ensaios não destrutivos	Medição da resistência elétrica II (Tópico 2.3.5.2)
	Método de inspeção simples
	Endoscopia
	Ensaio de verificação de tração (EVT)
	<i>Half-Cell Corrosion Potencial</i>
	Método de impacto
	Método ultrassónico
Ensaios destrutivos	Ensaio prévio
	Carotagem do maciço
	Desativação da ancoragem e escavação do bolbo de selagem

#### 4.2.1. Ensaios não destrutivos

##### 4.2.1.1. Método de inspeção simples

O dispositivo nada mais é que uma vareta não tensionada, o que permite observar a diferença de comprimento entre esta e os cordões. A variação pode ser convertida em variação de carga, ver fórmula 1, partindo do princípio que é conhecido o comprimento do elemento tensionado (Jiun et al., 2017).

$$\Delta P = \frac{\delta x E x \sum A}{L_{eff}} \quad (1)$$

$\delta$  = Deformação relativa ao elemento de referência;

E = Módulo de *Young* do aço;

$\sum A$  = Secção de área de todos os cordões;

$L_{eff}$  = Comprimento do elemento de referência.

Este cordão não está fixo à cabeça da ancoragem, logo, encontra-se independente dos deslocamentos que possam resultar de movimentos na estrutura ancorada, variações de carga ou rotura dos elementos.

Se a carga de tração diminui, o elemento de referência prolonga-se para o exterior em relação aos cordões, ver figura 15. Pelo contrário, se a carga de tração aumentar o elemento de referência recolhe para o interior da ancoragem.

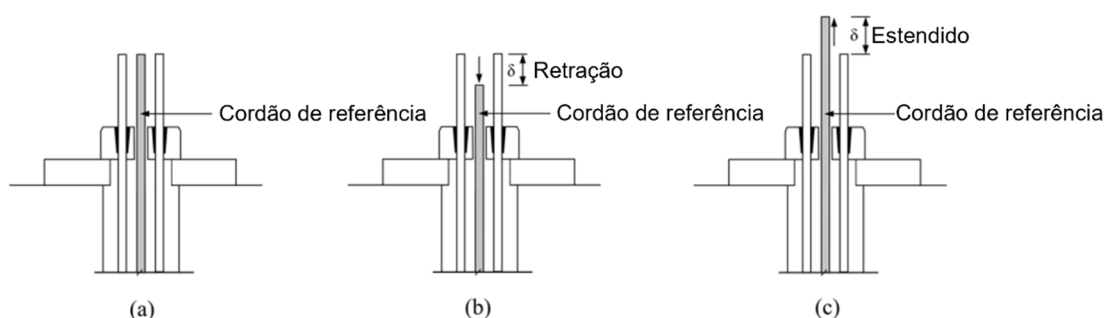


Figura 15 – a) Condição inicial, b) Aumento de carga, c) Diminuição de carga (Adaptado de Liao Hung Jiun et al. 2017)

#### 4.2.1.2. Endoscopia

O método da endoscopia é utilizado para inspecionar o trompete e o comprimento livre visível entre a selagem e a cabeça da ancoragem. Geralmente, o endoscópio é inserido pela ranhura não ocupada por um cordão. Nos casos em que os cordões ocupam todas as ranhuras da cabeça, pode-se realizar um pequeno furo na chapa de descarga, no entanto, existem cabeças de ancoragem abertas no centro que facilitam a aplicação da endoscopia.

#### 4.2.1.3. Ensaio de verificação da tração (EVT)

O ensaio de verificação da tração instalada (EVT) numa ancoragem foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Tem como principal objetivo determinar a carga

---

de serviço, assim como obter informações sobre eventuais alterações das características mecânicas da ancoragem, tais como, a alteração do comprimento livre, deslocamento máximo, deslocamento residual e rigidez. Permite avaliar o comportamento das ancoragens, por exemplo, nas quais os resultados dos ensaios de carga suscitem dúvidas.

Em termos práticos, o ensaio EVT consiste na verificação do pré-esforço, com recurso a desbloqueio controlado, na repetição dos ensaios de receção simplificados e na realização de novas blocagens.

O EVT compreende três fases:

1. Aplicação de trações na armadura exterior até à mobilização da máxima tensão de corte da ligação de contacto das cunhas com as sedes das chapas de cunhas (cabeça), que pode coincidir, ou não, com a perceção visual ou acústica de deslocamento das cunhas;
2. Aplicação de, pelo menos, três patamares de carga, de modo a provocar o deslocamento das cunhas e permitir a sua remoção;
3. Remoção das cunhas e descarregamento integral da ancoragem.

Segundo Carvalho (2009) durante o ensaio EVT destacam-se as seguintes fases com as seguintes atividades:

a) Desbloqueio

- Realização de inspeções visuais detalhadas dos diversos componentes;
- Desbloqueio controlado e monitorizado, registando-se as cargas e respetivos deslocamentos;
- Análise visual do estado geral da zona da cabeça da ancoragem e dos respetivos componentes;
- Representação gráfica dos resultados obtidos.

b) Rebloqueio

- Definir a carga máxima para o ensaio de carga face ao comportamento verificado durante a desbloqueio. Esta deve ser no mínimo 110% da carga de bloqueio;
- Realização do ensaio de adequabilidade ou do ensaio de receção;
- Instrumentação da ancoragem e respetiva rebloqueio.

Como principais condicionantes à aplicação do ensaio, destacam-se a acessibilidade à cabeça da ancoragem, a disponibilidade de cordão com comprimento excedente mínimo, quer em ancoragens

---

instrumentadas com caixas de proteção, quer nas não instrumentadas com tampas de PVC e nas protegidas com maciços de encabeçamento, sendo necessário proceder à sua demolição, a disponibilidade de uma mesa de descravação, a disponibilidade de equipamento de pré-esforço e devidamente calibrado.

O ensaio EVT tem sido amplamente discutido, uma vez que existe um risco elevado de a ancoragem entrar em rotura e assim ocorrer a perda de um ativo. Este risco pode ser mitigado, realizando o ensaio no tipo monocordão, mas não pode ser excluído.

Na bibliografia internacional é amplamente discutido o ensaio *Lift-off*, em tudo muito idêntico ao ensaio EVT, que tem como objetivo determinar a carga residual que a ancoragem está a aplicar na estrutura. Para que tal monitorização seja possível deve registar-se a carga da ancoragem após a blocagem e, decorridos alguns dias, realizar-se um ensaio de levantamento. Teoricamente, a carga do ensaio de *Lift-off* é igual à carga que a ancoragem aplica à estrutura. Em regra, um ensaio adicional e simultâneo é a medição do destacamento entre a cabeça da ancoragem e a chapa de descarga. A figura 16 apresenta um exemplo representativo.



Figura 16 - Exemplo representativo do ensaio *Lift-Off* em cordões

#### 4.2.1.4. *Half-cell Corrosion Potential*

O método *Half-cell Corrosion Potential* ( $E_{corr}$ ) é aplicado sobretudo a estruturas de betão reforçado, mas pode mostrar-se útil para verificar a corrosão na cabeça da ancoragem revestida com um maciço de encabeçamento. Consiste na diferença de potencial entre o elemento metálico e o elétrodo de referência, funcionando como um indicador da corrosão, isto é, dando a probabilidade de corrosão. A figura 17 trata-se de um esquema representativo deste ensaio.

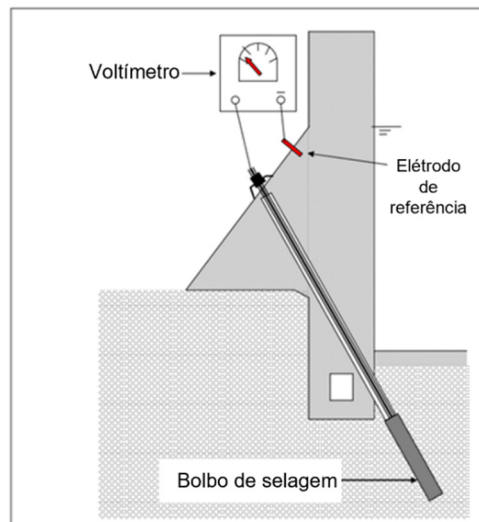


Figura 17 – Esquema representativo do ensaio Half-Cell (Adaptado de Robert M. Ebeling et al. 2013)

Para além da corrosão, este método é afetado por inúmeros fatores, incluindo PH. A interpretação dos resultados deve ter em consideração se o ambiente é neutro ou alcalino (Fishman et al., 2005). Em ambientes neutros, o potencial tende a ser cada vez maior à medida que o elemento é corroído. A corrosão é identificada quando o potencial é superior, positivamente, em relação ao potencial observado noutros elementos, sobre condições idênticas.

Em geral, o potencial no aço não corroído situa-se entre os -800 mV até -500mV, enquanto o potencial do corroído se situa entre -500 mV e -200 mV.

Ambientes alcalinos tendem a promover a passivação dos elementos, onde a superfície é protegida pela consequente formação de uma fina camada passiva. Se o potencial é superior a -200 mV, o aço é passivado e a corrosão não é provável. Se o potencial for inferior a -350 mV a corrosão é provável. Neste intervalo, entre -200 mV e -350 mV, a corrosão é possível, mas não certa.

#### 4.2.1.5. Método de impacto

O método de impacto é um método de avaliação do pré-esforço, pelo que avalia a qualidade do bolbo de selagem. Para além disso, permite ainda identificar a secção comprometida pela corrosão ou por perda da retilinidade do elemento.

A cabeça da ancoragem é impactada, originando ondas de compressão elástica de relativa baixa frequência. Estas ondas são refletidas sempre que ocorre uma mudança de material ou geometria, ao longo do comprimento da ancoragem. A onda resultante é captada por um transdutor. A análise dos dados dá-se por comparação com “grupos de resposta” que caracterizam a condição entre “boa” ou “questionável”. A interpretação tem em atenção a taxa inicial de decadência e a atenuação dos reflexos das ondas.

---

Neste método destaca-se o GRANIT (*Ground Anchorage integrity testing*) – Teste de integridade nas ancoragens – desenvolvido pela universidade de Aberdeen, Reino Unido. É um teste não destrutivo, eficaz, aplicável em ancoragens, permitindo um rápido conhecimento da condição e integridade das mesmas. Este ensaio pode ser aplicado na maioria dos tipos de ancoragens e não necessita de qualquer preparação.

Este equipamento é leve, portátil, não invasivo e simples. É ainda adaptável ao tamanho da cabeça da ancoragem e ao tipo de placa porta cunhas. É utilizado para controlo de qualidade, comprimento livre efetivo, verificação da selagem e verificação do estado da ancoragem.

O sistema consiste na colocação de um pequeno martelo pneumático na cabeça da ancoragem. Este dispositivo aplica um pequeno impulso de tensão à ancoragem a ser testada. Um acelerómetro e um sistema de aquisição de dados captura depois o sinal de resposta à vibração resultante. O impulso aplicado é suficientemente pequeno para assegurar que não ocorram danos no parafuso ou encapsulamento. A resposta à vibração é processada e analisada, ao longo de uma base de dados e um algoritmo previamente calibrado para reconhecer as características do sinal e interpretá-los, de maneira a fornecer um diagnóstico da carga de serviço e do comprimento livre.

#### 4.2.1.6. Método ultrassónico

Este ensaio é geralmente aplicado para avaliar o contacto entre meios, pela emissão de uma onda ultrassónica na superfície da cabeça da ancoragem, ver figura 18, de maneira que a direção seja paralela à do eixo da ancoragem, sendo de seguida analisadas as propriedades das ondas transmitidas e refletidas.

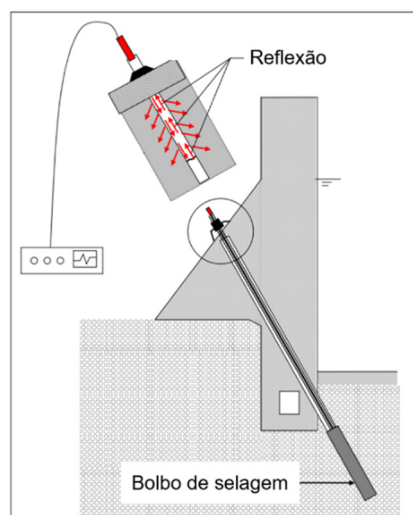


Figura 18 - Esquema representativo do método acústico (Adaptado de Robert M. Ebeling et al. 2013)

Nas ancoragens, em regra, quanto maior a carga axial, maior a área de contacto entre a cabeça e a chapa de descarga. Assim, dependendo da carga axial, a amplitude, ou energia, da onda refletida varia. Neste ponto é importante realçar que duas superfícies em contacto se dividem em duas partes, o real contacto entre os elementos e a zona de não contacto, ver figura 19.

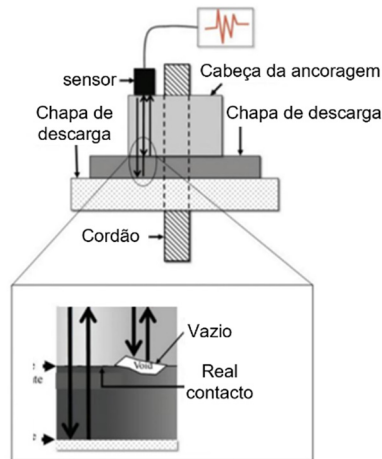


Figura 19 - Reflexão das no método ultrassónico (Adaptado de S.B. Tamrakar et al. 2016)

No real contacto, duas zonas em contacto têm impedâncias similares (Tamrakar et al, 2016) e todas as ondas incidentes são transmitidas. Pelo contrário, quando não existe contacto, uma separação total entre os elementos ou um vazio, todas as ondas são refletidas.

Da mesma maneira é possível realizar o ensaio tendo em conta a intensidade da reflexão e da transmissão, que depende da diferença da impedância acústica dos meios em contacto. Uma grande diferença na impedância pode resultar na completa reflexão da onda, enquanto uma pequena diferença pode traduzir-se numa transmissão total da onda (Zima & Rucka, 2015).

Nas ancoragens, a transmissão de ondas para o terreno depende não só da impedância dos meios, mas também do comprimento de selagem e da qualidade da conexão. Quando a qualidade da selagem é alta, a transferência da energia para o meio envolvente é superior à energia transmitida quando a qualidade é baixa, ver figura 20.

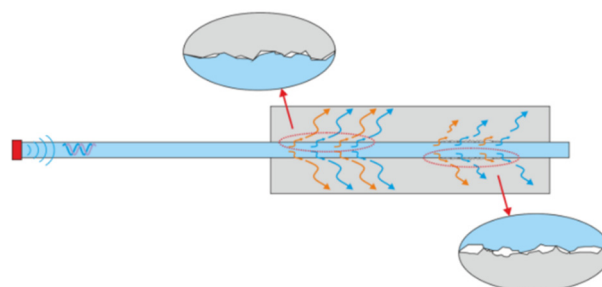


Figura 20 - Exemplo representativo do efeito da qualidade da selagem (Adaptado de B Zima & M Rucka, 2015)

---

#### 4.2.2. Ensaios destrutivos

Os ensaios destrutivos são aqueles que resultam na inutilização/desativação da ancoragem. Os ensaios que integram esta categoria são o ensaio prévio, tal como descrito na norma ISO 22477-5:2018, a carotagem do maciço e a desativação da ancoragem e escavação da área do bolbo de selagem para inspeção visual.

O ensaio prévio, tal como referido no tópico 2.3, pode ser realizado conforme os 3 métodos propostos pelo EC7. Este ensaio é realizado em ancoragens sacrificiais para estudar o comportamento do terreno, nomeadamente, a capacidade resistente ao arrancamento da ancoragem na interface calda-terreno e as características de fluência da ancoragem até às cargas de rotura.

A carotagem do maciço ancorado é um ensaio pouco utilizado, mas que permite estudar a interação entre o bolbo de selagem e o maciço rochoso, para além das ações da tensão aplicada com consequente alteração da fracturação, espaços vazios, permeabilidade, entre outros. Esta carotagem paralela à ancoragem pressupõe a desativação da ancoragem. Este ensaio, em regra, não intersesta o bolbo de selagem, devido à dimensão do equipamento de perfuração, mas caso o faça é uma mais-valia.

A escavação do bolbo de selagem, ver figura 21, após a desativação prévia da ancoragem, a sua inspeção visual e a realização de cortes transversais é um ensaio muitas vezes aplicado em ancoragens de teste ou em ancoragens sacrificiais. Este ensaio apenas pode ser realizado em solos uma vez que a escavação de rocha aumentaria o custo.



Figura 21 - Escavação do comprimento de selagem da ancoragem (Mariana de Carvalho, 2018)

---

A escavação e realização de cortes transversais permite observar e estudar algumas patologias como, descontinuidade no bolbo de selagem, distribuição inadequada da armadura, descentralização da armadura e recobrimento não adequado (Porto, 2015), ver figura 22. Para além disso, pode ser acompanhado com a aplicação de pigmentos nas várias reinjeções. A atribuição de cores permite observar nos cortes transversais a distribuição da calda no terreno.



Figura 22 – Secção transversal de uma ancoragem (Thiago Porto, 2015)

Excluindo o ensaio prévio que é um requisito de projeto, a carotagem do maciço e a desativação da ancoragem seguida da escavação do bolbo, são ensaios aplicados apenas em situações excecionais.

#### **4.3. Critérios de alerta e alarme**

A inspeção visual aliada a um acompanhamento da instrumentação terá por base um programa de medições, no qual se deve ter em consideração os possíveis riscos associados à estrutura. Na fase de projeto, para além de dever constar a instrumentação a instalar e o seu número, deve ainda definir os critérios de alerta e alarme e ações corretivas, meramente indicativas, não substituindo um estudo pormenorizado da(s) patologia(s).

O principal objetivo dos critérios de alerta e alarme é auxiliar na análise e deteção do comportamento e estabilidade das estruturas, priorizar intervenções e otimizar custos de operação e manutenção.

Os limites de alerta são valores ou taxas de variação que podem indicar a ocorrência de comportamentos suscetíveis de afetar a funcionalidade da própria estrutura e das estruturas localizadas na sua zona de influência, a curto prazo (Sousa, 2020).

Os limites de alarme são valores ou taxas de variação que implicam uma ação imediata decidida no âmbito das ações de contingência (reforço das condições de segurança, evacuação da zona de risco, entre outras), independentemente da avaliação da situação (Sousa, 2020).

A análise das leituras dá-se por comparação com os intervalos definidos. Se as leituras se encontrarem abaixo dos valores limite para o estado de alerta, a estrutura está conforme o seu dimensionamento. Por sua vez, se as leituras se encontrarem dentro do intervalo de alerta, é necessário uma acrescida atenção e acompanhamento. No intervalo de alarme, a estrutura apresenta sérios riscos de entrar em rotura.

Para as infraestruturas geotécnicas em serviço nas Concessões e Subconcessões da rede Ascendi, para as quais não foram definidos os critérios de alerta e alarme, foram definidos critérios, mais conservadores que os de projeto, para os deslocamentos verticais e horizontais, taxas de deformação e as variações de carga, com base nos planos de instrumentação e monitorização, bibliografia nacional e internacional e ainda experiência profissional de diversos colaboradores. A Ascendi aplicou estes critérios aos muros de contenção e aos taludes, tendo em consideração o tipo de estrutura - rígido ou flexível - e as suas características geométricas, para além das características geológicas e geotécnicas.

O quadro 31 apresenta os critérios de alerta e alarme definidos para os muros ancorados/escorados, considerando a altura da estrutura, o deslocamento na componente horizontal e vertical e ainda a variação de carga nas ancoragens.

Quadro 31 - Critério de alerta e alarme para Muros Ancorados/Escorados definidos pela Ascendi (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Nível	Critérios para Muros Ancorados/Escorados		
	Topografia/Inclinómetros		Células de carga
	$H \leq 10$ m	$H > 10$ m	
1 (Estável)	$\delta_H < H/500$ $\delta_V < H/1000$	$\delta_H < \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$ $\delta_V < \left(\frac{10}{1000}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 1000}\right)$	$\Delta P < \pm 20\%$
2 (Alerta)	$H/250 > \delta_H > H/500$ $H/500 > \delta_V > H/1000$	$\left(\frac{10}{250}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 250}\right) > \delta_H > \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$ $\left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right) > \delta_V > \left(\frac{10}{1000}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 1000}\right)$	$\pm 30\% > \Delta P > \pm 20\%$
3 (Alarme)	$\delta_H > H/250$ $\delta_V > H/500$	$\delta_H > \left(\frac{10}{250}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 250}\right)$ $\delta_V > \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$	$\Delta P > \pm 30\%$

Sendo,  $\delta_H$  = Deslocamento horizontal,  $\delta_V$  = Deslocamento vertical,  $\Delta P$  = Variação de carga

---

De salientar que estes critérios de alerta e alarme não substituem os de projeto, apenas devem ser considerados quando estes não foram definidos. Nos projetos atuais já é obrigatória a elaboração de um plano de instrumentação, pelo projetista responsável, e a definição dos valores de alerta e alarme específicos para a estrutura, a sua envolvente e enquadramento geológico.

#### **4.4. Elaboração de catálogo de ações de manutenção e conservação.**

##### *4.4.1. Estados de manutenção e conservação*

Após a inspeção visual e de acordo com as patologias identificadas, são atribuídos estados de manutenção e conservação. Ambos permitem diferenciar o estado de condição do ativo e atribuir ações paliativas ou curativas.

O principal ponto a ter em consideração é que a atribuição de estados da ancoragem pode ser deduzida pelo estado da estrutura, e vice-versa, isto porque o comportamento de longo prazo das ancoragens pode ser avaliado monitorizando a evolução da carga instalada e os movimentos da estrutura ancorada ou do próprio talude (Santa, 2010). Do mesmo modo, o estado de conservação da estrutura depende dos seus componentes visíveis e não visíveis, como é o caso das ancoragens. A longo prazo, a degradação dos componentes não visíveis pode conduzir ao aparecimento de assentamentos, rotação do muro, aparecimento de patologias na zona exposta do muro e da envolvente (Amado et al., 2014).

A atribuição de estados de conservação e manutenção, tal como os critérios de alerta e alarme, são específicos para a estrutura e o seu enquadramento. Um comportamento considerado aceitável num determinado ambiente pode não o ser noutro enquadramento. Assim, no caso de Concessionárias, são estas que melhor definem os estados para as suas estruturas. Contudo, uma pesquisa bibliográfica permite estudar os fundamentos e o raciocínio.

Neste contexto serão apresentadas metodologias adotadas em Portugal, pela Ascendi e pela Betar Consultores, a metodologia adotada em Taiwan, em França, no Japão e nos Estados Unidos da América. Destes métodos, dois serão métodos para o estado de manutenção e quatro para o estado de conservação.

##### *4.4.1.1. Metodologia adotada na Ascendi*

A Ascendi conta com um *software* desenvolvido em parceria com duas universidades, o *SustIMS*. Trata-se de uma plataforma de gestão sustentável de apoio na manutenção de ativos, agregando módulos como a Gestão de Inventário, Planeamento e Registo de Inspeções Visuais, Produção de Relatórios, Registo de Ocorrências e Monitorização online. Contando com o apoio da Plataforma Móvel, após *download* dos dados, são geridas e realizadas inspeções periódicas.

Após a inspeção são atribuídos estados de conservação e manutenção às estruturas. A metodologia apresentada de seguida é apenas aplicável a estruturas com ancoragens instaladas, tendo servido de base para que no tópico 5.4.1, capítulo Caso de Estudo, se tenha desenvolvido uma metodologia similar para as ancoragens.

O cálculo do estado é iterativo, isto é, começa ao nível da patologia até ao nível da estrutura, segundo o raciocínio da figura 23.



Figura 23 – Raciocínio para a atribuição de estados de conservação e manutenção da estrutura

Um muro é constituído pelos seguintes componentes: Banquetas, Níveis (Face do muro), Drenagem superficial, Drenagem Profunda, Equipamentos, Células de carga (quando aplicável), Alvos topográficos, Inclínómetros/piezómetros, e Outros componentes. Por subcomponente entende-se, por exemplo, descida de talude, valeta de plataforma, entre outros. Estes, por sua vez, fazem integrar o componente Drenagem Superficial.

Numa primeira instância, a da patologia, segundo a fórmula 2, a classificação é através da soma das cotações da dimensão da patologia e do risco associado (ver quadro 32).

$$EC_{Patologia} = Cotação (dimensão da patologia) + Cotação (Risco da patologia) \quad (2)$$

Quadro 32 - Dimensão da patologia e o seu risco (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Dimensão da patologia	[ % ]	Cotação
Pequena	0 – 30	1
Média	30 – 70	2
Grande	70 – 100	3

Risco	Necessidade de intervenção	Cotação
Nulo	N.A.	0
Moderado	Médio/longo prazo	1
Elevado	Curto prazo	2

O estado de conservação do subcomponente corresponde ao estado de conservação mais gravoso entre as patologias registadas, caso exista “n” patologias, ou o estado de conservação de patologia se for única (fórmula 3). Por sua vez, o estado do componente corresponde à cotação máxima atribuída aos seus subcomponentes (fórmula 4).

$$EC_{Subcomponente} = \begin{cases} EC_{Patologia}, & \text{caso exista apenas 1 patologia} \\ \max (EC_{Patologia}), & \text{caso existam n patologias} \end{cases} \quad (3)$$

$$EC_{Componente} = \max (EC_{Subcomponente}) \quad (4)$$

Por fim, calcula-se o estado de conservação da estrutura (muro ou talude) a partir dos estados de cada um dos seus componentes. Os pesos atribuídos a cada componente para o cálculo do estado de conservação são os do quadro 33. Nem todos os componentes integram o cálculo. O quadro 34 apresenta a interpretação de cada um dos estados calculado através da fórmula 5.

$$EC = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times EC_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (5)$$

Quadro 33 - Pesos atribuídos a cada componente para o cálculo do estado de conservação (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Componente	Peso
Banquetas	25%
Níveis	40%
Drenagem Superficial	25%
Drenagem Profunda	10%

Quadro 34 – Estados de conservação definidos pela Ascendi (Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Estado	Descrição
1 Muito Bom	Sem patologias, não é necessário efetuar qualquer reparação.
2 Bom	Terão de ser efetuados pequenos trabalhos de reparação num prazo inferior a 2 anos.
3 Médio	Terão de ser efetuados trabalhos de reparação num prazo inferior a 1 ano, com meios próprios, caso seja possível. Caso contrário deverá proceder-se a elaboração de uma Nota Técnica e consequente Empreitada.
4 Mau	Verificar a necessidade de implementação de medidas de intervenção imediatas e promover campanhas de monitorização. Proceder à elaboração de uma Nota Técnica/Projeto para a sua reparação num prazo de 3 a 6 meses.
5 Muito Mau	Criar estado de alerta imediato. Ativar todos os mecanismos inerentes à implementação de medidas de intervenção imediatas. Monitorizar diariamente. Proceder à elaboração de uma Nota Técnica/Projeto para a sua reparação num prazo curto de 0 a 3 meses.

Quanto aos estados de manutenção, ver quadro 35, estes são idênticos aos estados de conservação salvo as seguintes diferenças: o estado de manutenção da patologia varia de 1 a 3 e o estado de manutenção da estrutura é o máximo atribuído entre os componentes.

Quadro 35 – Estados de manutenção definidos pela Ascendi (Fonte: Muros e Taludes - Manual de Observação e Auscultação, 2022)

Estado		Descrição
1	Bom	Não é necessário efetuar qualquer manutenção.
2	Médio	Terão de ser efetuados os trabalhos de manutenção referidos num prazo de 12 meses
3	Mau	Terão de ser efetuados os trabalhos de manutenção referidos num prazo de 6 meses.

O método de cálculo do estado de manutenção é como apresentado na fórmula 6.

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times EM_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (6)$$

A diferença entre o estado de manutenção e o estado de conservação está na integridade do componente. Um componente com um estado de manutenção “Mau” pode estar em pleno funcionamento e ser caracterizado por um estado de conservação “Bom”. O estado de manutenção deve ser reparado, uma vez que a patologia pode evoluir para uma patologia de conservação. Por si só o estado de manutenção não compromete o de conservação.

#### 4.4.1.2. Metodologia adotada pela Betar Consultores

A empresa Betar Consultores desenvolveu um manual de formação, citado em Martins (2014), no que toca à gestão das obras de arte, no qual constam os estados, em tudo semelhantes a estados de manutenção atribuídos após uma inspeção visual, ver quadro 36. Ainda que seja uma estrutura com comportamento distinto dos muros ancorados, o raciocínio pode ser a base para a definição de estados de manutenção para as ancoragens.

Quadro 36 - Estado de conservação das obras de arte segundo a Betar Consultores (Luís Martins, 2014)

Estados de conservação	
Designação	Descrição
Ótimo	Não é necessário efetuar qualquer reparação
Bom	Não é necessário efetuar qualquer reparação
Razoável	Reparações não prioritárias
Mau	Reparação num prazo de 3-5 anos
Muito mau	Reparação a curto prazo (1-2 anos)
Extremamente mau	Reparação imediata

---

Um exemplo prático é a inspeção visual do maciço de encabeçamento ou da proteção da cabeça. Caso esta esteja partida, a estanqueidade está comprometida pelo que o risco de corrosão aumenta. Dependendo do grau e da dimensão das fissuras, a reparação poderá ser imediata ou urgente. O estado de conservação pode estar definido como “Bom”, mas necessitar de reparações imediatas no que diz respeito à proteção contra a corrosão.

#### 4.4.1.3. Metodologia adotada em Taiwan

Em Taiwan, dada a sua natureza montanhosa e o uso recorrente das ancoragens, é aplicado o método, apresentado no quadro 37, baseado na análise estatística do estado das ancoragens.

O método trata-se de uma análise conjunta da inspeção visual da estrutura na zona envolvente da cabeça da ancoragem, da cabeça da ancoragem, da endoscopia e do ensaio *Lift-off*. A cada um destes ensaios e a cada patologia registada em cada item é atribuído um peso de 0 a 100. No final, a cada ancoragem inspecionada é atribuída uma pontuação.

Convém referir que:

- $T_r$  é a carga residual da ancoragem e  $T_w$  a carga de projeto;
- Por ensaio de carga entenda-se ensaio *Lift-Off*;
- Se em algum dos itens resultar um score de 0, a ancoragem correspondente deve ser considerada com defeito e o score total deve ser 0;
- Num talude, e no qual 1/3 das ancoragens inspecionadas tenha atingido mais de 90% da superfície enferrujada, no ensaio com endoscopia, mas o ensaio de carga revelou que a capacidade restante cai no intervalo  $0.8 T_w < T_r \leq 1.2 T_w$ , recomenda-se a realização de ensaios adicionais para determinar se a inclinação do talude favorece o deslizamento.

Quadro 37 – Pesos atribuídos a cada patologia segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh H.n-S et al. 2013)

Item	Score (%)	Patologias observadas na inspeção	Peso
Inspeção exterior	10	Embarrigamento ou descolamento da estrutura.	0
		Separação >2 mm da placa de apoio ou severa corrosão.	25
		A separação entre o maciço de apoio da cabeça da ancoragem e a placa de apoio é <2mm.	50
		O maciço de apoio da cabeça da ancoragem encontra-se rodeado por infiltração de água, com eflorescência, ligeiramente danificado ou o nível de corrosividade da água é moderado.	75
		Não há anomalias observáveis ou a qualidade da água é normal.	100
Inspeção à cabeça da ancoragem	15	O conjunto desfez-se (a abraçadeira soltou-se, o cordão encolheu ou partiu).	0
		A superfície da cabeça da ancoragem apresenta-se enferrujada e fissurada, >50% da superfície, e a armadura está deformada devido à corrosão.	25
		A superfície da cabeça da ancoragem apresenta-se enferrujada e fissurada em <50% da superfície.	50
		Ligeiramente corroída ou com infiltração de água. A cabeça da ancoragem apresenta-se enferrujada, mas a espessura da ferrugem é bastante fina, não mensurável ou inferior a 0,1 mm.	75
		Sem corrosão ou infiltração de água.	100
Endoscopia	30	Cordões partidos ou fios soltos e completamente enferrujados.	0
		O cordão apresenta-se castanho-escuro com superfície irregular ou com >90% da superfície enferrujada.	15
		O cordão apresenta-se acastanhado escuro com superfície áspera, mas não irregular ou com 50% - 90% da superfície enferrujada.	45
		O cordão apresenta-se castanho-claro, mas a superfície é lisa e brilhante ou com 10% - 50% da superfície enferrujada.	75
		Nenhuma anomalia presente ou a superfície enferrujada é <10%.	100
Ensaio de carga	45	Destacado, armadura partida ou $T_r=0$ .	0
		$T_r > 1.2T_w$ ou $T_r \leq 0.2 T_w$	33
		$0.2 T_w < T_r \leq 0.5 T_w$	67
		$0.5 T_w < T_r \leq 0.8 T_w$	75
		$0.8 T_w < T_r \leq 1.2 T_w$	100

Com base na pontuação a ancoragem pode então ser classificada consoante o quadro 38. O quadro 39 apresenta o estado de conservação da estrutura que resulta do cálculo da média dos estados de todas as ancoragens.

Quadro 38 - Estado de conservação da ancoragem segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh et al. 2013)

Score total	Categoria	
0	X	Fora de função
$\beta \leq 30$	A	Muito mau estado
$30 < \beta \leq 55$	B	Mau estado
$55 < \beta \leq 80$	C	Razoável
$80 < \beta$	D	Normal

Quadro 39 - Estado de conservação da estrutura segundo a metodologia de Taiwan (Adaptado de Yeh et al. 2013)

Score total	Categoria	
$\alpha \leq 30$	A	Muito mau estado
$30 < \alpha \leq 55$	B	Mau estado
$55 < \alpha \leq 80$	C	Razoável
$80 < \alpha$	D	Normal

#### 4.4.1.4. Metodologia adotada pela Associação Japonesa de Ancoragens

A Associação Japonesa de Ancoragens apresenta uma análise dos resultados obtidos pelo ensaio de *Lift-off*, atribuindo estados para o intervalo entre as cargas registadas, ver quadro 40.

Quadro 40 - Estado de conservação de acordo com o ensaio Lift-Off (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Intervalo de carga residual	Integridade	Situação	
0.9 TYS 1.1 Ta Carga admissível (Ta) Carga de projeto (Td) Carga de blocagem (Pt) 0.8 Pt 0.5 Pt 0.1 Pt	E	Possível de rotura	Medida de emergência necessária
	D	Possível situação de risco	Medida remediativa necessária
	C	Superior à tolerância	
	B	Tolerância	Medida remediativa necessária após inspeção
	A	Estável	Sem necessidade de medida remediativa
	A	Estável	
	B	Tolerância	Medida remediativa necessária após inspeção
	C	Deterioração drástica	Medida remediativa necessária
	D	Não está em funcionamento	

#### 4.4.1.5. Metodologia francesa

O método francês *IQOA Murs* de SÉTRA (2005) agrupa as estruturas em dois grupos, funcionamento clássico e o funcionamento particular, ver quadro 41. Os muros de funcionamento clássico são aqueles cujo estado aparente é representativo do estado real. Os muros de funcionamento particular são aqueles com elementos da estrutura enterrados/ocultos.

Quadro 41 - Estruturas consideradas nos métodos *IQOA Murs* (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014)

Lista 1 – Muros com funcionamento clássico	Lista 2 – Muros com funcionamento particular
Muros de gravidade em betão	Estacas-prancha
Muros de gravidade em gabiões	Paredes pregadas
Muros em alvenaria de junta seca ou junta argamassada	Paredes ancoradas
Muros em betão armado encastrados em sapata	Paredes moldadas ou prefabricadas
Muros de gravidade em elementos pré-fabricados de betão simples	Aterros reforçados por elementos geossintéticos ou elementos metálicos
	Obras diversas
	Muros compostos por estacas espaçadas com um paramento entre estacas

Quanto ao primeiro tipo de estruturas, o método classifica as estruturas inspecionadas em cinco classes, ver quadro 42, dividindo a estrutura em quatro áreas, nomeadamente, a zona de influência, os equipamentos, a drenagem e a estrutura.

Quadro 42 - Definição de estados/classes segundo o método *IQA Murs* (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014)

Classificação	Descrição
Classe 1	Bom estado aparente.
Classe 2	Estrutura em bom estado aparente (ou ligeiramente degradada), sem defeitos visíveis de estabilidade (ou defeitos menores), com equipamentos ou sistemas de drenagem degradados.
Classe 2E	Definição do Estado 2 com risco de desenvolvimento rápido de anomalias importantes na estrutura.
Classe 3	Estrutura afetada ou anomalias importantes na zona de influência.
Classe 3U	Estrutura gravemente alterada ou estabilidade ameaçada.
Menção S	Na perceção de risco para os utilizadores da via ou terceiros, cada uma das 5 classes anteriormente definidas deve ser seguida da menção S.

A inspeção que antecede a atribuição dos estados é efetuada por pessoal formado, acompanhados de uma extensa lista de patologias ilustradas e descritas. A classificação da estrutura é atribuída de acordo com a figura 24.

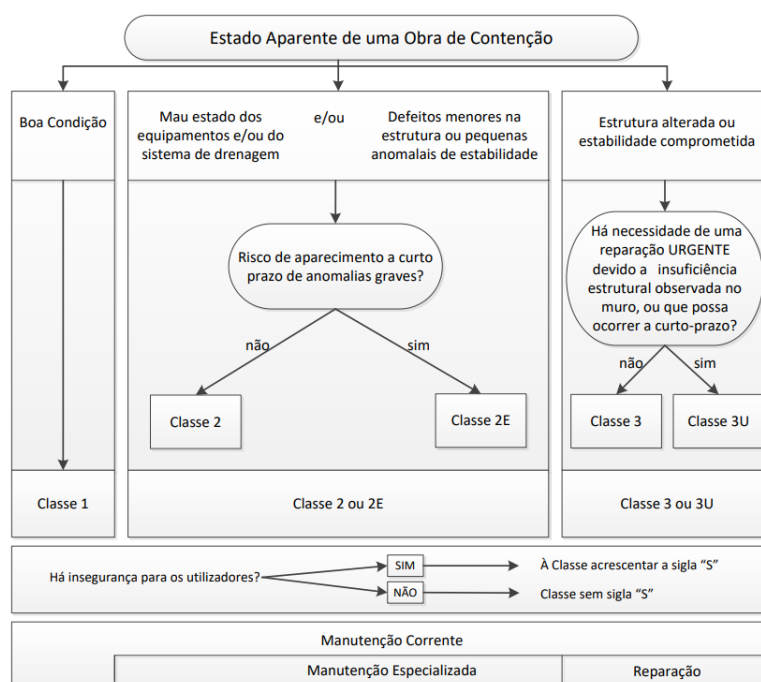


Figura 24 - Fluxograma para atribuição das classes após a inspeção (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014)

A classificação final da estrutura apresenta o estado crítico principal, a área estimada e o próximo estado mais alto. Se a patologia mais gravosa é classificada como 3U, a classe será, por exemplo, "3U (50%), 2E" ou "3U (10%), 3" (IQOA Murs), todavia, a fim de não superestimar a gravidade das patologias, o inspetor não deve simplesmente somar as patologias, mas sim fornecer uma avaliação geral da estrutura (ver figura 25 e 26).

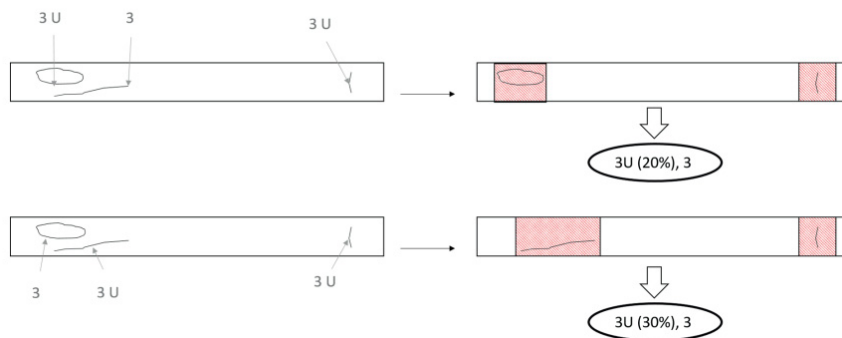


Figura 25 - Exemplo de análise de patologias de diferentes cotações (IQOA Murs)

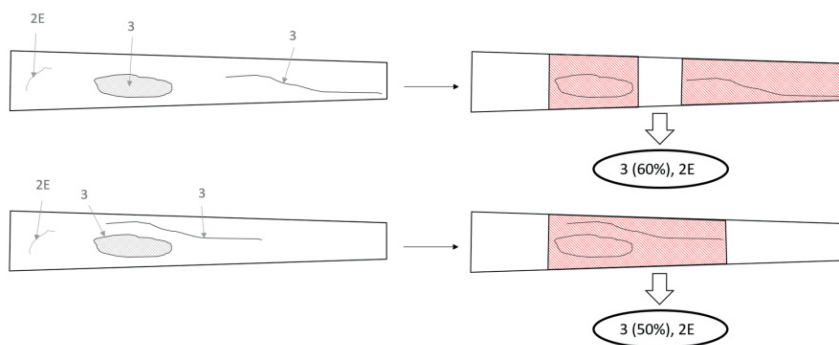


Figura 26 - Exemplo da análise de patologias com a mesma cotação (IQOA Murs)

Quanto aos muros de funcionamento particular, o método considera a inspeção visual, com a leitura da instrumentação, aliada com a determinação de fatores de risco. No final é apenas definido um pré-diagnóstico que necessita de ensaios complementares. No entanto, pode atribuir-se um estado, meramente indicativo, à estrutura de acordo com os mesmos critérios para a primeira lista, isto porque o objetivo é uma inspeção visual aos componentes visíveis. A figura 27 apresenta o fluxograma que reflete o diagnóstico.

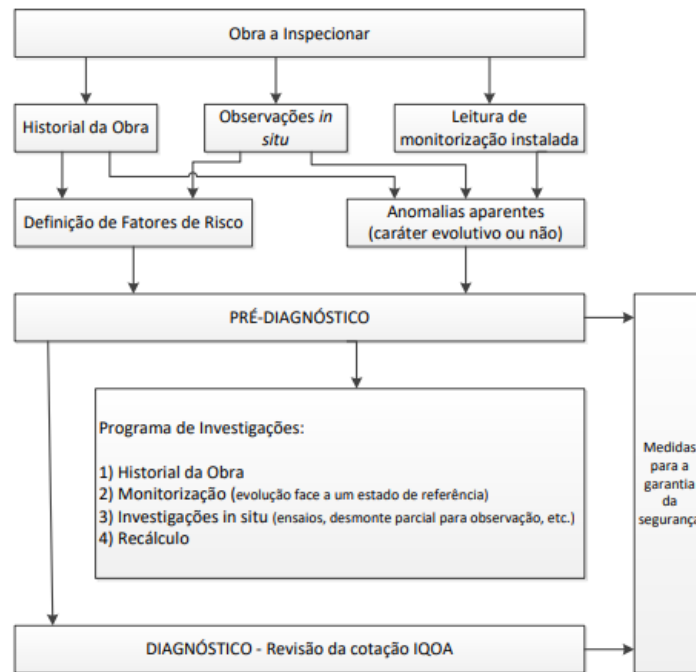


Figura 27 - Fluxograma para atribuição das classes após a inspeção (SÉTRA, 2005, citado em Amado et al., 2014)

#### 4.4.1.6. Metodologia norte-americana

O departamento de transportes do Colorado atribui estados de manutenção às estruturas consoante as patologias identificadas durante as inspeções visuais, ver quadro 43.

Quadro 43 – Estado de conservação da estrutura segundo o Colorado *Department of Transportation* (Amado et al, 2014)

Condição		Descrição
1	Boa	Sem deterioração dos elementos. Sem movimentos, assentamentos ou desalinhamento.
2	Suficiente	Alguma deterioração dos elementos, sem relevância, e reparável. Sem movimentos, assentamentos ou desalinhamento pouco expressivos.
3	Medíocre	Deterioração que pode justificar substituição de elementos. Movimentos, assentamentos ou desalinhamento expressivo, mas que não representam uma ameaça à segurança ou estabilidade do muro.
4	Grave	Deterioração que prejudica o funcionamento dos elementos. Movimentos, assentamentos ou desalinhamento que podem constitui uma ameaça à segurança ou estabilidade do muro.
5	Crítica	Deterioração, movimentos, assentamentos ou desalinhamento que requerem intervenções urgentes.

---

Trata-se de uma atribuição de estados subjetiva e mais dependente da experiência do inspetor, em relação às metodologias anteriormente apresentadas. Contudo, permite atribuir estados de manutenção no local e em direta observação da estrutura.

#### 4.4.2. Ações de manutenção e conservação

A definição de ações em resposta aos estados de manutenção e de conservação possibilita uma rápida resposta às patologias registadas e aos resultados dos ensaios não destrutivos. Neste sentido, o catálogo de ações de manutenção e conservação deve ser uma política interna da empresa, pois só esta reconhece a realidade das suas estruturas.

Ao nível das ancoragens, a figura 28 representa o desempenho ótimo de uma ancoragem ao longo da sua vida útil.

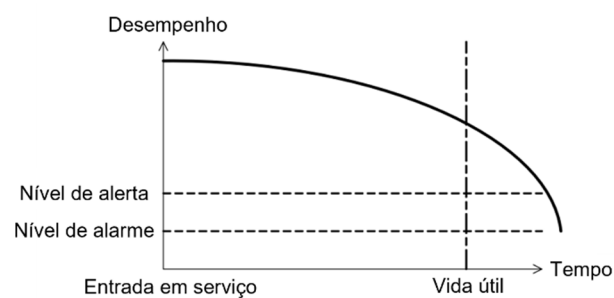


Figura 28 - Desempenho de uma ancoragem bem dimensionada (Japan Anchor Association, 2015)

No decorrer da atribuição dos estados a sua ancoragem, e consoante o seu grau, pode significar que a ancoragem já não se comporta como a figura 28, mas sim que a sua situação é representada por um dos pontos apresentados na figura 29.

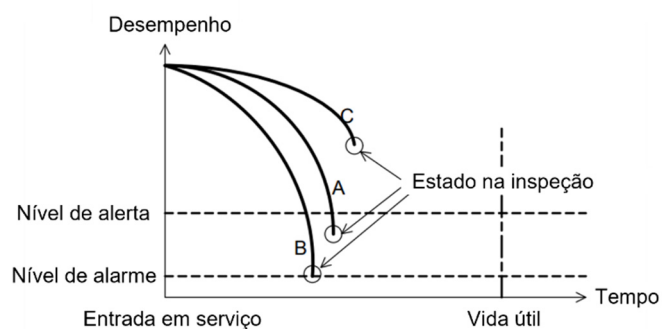


Figura 29 - Ancoragem que necessita de ações de conservação (Japan anchor association, 2015)

O ponto B é exemplo da necessidade de uma rápida intervenção, uma vez que a degradação da ancoragem é acentuada e esta ameaça ultrapassar o estado limite último, a partir do qual a

estrutura corre risco de rotura. A patologia que dê origem ao ponto C pode ser intervencionada, na maioria dos casos, sem que apresente grandes custos operacionais.

Assim, a atribuição de estados e respetivas ações de respostas garantem a vida útil da ancoragem, no sentido em que corrigem ambientes propícios à degradação dos componentes e/ou prolongam a vida útil. Para além disso, a catalogação prévia das ações permite diminuir o tempo de resposta e aumentar a eficiência da intervenção.

Na Ascendi, as medidas de manutenção são medidas paliativas, enquanto as medidas de conservação são de carácter curativo. A principal diferença entre as ações de manutenção e as de conservação é se a patologia é de carácter estrutural ou não, isto é, se comprometem a estabilidade da estrutura. O quadro 44 apresenta exemplos de ações de manutenção para os muros e ancoragens, enquanto para as ações de conservação são só indicadas para os muros. Para as ancoragens, à data, não se encontram definidas.

Quadro 44 – Exemplos de ações de manutenção e conservação praticadas pela Ascendi

Ações de manutenção	Muros	<p>Limpeza dos geodrenos</p> <p>Selagem das fissuras com dimensão inferior a &lt;1,5 milímetros</p> <p>Manutenção vegetal</p>
	Ancoragens	<p>Reposição do composto anticorrosivo</p> <p>Reposição de vidros ou de caixas metálicas</p> <p>Manutenção vegetal</p>
Ações de conservação	Muros	<p>Reparação de elementos partidos</p> <p>Reparação de armadura exposta</p>

A associação Japonesa de Ancoragens, em resposta aos estados do ensaio de *Lift-off*, apresentados no quadro 40, não apresenta ações corretivas, mas sim uma série de fluxogramas auxiliares e representativos para a tomada de decisão (ver anexo 2).

Quanto às restantes metodologias não é apresentado ações de conservação ou manutenção, reforçando o facto de estas serem específicas para cada tipo de estrutura, em função do contexto geológico-geotécnico e ambiental.

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo V**

### **Caso de estudio**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 5. Caso de estudo

A rede de estruturas geotécnicas operada pela Ascendi é o foco principal da equipa de Muros e Taludes do Serviço de Gestão da Conservação da Ascendi. A equipa é responsável pela gestão destes ativos durante todo o seu ciclo de vida, pelo acompanhamento das empreitadas e prestação de serviços, onde se inclui a inspeção visual das estruturas, as campanhas de instrumentação e a elaboração de notas técnicas.

A rede de estruturas geotécnicas é constituída por muros e taludes. Dentro dos muros inclui-se Muros de Betão Armado, Muro de Gabiões e Muros de Terra Armada/Terramesh. Por outro lado, os taludes são sobretudo taludes de escavação em rocha, escavação em solo, pedraplenos e aterro em solo ou solo enrocamento.

Os taludes têm a particularidade de serem complementados por uma proteção superficial. Neste ponto integra-se revestimento vegetal, mantas, enrocamento argamassado, enrocamento e betão projetado.

### 5.1. Inventário de estruturas ancoradas na rede Ascendi

Os muros de suporte são estruturas presentes na rede Ascendi, desempenhando um papel fundamental, sobretudo em ambiente urbano, permitindo o suporte dos solos em áreas com espaço reduzido. O gráfico 1 representa a distribuição dos 268 muros pelas seis concessões.

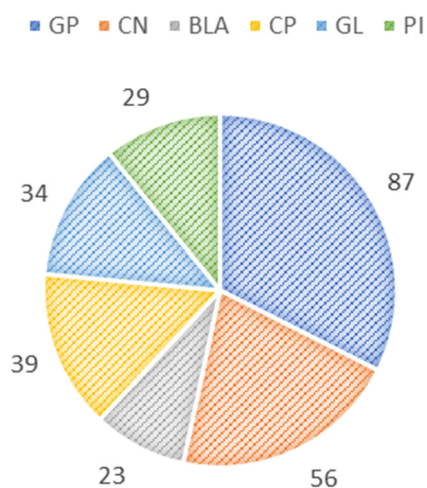


Gráfico 1 - Distribuição dos muros de suporte pelas concessões e subconcessões da rede Ascendi

Convém referir que estes 268 muros incluem os muros de Betão Armado, Terra Armada e de Gabiões. Contudo, interessa para esta dissertação os muros ancorados que se incluem, em regra, nos muros de betão armado. A rede rodoviária Ascendi é constituída por 42 muros ancorados, cerca

---

de 16% dos muros. O gráfico 2 apresenta a distribuição por concessão dos muros ancorados. A concessão de Grande Lisboa não possui muros ancorados.

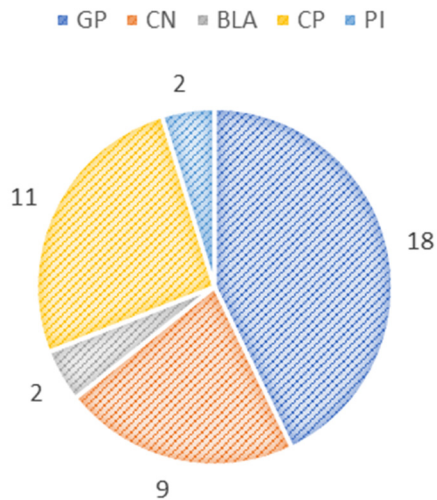


Gráfico 2 - Distribuição dos muros ancorados pelas concessões e subconcessões da rede Ascendi

#### 5.1.1. Muros ancorados sitos na concessão Grande Porto

A concessão do Grande Porto divide-se em 5 estradas - A4, A41, A4-1, A42 e VRI -, 27 sublanços e 25 nós de ligação numa extensão total de concessão de 54.64 km.

De acordo com o gráfico 3, dos 18 muros ancorados que fazem parte da concessão do Grande Porto, 12 pertencem à A41 e 6 pertencem à A4.

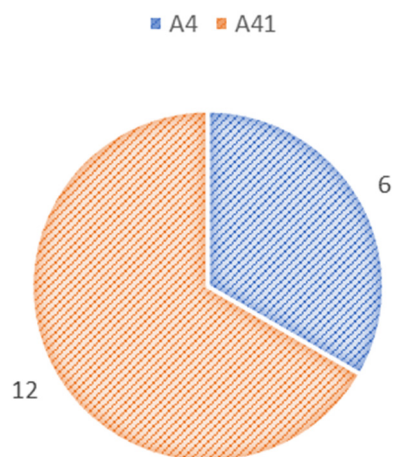


Gráfico 3 - Distribuição dos muros ancorados na concessão do Grande Porto

## 5.2. Muro ancorado – Pk 000+299

Na Ascendi, cada estrutura ancorada é monitorizada e avaliada consoante os critérios de alerta e alarme apresentados no tópico 2.7. Com base nestes, o muro da A4 ao Pk 000+299 já tinha vindo a ser acompanhado, até ao início do presente estágio, uma vez que três das seis células de carga definidas em projeto encontram-se instaladas, mas não possuem manômetro e das restantes três com manômetro instalado, uma encontra-se em nível de alarme, 45% acima da carga de serviço dimensionada.

Este muro, designado em projeto por M6, foi projetado e dimensionado pela ENGIVIA e competiu à já extinta FUNDASOL a construção das ancoragens instaladas. A figura 30 apresenta o enquadramento local do muro a estudar.



Figura 30 – Muro ancorado sito na Concessão do Grande Porto ao Pk 000+299 (Software Google Earth)

A tardoz do muro localiza-se a academia de ténis da Senhora da Hora, ver figura 31. Na visita ao local para confirmação dos elementos de projeto, constatou-se ainda que a Ascendi não tem acesso ao tardoz do muro, estando este vedado.



Figura 31 - Fotografia Aérea do muro (Ascendi)

A figura 32 apresenta uma perspetiva *in situ* do muro ancorado.



Figura 32 - a) Perspetiva lateral esquerda do muro; b) Perspetiva lateral direita do muro

### 5.2.1. Enquadramento geológico-geotécnico

O muro ancorado desenvolve-se por 73 metros, com uma altura aparente de 8 metros e um comprimento enterrado de 3.50 metros.

A zona em estudo é caracterizada por solos residuais graníticos, decompostos (W5) e por muito alterados a decompostos (W4-5), dando-se a nega no ensaio SPT a 10.50 metros de profundidade. O nível freático é intersetado aos 3 metros de profundidade.

Realizou-se uma sondagem mecânica à rotação, com colheita de amostras de rocha e ensaios SPT, no local de implantação do muro. Identificaram-se essencialmente três zonas. Até cerca dos 3 metros de profundidade o solo apresenta-se medianamente compacto, caracterizado por 20 a 30 pancadas de SPT, a partir do qual e até aos 10.50 metros o granito se apresenta muito alterado a decomposto, compacto a muito compacto, caracterizado por 40 a 60 pancadas. A partir dos 10.50 metros de profundidade, registam-se as 60 pancadas SPT.

Diferenciaram-se velocidades sísmicas inferiores a 1900 m/s até cerca dos 5 metros de profundidade, aumentado até às 3250 m/s aos 10 metros.

Em termos de hidrologia o granito do Porto encontra-se cortado por uma apertada rede de diaclases, facilitando a circulação lenta das águas de infiltração (Notícia explicativa, carta geológica 09-C).

### 5.2.2. Enquadramento da estrutura

O paramento consiste numa cortina de estacas de 0.60 m de diâmetro, espaçadas 0.75 m, unificadas por uma viga ancorada, a 4.50 metros de altura do solo, que integra 45 ancoragens, espaçadas 1.50 metros na horizontal e com uma carga final de projeto de 600 kN.

No quadro 45 encontra-se as especificações de cada célula de carga dimensionada em projeto.

Quadro 45 - Características das seis células de carga do muro 000+299

	Ancoragem	Espaçamento	Inclinação	Comprimento livre (m)	Comprimento de selagem (m)	Tensão de serviço (kN)	Nº Cordões
CC1	V_A1.6	1,5 (H)	15°	8	6	600	5
CC2	V_A1.14	1,5 (H)	15°	8	6	600	5
CC3	V_A1.20	1,5 (H)	15°	8	6	600	5
CC4	V_A1.27	1,5 (H)	15°	8	6	600	5
CC5	V_A1.34	1,5 (H)	15°	8	6	600	5
CC6	V_A1.41	1,5 (H)	15°	8	6	600	5

O perfil transversal do muro (ver figura 33) apresenta uma outra diferença face à realidade. Por comparação com a figura 31, anteriormente apresentada, é possível inferir que não existe drenagem no topo do muro ou, existindo, esta encontra-se completamente obstruída.

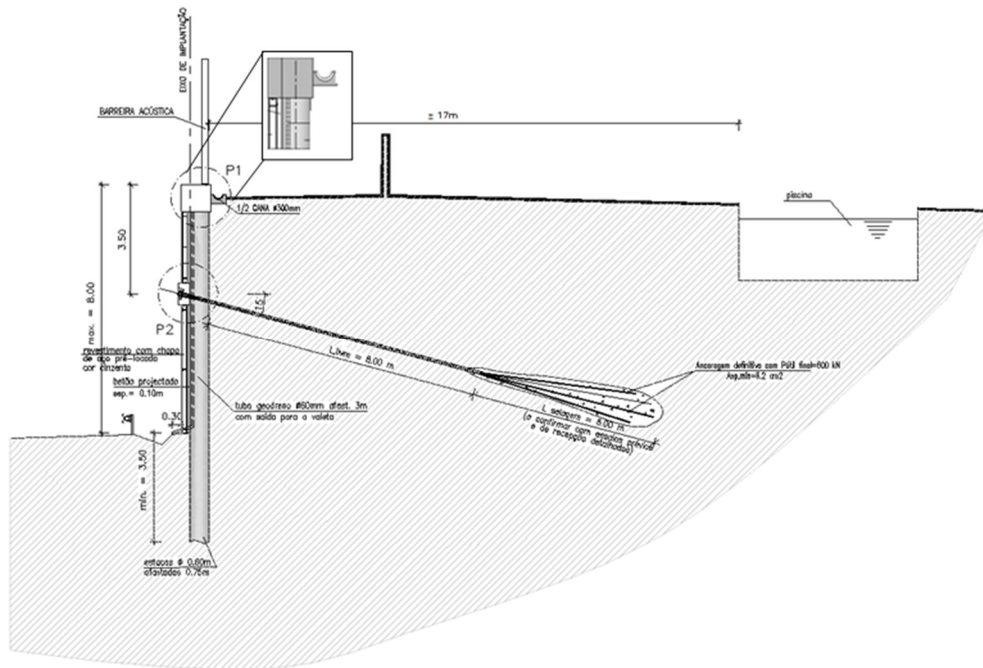


Figura 33 - Perfil transversal do muro da A4 ao Pk 000+299 (Adaptado de Ascendi)

As figuras 34 e 35 apresentam o alçado do muro em projeto. Convém referir que se cadastrou as ancoragens com os seguintes critérios:

**Localização:** Uma vez que apenas existe uma viga ancorada esta será a localização da ancoragem, adotando-se a sigla “V” (a localização numa laje dar-se-ia por um “L”). Para além disso a ancoragem encontra-se no primeiro nível, dado que só existe uma viga ancorada. Assim, a sigla para a ancoragem num primeiro nível é “A1”;

**Numeração:** O muro encontra-se no sentido crescente da estrada, logo, a ancoragem mais à direita será o início da numeração;

**Referência:** O cadastro da ancoragem é a junção dos pontos anteriores. Primeiramente a localização, seguida da sigla para ancoragem, a localização e o número da mesma, como por exemplo, V\_A1.1, V\_A1.2, até à V\_A1.45.

As células de carga são denominadas por CC.

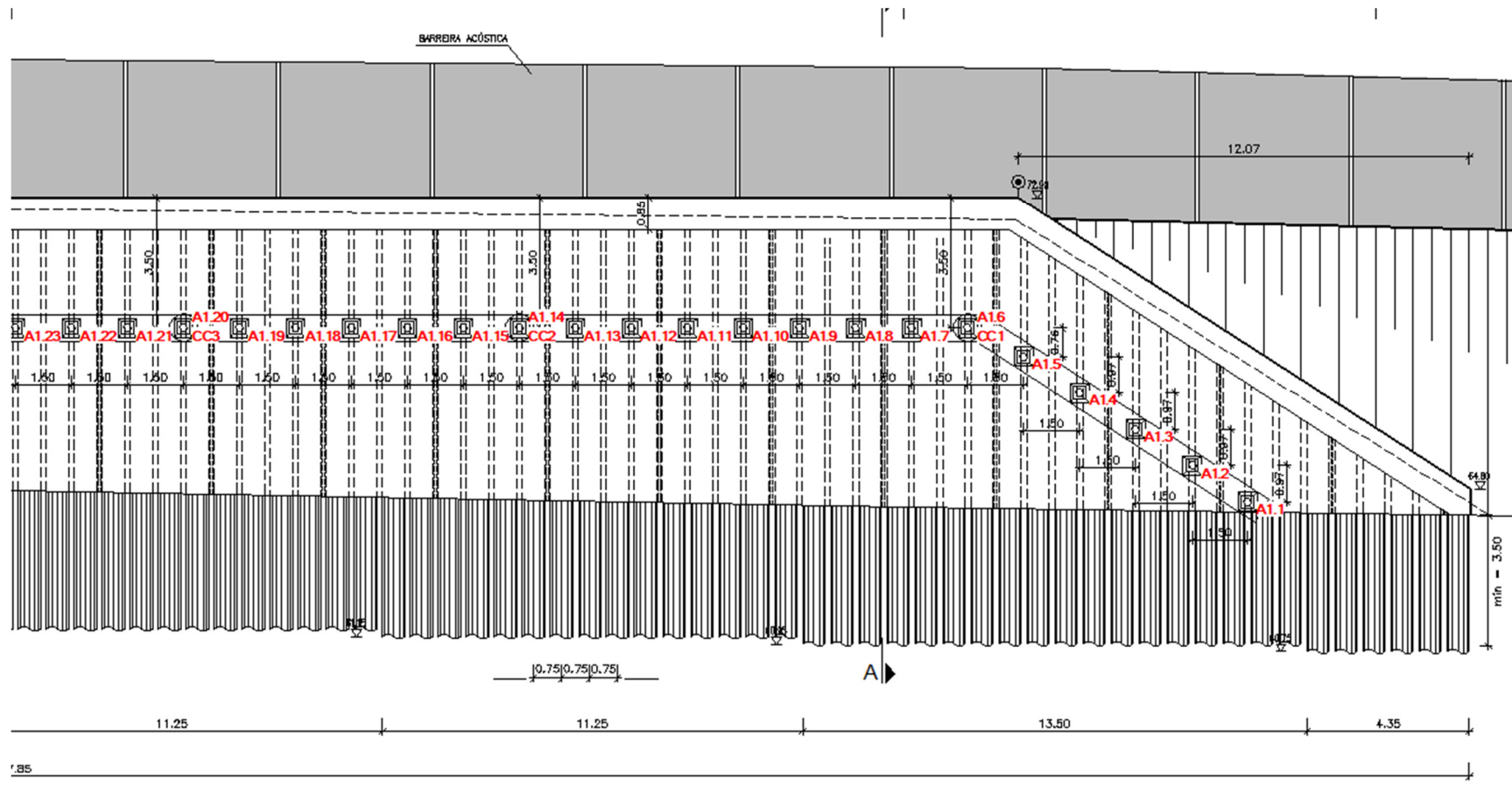


Figura 34 – Alçado em projeto do muro da A4 ao Pk 000+299 (Ascendi)



---

### 5.2.3. Histórico de inspeções

O plano de instrumentação dimensionado em fase de projeto consistia num inclinómetro no perfil de maior altura, três alvos topográficos espaçados ao longo do eixo longitudinal do muro e ainda seis células de carga em ancoragens selecionadas. O plano de monitorização era o apresentado no quadro 46, não existindo histórico deste plano.

Quadro 46 - Plano de instrumentação definido em projeto

Plano de instrumentação	
Fase construtiva	Observação semanal
Um mês após conclusão da obra	Observação quinzenal
Até entrada em serviço	Observação mensal
Primeiros 5 anos e após o primeiro inverno	Inspeção anual

A instrumentação sofreu alterações face ao projetado. O inclinómetro não é encontrado no local, estão em serviço três células de carga

Após a receção da concessão a Ascendi realizou as seguintes inspeções:

- Em 2015 a remoção das caixas de proteção das seis Células de Carga, verificando-se, por parte da JETSJ, um elevado grau de corrosão, resultando numa intervenção no que toca à limpeza e reposição do composto anticorrosivo;
- Em 2020 uma inspeção completa ao muro, isto é, a todos os seus componentes: Níveis, Drenagem Superficial, Equipamentos, Células de Carga e Alvos topográficos;
- Em 2021 uma inspeção visual a todos os componentes do muro, à exceção das Células de Carga e Alvos Topográficos.

De salientar que nestas últimas duas inspeções não foi retirada a proteção metálica, impossibilitando a inspeção total dos níveis.

Na fase de projeto foram consideradas seis células de carga, contudo na fase de exploração três das seis não possuem manómetro, pelo que é impossibilitada a leitura na ancoragem A1.20, A1.27 e A1.41 (célula de carga 3, 4 e 6 respetivamente).

O quadro 47 apresenta as 14 leituras da instrumentação instalada, para o período de 2010 a 2021, observando-se:

- A célula de carga 1 registou um mínimo de 550 kN e um máximo de 600 kN;

- A célula de carga 2 manteve a carga constante ao longo das leituras;
- A célula de carga 5 registou um mínimo de 850 kN e um máximo de 880 kN.

Quadro 47 - Valores das leituras das células de carga (Ascendi)

Data	Temp. (°C)	Carga (kN)		
		CC1	CC2	CC5
26/01/2010	---	x	x	850,0
29/09/2011	---	x	x	860,0
28/06/2012	---	x	x	860,0
04/12/2013	10,0	580,0	590,0	850,0
07/10/2014	25,0	590,0	590,0	860,0
08/06/2015	30,0	600,0	590,0	880,0
21/10/2015	17,0	580,0	590,0	860,0
25/05/2016	15,0	585,0	590,0	870,0
07/12/2016	16,0	575,0	590,0	860,0
11/05/2017	15,0	580,0	590,0	865,0
17/07/2018	23,0	590,0	590,0	870,0
02/07/2019	19,0	580,0	590,0	870,0
20/11/2020	15,0	550,0	590,0	860,0
22/07/2021	17,0	580,0	590,0	870,0

A variação de carga da ancoragem é resultado do relaxamento do terreno, numa primeira fase, e do comportamento elástico da armadura da ancoragem e do terreno, em função da temperatura ambiente. No caso de estudo esta variação não é significativa (ver gráfico 4), mas é perceptível o aumento de carga quando a temperatura ambiente atinge os 30 °C.

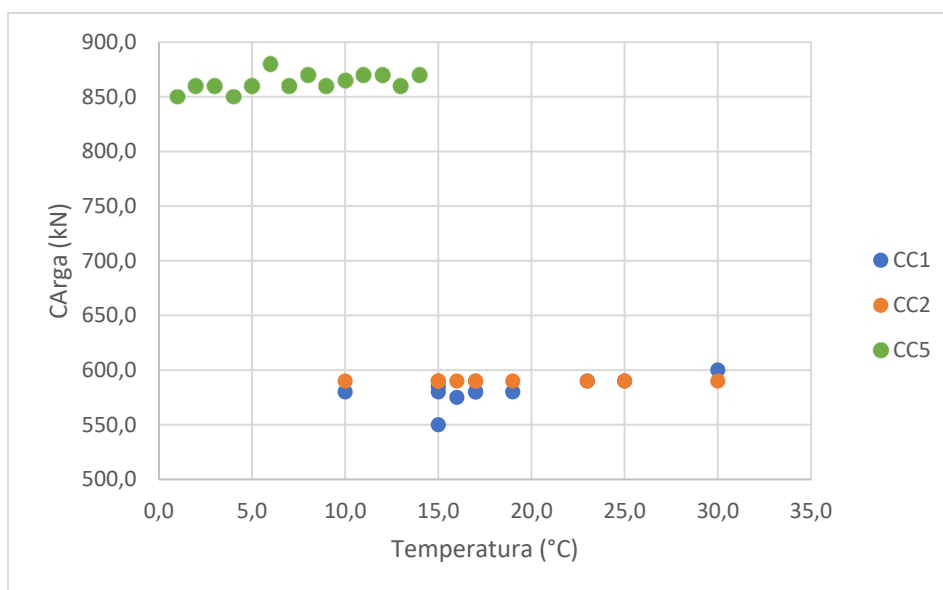


Gráfico 4 - Variação da carga consoante a temperatura para a CC1, CC2 e CC5

Quanto aos alvos topográficos, inicialmente instalaram-se 6 alvos topográficos, os quais foram complementados com seis adicionais em 2016. O quadro 48, 49 e 50 apresentam as leituras dos alvos ao longo dos últimos 6 anos.

Quadro 48 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo X

Datas	$\Delta X$ (mm)											
	Alvos Topográficos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11/05/2016	0	0	0	0	0	0						
08/11/2016	1,2	1,5	2	1,7	2,4	3,2						
24/11/2016	-0,7	-0,9	-1,7	-2	-1,8	-2,2	0	0	0	0	0	0
22/05/2017	0,7	-0,8	-1	-1,5	-2,4	-2,9	-0,9	-0,1	1,6	2,1	2,5	3,2
03/07/2018	1,1	0,2	-0,2	-0,8	-1,1	-2,2	0,7	1,6	1,8	3,1	3,3	4,4
26/06/2019	0,6	-0,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,8	1	1,2	1,8	3,2	3,3	4,9
03/11/2020	-0,1	-0,1	0,2	-0,4	0,7	-0,5	1,5	3,3	3,2	4,5	3,9	5
14/07/2021	3	1,8	0,7	0	-0,6	-2,4	0,9	2,2	2,5	4,1	3,9	5,2

Quadro 49 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo Y

Datas	$\Delta Y$ (mm)											
	Alvos Topográficos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11/05/2016	0	0	0	0	0	0						
08/11/2016	3,1	2,3	2,9	4,1	4,7	6,9						
24/11/2016	2,1	1,1	-0,1	-0,5	-0,8	-2,7	0	0	0	0	0	0
22/05/2017	3,1	1	0,2	-0,1	-1,1	-1,7	-0,8	-0,5	0,2	0,2	-0,3	-0,7
03/07/2018	3,2	1,4	0,8	1	0,7	1,1	2,4	1,6	1,2	0,4	0	-0,7
26/06/2019	3,6	1,4	0,4	0,7	0,7	1,6	3,5	1,7	0,9	0,9	0,1	-0,5
03/11/2020	3,9	2,7	1,9	2	2,2	2,4	3	3,1	2,2	1,9	0,9	0,5
14/07/2021	2,8	1,1	0,6	0,6	0,4	0,5	2,5	1,5	0,5	0,3	-0,9	-1

Quadro 50 - Valores da leitura dos alvos topográficos no eixo Z

Datas	$\Delta Z$ (mm)											
	Alvos Topográficos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11/05/2016	0	0	0	0	0	0						
08/11/2016	0,2	-0,6	-0,8	-0,6	0,5	-1,5						
24/11/2016	-0,3	-1,1	-0,7	-0,3	-0,7	-0,7	0	0	0	0	0	0
22/05/2017	0,8	-0,2	0,7	0,7	1	-0,3	0,3	0,3	1,5	1,7	1,1	1,7
03/07/2018	0,9	0,2	0,4	0,8	0,8	-0,7	0,6	0,1	1,2	1,3	1,1	1,5
26/06/2019	1,5	0,4	1,3	1,3	1,1	0,2	0,8	1,5	1,1	1,6	1,7	2,2
03/11/2020	0,5	-0,1	-0,1	0,1	0,5	-1,6	0,6	0,4	1,1	1,4	0,5	1,3
14/07/2021	1	-0,2	-0,1	0,4	0,4	-0,3	-0,1	0,2	0,5	0,5	0,4	0,9

De acordo com as leituras dos alvos topográficos, e ainda que a uma escala milimétrica, o muro tende a rodar no eixo da ordenada entre o alvo 1 e 12 e na abcissa entre o alvo 5 e 8 e 6 e 7. No entanto, não se trata de movimentos significativos, ver gráfico 5, 6 e 7.

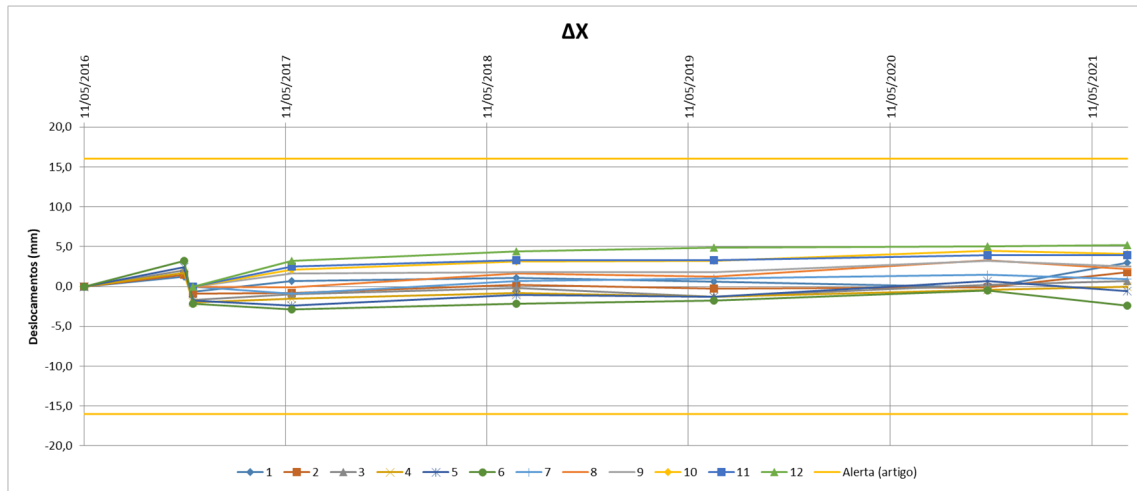


Gráfico 5 - Leitura dos alvos topográficos no eixo X

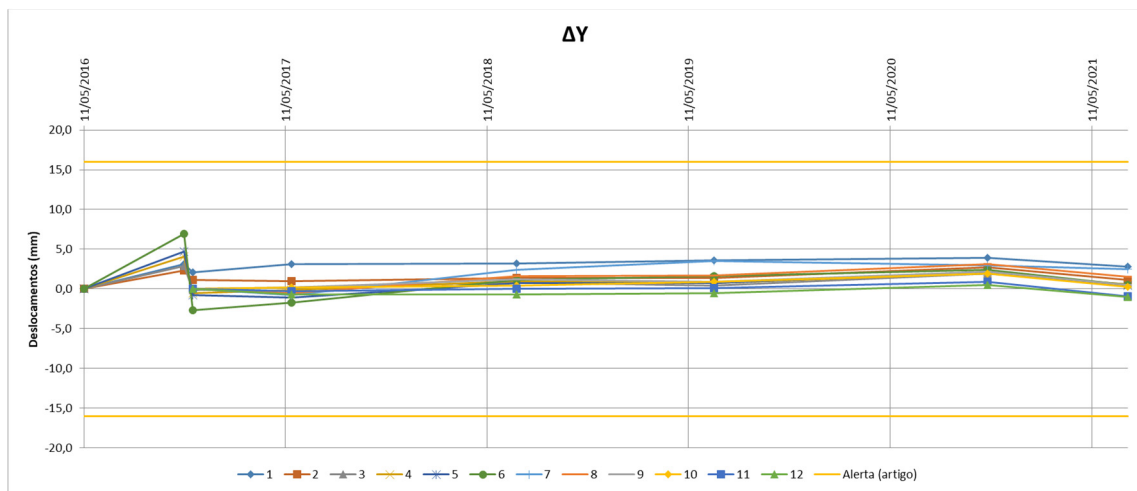


Gráfico 6 - Leitura dos alvos topográficos no eixo Y

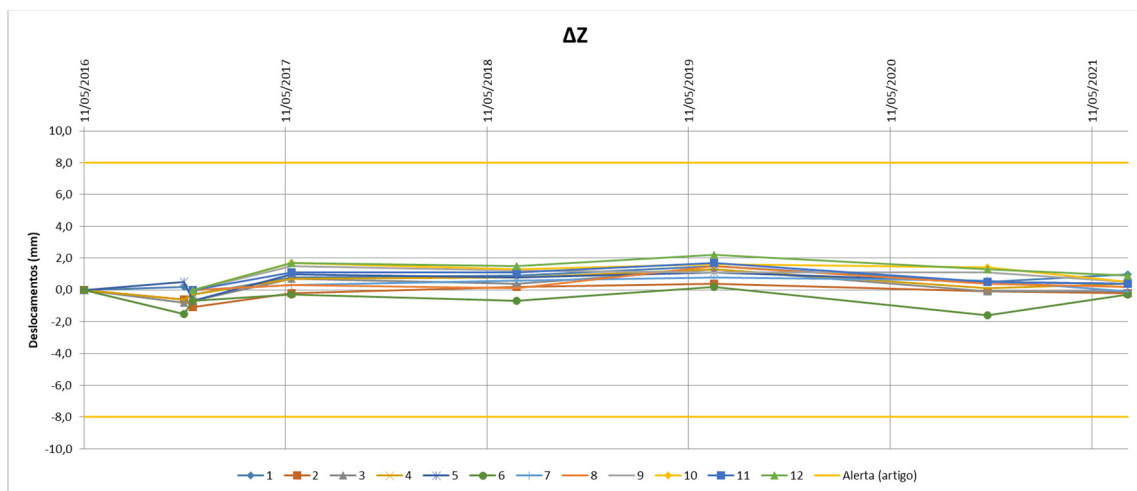


Gráfico 7 - Leitura dos alvos topográficos no eixo Z

---

### **5.3. Inspeção visual do muro**

À data do caso de estudo, a campanha de inspeção visual dos muros tem em consideração os componentes definidos pela Ascendi, sendo eles Banquetas, Níveis, Drenagem Superficial, Drenagem Profunda, Equipamentos, Células de Carga e Alvos topográficos.

A Ascendi tem vindo a trabalhar no módulo “Ancoragens”, no seu software de inspeção, pelo que o primeiro passo foi a definição dos componentes que a Ascendi reconhece numa ancoragem instrumentada, são eles Caixa metálica de proteção, Cabeça da ancoragem, Chapa de descarga, Estrutura envolvente e Célula de carga. Esta divisão permite atribuir pesos aos componentes para a adaptação do método de inspeção dos muros e taludes. A inspeção visual do muro ao Pk 000+299 da A4 permitiu a aplicação da metodologia. Neste sentido, no dia 10 de maio de 2022, foi realizada pelo ISQ, um prestador de serviços, uma inspeção às seis ancoragens instrumentadas.

Os trabalhos envolveram o corte de berma e o uso de uma plataforma elevatória (ver figura 36).



Figura 36 - Preparação da zona e equipamentos de trabalho

Após a preparação da zona de trabalho, o faseamento dos trabalhos para cada ancoragem consistiu na Desmontagem da caixa metálica de proteção, Inspeção visual, Ensaio de endoscopia, Ensaio de resistência elétrica e Reposição da caixa metálica de proteção. Esta sequência de trabalhos encontra-se refletida na figura 37.



Figura 37 - a) Trabalhos de montagem e desmontagem da caixa metálica; b) Inspeção visual; c) Endoscopia; d) Ensaio de resistência elétrica

---

Da inspeção visual das ancoragens por parte do ISQ resultou um relatório detalhado com o estado de cada ancoragem. Primeiramente, convém referir as seguintes notas introdutórias.

No processo construtivo da ancoragem é comum a selagem até ao começo do trompete. Esta selagem confere uma proteção contra a intrusão de água. Uma vez que os cordões estão individualmente embainhados, era admitido que a endoscopia só seria possível num comprimento relativamente baixo, 5 a 10 centímetros, observando-se apenas o estado do trompete e um pouco do cordão não embainhado.

Quanto ao ensaio de resistência elétrica, foi possível a sua aplicação em todas as ancoragens. A resistência elétrica de cada uma das ancoragens foi idêntica, <0,001 MΩ. Este facto era esperado uma vez que, à data de construção, não se requeria o isolamento elétrico das ancoragens.

O facto de ocorrer condutividade pressupõe contacto entre a ancoragem e o terreno, isto é, não existe rotura da interface calda-terreno. Pode ainda deduzir-se que não existe rotura dos cordões.

No referente aos manómetros em falta, existe evidência *in situ* que estes se encontraram instalados durante um certo período de tempo, contudo não existe registo da sua retirada e eventuais motivos. Durante a inspeção tentou-se instalar um manómetro, mas este não registou carga, presumivelmente por uma de duas causas:

- O circuito hidráulico está vazio.
- Não foi aplicada pressão suficiente para abrir o êmbolo.

#### *5.3.1. Ancoragem A1.6 - CC1*

Relativamente à ancoragem nº 6, com a célula de carga 1, a caixa de proteção encontra-se num estado de conservação razoável, mas com patologias no que toca ao sistema de fixação. Por consequência, não foi possível a sua total remoção, o que não permitiu a realização da endoscopia.

A cabeça da ancoragem encontra-se em bom estado de conservação, com corrosão superficial pouco significativa. O comprimento excedente dos cabos apresenta-se em bom estado de conservação. Estes dois elementos referidos encontram-se devidamente protegidos com um composto anticorrosivo.

A célula de carga registava um valor de carga residual de 578 kN.

---

### 5.3.2. Ancoragem A1.14 - CC2

A ancoragem nº 14, célula de carga 2, apresentava um estado idêntico à anterior, com a diferença que o sistema de fixação se encontrava em melhor estado de conservação, permitindo a remoção da caixa de proteção.

A endoscopia excedeu as expectativas, uma vez que foi possível introduzir a câmara cerca de 40 centímetros, permitindo observar-se:

- Deposição de resíduos;
- Face interior da bainha corrugada em bom estado de conservação, com a sua cor original e sem sinais de corrosão;
- Face interior da trompeta em bom estado, com focos muito pontuais de corrosão;
- Troços de cordão embainhados, com a exceção de pelo menos um e com corrosão aparentemente superficial.

A cabeça de ancoragem está em bom estado de conservação, bem protegida e com corrosão superficial pouco significativa.

O comprimento excedente dos cordões apresentava-se em bom estado de conservação e devidamente protegidos.

A célula de carga registava um valor de carga residual de 590 kN.

### 5.3.3. Ancoragem A1.20 - CC3

A ancoragem nº 20, célula de carga 3 sem manómetro instalado, encontrava-se num estado idêntico à ancoragem nº 6, CC1.

A endoscopia permitiu inspecionar um comprimento total de 10 centímetros, observando-se:

- Deposição de resíduos;
- Face interior da trompeta em bom estado, com focos muito pontuais de corrosão;
- Troços de cordão sem bainha de proteção, e com corrosão aparentemente superficial.

### 5.3.4. Ancoragem A1.27 - CC4

A respeito da ancoragem nº 27, célula de carga 4 sem manómetro instalado, esta encontra-se num estado de conservação razoável, com a cabeça da ancoragem em bom estado de conservação, bem protegida e com corrosão superficial pouco significativa. Quanto ao comprimento excedente dos cordões, este está em bom estado de conservação e devidamente protegidos.

---

A endoscopia, com um comprimento total de 12 centímetros, permitiu verificar:

- Deposição de resíduos, aparentemente porções de calda fraturada;
- Face interior da bainha corrugada em bom estado de conservação, com a sua cor original e sem sinais de corrosão;
- Face interior da trompete em bom estado, com focos muito pontuais de corrosão;
- Troços de cordão embainhados.

#### 5.3.5. Ancoragem A1.34 - CC5

Relativamente à ancoragem nº34, célula de carga 5, esta apresenta um estado idêntico à anterior.

A endoscopia, num comprimento total de 25 centímetros, permitiu verificar:

- Deposição de resíduos, aparentemente porções de calda fraturada;
- Face interior da bainha corrugada em bom estado de conservação, com a sua cor original e sem sinais de corrosão;
- Face interior da trompete em bom estado, com focos muito pontuais de corrosão;
- Troços de cordão embainhados.

A célula de carga registava um valor de carga residual de 873 kN.

#### 5.3.5.1. Avaliação da carga em excesso

A fórmula 7 permite calcular a capacidade resistente da armadura ( $R_{t;k}$ )

$$R_{t;k} = A_t \times f_{t;k} \quad (7)$$

Onde:

$A_t$  – Área da secção transversal da armadura de pré-esforço. Considerando os 5 cordões existentes de 0,6 polegadas, a área dos cordões perfaz 7 cm<sup>2</sup>.

$f_{t;k}$  – Valor característico da tensão de rotura à tração da armadura da ancoragem. Sendo um aço 1680/1860 adotou-se o valor de 1860 MPa.

O valor de cálculo da resistência da armadura ( $R_{t;d}$ ) é obtido pela fórmula 8:

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_R} \quad (8)$$

Onde:

$\gamma_R$  – Fator parcial associado à resistência da ancoragem. Foi admitido um valor de 1,35.

---

Encontra-se verificada a segurança ao estado limite último de tração desde que seja assegurada a seguinte condição, ver fórmula 9.

$$\frac{P_d}{R_{t;d}} \leq 1 \quad (9)$$

Onde:

$P_d$  é o valor de cálculo da força de pré-esforço aplicado. Neste caso será o valor medido (873 kN), majorado por  $\gamma_g = 1,35$ .

Seguindo os passos deste cálculo é constatado que o valor do pré-esforço medido é superior ao valor de cálculo da resistência. Assim sendo, a ancoragem encontra-se instável.

#### **5.3.6. Ancoragem A1.41 - CC6**

Por último, a ancoragem nº 41, célula de carga 6 sem manómetro instalado, encontra-se num estado de conservação razoável. A caixa de proteção encontra-se num estado de conservação razoável. A cabeça da ancoragem encontra-se em bom estado de conservação, bem protegida, com corrosão superficial pouco significativa. Do mesmo modo, o comprimento excedente de cordões encontra-se em bom estado e devidamente protegido.

A endoscopia, com um comprimento total de 12 centímetros, permitiu verificar:

- Deposição de resíduos, aparentemente porções de calda fraturada;
- Face interior da bainha corrugada em bom estado de conservação, com a sua cor original e sem sinais de corrosão;
- Face interior da trompeta em bom estado, com focos muito pontuais de corrosão;
- Troços de cordão embainhados.

#### **5.4. Estado de conservação e manutenção do muro**




A avaliação do estado de conservação e de manutenção do muro foi efetuada aplicando as metodologias descritas no tópico 4.4.1.

Em certas metodologias só foi possível a sua aplicação nas células de carga com registo de valores.




##### **5.4.1. Metodologia da Ascendi**

Os quadros 51 e 52 resumem as patologias registadas na inspeção visual. Pela interpretação da descrição das mesmas por parte do ISQ, procurou-se, numa primeira fase, aplicar a metodologia da Ascendi, aplicando os estados de conservação e manutenção com base na descrição da patologia.

Quadro 51 - Resumo das patologias registadas na inspeção visual

Ancoragem	Componente	Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Exemplo representativo
CC1	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Proteção danificada	-	Médio	Proteção danificada	
	Célula de carga	Em conformidade	-	-	-	
CC2	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Em conformidade	-	-	-	
	Célula de carga	Em conformidade	-	-	-	
CC3	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Proteção danificada	-	Médio	Proteção danificada	
	Célula de carga	Manómetro inexistente	Muito mau	-	Manómetro inexistente.	

Quadro 52 - Continuação do resumo das patologias registadas na inspeção visual

Ancoragem	Componente	Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Exemplo representativo
CC4	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Em conformidade	-	-	-	
	Célula de carga	Manómetro inexistente	Muito mau	-	Manómetro inexistente.	
CC5	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Em conformidade	-	-	-	
	Célula de carga	Excesso de carga	Muito mau	-	Excesso de carga	
CC6	Chapa de descarga	Corrosão Superficial	Bom	Médio	Corrosão superficial pouco significativa.	
	Cabeça da ancoragem	Em conformidade	-	-	-	
	Caixa de proteção	Em conformidade	-	-	-	
	Célula de carga	Manómetro inexistente	Muito mau	-	Manómetro inexistente.	

É objetivo da Ascendi, numa primeira fase, considerar as ancoragens como um componente isolado do muro. Por este motivo o método de cálculo apresentado não é aplicável. Contudo, considerou-se possível a sua adaptação para o cálculo do estado de conservação e manutenção das ancoragens. Primeiramente, definiram-se os componentes que constituem uma ancoragem e os seus respetivos pesos (ver quadro 53).

Quadro 53 - Pesos atribuídos a cada componente para o cálculo do estado de conservação

Componente	Peso
Caixa metálica de proteção	5%
Cabeça da ancoragem (Placa porta cunhas, cunhas e cordões)	25%
Chapa de descarga	15%
Estrutura envolvente	20%
Célula de carga	35%

De seguida, de acordo com o estado de conservação ao nível da patologia (ver quadro 51 e 52), calculou-se o estado de conservação de cada uma das ancoragens de acordo com a fórmula 5.

O quadro 54 apresenta o estado de conservação para cada um dos componentes e o estado de conservação para cada ancoragem.

Quadro 54 - Estado de conservação de cada componente e de cada ancoragem

Componente	Célula de carga					
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6
Caixa metálica de proteção	4	2	4	2	2	2
Cabeça da ancoragem (Placa porta cunhas, cunhas e cordões)	2	2	2	2	2	2
Chapa de descarga	2	2	2	2	2	2
Estrutura envolvente	2	2	2	2	2	2
Célula de carga	1	1	5	5	5	5
Estado de conservação da ancoragem	2 (Bom)	2 (Bom)	4 (Mau)	4 (Mau)	4 (Mau)	4 (Mau)

No tocante ao estado de manutenção de cada ancoragem, este é o máximo das patologias registadas. Aqui destaca-se a diferença entre o estado de conservação e manutenção. A CC5, por exemplo, apresenta um estado de conservação “Muito mau” por consequência do excesso de carga, porém a célula de carga em si está em funcionamento pelo que é um estado de manutenção “Bom”. No quadro 55 é apresentado o estado de manutenção de cada componente e o estado de manutenção de cada ancoragem

Quadro 55 - Estado de manutenção de cada componente e de cada ancoragem

Componente	Célula de carga					
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6
Caixa metálica de proteção	3	2	3	2	2	2
Cabeça da ancoragem (Placa porta cunhas, cunhas e cordões)	2	2	2	2	2	2
Chapa de descarga	2	2	2	2	2	2
Estrutura envolvente	2	2	2	2	2	2
Célula de carga	1	1	-	-	1	-
Estado de manutenção da ancoragem	3 (Mau)	2 (Médio)	3 (Mau)	2 (Médio)	2 (Médio)	2 (Médio)

#### 5.4.2. Metodologia de Taiwan

Para a aplicação da metodologia de Taiwan, ver quadro 56, não foi possível realizar o ensaio de carga. Optou-se por assumir as leituras das células de carga como os valores do ensaio de carga. Neste ponto, estando a ancoragem CC5 em nível de alarme, a descrição aplicável é a carga residual 20% superior à de projeto.

Quadro 56 - Estado de conservação segundo a metodologia de Taiwan

Item	Descrição aplicável	Score (%)	Ancoragem		
			CC1	CC2	CC5
Inspeção exterior	Não há anomalias observáveis ou a qualidade da água é normal.	10	100	100	100
Inspeção à cabeça da ancoragem	Ligeiramente corroída ou com infiltração de água. A cabeça da ancoragem apresenta-se enferrujada, mas a espessura da ferrugem é bastante fina, não mensurável ou inferior a 0,1 mm.	15	75	75	75
Endoscopia	O cordão apresenta-se castanho-claro, mas a superfície é lisa e brilhante ou com 10% - 50% da superfície enferrujada.	30	75	75	75
Ensaio de carga	$0.8 T_w < T_r \leq 1.2 T_w$	45	100	100	33
	$T_r > 1.2 T_w$ ou $T_r \leq 0.2 T_w$				
Total			89	89	59

Assim, a ancoragem CC1 e CC2, com uma pontuação de 89, é atribuído um estado “Normal” correspondente ao intervalo  $\beta > 80$ . A ancoragem CC5, com uma pontuação de 59 e segundo o intervalo  $55 < \beta \leq 80$ , encontra-se no estado “Razoável”. Com base nestas 3 ancoragens, pela média dos estados, a estrutura encontra-se num estado “Razoável”, com uma pontuação total de 79.

Esta metodologia mostrou-se ser a mais completa de todas as apresentadas. Contudo, não reflete a realidade portuguesa. O ensaio de carga, entenda-se, ensaio *Lift-Off* equivalente ao ensaio EVT, é amplamente discutido em Portugal, não sendo recomendado pela maioria dos profissionais. Decidiu-se assumir o valor da leitura da célula de carga como entrada no método. Sugere-se, no entanto, abrir o intervalo superior e inferior para valores de 30%, em uma concordância com o critério de alarme (ver quadro 57).

Quadro 57 - Pesos de acordo com os valores das leituras das células de carga

Item	Score (%)	Leitura das células de carga	Peso
Célula de carga	45	Destacado, armadura partida ou $T_r=0$ .	0
		$T_r > 1.3T_w$ ou $T_r \leq 0.3 T_w$	33
		$0.3 T_w < T_r \leq 0.5 T_w$	67
		$0.5 T_w < T_r \leq 0.7 T_w$	75
		$0.7 T_w < T_r \leq 1.3 T_w$	100

#### 5.4.3. Restantes metodologias

O método IQOA *Murs* caracteriza o muro ancorado como uma estrutura tipo II, de funcionamento particular, pois tem elementos enterrados/ocultos. Contudo, é possível adaptação das classes para o funcionamento clássico, uma vez que se trata de uma inspeção visual aos componentes visíveis. O quadro 58 apresenta o estado de conservação para cada ancoragem.

Quadro 58 - Estado de conservação segundo o método IQOA *Murs*

Ancoragem	Estado de conservação	Descrição
CC1	Classe 2	Estrutura em bom estado aparente sem defeitos visíveis de estabilidade.
CC2	Classe 2	
CC3	Classe 3U S	Estrutura gravemente alterada com percepção de risco para os utilizadores.
CC4	Classe 3U S	
CC5	Classe 3U S	
CC6	Classe 3U S	

Pela metodologia americana, tendo em conta a caixa de proteção da ancoragem CC1 e CC3 o estado é definido como “Medíocre”, pois existe necessidade de substituição. As restantes ancoragens, num ponto de vista de manutenção, encontram-se num estado “Suficiente”.

Em semelhança ao método de Taiwan, no método proposto pela Associação Japonesa de Ancoragens, deu-se entrada com os valores de leitura das células de carga. Assim, a CC1 e CC2 encontra-se num estado “Estável”, enquanto a CC5 se encontra num estado definido como uma possível situação de risco.

A metodologia segundo a Betar Consultores é aquela que se assemelha a uma atribuição de estados de manutenção. Assim, não é aferido um estado de acordo com a célula de carga, mas sim com a integridade dos componentes da ancoragem. A ancoragem CC1 e CC3 encontram-se num estado “Mau”, necessitando reparações num prazo de 3-5 anos. Por outro lado, as restantes ancoragens não necessitam de reparações prioritárias.

#### 5.4.4. Resumo das metodologias

O quadro 59 apresenta resumidamente os estados segundo as metodologias apresentadas.

Quadro 59 - Resumo do estado de conservação e manutenção de acordo com as metodologias aplicadas

Metodologia	Ancoragem	Estado de conservação	Estado de manutenção
Ascendi (Adaptada)	CC1	Bom	Mau
	CC2	Bom	Médio
	CC3	Mau	Mau
	CC4, CC5, CC6	Mau	Médio
Betar Consultores	CC1 e CC3	Não definido	Mau
	CC2, CC4, CC5 e CC6		Reparações não prioritárias
Americana	CC1 e CC3		Medíocre
	CC2, CC4, CC5 e CC6		Suficiente
Taiwan	CC1 e CC2	Normal	Não definido
	CC5	Razoável	
Francesa IQOA - Murs	CC1 e CC2	Classe 2	
	CC3, CC4, CC5 e CC6	Classe 3U S	
Associação Japonesa de Ancoragens	CC1 e CC2	Estável	
	CC5	Possível situação de risco	

---

### **5.5. Ações de conservação e manutenção**

Segundo a descrição do estado de manutenção definido pela Ascendi as ancoragens CC2, CC4, CC5 e CC6 terá de sofrer trabalhos de manutenção num prazo de 12 meses. As ancoragens CC1 e CC3 terão de sofrer trabalhos de manutenção num prazo de 6 meses. Estas ações podem seguir as recomendações por parte do ISQ:

- Remoção das chapas de revestimento da contenção para inspeção da secção de betão das estacas e do betão projetado de proteção do espaço entre as mesmas, a fim de verificar se existem, ou não, padrões de fissuração com evolução e eventual arrastamento de material desde o tardoz;
- Aplicação de tratamento anticorrosivo nas placas da ancoragem, com preparação prévia das superfícies por escovagem e aplicação de duas demãos de produto de pintura *epoxy*;
- Reposição da camada de material de proteção, nos cabos e no anel da ancoragem, ou seja, limpeza das cabeças e aplicação de graxa de proteção do tipo *Elesa Lube XW/1*, ou equivalente que cumpra com a EN1537;
- Selagem dos espaços entre a placa de ancoragem e a selagem efetivamente existente, a fim de estabilizar os fenómenos de corrosão, com recurso a calda de cimento, após limpeza e remoção/aspiração dos detritos;

Para além disso deve ser substituída a caixa de proteção da ancoragem CC1 e CC3.

Pela figura 40 anexo 2, a associação japonesa de ancoragens recomenda remover a corrosão leve dos cordões e da cabeça da ancoragem. Recomenda ainda a remoção e reaplicação do composto anticorrosivo por toda a cabeça da ancoragem.

A estrutura deve continuar a ser monitorizada e acompanhada, de maneira que eventuais movimentos possam ser prematuramente identificados.

### **5.6. Proposta de catálogo de patologias**

Tendo em consideração as patologias apresentadas no capítulo 4, tópico 4.1.1, é recomendada a atualização do catálogo de patologias. O quadro 60 apresenta o catálogo de patologias sugerido para abranger as principais patologias possíveis em cada componente.

Quadro 60 - Catálogo de patologias proposto

Patologia
Vidro danificado
Vidro inexistente
Vidro - Humidade
Caixa de proteção - Presença de Vegetação
Caixa de proteção - Proteção danificada
Caixa de proteção inexistente
Caixa de proteção - Corrosão
Caixa de proteção - Manómetro inexistente
Escorrência do composto anticorrosivo
Escorrência de óxido de ferro ou água
Estrutura envolvente - Depósitos
Deterioração do maciço de encabeçamento
Fissuração do maciço de encabeçamento e exposição da armadura
Deterioração do vedante da junta entre a caixa de proteção e a estrutura
Fissuração do vedante da junta entre a caixa de proteção e a estrutura
Deterioração do composto anticorrosivo
Cabeça da ancoragem - Corrosão superficial
Cabeça da ancoragem - Corrosão localizada
Cabeça da ancoragem - Corrosão avançada
Cabeça da ancoragem - Movimentos no cordão
Excesso de carga
Perda de carga
Outros

---

## **Capítulo VI**

### **Conclusões**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 6. Conclusões

- **Objetivos alcançados**

Pretendia-se com esta dissertação a compilação dos conceitos base de construção de uma ancoragem, do seu acompanhamento e das ações corretivas que permitam prolongar a sua vida útil. O ênfase deste documento incidiu no plano de observação e auscultação.

- **Definição da ancoragem**

As ancoragens são técnicas de contenção de solos, caracterizadas pela sua elevada capacidade resistente por tração e por se ajustarem à variação das condições do terreno.

É extensa a bibliografia que limita e rege as ancoragens, assim como, aquela que serviu de base para esta dissertação. Destaca-se o Eurocódigo 7 que estabelece fatores a ter em conta no dimensionamento como a estabilidade global e as condições do terreno, a norma 1537:2016 e ainda a ISSO 22477-5:2018 que normaliza os ensaios de carga antes da entrada em serviço.

A ancoragem é constituída essencialmente pela cabeça da ancoragem, armadura, comprimento livre, proteção contra a corrosão e bolbo de selagem. A cabeça da ancoragem é composta pela chapa de descarga, placa porta-cunhas e cunhas.

O seu desempenho é condicionado à *priori* pelas técnicas de construção e montagem da armadura, com a realização do furo, a injeção da calda e a aplicação do pré-esforço.

As ancoragens provisórias são de natureza temporária e as ancoragens definitivas devem garantir a estabilidade para uma determinada vida útil. Em regra, pela maioria da bibliografia, o intervalo que distingue estes dois tipos é os dois anos. Por outro lado, podem ser definidas como ancoragens ativas ou passivas. As ancoragens ativas são pré-esforçadas, ao contrário das passivas que entram em serviço por reação a movimentos da estrutura.

O bolbo de selagem, dependendo das características geológico-geotécnicas do terreno, pode ser de quatro tipos distintos. Cada tipo tem uma capacidade resistente ao arrancamento.

O estado limite último da ancoragem está associado ao colapso da estrutura e corresponde às deformações excessivas. A rotura da estrutura pode ser de diversos tipos, entre eles, rotura estrutural da armadura, da interface armadura – calda, da interface calda – terreno e ainda a rotura global pelo terreno ou a rotura externa global.

No dimensionamento de uma ancoragem é essencial considerar a fluência, isto é, o movimento lento da selagem através do solo ao longo do tempo, resultando numa diminuição da carga de blocagem.

---

A geometria da ancoragem é condicionada pela presença de estruturas vizinhas ou pela profundidade dos estratos com capacidade portante. As recomendações/requisitos comuns é a construção dos bolbos de selagem fora da cunha ativa do solo, a ancoragem deve estar a uma profundidade mínima de 3 metros a partir da fundação de edifícios vizinhos, o comprimento livre não deve ser inferior a 5 – 6 metros e o comprimento do bolbo de selagem não deve ser inferior a 3 metros, dependendo da capacidade de carga pretendida.

- **Proteção contra a corrosão**

A capacidade de carga das ancoragens é condicionada pela integridade de cada um dos seus componentes. O principal contributo para a falha do sistema é a corrosão. Esta pode ser dos seguintes tipos: generalizada, localizada, sob tensão, fadiga, bacteriana e correntes fantasma.

Para combater este efeito faz parte dos componentes da ancoragem a proteção contra a corrosão. O tipo e detalhe desta é baseada no tempo de vida e o nível de corrosividade do meio em que se encontra a ancoragem. Esta proteção inclui caixas de proteção, bainhas, encapsulamentos, compostos anticorrosivos, revestimentos epoxídicos e caldas de cimento. Existem duas classes de proteção contra a corrosão, classe I, proteção dupla e classe II, proteção simples.

O tipo de proteção deve assegurar a vida útil, permitir os movimentos do comprimento livre, ser resistente e flexível. Não deve necessitar de manutenção e substituição, à exceção do composto anticorrosivo, e não deve produzir efeitos adversos no meio envolvente ou reduzir a capacidade de carga da ancoragem.

De acordo com a norma europeia EN 1537:1999, todos os elementos de aço da ancoragem definitiva devem ser protegidos contra a corrosão. Esta proteção deve totalizar o comprimento da armadura, incluindo a cabeça de ancoragem. A proteção dos cordões no comprimento livre é conseguida através de bainhas individualizadas.

- **Plano de monitorização**

O comportamento de uma estrutura durante a fase de exploração deve ser acompanhado implementando instrumentos de monitorização, particularmente se estiver previsto um comportamento estrutural sensível a alterações de carga ou movimentos de terreno

A monitorização pode ser dividida em monitorização de curto-prazo e longo-prazo. A monitorização a curto-prazo envolver a avaliação da concordância dos materiais às condições de obra e um correto faseamento construtivo. A monitorização a longo-prazo inclui o acompanhamento dos valores definidos pelo plano de monitorização.

---

- **Ensaio de carga**

Após a construção da ancoragem é requisito de projeto a execução de ensaios de carga. Estes são de três tipos: o ensaio prévio/investigação (EP), o ensaio de adequabilidade (EA) e o ensaios de aceitação ou de receção simplificados (ERS). Estes são ensaios essenciais para a caracterização mecânica das ancoragens e para a análise do comportamento das mesmas com o terreno. Para além disso, os ensaios são executados por um de três métodos, distintos de país para país, até dentro da UE, consoante a sua legislação e requisitos de projeto.

- **Plano de observação e auscultação**

Um plano de observação e auscultação consiste no acompanhamento da ancoragem durante a sua vida útil. Este inclui a inspeção visual, ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos.

A inspeção visual avalia o estado dos componentes externos, observáveis da ancoragem e o estado da proteção contra a corrosão tal como: composto anticorrosivo (volume e condição), vedantes, tampas de proteção, caixas de proteção, maciço de encabeçamento, entre outros.

É, sobretudo, através da inspeção visual que são identificadas patologias na estrutura. A Ascendi elaborou um catálogo de patologias, para auxiliar o prestador de serviços durante as campanhas de terreno. Na bibliografia nacional e internacional são identificadas outro tipo de patologias.

O acompanhamento da carga residual é conseguido através da instalação de células de carga. Contudo, nas ancoragens onde estas não existem desconhece-se a carga residual. Para além disso, dada a proteção contra a corrosão não é possível avaliar o estado da ancoragem em todo o seu comprimento. Neste sentido, ao longo dos anos têm-se desenvolvidos ensaios não destrutivos, entre eles, endoscopia, ensaio de verificação de tração, *Half-Cell Corrosion Potential*, método de impacto, método ultrassónico.

Os ensaios destrutivos resultam na desativação da ancoragem. O ensaio prévio, carotagem do maciço e a escavação da área do bolbo de selagem são ensaios excecionais.

O acompanhamento da instrumentação terá por base uma campanha de leitura da instrumentação. A análise das leituras obtidas é balizada por critérios de alerta e alarme.

Os limites de alerta são valores ou taxas de variação que podem indicar a ocorrência de comportamentos inadequados. Os limites de alarme são valores ou taxas de variação que implicam uma ação imediata. Estes critérios não substituem os de projeto, devendo apenas ser considerados quando estes não se encontrarem definidos.

De acordo com as patologias identificadas, são atribuídos à estrutura ou à ancoragem estados de manutenção e conservação. A metodologia adotada pela Ascendi consiste na atribuição de um

---

estado a todo à estrutura geotécnica, evoluindo do nível da patologia até ao nível da estrutura. Da bibliografia estudada a Ascendi é a única entidade que distingue estado de conservação do estado de manutenção.

A metodologia de Taiwan foi a que se mostrou mais completa e que tem em consideração toda a tipologia de ensaios. A atribuição de pesos permite alguma flexibilidade na adaptação da metodologia noutras realidades geológico-geotécnicas.

As restantes metodologias, Betar Consultores, Francesa e a dos Estados Unidos da América são dependentes da experiência do inspetor, facto que introduz alguma subjetividade.

A atribuição de estados de conservação e manutenção resulta em, respetivamente, ações paliativas ou curativas, previamente definidas para uma rápida e adequada resposta, garantindo a vida útil da ancoragem e dos seus componentes. O catálogo de ações de manutenção e conservação em conjunto com o catálogo de patologias normaliza e objetiva as campanhas dos inspetores, contribuindo para a análise e gestão destes ativos.

- **Caso de estudo**

A rede de estruturas geotécnicas da Ascendi é constituída por 268 muros, dos quais 42 são muros ancorados. Na concessão Grande Porto estão em serviço 18 muros ancorados. Destes selecionou-se o muro ao Pk 000+299 sentido crescente, tendo como critério o nível de alarme, 45% acima da carga de projeto, de uma das seis células de carga. Adicionalmente este muro não possui três dos seis manómetros preconizados no Projeto de Execução, impossibilitado o acompanhamento da carga durante o período de exploração da estrutura.

A zona em estudo é caracterizada por solos residuais graníticos, decompostos (W5) e por granitos muito alterados a decompostos (W4-5) e com o nível freático aos 3 metros de profundidade.

O muro desenvolve-se ao longo de 73 metros com uma altura aparente de 8 metros. Trata-se de cortina de estacas de 0.60 metros de diâmetro, espaçadas 0.75 metros, unificadas por uma viga ancorada a 4.50 metros do solo, constituída por 45 ancoragens das quais 6 instrumentadas.

As ancoragens, espaçadas 1.5 metros na horizontal, são constituídas por 5 cordões para uma carga de projeto de 600 kN.

O caso de estudo centrou-se sobretudo na inspeção visual das seis ancoragens do muro localizado na A4, concessão Grande Porto, ao Pk 000+299, e na aplicação dos métodos de cálculo do estado de conservação e manutenção. Este último ponto é de particular interesse à Ascendi uma vez que é a ferramenta principal na tomada de decisão e priorização das intervenções às suas estruturas.

---

As seis células de carga sofreram uma intervenção em 2015, que consistiu na limpeza e reposição do composto anticorrosivo.

Da campanha anual de leitura das células de carga resultou que, das seis células de carga, três não possuem manómetro instalado, impossibilitando a sua leitura. Das restantes três células de carga, duas encontram-se estáveis e uma em nível de alarme. Esta última, ancoragem CC5, regista a carga residual 45% superior à carga de blocagem.

A partir de uma análise de gabinete conclui-se que a temperatura ambiente não é um efeito desestabilizador. De igual modo, os alvos topográficos não registam movimentos significativos que evidenciem uma rotura da ancoragem CC5. Por sua vez, na envolvente do muro não existe estruturas ou sobrecargas relevantes. Por este motivo propôs-se uma inspeção visual a todas as ancoragens com o objetivo de determinar as possíveis causas para o excesso de carga, para além de garantir a boa conservação das mesmas e validar o estado das ancoragens que não possuem manómetro instalado.

Inicialmente, estudou-se a possibilidade de executar os ensaios não destrutivos preconizados no Estado de Arte, não tendo sido possível a realização do ensaio de impacto e o ensaio ultrassónico por falta de experiência das entidades executantes na interpretação dos resultados. O ensaio EVT foi desaconselhado devido ao risco de rotura da ancoragem. Dos métodos estudados apenas foi possível aplicar o ensaio de resistividade elétrica e a endoscopia.

A endoscopia superou as expectativas, permitindo inspecionar o trompete e parte dos cordões não embainhados. Em todas as ancoragens, os cordões apresentavam-se em bom estado de conservação, não tendo sido evidenciado qualquer sinal de rotura.

O ensaio de resistividade elétrica, tal como esperado, confirmou que a ancoragem não se encontra isolada do terreno, facto que permitiu deduzir que não existe rotura, quer dos cordões, quer da interface calda-terreno.

A inspeção visual confirmou evidências *in situ* que os três manómetros em falta já se encontraram instalados, não havendo registo da sua retirada e eventuais motivos. Fez-se a tentativa de instalar um manómetro, no entanto este não registou carga.

O registo fotográfico permitiu a elaboração de um relatório pormenorizado de todas as patologias identificadas. De modo geral, as ancoragens encontram-se em bom estado de conservação, salientando-se a cabeça da ancoragem e a chapa de descarga, bem protegida, mas com corrosão superficial pouco significativa. O comprimento de cordões excedente encontra-se bem protegido e em bom estado. A única situação a assinalar é a caixa de proteção da ancoragem CC1 e CC3 que necessita de substituição.

---

Nas ancoragens CC2, CC3, CC4, CC5 e CC6 verifica-se que a selagem não atingiu o trompete, deixando um espaço vazio que promove a corrosão dos elementos metálicos.

Dos diferentes métodos de cálculo do estado de conservação e manutenção destaca-se a adaptação do método da Ascendi e da metodologia de Taiwan. Ambas são aplicáveis ao contexto das ancoragens e às patologias identificadas. A metodologia da Betar consultores, ainda que a mais subjetiva do grupo, também se mostrou em sintonia com a atual classificação da Ascendi para os estados de manutenção.

Sinteticamente, todas as metodologias alertam para o estado de conservação da CC3, CC4, CC5 e CC6 como se previa. Por outro lado, no tocante ao estado de manutenção a metodologia americana e a Ascendi priorizam as ancoragens CC1 e CC3 em relação às restantes.

Como ações de conservação e manutenção é recomendado o tratamento da corrosão na cabeça da ancoragem e a reposição do composto anticorrosivo.

O catálogo de patologias proposto tem como objetivo orientar o inspetor e melhorar a recolha de informação em campo, tal como recomendado no Estado de Arte.

Na presente dissertação, as patologias identificadas e os métodos aplicados não justificam o excesso de carga da ancoragem CC5, necessitando esta de um continuo acompanhamento.

- **Desenvolvimentos futuros**

Como desenvolvimento futuro propõe-se o aprofundamento da metodologia de Taiwan, de maneira a abranger as patologias mais frequentes no contexto Ascendi, tal como apresentado no catálogo de patologias proposto.

- **Considerações finais**

O caso de estudo foi limitado pelo comprimento dos cordões, não permitindo a realização do ensaio EVT que em muito teria valorizado o presente trabalho.

Considera-se que esta dissertação contribui para um maior conhecimento de todas as normas e regulamentos envolvidos na construção de uma ancoragem, de toda a legislação de apoio, do contraste entre países, inclusive dentro da União Europeia, e dos métodos aplicados internacionalmente.

Resultou desta dissertação um conjunto de metodologias aplicáveis ao contexto Ascendi. São ferramentas que permitem melhorar a gestão de ativos, nomeadamente das ancoragens, no planeamento de intervenções e na definição de prioridades.

---

A atribuição de estados (EM e EC) dá um contributo importante no aumento da resiliência das estruturas geotécnicas aos *Natural Hazards*, na otimização dos custos e na melhoria da operacionalidade da via, pela identificação atempadas das ações de manutenção e conservação e implementação das respetivas intervenções paliativas ou curativas.

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo VII**

### **Referências bibliográficas**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 7. Referências bibliográficas

- Amado, J., Monteiro, B., & Freire, L. (2014). Fundamentos para o desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de contenção da E.P - Estradas de Portugal, S.A.
- Anghinoni, W. (2018). Ancoragem em estruturas de contenção aplicada às obras rodoviárias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Tese de Mestrado).
- Ascendi. (2020). Relatório de inspeção - Inspeção completa. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2021). Relatório de inspeção - Inspeção completa parcial. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2022). Manual de Observação e Auscultação de Infraestruturas Geotécnicas. (Relatório Inédito).
- Bejinha, M. A. (2009). Estruturas de contenção ancoradas sujeitas a acção sísmica. Análise do comportamento. Universidade Técnica de Lisboa (Tese de Mestrado).
- Beleza, J. (2010). Corrosão dos Materiais de Terras de Protecção. Universidade do Porto (Tese de Mestrado).
- British Standards Institution. (1997). Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.
- British Standards Institution. (1999). Execution of special geotechnical work - Ground anchors.
- Bryson, L., & Giraldo, J. (2019). Analysis of a Case Study Presenting Ground Anchor Load Transfer Response in a Shale Stratum. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Carvalho, M. (2009). Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios e análise comportamental. Universidade do Porto (Tese de Doutoramento).
- Cerema. (2018). IQOA Murs - La quantification des désordres. Cerema.
- Cheng, M.-Y., Cao, M.-T., & Tsai, P.-K. (2021). Predicting load on ground anchor using a metaheuristic optimized least squares support vector regression model: A Taiwan case study. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(1), 268-282.
- Choi, S. W., Lee, J., Kim, J. M., & Park, H. S. (2013). Design and Application of a Field Sensing System for Ground Anchors in Slopes. *Sensors*, 13(3), 3739-3752.
- Choi, T., Yun, J., Kim, Y., You, S., & Lee, K. (2021). Stability Evaluation of Anchors Using Lift-off Field Test. *Journal of the Society of Disaster Information*, 17(1), 128-142.
- Correia, M., Salta, M., & Baptista, A. (2015). Corrosão sob tensão em ancoragens. *Corrosão e proteção de materiais*, 33(1-2), 5-11.
- Dias da Costa, J. (2014). A utilização de ancoragens em centrais hidroelétricas. Casos de obra. Universidade do Porto (Tese de Mestrado).
- Ebeling, R., Strom, R., Hite Jr., J., Haskins, R., & Evans, J. (2013). Assessing Corrosion Damage and Corrosion Progression in Multistrand Anchor Systems in Use at Corps Projects.
- Ferreira, A., Neves, A., & Sanches, S. (2015a). Inspeção visual de muros e taludes (p. 12).
- Ferreira, A., Neves, A., & Sanches, S. (2015b). Sustims – muros & taludes. In: 9º Congresso Rodoviário Português, pp. 1–10.
- Fishman, K., Withiam, J., & Jackson, B. (2005). A Recommended Practice for Condition Assessment of Ground Anchors and Soil Nails. EO Construction Quality Assurance/Quality Control Technical Conference.
- Forsthoff, B. (2019). Verification of Tabulated Design Grout-Ground Bond Strength. 70th Highway Geology Symposium.
- Fujiwara, Y., & Sakai, T. (2016). A study of a lift-off test method for ground anchor.
- Fujiwara, Y., & Sakai, T. (2016). A study of a monitoring method for residual tensile load of ground anchor.
- Gregorio, M., RaffaelePapa, Urciuoli, G., Picarelli, L., Zeni, L., & Minardo, A. (2016). Performance of Ground Anchors Built in a Flysch Deposit. *Procedia Earth and Planetary Science*, 16, 71-80.

---

Guerra, N., Fernandes, M., Cardoso, A., & Correia, A. (2003). Dimensionamento expedito dos perfis verticais de estruturas de contenção tipo Belim definitivas.

H.-S, Y., C.-S, W., C.-Y, W., S.-M, L., T.-Y, H., C.-A, H., & L.-S, T. (2013). Inspection and Capacity Assessment of Anchored Slopes.

Haskins, R., Evans, J., & Ebeling, R. (2014). Corrosion Induced Loss of Capacity and Development of a Guided Wave Condition Assessment Method for Multistrand Anchor Systems Used in Corps Projects.

Heslin, G., Bruce, D., Littlejohn, G., & Westover, T. (2010). Performance of Aging Post-Tensioned Rock Anchors in Dams.

Instituto de Soldadura e Qualidade. (2022). Relatório de inspeção. (Relatório Inédito).

Instituto Português da Qualidade. (2016). Norma 1537:2016 Execução de obras geotécnicas especiais. Ancoragens no terreno. Versão em português.

International Organization for Standardization. (2018). Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors.

Ivanovic, A., Neilson, R., & Monese, A. (2017). Optimisation of ground anchor head for non-destructive testing. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering and Computational Mechanics, 170, pp. 118-131.

Japan Anchor Association. (2015). Inspection and Maintenance Manual for Ground Anchors.

Jeng, C.-J., & Chen, Y.-C. (2013). Investigating the Performance of Ground Anchor Through The Failure Slope Disaster in Taiwan. 7th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering.

Jinfeng, W., Taoxiao, C., Yingchun, T., Zhengkai, H., Xingang, Y., & Liangquan, L. (2020). Comparison between Chinese and British Standards for Strand Anchor Structure Design. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Ladiges, S., Wark, R., & Rodd, R. (2016). Maintenance and Testing of Post-Tensioned Anchors for Dams and Appurtenant Structures.

Liao, H.-J. (2018). Ground anchors corrosion - The beginning of the end. MATEC Web of Conferences.

Liao, H.-J., Cheng, S.-H., Chen, H., & Chen, C.-C. (2017). Simple method to measure the long-term load change of ground anchors. Geotechnical Testing Journal, 40(2), 345-350.

Look, B. (2015). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (2° ed.). CRC Press.

Manuel, F. M. (1990). Estruturas de suporte de terras. Sebenta.

Martins, L. (2014). Manutenção das infraestruturas fixas da Metro do Porto na vertente da construção civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto (Tese de Mestrado).

Porto, T. (2015). Ancoragens em solos - Comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle. Universidade Federal de Ouro Preto (Tese de Doutorado).

Prado, N. (2008). Projeto da estrutura de suporte de uma escavação para um grande edifício no Porto. Universidade do Porto (Tese de Mestrado).

Ribeiro, L. D. (2012). Ancoragens em estruturas portuárias. Análise de um caso de obra. Universidade Nova de Lisboa (Tese de Mestrado).

Rizzo, P., Spada, A., Degala, S., & Giambanco, G. (2010). Acoustic emission monitoring of chemically bonded anchors. Journal of Nondestructive Evaluation, 29, 49-61.

Rocha, S. (2014). Instrumentação e Monitorização de Estruturas Geotécnicas na Rede Ferroviária Nacional-Estudo de caso do talude de aterro entre os Km's 236+450 e 236+720 da Linha do Sul. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (Tese de Mestrado).

Santa, V. B. (2010). Controlo de Qualidade de Ancoragens Passivas e Activas. Universidade Técnica de Lisboa (Tese de mestrado).

Sousa, A., Costa, Y., Florêncio, L., & Costa, C. (2021). Load transfer on instrumented prestressed ground anchors in sandy soil. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 14(6).

---

Sousa, J. (2020). Estudo e definição de critérios gerais de alerta e de alarme para muros de suporte e taludes rodoviários na sua fase de exploração. Casos de estudo. Instituto Superior de Engenharia do Porto (Tese de Mestrado).

Strom, R., & Ebeling, R. (2002). Methods Used in Tieback Wall Design and Construction to Prevent Local Anchor Failure, Progressive Anchorage Failure, and Ground Mass Stability Failure.

Tamrakar, S., Asaue, H., Shiotani, T., Chang, K., & Fujiwara, Y. (2018). In situ ultrasonic method for estimating residual tension of wedge fix type.

Torres, J. (2010). Métodos de observação durante a execução de obras subterrâneas. Instituto Superior de Engenharia do Porto (Tese de Mestrado).

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration . (1996). Manual for design & construction monitoring of soil nail walls.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (1982). Permanent Ground Anchors.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (1998). Design Manual for Permanent Ground Anchor Walls.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (1999). Ground Anchors and Anchored Systems.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (2003). Performance of permanent ground anchors for landslide stabilization.

Wang, J., Liang, Q., & Duan, J. (2020). The Creep Model of the Anchorage Structure and the Time-Dependent Reliability Analysis.

Wightman, A. (2017). Anchor load test results in Wellington soil and rock. 20th NZGS Geotechnical Symposium.

Zima, B., & Rucka, M. (2015). Wave propagation in damage assessment of ground anchors. 11th International Conference on Damage Assessment of Structures.

---

(página propositadamente em branco)

---

## Capítulo VIII

### Anexos

---

---

(página propositadamente em branco)

## Anexo 1 – Itens a inspecionar para cada tipo de inspeção segundo a Japan Anchor Association

Quadro 61 - Inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item		Conteúdo	Procedimento de inspeção	Necessidade	Notas	
Estado da cabeça da ancoragem	Maciço de encabeçamento	Movimento	Inspeção visual, registros fotográficos e registros de manutenção	⊕		
		Danificada		⊗		
		Deterioração, fissuração	Inspeção visual, registros fotográficos, medição da abertura da fissura	⊕		
		Depósitos de cal	Inspeção visual, registros fotográficos	⊕		Confirmação da presença de depósitos de cal entre o maciço e a estrutura
		Presença de água		⊕		Confirmação da presença de água no espaçamento entre o maciço e a estrutura
		Evidência de reparações anteriores	Inspeção visual e registros de manutenção	⊕		
	Caixa de proteção	Dano ou movimento	Inspeção visual, registros fotográficos	⊗		
		Deterioração dos materiais	Inspeção visual, registros fotográficos, teste do martelo	⊕		
		Método e condição da fixação	Inspeção visual, registros fotográficos	⊕	Estrutura bem fixa à chapa de descarga, existência de parafusos	
		Presença de água		⊕		
		Evidência de reparações anteriores	Inspeção visual, registros fotográficos, registros de manutenção	⊕		
	Composto anticorrosivo	Infiltração	Inspeção visual, registros fotográficos	⊗	Presença de terra ao redor da caixa de proteção	
	Chapa de descarga	Destacamento	Inspeção visual, registros fotográficos, teste do martelo	⊕	Parcial ou inteira	
		Presença de água	Inspeção visual, registros fotográficos	⊕	Confirmação da infiltração na abertura entre o maciço de encabeçamento e a estrutura	
	Notas:					
	⊗ Itens cruciais que são requeridos para inspeções futuras e investigações de integridade					
⊕ Itens de interesse, mas nem sempre possível de confirmar se o acesso é difícil.						

Quadro 62 - Continuação inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item	Conteúdo	Procedimento de inspeção	Necessidade	Notas	
Especificações das ancoragens, estruturas ancoradas e taludes ancorados	Forma e definição dos taludes	Inclinação, direção, perfil, forma e altura	Levantamento, medição por inclinómetro, levantamento a pé, esboço	⊗	No caso de falta de documentos de projeto ou incoerência com o projeto
	Forma e definição das estruturas	Tipo, altura, perfil e forma	Levantamento, levantamento a pé e esboço	⊗	
	Forma e definição da estrutura ancorada	Tipos e dimensões da ancoragem	Inspeção visual, registos fotográficos, esboço	⊗	
	Disposição das ancoragens	Intervalo, número e inclinação	Levantamento, medição por inclinómetro, levantamento a pé, esboço	⊗	
	Proteção da cabeça da ancoragem	Tipo, estrutura e dimensões	Inspeção visual, registos fotográficos, medição e esboços	⊗	
	Método de ancoragem	Tipo de ancoragem	Inspeção visual, registos fotográficos		
Condições de ancoragem	Movimento da ancoragem	Confirmação do movimento da ancoragem	Inspeção visual, registos fotográficos, medição do movimento	⊗	
Notas: ⊗ Itens cruciais que são requeridos para inspeções futuras e investigações de integridade ⊕ Itens de interesse, mas nem sempre possível de confirmar se o acesso é difícil.					

Quadro 63 - Continuação inspeção inicial (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item		Conteúdo	Procedimento de inspeção	Necessidade	Notas
Chapa de descarga, estrutura ancorada	Movimento ou subsidência	Abertura ou deslocamento de juntas	Inspeção visual, registros fotográficos, levantamento topográfico, esboço	⊕	
	Deterioração do betão		Inspeção visual, registros fotográficos	⊕	
	Depósitos de cal			⊕	
	Dano		Inspeção visual, registros fotográficos, registros de manutenção	⊗	
	Fissuras, fendas		Inspeção visual, registros fotográficos, medição da abertura da fissura	⊕	
	Destacamento		Inspeção visual, registros fotográficos, registros de manutenção	⊕	
	Evidência de reparações anteriores			⊕	
Outros	Água subterrânea		Quantidade e local	Inspeção visual, registros fotográficos, quantidade de água, esboço	⊕
	Estado da envolvente	Possibilidade de corrente parasita	Levantamento de envolvente	⊕	
	Deformação do talude	Extensão da deformação, subsidência e abertura de crista ou talude	Inspeção visual, registros fotográficos, levantamento topográfico, esboço, medição por inclinómetro ou extensómetro e medição da abertura das fissuras	⊗	
	Deformação de estruturas na envolvente	Subsidência e deformação		⊗	
Notas: ⊗ Itens cruciais que são requeridos para inspeções futuras e investigações de integridade ⊕ Itens de interesse, mas nem sempre possível de confirmar se o acesso é difícil.					

Quadro 64 - Inspeção diária (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item		Conteúdo	Necessidade	Notas
Estado da ancoragem	Movimento da ancoragem	Confirmação do movimento da ancoragem	⊗	Confirmação por inspeção visual
	Carga de tração da ancoragem		Δ	
Estado da cabeça da ancoragem	Estado do maciço de encabeçamento	Verificar dano	⊗	
	Caixa de proteção		⊗	
Estrutura de suporte	Dano		⊗	
Outros	Deformação do talude e da área envolvente	Extensão da deformação ou da subsidência	Δ	
	Deformação das estruturas na envolvente	Subsidência, deformação	Δ	
Notas: ⊗ Itens considerados essenciais para avaliar a integridade Δ Inspeção é possível se estiver instalado equipamento de monitorização				

Quadro 65 - Inspeção periódica (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item		Conteúdo	Procedimento de inspeção	Necessidade	Notas
Estado da ancoragem	Movimento da ancoragem	Confirmação do movimento da ancoragem	Inspeção visual, registos fotográficos	⊗	
	Carga de tração		Dados da célula de carga	Δ	Se existir células de carga instaladas
Chapa de descarga, estrutura ancorada	Movimento ou subsidência	Abertura ou deslocamento de juntas	Inspeção visual, registos fotográficos, levantamento topográfico, esboço	⊕	
	Deterioração do betão		Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	
	Depósitos de cal		Inspeção visual, registos fotográficos	⊕	
	Dano, Fissuração		Inspeção visual, registos fotográficos, registos de manutenção	⊗	
	Fissuras, fendas		Inspeção visual, registos fotográficos, medição da abertura da fissura	Δ	
	Movimento		Inspeção visual, registos fotográficos, medição do movimento	Δ	
Outros	Água subterrânea		Caudal e local	Inspeção visual, registos fotográficos, quantidade de água, esboço	Δ
	Deformação do talude	Extensão da deformação, subsidência e abertura de crista ou talude	Inspeção visual, registos fotográficos, levantamento topográfico, esboço, medição por inclinómetro ou extensómetro e medição da abertura das fissuras	Δ	
	Deformação de estruturas na envolvente	Subsidência e deformação		Δ	
<p>Notas:</p> <p>⊗ Inspeção essencial</p> <p>⊕ Inspeccionar o máximo que possível</p> <p>Δ Inspeccionar se possível</p>					

Quadro 66 - Continuação inspeção periódica (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item	Conteúdo	Procedimento de inspeção	Necessidade	Notas	
Estado da cabeça da ancoragem	Maciço de encabeçamento	Movimento	Inspeção visual, registos fotográficos, teste do martelo	⊕	Confirmação do movimento
		Dano, Fissuração	Inspeção visual, registos fotográficos	⊗	
		Deterioração, fissuração	Inspeção visual, registos fotográficos, medição da abertura das fissuras	Δ	
		Depósitos de cal	Inspeção visual, registos fotográficos	⊕	Confirmação dos depósitos de cal entre o maciço de encabeçamento e a estrutura
		Presença de água	Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	Confirmação da infiltração na abertura entre o maciço de encabeçamento e a estrutura
	Caixa de proteção	Dano, movimento, não existente	Inspeção visual, registos fotográficos	⊗	
		Deterioração dos materiais	Inspeção visual, registos fotográficos, teste do martelo	Δ	
		Método e condição da fixação	Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	Estrutura bem fixa à chapa de descarga, existência de parafusos
		Deterioração dos vedantes	Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	
		Presença de água	Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	
	Composto anticorrosivo	Infiltração do composto anticorrosivo	Inspeção visual, registos fotográficos	⊕	
	Chapa de descarga	Movimento	Inspeção visual, registos fotográficos, teste de martelo	⊕	Extensão – parcial ou inteira
		Presença de água	Inspeção visual, registos fotográficos	Δ	Confirmação da infiltração na abertura entre o maciço de encabeçamento e a estrutura
	Notas: ⊗ Inspeção essencial ⊕ Inspeccionar o máximo que possível Δ Inspeccionar se possível				

Quadro 67 - Inspeção de emergência (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

Item	Conteúdo	Necessidade	Notas	
Estruturas e taludes	Colapso	Confirmação do colapso e extensão	⊗	
	Deformação	Confirmação da deformação, fendas, irregularidades e escala da deformação	⊗	
	Estruturas na envolvente	Deformação, subsidência, fissuras/fendas	⊗	
	Água subterrânea	Confirmação da presença de água subterrânea, localização, quantidade	⊗	
Estado da ancoragem	Movimento	Confirmação do movimento, número, localização	⊗	
	Carga de tração residual		Δ	
Estado da cabeça da ancoragem	Macijo de encabeçamento	Movimento	⊗	Confirmação da água através de inspeção visual
	Caixa de proteção	Confirmar que se encontra na posição e se existe dano ou deformação	⊗	
	Placa de apoio	Presença de água subterrânea	⊗	Confirmação da infiltração na abertura entre o macijo de encabeçamento e a estrutura
Chapa de descarga, estrutura ancorada	Transformação, subsidência	Abertura ou deslocamento de juntas	⊗	
	Dano, falha	Extensão do dano	⊗	
	Fissura, fenda	Localização, tamanho	⊗	
⊗ Itens essenciais Δ Se for instalada uma célula de carga				

## Anexo 2 – Fluxogramas de apoio para a tomada de decisão

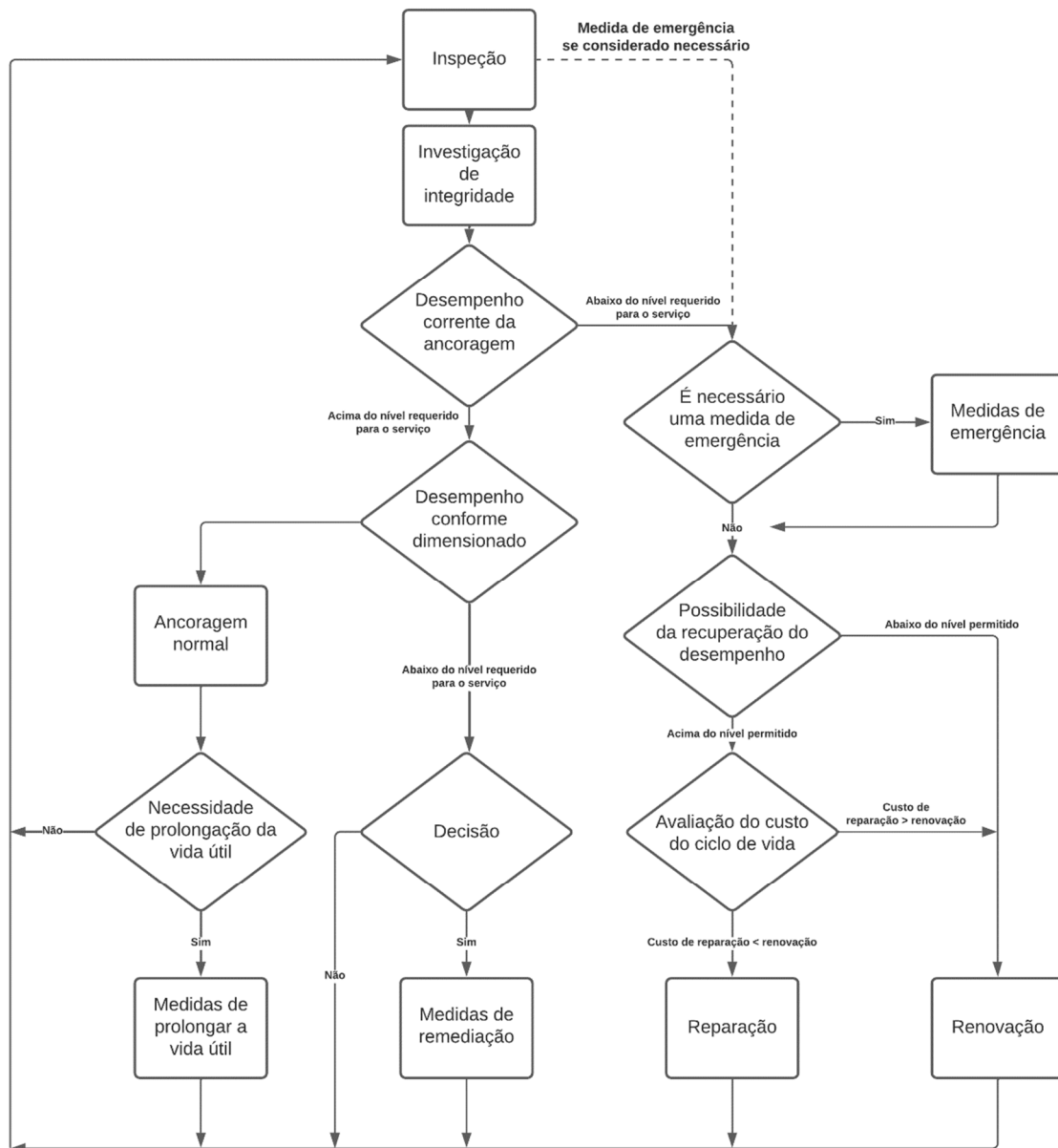


Figura 38 - Método de seleção das medidas remediativas (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

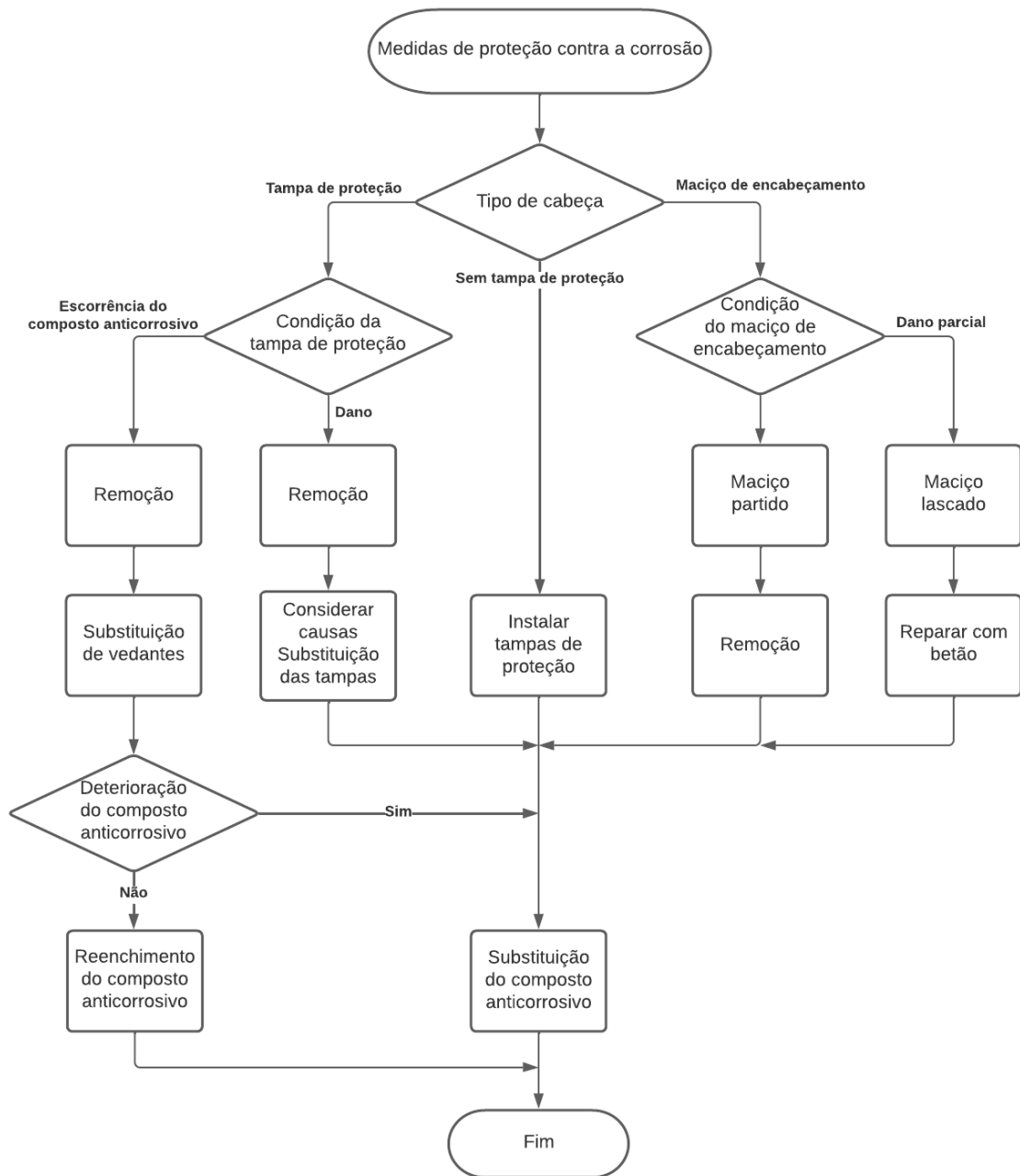


Figura 39 - Medidas de proteção contra a corrosão (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)

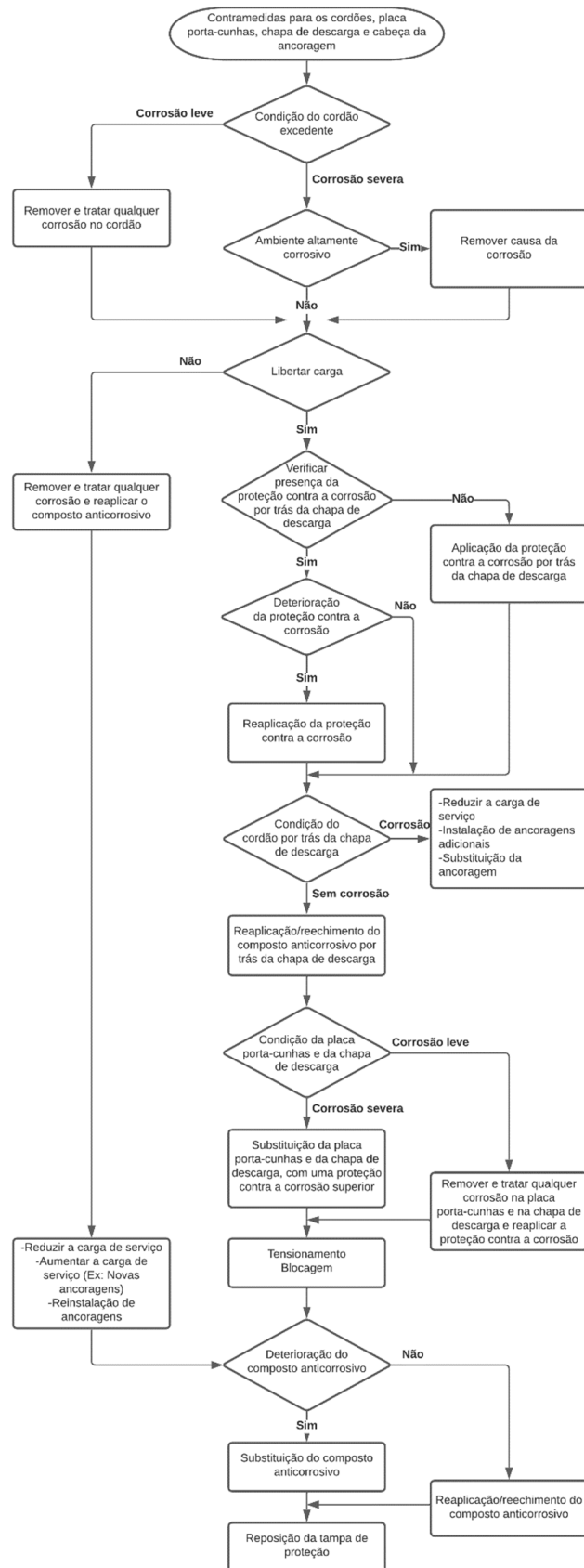


Figura 40 - Contramedidas para a armadura, placa porta-cunhas, chapa de descarga e cabeça da ancoragem (Adaptado de Japan Anchor Association, 2015)