

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

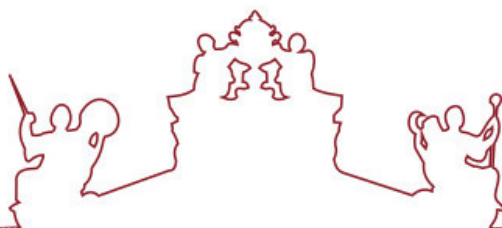
Relatório de Estágio

**Controlo de qualidade nos trabalhos de estabilização de
maciços rochosos na mina de Neves-Corvo.**

João Daniel Chaves Batista

Orientador(es) | Ruben Sílvio Martins
António Bastos de Pinho
João Rui Sousinha Gabriel

Évora 2025



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

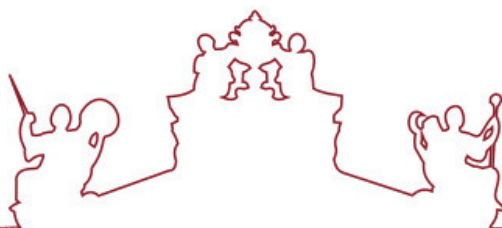
Relatório de Estágio

**Controlo de qualidade nos trabalhos de estabilização de
maciços rochosos na mina de Neves-Corvo.**

João Daniel Chaves Batista

Orientador(es) | Ruben Sílvio Martins
António Bastos de Pinho
João Rui Sousinha Gabriel

Évora 2025



O relatório de estágio foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Isabel Maria Ratola Duarte (Universidade de Évora)

Vogais | Paula Alexandra Faria (Universidade de Évora) (Arguente)
Ruben Sílvio Martins (Universidade de Évora) (Orientador)

AGRADECIMENTO

Desde o meu primeiro dia de trabalho, em 2006, descobri uma verdadeira paixão pela minha profissão, em especial pelo estudo dos materiais geológicos e pelo entendimento do seu comportamento, quer enquanto matérias-primas para a construção, quer quando neles são projetadas grandes estruturas de engenharia.

Foi esta paixão que impulsionou a realização deste trabalho, pois quando fazemos o que gostamos, surgem naturalmente o interesse, a dedicação e a disciplina indispensáveis para alcançar os objetivos a que nos propomos.

Quero, por isso, expressar o meu sincero agradecimento a todas as pessoas e entidades que, de forma direta ou indireta, tornaram possível a concretização deste relatório:

Em primeiro lugar, à minha família, em especial à minha esposa, Sílvia, pelo apoio incondicional e compreensão, sobretudo nos momentos em que foi necessário abdicar de tempo precioso em família, ainda mais valioso quando se têm filhos pequenos.

À Somincor, empresa onde tenho o privilégio de trabalhar desde 19 de maio de 2008, por ter proporcionado as condições para a realização deste estágio no Laboratório de Mecânica das Rochas. Agradeço, em particular, ao Tito Godinho e ao Mário Silva, pela colaboração constante; ao Eng.º João Gabriel, pela orientação prestada; ao Eng.º Nuno Duarte, pelas valiosas discussões técnicas sobre estabilidade; à Eng.ª Erminia Marras, pela disponibilidade para esclarecer questões relativas a softwares específicos e dimensionamentos; ao Eng.º Bruno Ruaz, pelo apoio em assuntos de topografia; e a todos os restantes colegas de trabalho, pelo companheirismo e apoio diário.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Ruben Martins e Professor Doutor António Pinho, pelo conhecimento partilhado e pelo acompanhamento técnico ao longo deste percurso.

Aos meus colegas de curso e a todas as pessoas que, ao longo dos anos, contribuíram com o seu saber e experiência, enriquecendo, de forma inestimável, a minha formação académica e profissional.

A todos, o meu profundo agradecimento.

RESUMO

Controlo de qualidade nos trabalhos de estabilização de maciços rochosos na mina de Neves-Corvo

O presente relatório de estágio, realizado no Laboratório de Mecânica das Rochas da Somincor S.A. no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica da Universidade de Évora, descreve a metodologia adotada no controlo de qualidade e monitorização dos trabalhos de estabilização dos maciços rochosos na mina de Neves-Corvo. Apresentam-se os principais ensaios efetuados aos sustimentos e ao enchimento mineiro utilizado no preenchimento das cavidades resultantes da exploração.

O relatório aborda ainda o procedimento para determinação do estado de tensão natural, através do método de sobrecarotagem, e o modelo de monitorização por microcrossísmica, permitindo uma avaliação abrangente da estabilidade das escavações subterrâneas.

Por fim, analisam-se casos práticos que evidenciam a importância da integração entre controlo, monitorização e decisão técnica no contexto mineiro da Somincor.

Palavras-chave: Mecânica das Rochas; Maciço Rochoso; Reforço; Suporte; Monitorização; Estabilidade.

ABSTRACT

Quality control in rock mass stabilization works at the Neves-Corvo mine

This internship report, carried out at the Rock Mechanics Laboratory of Somincor S.A. within the scope of the Master's Degree in Geological Engineering at the University of Évora, describes the methodology adopted for quality control and monitoring of rock mass stabilization works at the Neves-Corvo mine. The main tests performed on supports and mining backfill used to fill cavities resulting from excavation are presented.

The report also addresses the procedure for determining the natural stress state through the overcoring method and the microseismic monitoring model, allowing for a comprehensive assessment of underground excavation stability.

Finally, practical cases are analyzed that highlight the importance of integrating control, monitoring, and technical decision-making within Somincor's mining context.

Keywords: Rock Mechanics; Rock Mass; Reinforcement; Support; Monitoring; Stability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTO II

RESUMO III

ABSTRACT IV

ÍNDICE GERAL V

ÍNDICE DE FIGURAS VIII

ÍNDICE DE TABELAS XVI

ANEXOS XVII

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO 1

1.1. Generalidades 1

1.2. Objetivo 1

1.3. Planeamento 1

Capítulo 2 - MINA DE NEVES CORVO..... 3

2.1. A Empresa 3

2.2. Enquadramento geográfico 4

2.3. Enquadramento geológico 5

Capítulo 3 - MECÂNICA DAS ROCHAS..... 10

Capítulo 4 - ESTABILIZAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS 12

4.1. Reforço dos maciços rochosos 12

4.1.1. *Ancoragens passivas* 13

4.1.2. *Ancoragens ativas*..... 17

4.2. Suporte dos maciços rochosos 22

4.2.1. *Revestimento* 22

4.2.2. *Enchimento mineiro*..... 24

4.3. Controlo de qualidade e monitorização 28

Capítulo 5 - CONTROLO DE QUALIDADE E MONITORIZAÇÃO NA ESTABILIZAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS..... 30

5.1. Ensaios de qualidade aos elementos de reforço 30

5.1.1. *Ensaio pull-out e ensaio de tração* 31

5.1.2. *Determinação das dimensões das ancoragens e furos*..... 33

5.1.3. *Ensaios aos cabos de aço e calda de cimento* 37

5.2. Ensaios de qualidade aos elementos suporte 41

5.2.1. Ensaaios de qualidade ao betão projetado	42
5.2.1.1. Agregados	43
5.2.1.2. Ensaaios ao betão projetado fresco	45
5.2.1.3. Ensaaios ao betão projetado endurecido	49
5.2.2. Ensaaios ao enchimento mineiro	54
5.2.2.1. Ensaaios à pasta fresca	55
5.2.2.2. Ensaaios à pasta endurecida	56
5.3. Monitorização do maciço rochoso	59
5.3.1. Determinação do estado de tensão natural.....	59
5.3.2. Microssísmica.....	63
5.3.3. Extensómetros	66
5.3.4. Convergências	67
5.3.5. Subsidiências.....	69
Capítulo 6 - RESULTADOS E SOLUÇÕES TÉCNICAS	71
6.1. Resultados do controlo de qualidade	71
6.1.1. Resultados dos ensaios aos elementos de reforço.....	72
6.1.1.1. Ancoragens	72
6.1.1.2. Calda de cimento	77
6.1.2. Resultados dos ensaios aos elementos de suporte	78
6.1.2.1. Betão projetado.....	79
6.1.2.2. Pasta.....	83
6.2. Resultados da monitorização	86
6.2.1. Estado de tensão natural (Método Overcoring).....	86
6.2.2. Microssísmica.....	94
6.2.3. Extensómetros	97
6.2.4. Convergências	101
6.2.5. Subsidiências.....	104
6.3. Soluções Técnicas	108
6.3.1. Aderência deficiente de parafusos de heliaço em zona de falha em galeria na área do Corvo.....	108
6.3.2. Anomalia na instalação de parafusos expansivos na área do Zambujal	111
6.3.3. Correção da composição de pasta com o objetivo de melhorar as propriedades de escoamento.....	113

6.3.4. *Otimização do betão projetado para melhoria das resistências iniciais* 116

6.3.5. *Controlo da estabilidade de acesso a bancada com extensómetro* 119

Capítulo 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 124

BIBLIOGRAFIA 126

ANEXOS 131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fotografia aérea das instalações industriais da Mina de Neves-Corvo. (Fornecida pela Somincor) 3

Figura 2.2 - Localização da Mina de Neves-Corvo no concelho de Castro Verde (Adaptado de LNEG, 2025)..... 5

Figura 2.3 - Mapa geológico da Zona Sul Portuguesa, com a localização de alguns dos principais jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos existentes na Faixa Piritosa Ibérica (adaptado de Oliveira et al., 2006). 7

Figura 2.4 - Coluna com sequência tectono-estratigráfica da área mineira de Neves-Corvo (adaptado de Carvalho & Ferreira, 1993). 8

Figura 2.5 - Corte geológico com pormenor das marcas da imbricação tectónica entre a Antiforma de Brancanes e a Mina de Neves-Corvo (adaptado de Carta Geológica de Portugal, Folha 46 – C Almodôvar LNEG, 1995)..... 9

Figura 3.1 - a) Imagem em Deswik da área do Lombador. b) Imagem em Unwedge de cruzamento entre galerias..... 11

Figura 4.1 - Jumbo de sustimento da marca Epiroc para parafusos expansivos (adaptado de Epiroc, 2025)..... 14

Figura 4.2 - Ilustração de um parafuso expansivo (adaptado de Epiroc, 2021). 14

Figura 4.3 - Jumbo de furação e colocação de cabos da marca Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025)..... 15

Figura 4.4 - Ilustração de cabo de aço com pormenor dos filamentos que o constituem (adaptado de Hutchinson & Diederichs, 1996)..... 16

Figura 4.5 - Jumbo de furação e colocação de parafusos Boltec, da marca Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025)..... 18

Figura 4.6 - Ilustração de um cartucho de resina (adaptado de Sandvik, 2026). 18

Figura 4.7 - Ilustração de um parafuso de heliaço (adaptado de Epiroc, 2021)..... 19

Figura 4.8 - Jumbo de sustimento Boltec para parafusos autoperfurantes da Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025)..... 20

Figura 4.9 - Ilustração de parafuso autoperfurante. (adaptado de Epiroc, 2021). 21

Figura 4.10 - Instalação para produção de betão na Somincor (Central ARCEN). 22

Figura 4.11 - Jumbo para colocação de malha soldada da marca Sandvik. 24

Figura 4.12 - a) Instalações de produção de enchimento com pasta. b) Instalações para produção de enchimento hidráulico..... 25

Figura 4.13 - Ilustração de hidrociclone que classifica/divide os rejeitados produzidos nas lavarias em duas correntes (adaptado de Junior, Moreira, & Heineck, 2018). 26

Figura 4.14 - Ilustração de dois níveis de exploração em bancadas com as diferentes percentagens de cimento de acordo com a sequência de desmonte.	27
Figura 5.1 - a) Imagem de registador de dados e bomba hidráulica. b) Imagem de cilindro hidráulico, tripé e garra instalados em ancoragem para ensaio pull-out.	32
Figura 5.2 - Imagem de parafusos expansivos onde é possível verificar a diferença de perfil entre um parafuso antes e depois de ser expandido.	33
Figura 5.3 - Imagem do equipamento de medição do diâmetro interno dos furos com pormenor da cabeça medidora e da pega com escala milimétrica de leitura.	34
Figura 5.4 - Imagem capturada no momento do ensaio de verificação do diâmetro interno de um furo para parafusos expansivos com pormenor da cabeça medidora e escala milimétrica de leitura.	35
Figura 5.5 - Imagem da consola do jumbo durante o enchimento dos parafusos expansivos com pormenor do braço de furação, colocação e enchimento dos parafusos.	35
Figura 5.6 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, não expandido, com pormenor da medição efetuada com um paquímetro.	36
Figura 5.7 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, após expansão, com pormenor da medição efetuada com um paquímetro.	36
Figura 5.8 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, após expansão e corte, para medição da espessura do aço e pormenor da medição efetuada com um paquímetro.	37
Figura 5.9 - Imagem da escala da balança de Marcy e pormenor do conjunto, balança e copo de medição.	38
Figura 5.10 - Imagem de moldes após enchimento e pormenor da compactação manual com pilão. A areia na base dos moldes tem o objetivo de nivelar o piso.	40
Figura 5.11 - Imagem da prensa hidráulica MATEST utilizada para realizar os ensaios RCU.	41
Figura 5.12 - Imagem do monitor do robot de projeção onde se define o caudal de betão em m ³ /h.	42
Figura 5.13 - Agregados utilizados para produção de betão projetado localizados em baias de separação na central de produção.	44
Figura 5.14 - Conjunto de peneiros (crivos) para realização da análise granulométrica aos agregados.	44
Figura 5.15 - a) Imagem de autobetoneira para transporte do betão projetado até aos locais de aplicação. b) Imagem de misturadora de laboratório utilizada para manter o betão homogéneo durante o período de tempo em que se realizam os ensaios de qualidade.	47

Figura 5.16 - Imagem de equipamento para ensaio de abaixamento (<i>Slump Test</i>) composto por chapa, cone, funil e pilão de compactação.....	47
Figura 5.17 - Imagem de galeria subterrânea onde foi utilizado o revestimento com betão projetado.	49
Figura 5.18 - Classes de resistência do betão projetado jovem (primeiras 24 horas) (adaptado de Fernandes, 2015).....	50
Figura 5.19 - a) Imagem do penetrómetro digital utilizado na primeira fase do ensaio de verificação das resistências iniciais. b) Imagem da pistola Hilti, fulminantes verdes e pregos de 52 mm utilizados na segunda fase do ensaio de verificação das resistências iniciais.	52
Figura 5.20 - Gráfico utilizado para verificar a resistência do betão, após 24 horas de aplicação, utilizando pregos de 72 mm.	52
Figura 5.21 - Gráfico utilizado para verificar a resistência do betão, após 24 horas de aplicação, utilizando pregos de 52 mm..	53
Figura 5.22 - a) Ilustração da disposição dos cinco pontos para medição das espessuras de betão projetado. b) Imagem de troço de betão projetado com a localização onde foram realizadas as medições.....	54
Figura 5.23 - Imagem do reómetro digital (RheolabQC) onde é determinada a reologia da pasta.	56
Figura 5.24 - Imagem de execução de provetes de pasta para posterior realização de ensaios RCU.....	57
Figura 5.25 - Imagem da câmara de cura e pormenor da identificação dos provete. ...	58
Figura 5.26 - Imagem da prensa hidráulica (VJ Tech) para ensaios RCU de Pasta.....	58
Figura 5.27 - Imagem da sonda de perfuração, coroas de corte, centralizadores de furação e testemunhos dos primeiros metros de furação.....	60
Figura 5.28 - Imagem do comprimento final do furo, com pormenor do testemunho de pequeno diâmetro e célula de medição acoplada na vara de colocação.	61
Figura 5.29 - Imagem da vara de colocação e centralização da célula de monitorização.	62
Figura 5.30 - Imagens da realização do <i>overcoring</i> , com pormenores do reservatório de água quente, termómetro e software de monitorização.	62
Figura 5.31 - Ao centro imagem do cilindro hidráulico e testemunho durante o ensaio biaxial <i>in situ</i> . No canto superior esquerdo pormenor do testemunho e célula.	63
Figura 5.32 - Localização dos geofones na mina de Neves-Corvo.	64
Figura 5.33 - Imagem de geofone e pormenores do dispositivo de transmissão de dados, varas de instalação e tubo de respiro.....	65

Figura 5.34 - Imagem de extensômetro preparado com tubo de respiro e tubo de injeção com pormenores de ponto de medição em baixo e cabeça do extensômetro em cima.	66
Figura 5.35 - Imagem do medidor de fita acoplado nos pontos de leitura.	68
Figura 5.36 - Imagem de sensor de convergência acoplado em ancoragem (lado esquerdo) e de alvo no hasteal oposto (lado direito).	68
Figura 5.37 - Imagem com localização dos marcos superficiais para leitura de subsidências.	69
Figura 5.38 - Imagem de subsidência e mira de invar, captada durante a leitura.	70
Figura 6.1 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos expansivos.	72
Figura 6.2 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos de heliaço.	73
Figura 6.3 - Representação gráfica com resultados dos ensaios <i>pull-out</i> realizados a parafusos autoperfurantes.	73
Figura 6.4 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos autoperfurantes.	74
Figura 6.5 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo das pressões de expansão em parafusos expansivos.	75
Figura 6.6 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo do diâmetro externo após expansão de parafusos expansivos.	75
Figura 6.7 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo da espessura do aço dos parafusos expansivos.	76
Figura 6.8 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios de controlo do diâmetro interno dos furos para parafusos expansivos.	76
Figura 6.9 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios com a balança de Marcy.	77
Figura 6.10 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios RCU a 28 dias realizados à calda de cimento.	78
Figura 6.11 - Representação gráfica dos resultados das análise granulométricas da areia 0/4 mm obtidos.	79
Figura 6.12 - Representação gráfica dos resultados das análise granulométricas da brita 2/6 mm obtidos.	80
Figura 6.13 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios de abaixamento ao betão projetado obtidos.	81
Figura 6.14 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados ao betão projetado.	81

Figura 6.15 - Representação gráfica dos resultados da resistência inicial do betão projetado após 2 horas de projeção.	82
Figura 6.16 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios de verificação das espessuras do betão.	83
Figura 6.17 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados a enchimento com pasta com 3,5 % de cimento.....	84
Figura 6.18 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 4,0 % de cimento.	85
Figura 6.19 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 5,0 % de cimento.	85
Figura 6.20 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 6,5 % de cimento.	86
Figura 6.21 - Amostras instrumentadas cortadas longitudinalmente, evidenciando o arranjo interno dos extensómetros da célula CSIRO HI.....	88
Figura 6.22 - a) Variação das microdeformações em função da distância de avanço do corte durante a sobrecarotagem (<i>overcoring</i>) da Amostra 1, evidenciando o comportamento elástico local e o aumento brusco de deformação após o início do corte. b) Registo das microdeformações em função do tempo, permitindo analisar a evolução dinâmica durante a sobrecarotagem (<i>overcoring</i>) e confirmar a estabilização das leituras após a perfuração. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa).....	89
Figura 6.23 - a) Monitorização da variação da temperatura ao longo do tempo durante a sobrecarotagem (<i>overcoring</i>) na amostra 1. b) Gráfico do ensaio biaxial realizado na Amostra 1, de onde foram retirados dados para calcular o Módulo de Elasticidade e o Coeficiente de Poisson <i>in situ</i> . (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa).....	90
Figura 6.24 - Valores do Módulo de Elasticidade, determinados a partir dos ensaios biaxiais <i>in situ</i>	91
Figura 6.25 - Distribuição dos valores do Coeficiente de <i>Poisson</i> determinados a partir dos ensaios biaxiais <i>in situ</i> . (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa).....	92
Figura 6.26 - Projeção estereográfica (software Dips) representando a orientação das tensões principais (σ_1 , σ_2 e σ_3) determinadas para cada amostra individual (Amostra 1 a azul, Amostra 2 a Verde, Amostra 3, vermelho) e o Valor Médio Calculado (VMC a Preto), sendo os 0° o norte da mina de Neves-Corvo. Os símbolos diferenciam as tensões: círculo (σ_1), triângulo (σ_2) e quadrado (σ_3). (Imagem Dips)	93

Figura 6.27 - Representação gráfica da comparação dos resultados de σ_1 , σ_2 e σ_3 para Amostra 1, Amostra 2, Amostra 3 e o VMC. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)	94
Figura 6.28 - Modelo tridimensional das escavações mineiras na área monitorizada, visualizado no Ticker3D.	95
Figura 6.29 - Distribuição espacial dos eventos microssísmicos sobre o modelo tridimensional das escavações.	96
Figura 6.30 - Concentração dos eventos microssísmicos junto à falha principal (plano vermelho).	97
Figura 6.31 - Variação dos deslocamentos nos pontos de medição ao longo do extensómetro. Observa-se um padrão de movimento progressivo.	98
Figura 6.32 - Variação da abertura das fissuras identificadas no local 1.....	98
Figura 6.33 - Deslocamentos registados ao longo do tempo. Observa-se um padrão de pequenos movimentos, mas na generalidade o maciço encontra-se estável.	99
Figura 6.34 - Variação da abertura das fissuras identificadas no local 2.....	100
Figura 6.35 - Variação das convergências lidas manualmente (convergências 1 a 5) na rampa de Neves, correspondente a um acesso a bancadas.	101
Figura 6.36 - Variação das convergências lidas manualmente (convergências 6 a 10) na rampa de Neves, correspondente a um acesso a bancadas.	102
Figura 6.37 - Evolução do deslocamento registado pelo sensor de convergência 1 no acesso aos <i>drifts</i> da área do Corvo, zona de influência da falha 7.	103
Figura 6.38 - Evolução do deslocamento registado pelo sensor de convergência 2 no acesso aos <i>drifts</i> da área do Corvo, zona de influência da falha 7.	103
Figura 6.39 - Localização dos pontos de monitorização de subsidência (S.1 a S.19) implantados na área superficial do couro mineiro, sobre as zonas subterrâneas de influência. As linhas de diferentes cores representam as frentes de exploração e galerias subterrâneas ativas ou históricas.....	105
Figura 6.40 - Variação anual das subsidências 1 a 4 entre 2022 e 2025. Observam-se oscilações moderadas com pico em 2024, seguido de estabilização.	105
Figura 6.41 - Evolução das subsidências 5 a 8 no período de 2022 a 2025. Destaca-se o aumento pontual da subsidência 5 e a tendência descendente da subsidência 7.	106
Figura 6.42 - Registo das subsidências 9 a 12 de 2022 a 2025. Verifica-se crescimento gradual até 2024, seguido de ligeira diminuição em algumas séries.	106
Figura 6.43 - Medições das subsidências 13 a 16 entre 2022 e 2025. Nota-se estabilidade geral com variações pontuais, e inversão de tendência na subsidência 16.	106

Figura 6.44 - Variação temporal das subsidências 17 a 19 de 2022 a 2025. Observam-se amplitudes maiores na subsidência 17 e tendências de recuperação em 2024.	107
Figura 6.45 - Imagem de carta (planta) onde a escavação intersectou uma falha e zona de fracturação excessiva do maciço rochoso.....	108
Figura 6.46 - Representação gráfica de um ensaio pull-out realizado aos parafusos de heliaço onde se verificou uma deficiência na aderência entre o parafuso, resina e o maciço rochoso.	109
Figura 6.47 - Representação gráfica dos ensaios pull-out realizado aos parafusos de heliaço e aos parafusos autoperfurantes.	109
Figura 6.48 - Registo de deslocamentos da Convergência 1, obtido com sensor Xcell Cyclops, equipado com sistema de alerta (<i>trigger</i>) para movimentos pré-definidos. ..	110
Figura 6.49 - Registo de deslocamentos da Convergência 2, obtido com sensor Xcell Cyclops, equipado com sistema de alerta (<i>trigger</i>) para movimentos pré-definidos. ..	110
Figura 6.50 - Gráfico da tensão de corte e torque relativo, determinados durante o ensaio reológico da pasta.....	113
Figura 6.51 - Gráfico do comportamento reológico da amostra sem adjuvante (vermelho e azul) e da amostra com adjuvante (verde e amarelo).	114
Figura 6.52 - Curva tensão-deformação para o provete 1, preparado sem adjuvante. O gráfico mostra a evolução da resistência (kPa) em função da deformação (%), com destaque para uma menor rigidez inicial, resistência máxima inferior e maior capacidade de deformação quando comparado com o provete com adjuvante, indicando comportamento mais dúctil.	115
Figura 6.53 - Curva tensão-deformação obtida para o provete 1, preparado com adjuvante. O gráfico representa a resistência (kPa) em função da deformação (%), evidenciando o comportamento típico de um material com aditivo plastificante, com rápido ganho de resistência seguido de uma fase de pico e subsequente redução, indicando início de rotura.	115
Figura 6.54 - Evolução das resistências iniciais à compressão simples do betão projetado, para as duas percentagens de acelerador (8 % e 9 %).	117
Figura 6.55 - Evolução das resistências iniciais à compressão simples do betão projetado, para as duas percentagens de acelerador (8 % e 9 %) após correção.....	118
Figura 6.56 - a) Carta topográfica em planta com localização da galeria de acesso a muro com pormenor da zona instável intervencionada. b) Fotografia da zona instável com pormenor das fissuras no revestimento.	119
Figura 6.57 - Imagem em corte (software Deswik) do posicionamento das galerias, nível inferior (acesso ao muro) e nível superior, na área da Graça.	121

Figura 6.58 - Imagem 3D (software Deswik) com os sólidos das escavações adjacentes e localização do extensômetro colocado para monitorização do maciço rochoso entre as duas escavações. 121

Figura 6.59 - Variação dos deslocamentos medidos nos pontos de ancoragem ao longo do extensômetro no acesso da área da Graça. Observa-se um padrão de deslocamento progressivo, com incrementos mais acentuados imediatamente após os disparos (indicados pelas linhas vermelhas). 122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Tipos de ancoragens utilizadas na mina de Neves-Corvo..... 13

Tabela 4.2 - Parafusos expansivos, componentes e especificações..... 15

Tabela 4.3 - Cabos de Aço, componentes e especificações. 17

Tabela 4.4 - Parafusos de heliaço com resina, componentes e especificações..... 19

Tabela 4.5 - Parafusos autoperfurantes, componentes e especificações..... 21

Tabela 4.6 - Propriedades e especificações do Betão Projetado. 23

Tabela 4.7 - Malha soldada, componentes e especificações. 24

Tabela 4.8 - Propriedades e especificações do enchimento com pasta. 27

Tabela 5.1 - Materiais que constituem o equipamento *pull-out* e suas funções. 32

Tabela 6.1 - Estatística do controlo de qualidade onde se pode observar a evolução dos resultados ao longo dos diferentes meses. 71

Tabela 6.2 - Detalhes do ensaio de determinação de tensões naturais pelo método *overcoring*, incluindo parâmetros geométricos, coordenadas, condições térmicas, características da célula de medição e propriedades do material de fixação..... 87

Tabela 6.3 - Classificação dos sensores da célula CSIRO HI com base nos ângulos α e β 90

Tabela 6.4 - Resultados das dimensões dos diâmetros dos parafusos expandidos amostrados no reporte de março referente à bancada da área do Zambujal..... 111

Tabela 6.5 - Resultados das pressões registadas durante a expansão dos parafusos após intervenção mecânica referente ao reporte de março na bancada da área do Zambujal. 112

Tabela 6.6 - Resultados das dimensões dos diâmetros dos parafusos expandidos amostrados após reparação de avaria no JS-021 referente a março na bancada da área do Zambujal. 112

Tabela 6.7 - Valores do índice de qualidade Q, obtidos no local. 120

ANEXOS

Anexo I - Folha de registo provisório - Ancoragens

Anexo II - Folha de registo provisório - Agregados

Anexo III - Folha de registo provisório - Betão projetado fresco

Anexo IV - Folha de registo provisório - Betão projetado endurecido

Anexo V - Mapa de ensaios RCU - Betão projetado – Calda

Anexo VI - Folha de registo provisório - Enchimento Pasta - Amostragem

Anexo VII - Folha de registo provisório - Enchimento Pasta – Ensaios RCTI

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

Este relatório de estágio foi realizado no Laboratório de Mecânica das Rochas da Somincor S.A. A Somincor explora a mina de Neves-Corvo, a maior mina subterrânea em operação em Portugal, reconhecida pela sua elevada componente tecnológica e pela aplicação de metodologias modernas em todas as fases do processo produtivo.

A elaboração deste trabalho resultou da combinação entre os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do percurso académico e a experiência profissional consolidada em ambiente mineiro, permitindo apresentar uma perspetiva prática e fundamentada sobre as práticas correntes e os desafios técnicos associados ao reforço, suporte, monitorização e controlo de qualidade dos maciços rochosos.

1.2. Objetivo

O objetivo geral do estágio consistiu no acompanhamento técnico das atividades de controlo de qualidade aplicadas aos elementos de reforço e suporte dos maciços rochosos, bem como na respetiva monitorização, que são utilizados nas infraestruturas subterrâneas da mina de Castro Verde.

Paralelamente a este objetivo geral, o estágio incluiu a descrição detalhada dos materiais utilizados nos diferentes trabalhos de estabilização, explicitando as suas características e apresentando a metodologia da sua aplicação.

Por fim, o estágio teve também uma vertente ligada ao acompanhamento de trabalhos realizados *in situ*, nomeadamente, a determinação do estado de tensão natural pelo método de sobre-carotagem (*overcoring*) e a monitorização por micro-sísmica, descrevendo-se todo o processo até à obtenção dos resultados.

1.3. Planeamento

Este relatório é composto por sete capítulos, organizados e estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Introdução geral ao tema do relatório de estágio, com a apresentação do planeamento de cada capítulo.
- Capítulo 2 - Apresentação da empresa, incluindo o enquadramento geográfico e geológico.
- Capítulo 3 - Breve descrição da Mecânica das Rochas e do seu papel fundamental no dimensionamento da mina subterrânea de Neves-Corvo.
- Capítulo 4 - Descrição dos materiais e das técnicas de estabilização dos maciços rochosos.
- Capítulo 5 - Descrição dos trabalhos realizados durante o estágio, nomeadamente o controlo de qualidade dos elementos de reforço e suporte, bem como a monitorização dos maciços rochosos.
- Capítulo 6 - Apresentação e análise dos resultados obtidos, assim como das soluções técnicas implementadas.
- Capítulo 7 - Considerações finais do estágio.

Capítulo 2 - MINA DE NEVES CORVO

2.1. A Empresa

A Somincor (Sociedade Mineira de Neves-Corvo S.A.), uma das mais importantes empresas mineiras portuguesas, é responsável pela exploração da Mina de Neves-Corvo (Figura 2.1). Foi fundada em 24 de julho de 1980 após a notável descoberta, em 1977, de um jazigo de sulfuretos com altas concentrações de metais básicos, nomeadamente Cobre, Estanho e Zinco.



Figura 2.1 - Fotografia aérea das instalações industriais da Mina de Neves-Corvo. (Fornecida pela Somincor)

Em 2004, Somincor foi vendida à Eurozinc, num processo de privatização que incluiu a aquisição da totalidade do seu capital social, pertencente à Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM) e à multinacional Rio Tinto. Posteriormente, em novembro de 2006, a Eurozinc fundiu-se com a Lundin Mining Corporation, tornando a Somincor subsidiária deste grupo canadiano. Atualmente a Somincor integra, desde abril de 2025, o grupo sueco Boliden, um dos principais produtores europeus de metais como cobre, zinco, chumbo e ouro.

Desde a primeira extração e concentração de minério de cobre, em novembro de 1988, a Somincor afirmou-se como uma referência no setor mineiro e atualmente conta com sete massas de sulfureto identificadas, incluindo Neves, Corvo, Graça, Zambujal, Lombador, Semblana e Monte Branco. A empresa destaca-se pela sua capacidade de inovação, aplicação de tecnologias modernas nos processos de

extração e tratamento de minérios, e pelo compromisso com elevados padrões de segurança, ambiente e sustentabilidade.

Os principais meios de acesso à mina subterrânea são através de um poço (Poço de Santa Barbara) com diâmetro escavado de 5,50 m e de uma rampa principal (Rampa do Castro) com inclinação descendente de 18 %. Pelo poço é extraído todo o minério desde os 630 m de profundidade, enquanto o minério dos níveis mais profundos da mina, que já atingiram os 1070 m, é transportado por tapetes rolantes até à base do poço. A mina é altamente mecanizada e composta por diversas infraestruturas, incluindo três câmaras de britagem, rampas, rolagens, chaminés de ventilação, chaminés de descarga de minério, oficinas de apoio, silos de armazenamento, salas de bombagem, entre outras.

A unidade de transformação de Neves-Corvo é constituída por duas lavarias. A lavaria de cobre processa minérios de cobre e tem capacidade de aproximadamente 2,8 milhões de toneladas por ano (Mtpa). A lavaria de zinco, que pode processar minérios de zinco ou cobre, tem uma capacidade nominal projetada de 2,5 Mtpa.

A exploração ao redor da mina centra-se na identificação de novos depósitos adicionais, recorrendo aos mais diversos métodos e técnicas de prospeção, que incluem geoquímica do solo, mapeamento geológico, levantamentos gravitacionais ou magnéticos aerotransportados, levantamentos eletromagnéticos terrestres, levantamentos sísmicos 3D e perfuração mecânica.

2.2. Enquadramento geográfico

A Mina de Neves-Corvo localiza-se no sul de Portugal, na região do Alentejo, mais especificamente no concelho de Castro Verde, distrito de Beja.

Está inserida no Baixo Alentejo, uma área de transição entre o litoral e o interior do sul do país, caracterizada por planícies extensas e relevo suavemente ondulado. A região é predominantemente rural, com uma economia tradicionalmente ligada à agricultura e à pecuária, embora a atividade mineira desempenhe um papel central na atividade económica local devido à presença de grandes reservas de minerais.

Geograficamente, a mina encontra-se a cerca de 15 km a sudeste da vila de Castro Verde, e a aproximadamente 220 km a sudeste de Lisboa (Figura 2.2).

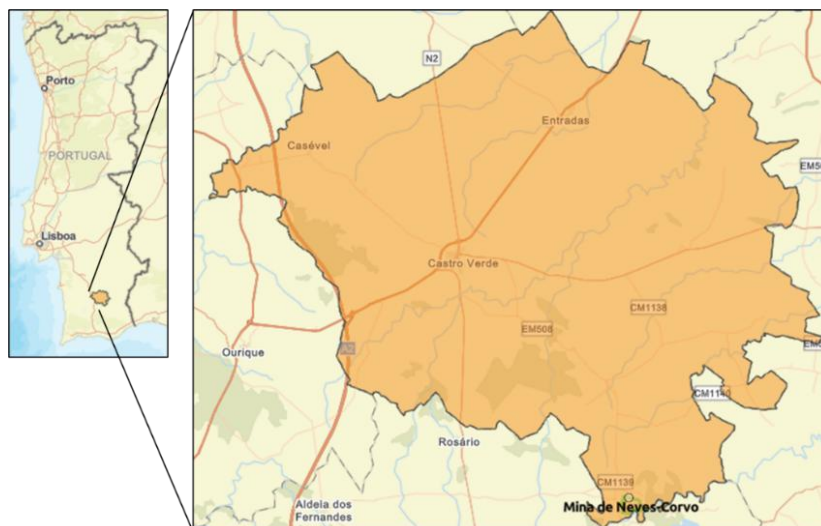


Figura 2.2 - Localização da Mina de Neves-Corvo no concelho de Castro Verde (Adaptado de, LNEG 2025)

O acesso faz-se pela Estrada Nacional 123, que liga Castro Verde a Almodôvar e as infraestruturas existentes (caminho de ferro, autoestrada, energia, operações portuárias) permitem à mina enviar os concentrados de cobre e zinco via ferroviária para uma instalação portuária em Setúbal, de onde são exportados para fundições comerciais na Europa.

2.3. Enquadramento geológico

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI), localizada na zona sul de Portugal e que se prolonga até ao sul de Espanha, é uma importante província metalogenética de sulfuretos maciços polimetálicos, que conta com a presença de 90 jazigos de sulfuretos, distribuídos por uma área com cerca de 250 km de comprimento e 60 km de largura.

A história destas mineralizações começou num oceano que albergou em profundidade vários alinhamentos de vulcões de grandes dimensões, a esta atividade associaram-se fenómenos de hidrotermalismo (fumarolas negras - *blacksmokers*) responsáveis pela génese dos depósitos de minérios de sulfuretos de ferro, cobre, zinco, chumbo, prata e ouro. Segundo Oliveira *et al.* (2004) a FPI situa-se numa unidade principal da Cadeia Orogénica Varisca (Hercínica) designada por Zona Sul Portuguesa e divide-se em três formações principais, que são da mais antiga para a mais recente: Grupo Filito-Quartzítico, Complexo Vulcano-Sedimentar e Grupo do Flysch do Baixo Alentejo

(Figura 2.3). Neste contexto, a caracterização geológica da área do jazigo de Neves-Corvo é descrita segundo Carvalho & Ferreira (1993) da seguinte forma:

- Grupo Filito-Quartzítico (PQ) aflora a cerca de 3 km da mina, composto por xistos indiferenciados, quartzitos impuros e calcários microcristalinos, localizado no núcleo do anticlinório Panóias-Castro Verde. Apresenta uma sequência de quartzitos em bancadas, separadas por xistos escuros, e foi datado como Fameniano, marcando o início da atividade vulcânica na região;
- Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) apresenta duas sequências distintas, a sequência inferior, situada na envolvente do PQ, é composta por rochas vulcânicas, como vulcanitos ácidos e básicos, intercalados com xistos indiferenciados, além de manifestações vulcânicas básicas, os espilitos de Monte Forno de Cal, e a sequência superior que apresenta rochas vulcano-sedimentares, como xistos argilo-carbonosos, tufitos e rochas vulcânicas, com níveis de chertes, carbonatos e xistos cloríticos, estendendo-se até à área da mina. Essa sucessão mostra uma evolução de ambientes vulcânicos e sedimentares, sem intervenções tectônicas visíveis, refletindo uma história geológica complexa. A presença de diferentes níveis e rochas indica atividades vulcânicas e deposicionais ao longo do tempo, formando uma sucessão estratigráfica variada;
- Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (Culm) de idade mais recente e caracterizado por sedimentos, é composto por alternâncias de xistos argilosos e grauvaques, recobrando os conjuntos anteriores PQ e CVS, sendo a Formação de Mértola a unidade basal. A transição para a Formação de Brancanes ocorre de forma contínua, com xistos negros grafitosos e piritosos, ricos em fósseis de goniatites do Viseano Superior. A estrutura dominante é um anticlinal NW-SE, com dobramentos suaves e inclinações variadas, afetado por tectónica carreativa na sequência vulcano-sedimentar superior. Massas mineralizadas estão presentes em ambos os flancos do anticlinal, com falhas subverticais de várias orientações, que podem ter sido reativadas por tectónica tardia.

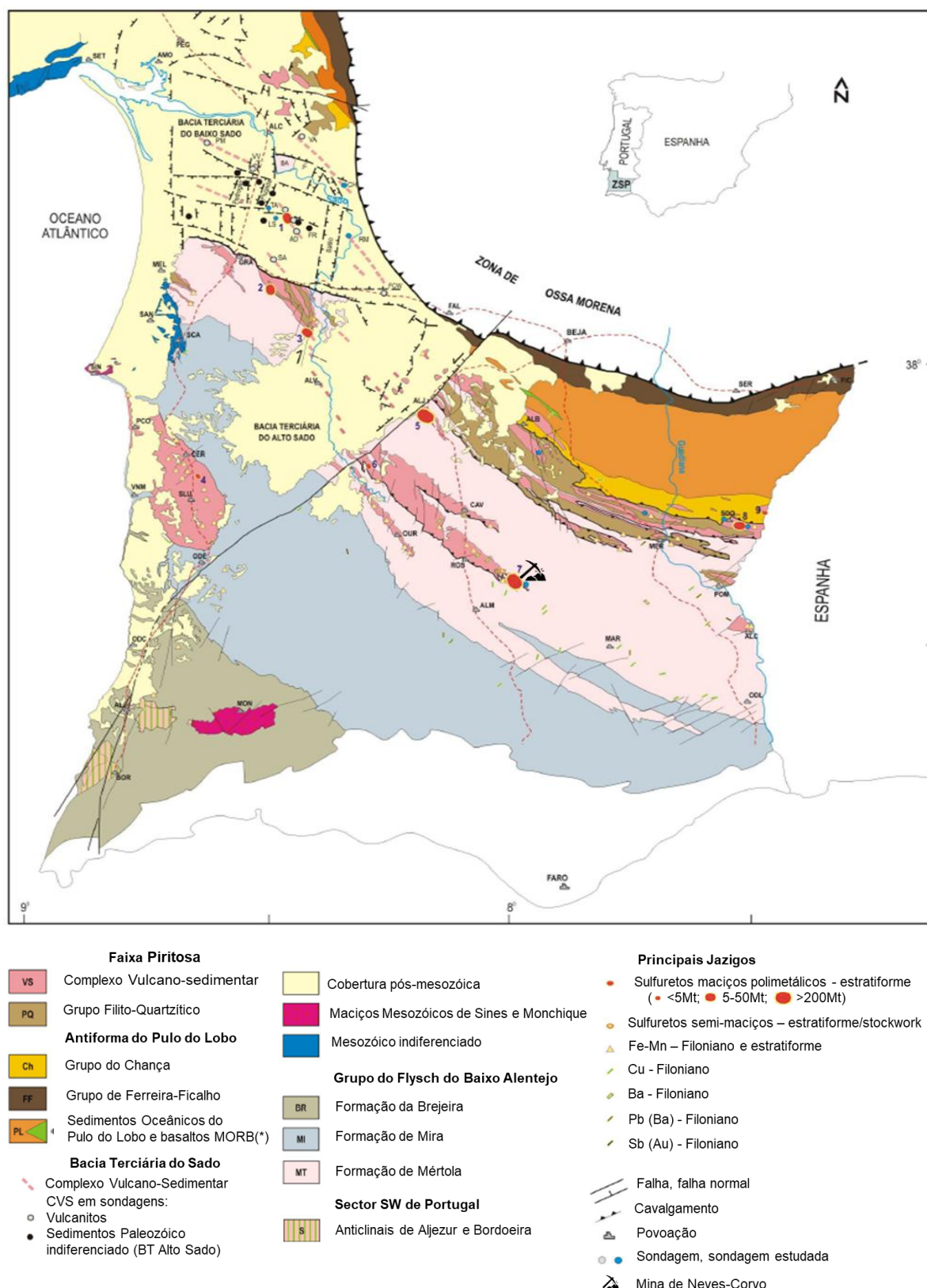


Figura 2.3 - Mapa geológico da Zona Sul Portuguesa, com a localização de alguns dos principais jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos existentes na Faixa Piritosa Ibérica (adaptado de Oliveira et al., 2006).

A mina de Neves-Corvo situa-se no extremo sudeste do Anticlinal do Rosário, sendo que a estratigrafia local do CVS que hospeda a mineralização maciça de sulfuretos consiste, a muro, numa unidade inferior de rochas vulcânicas félsicas (tufos) cobertas por xistos negros e minério maciço de sulfuretos. A teto uma sucessão de xistos e grauvaques seguida pela alternância de xistos escuros e roxos, tufitos félsicos, xisto e grauvaques (Tipo Culm) no topo (Figura 2.4).

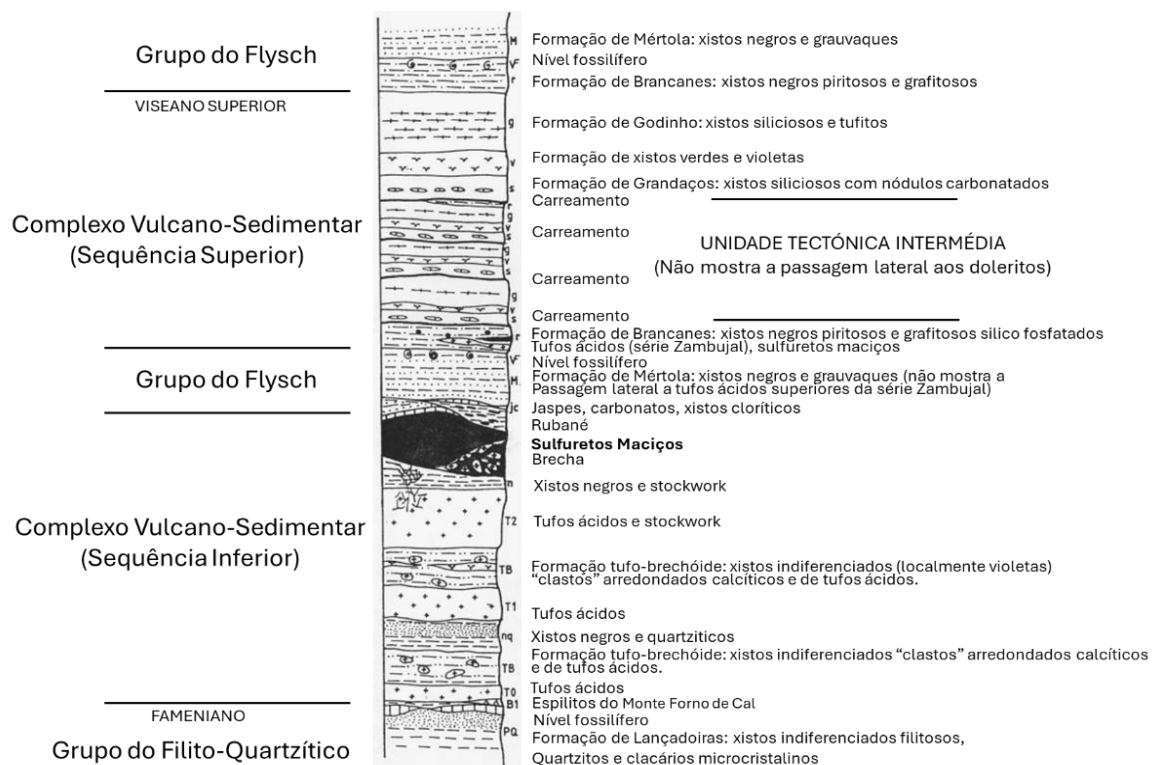


Figura 2.4 - Coluna com sequência tectono-estratigráfica da área mineira de Neves-Corvo (adaptado de Carvalho & Ferreira, 1993).

Estas unidades foram inicialmente interpretadas como sendo estratigraficamente concordantes, ainda que o controlo da idade da sequência fosse reduzido. Só mais tarde foi reconhecida a imbricação tectónica da sucessão litológica (Figura 2.5) que permitiu dividir o CVS, em duas componentes litoestratigráficas o CVS Inferior e CVS Superior (Oliveira et al, 2004).

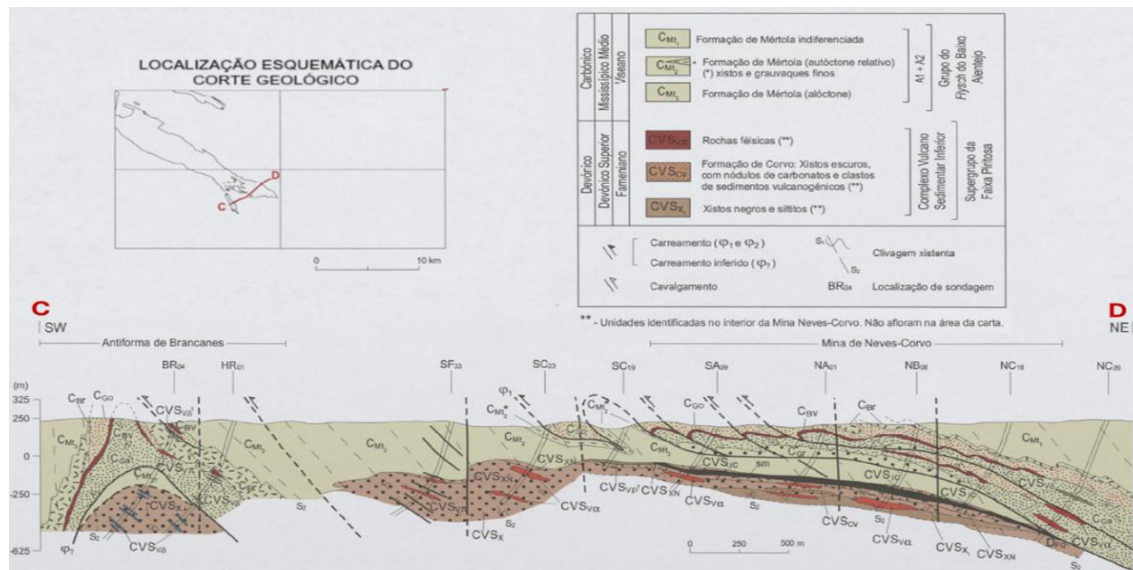


Figura 2.5 - Corte geológico com pormenor das marcas da imbricação tectónica entre a Antiforma de Brancanes e a Mina de Neves-Corvo (adaptado de Carta Geológica de Portugal, Folha 46 – C Almodôvar LNEG, 1995).

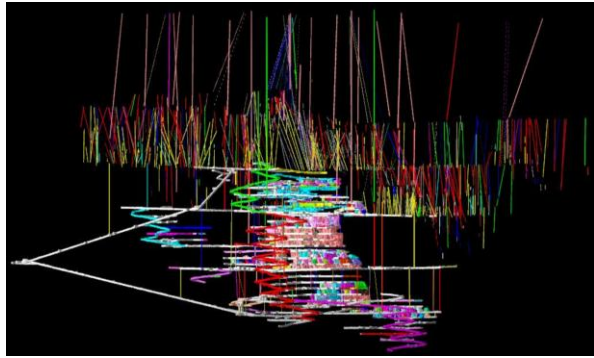
Capítulo 3 - MECÂNICA DAS ROCHAS

A Mecânica das Rochas é a ciência que estuda o comportamento mecânico das rochas e dos maciços rochosos, estudando a sua resposta às solicitações aplicadas, de origem natural ou antrópica, no seu ambiente físico (Brady & Brown, 2004).

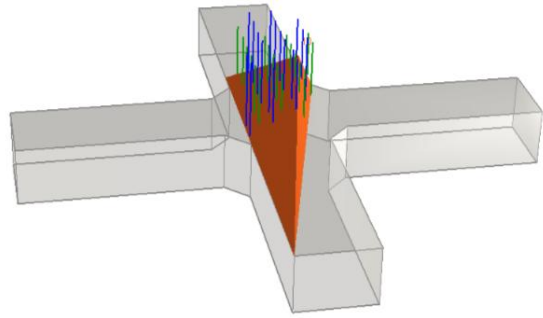
Na mina de Neves-Corvo, o Departamento de Mecânica das Rochas desempenha um conjunto de tarefas indispensáveis à sustentabilidade da atividade. O processo envolve a identificação de problemas geotécnicos e a sua resolução através da aplicação de soluções baseadas em técnicas de engenharia, que podem variar desde a experiência adquirida sobre o comportamento do terreno até à utilização de softwares específicos, de forma a prevenir eventuais acidentes que possam colocar em risco a vida dos trabalhadores, os equipamentos e a própria operação.

A equipa é composta por técnicos especializados, com a função de avaliar as condições geomecânicas dos maciços rochosos, aplicando tecnologias de modelação ou monitorização e complementando estas atividades com os trabalhos desenvolvidos pela equipa do laboratório no controlo de qualidade e nos estudos.

As diversas tarefas desenvolvidas incluem trabalhos teóricos e práticos. Nos trabalhos teóricos são definidas as orientações das escavações e o dimensionamento adequado do sustimento, utilizando softwares específicos (Deswik, Maps3D, Phase², Unwedge e Dips) (Figura 3.1). São aplicados modelos de cálculo que consideram a magnitude das tensões e as características dos maciços rochosos, sendo adotados, para esses modelos, fatores de segurança de 1,6 para galerias de produção e escavações temporárias, e de 2 para galerias permanentes, como rampas e rolagens. Os trabalhos práticos, que servem de base aos modelos de cálculo, envolvem a observação direta dos maciços rochosos e a aplicação de sistemas empíricos de classificação geomecânicas, tais como o sistema classificativo de Bieniawski, o Rock Mass Rating (RMR) proposto em 1973 e posteriormente, modificado (ver Bieniawski, 1989), o sistema Q (Q) de Barton (ver Barton et al., 1974; 1977), o GSI de Hoek e Marinos (Hoek, 1994, 2007; Hoek et al., 1995, 1998; Hoek & Marinos, 2000a, 2000b; Marinos et al., 2005, 2006; Marinos, 2012; Hoek et al., 2013) e o sistema SGM (Stability Graph Method) de Mathews e Potvin (ver Mathews & Potvin, 1988). Como complemento, são também realizados ensaios de controlo a materiais e aos trabalhos desenvolvidos na estabilização dos maciços rochosos.



(a)



(b)

Figura 3.1 - a) Imagem em Deswik da área do Lombador. b) Imagem em Unwedge de cruzamento entre galerias.

Após os trabalhos descritos anteriormente segue-se a observação. Nesta fase é realizada a monitorização do comportamento dos maciços rochosos durante a atividade produtiva, sendo utilizados diferentes tipos de instrumentação, como por exemplo a microssísmica, extensómetros ou convergências que são essenciais para avaliar se as condições de estabilidade se mantêm ao longo do tempo, que tipo de variação existe e se os elementos de reforço e suporte se comportam como previsto.

Capítulo 4 - ESTABILIZAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

A estabilização de maciços rochosos em ambiente subterrâneo é um aspeto fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a continuidade das operações mineiras. Este processo envolve a aplicação de diversas técnicas de reforço e suporte, bem como a realização de ensaios de controlo e monitorização sistemática que permitem avaliar o desempenho dos sistemas instalados e detetar precocemente potenciais instabilidades.

Neste capítulo serão apresentados, de forma detalhada, os materiais e as técnicas utilizadas nas intervenções de reforço e suporte dos maciços rochosos na operação mineira em análise. Serão descritas as principais tipologias aplicadas em campo, alguns critérios de seleção, bem como os objetivos específicos de cada solução.

A abordagem distingue entre as técnicas de reforço, que atuam na estabilização interna do maciço por meio de ancoragens ativas e passivas, e as técnicas de suporte, que visam o confinamento superficial através de elementos como betão projetado reforçado com fibras, malha metálica soldada e enchimento mineiro.

Adicionalmente, serão incluídas as especificações técnicas dos elementos aplicados, como ancoragens ativas, ancoragens passivas, revestimentos e enchimento mineiro, abordando os seus parâmetros de desempenho e métodos de instalação. Por fim, será também feita referência aos sistemas de monitorização associados e aos procedimentos de controlo de qualidade adotados, que permitem avaliar a eficácia das soluções implementadas ao longo do tempo.

4.1. Reforço dos maciços rochosos

O reforço da rocha é necessário para criar estruturas subterrâneas estáveis, e tem como principal objetivo a atenuação das tensões do maciço rochoso (de corte ou de tração) adjacente à escavação, por meio de elementos estruturantes introduzidos através de furos, como por exemplo: sustimento com cabos de aço, parafusos, etc. (Windsor & Thompson, 1993).

Na mina de Neves-Corvo são utilizados diferentes elementos para reforçar os maciços rochosos, nomeadamente ancoragens ativas e passivas (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Tipos de ancoragens utilizadas na mina de Neves-Corvo.

Tipo de Ancoragem	Elemento de reforço	Capacidade (Ton)	Tempo de vida	Tipo de sustimento	Aplicação (Frente)
Ancoragens Passivas	Parafusos Expansivos	12	6 meses	Temporário	Produção
	Cabos de Aço (simples) Cabos de Aço (duplo)	25,5 45	> 2 anos	Permanente	Produção e Desenvolvimento
Ancoragens Ativas	Parafusos com Resina (encartuchada)	20	> 2 anos	Permanente	Desenvolvimento
	Parafusos Autoperfurantes com Resina (injetada)	20	> 2 anos	Permanente	Produção e Desenvolvimento

Estes elementos são definidos pelas suas características, pelas particularidades do maciço rochoso que se pretende reforçar, seja ele mais ou menos fraturado, pela dimensão e tempo de abertura da escavação em causa, bem como, pela própria tensão que o maciço rochoso transmite a esses elementos. Neste capítulo serão abordados todos os elementos utilizados no reforço dos maciços rochosos com foco nas suas características e nos detalhes da sua aplicação.

4.1.1. Ancoragens passivas

Estes tipos de ancoragens são caracterizados por apenas se tornarem ativas após uma solicitação do terreno. Como referido na tabela anterior, na Somincor existem 2 tipos de ancoragens passivas, nomeadamente os parafusos expansivos (capacidade mínima de 12 Ton) e os cabos de aço (capacidade mínima de 25.5 Ton por cabo).

PARAFUSOS EXPANSIVOS

A instalação dos parafusos expansivos é realizada por um jumbo de sustimento constituído por um braço para furação e colocação dos parafusos (Figura 4.1). Esta e todas as outras máquinas utilizadas na colocação de ancoragens utilizam um motor a diesel apenas para a locomoção dentro da mina. Durante as atividades de furação e instalação das ancoragens, entram em funcionamento motores elétricos que alimentam os diversos sistemas hidráulicos da máquina. Estes motores elétricos são alimentados diretamente a partir dos quadros de frente, integrados na extensa rede de energia que cobre toda a mina.



Figura 4.1 - Jumbo de sustimento da marca Epiroc para parafusos expansivos (adaptado de Epiroc, 2025).

O processo envolve a execução de um furo e colocação, no seu interior, de um parafuso que é constituído por um tubo de aço deformável e expansível por injeção de água à pressão de 300 bar (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Ilustração de um parafuso expansivo (adaptado de Epiroc, 2021).

Os parafusos expansivos são utilizados para estabilizar a zona superficial que envolve a escavação, sendo que a força mecânica é transferida para o maciço rochoso através do contacto entre o parafuso e as paredes do furo.

Este tipo de parafuso é utilizado nos desmontes de carácter temporário, ou seja, desmontes de produção em que se prevê que o intervalo de tempo entre a sua escavação e enchimento não ultrapassará os 6 meses, sendo a validade do parafuso suficiente para cobrir essa duração.

O seu formato de tubo, atribui-lhe uma resistência à tração considerável, no entanto, sempre que são esperadas solicitações de corte, opta-se pelos parafusos de heliação

ou são adicionados elementos de reforço complementares, como cabos de aço, para que se compense essa limitação.

As características deste tipo de parafuso (ver Tabela 4.2) tornam este tipo de reforço, uma solução bastante prática, proporcionando bons ritmos de produtividade e que está perfeitamente integrada no ciclo normal de produção.

Tabela 4.2 - Parafusos expansivos, componentes e especificações.

Componentes	Propriedade	Especificações
Parafuso Expansivo	Comprimento (mm)	2400
	Diâmetro não expandido (mm)	28
	Diâmetro expandido (mm)	42
	Espessura da parede (mm)	2
	Pressão de expansão (bar)	300
	Alongamento típico (%)	15
	Carga mínima de rutura (KN)	120
	Diâmetro de furação (mm)	38
Chapa	Dimensões (mm)	150 x 150
	Espessura (mm)	4
	Tipo	Com domo
	Diâmetro do furo (mm)	30
	Tipo de aço	S235JR

CABOS DE AÇO

A instalação dos cabos de aço é realizada por um jumbo específico que é composto por um braço de furação, braço de colocação e injeção de calda, depósito para cimento, misturadora para calda de cimento e a bobine de cabo (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Jumbo de furação e colocação de cabos da marca Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025).

No caso do método de cabos de aço duplo, o processo envolve a colocação de 2 cabos dentro de um furo, previamente feito, e cheio com calda de cimento, sendo que é a calda que faz a ligação entre os cabos e o maciço rochoso. Este tipo de ancoragem pode ter diferentes comprimentos e pressupõem a existência de um espaçamento e um afastamento entre furos definindo assim, uma área de ação.

O sustimento com cabos de aço só é considerado efetivo após terminarem duas fases distintas: a primeira fase, consiste na aplicação de dois cabos, que são flexíveis e formados por 6 filamentos em aço enrolados helicoidalmente, em volta de 1 filamento central (Figura 4.4); a segunda fase, executada após endurecimento da calda de cimento, consiste na colocação de uma chapa e cone/mordente por meio de um cilindro hidráulico que aplica uma tensão de 10 Ton no sistema.

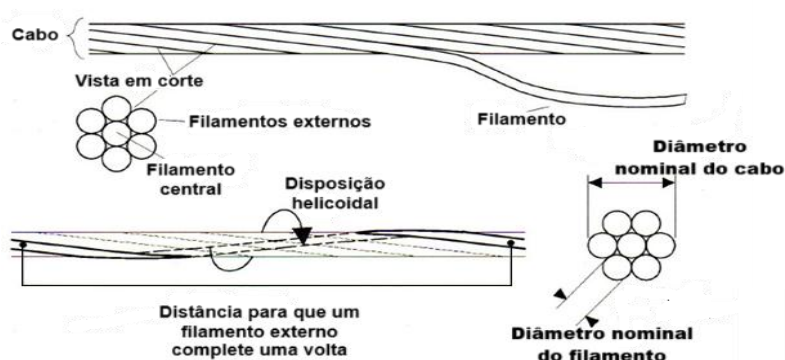


Figura 4.4 - Ilustração de cabo de aço com pormenor dos filamentos que o constituem (adaptado de Hutchinson & Diederichs, 1996).

Os cabos são aplicados como elemento complementar ao sustimento primário, ou seja, são utilizados em situações muito particulares quando o sustimento primário não é suficiente, nomeadamente, em situações onde as escavações apresentam um vão de maior dimensão, quando a fracturação destaca grandes blocos de rocha e sempre que as escavações se desenvolvem em maciços rochosos que apresentam estados de tensão muito elevados.

Os diferentes componentes e propriedades que constituem as ancoragens com cabos de aço (ver Tabela 4.3), funcionam em conjunto, como um sistema único e muito completo, constituindo uma solução de reforço que é utilizada, em detrimento de

outras soluções, devido à sua grande aplicabilidade e, naturalmente, pela sua maior capacidade de sustimento do maciço rochoso.

Tabela 4.3 - Cabos de Aço, componentes e especificações.

Componentes	Propriedades	Especificações
Cabo de Aço	Número de filamentos	7
	Diâmetro (mm)	15,2
	Alongamento mínimo (%)	3,5
	Área da secção (mm²)	139
	Módulo de elasticidade (GPa)	190
	Carga mínima de rutura (KN)	255
	Carga máxima de rutura (KN)	260
	Resistência do aço (MPa)	> 1800
Chapa	Dimensões (mm)	150 x 150
	Espessura (mm)	12
	Diâmetro furo - eixo maior (mm)	55
	Diâmetro furo - eixo menor (mm)	20
Barril & Cunha	Diâmetro externo (mm)	42
	Diâmetro interno (mm)	29
	Altura (mm)	45
	Espessura topo do barril (mm)	6
	Espessura base do barril (mm)	11
	Tipo de cunha	2 mordentes
Cimento	Tipo / Especificações	CEM II/B-L 32,5 N
	RCU a 7 dias (MPa)	> 16
	RCU a 28 dias (MPa)	> 32,5
	Início de presa (min)	> 75
	Expansibilidade (mm)	> 10
	Embalagem (Kg)	25

4.1.2. Ancoragens ativas

Estes tipos de ancoragens caracterizam-se por serem tensionadas durante a sua instalação, limitando dessa forma a deformação do maciço rochoso, podendo até recuperar-se parte dessa deformação. Na Somincor existem 2 tipos de ancoragens ativas, nomeadamente os parafusos de heliaço (capacidade mínima de 20 Ton) com resina e os parafusos autoperfurantes (capacidade mínima de 25 Ton).

PARAFUSOS DE HELIAÇO COM RESINA

A instalação dos parafusos de heliaço com resina é realizada por um jumbo de sustimento, este é constituído por um braço para furação e colocação do parafuso e por um sistema, a ar comprimido, que possibilita a injeção de resina encartuchada para o interior do furo (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Jumbo de furação e colocação de parafusos Boltec, da marca Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025).

São utilizados dois tipos de cartuchos com uma base de resina epóxi idêntica, sendo que a diferença entre eles, é o ativador (secante) que após mistura lhe dá mais ou menos velocidade de endurecimento (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Ilustração de um cartucho de resina (adaptado de Sandvik, 2026).

O processo envolve um furo prévio, a injeção de 3 cartuchos de secagem rápida no fundo do furo e, a injeção de 5 cartuchos de secagem lenta que preenche o furo até à face da rocha. O parafuso de heliaço é então empurrado em rotação para dentro do furo de forma a misturar os dois componentes de cada resina. Após a secagem da resina rápida, no fundo do furo, é aplicado, na porca, um pré-tensionamento (300 Nm) que pressiona a chapa à rocha, conduzindo a um pequeno “reaperto” de fissuras, embora outra função seja de verificar a aderência efetiva entre o parafuso a resina e a rocha. Após a secagem da resina lenta fica então concluída a instalação.

Os parafusos de heliação revestidos por resina (Figura 4.7) são utilizados para de estabilizar a zona mais superficial que envolve a escavação, geralmente entre 1,5 e 3 metros da superfície, sendo que a força mecânica é transferida para o maciço rochoso, através da resina que faz a ligação entre o parafuso e as paredes do furo.



Figura 4.7 - Ilustração de um parafuso de heliação (adaptado de Epiroc, 2021).

Este tipo de parafuso é utilizado nos desmontes de carácter permanente, ou seja, para rampas, rolagens ou infraestruturas de apoio como oficinas, em que se prevê que o intervalo de tempo entre a sua escavação e enchimento ultrapassará os 6 meses.

Os diferentes elementos e as suas características (ver Tabela 4.4), conferem vantagens na utilização desta solução, nomeadamente a sua elevada capacidade de carga e a resistência à corrosão que o revestimento de resina lhe proporciona.

Tabela 4.4 - Parafusos de heliação com resina, componentes e especificações.

Componentes	Propriedades	Especificações
Parafuso Hélição	Comprimento (mm)	2400
	Diâmetro do varão (mm)	25
	Alongamento mínimo (%)	500%
	Carga mínima de rutura (KN)	200
	Tipo de rosca	M24
Porca	Tipo	Hexagonal M24
	Largura (mm)	32
Anilha	Tipo	Côncava
	Diâmetro externo (mm)	50,5
	Diâmetro do furo (mm)	25
	Largura (mm)	16
Chapa	Dimensões (mm)	150 x 150
	Espessura (mm)	10
	Diâmetro do furo (mm)	40
Resina	Comprimento do cartucho (mm)	400
	Diâmetro do cartucho (mm)	25
	Tempo de secagem (rápida) < 25° C (seg)	30
	Tempo de secagem (lenta) < 25° C (seg)	120
	Validade (meses)	9
	Peso (g)	532
	RCU Resina rápida endurecida (MPa)	> 30
	RCU Resina lenta endurecida (MPa)	> 60
	Resistência ao corte endurecida (MPa)	> 20
	Número de cartuchos por caixa (un)	30

PARAFUSOS AUTOPERFURANTES

A instalação de parafusos autoperfurantes é realizada por um jumbo de sustimento muito específico. Este jumbo é constituído por dois depósitos para resina, um para armazenar o componente A (a resina líquida) e outro para o componente B (o ativador), e por dois braços de trabalho, um para a furação, colocação e injeção dos parafusos e outro para a colocação da porca na cabeça da ancoragem (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Jumbo de sustimento Boltec para parafusos autoperfurantes da Epiroc (adaptado de Epiroc, 2025).

A alta capacidade de percolação e as propriedades tixotrópicas da resina permitem consolidar maciços rochosos com elevado grau de fracturação e impedir a perda de resina após terminar a injeção, garantido a eficácia do método. A ancoragem é formada por diferentes elementos, incluindo, bit de furação, varão, adaptador (para utilização extensível), resina, chapa e porca de aperto (Figura 4.9).

O método permite a aplicação a dois passos, que envolve uma pré-furação e posterior colocação do parafuso, ou num único passo, em que é utilizado um bit de sacrifício, sendo que o próprio varão do parafuso funciona como barra de furação. Em ambas as aplicações, após a colocação do varão, a resina é injetada pela cabeça da ancoragem, percorre o interior do varão e reveste, desde o fundo do furo até à superfície do terreno, todo o parafuso. Durante a injeção de resina, o braço do jumbo pressiona o parafuso contra o terreno e após o seu endurecimento é então aplicada a porca e concluída a instalação.



Figura 4.9 - Ilustração de parafuso autoperfurante. (adaptado de Epiroc, 2021).

Este tipo de reforço pode ser utilizado em desmontes de produção ou de desenvolvimento, pois permite consolidar zonas superficiais, como também, zonas mais profundas do maciço rochoso.

Os diversos componentes que formam os parafusos autoperfurantes (ver Tabela 4.5) e a metodologia da sua aplicação, conferem diversas vantagens a esta solução, nomeadamente, pela sua elevada capacidade de carga, pela resistência à corrosão que o revestimento de resina lhe confere, pela consolidação do terreno e ainda, pela possibilidade de reforçar o maciço rochoso a maior profundidade sem afetar significativamente, o ciclo produtivo.

Tabela 4.5 - Parafusos autoperfurantes, componentes e especificações.

Componentes	Propriedades	Especificações
Parafuso	Comprimento do varão (mm)	2400
	Comprimento do varão extensível (mm)	2000 - 2100
	Diâmetro (mm)	28
	Tipo	Oco - "Hollow bar"
	Rosca	Todo o comprimento
	Carga mínima de rutura (KN)	200
	Carga máxima de rutura (KN)	260
	Alongamento (%)	> 6
Bit	Diâmetro do varão (mm)	38
	Diâmetro do varão extensível (mm)	42 - 45
	Rosca	R28
Chapa	Dimensões (mm)	150 x 150
	Espessura (mm)	6
	Tipo	Com domo
	Diâmetro do furo (mm)	34
Adaptador	Comprimento (mm)	150
	Diâmetro (mm)	36
	Rosca	R28
Porca	Tipo	Hex nut
	Rosca	R28
	Largura (mm)	41
Resina	Tempo de cura (seg)	180 ± 20
	Fator de expansão	1
	Propriedade tixotrópica	Imediata
	Densidade do componente A (Kg/dm³)	1,4
	Densidade do componente B (Kg/dm³)	1,18
	Resistência à compressão (MPa)	> 35
	Validade (Meses)	12

4.2. Suporte dos maciços rochosos

Segundo Windsor & Thompson (1993), o suporte, por definição, é a aplicação de uma força reativa na superfície de uma escavação. Ou seja, o princípio do suporte dos maciços rochosos é criar as condições, através dos elementos de suporte, para que estes, possam suportar o seu próprio peso.

O termo suporte é amplamente utilizado para descrever os procedimentos e materiais utilizados para melhorar a estabilidade e manter a capacidade de suporte das cargas dos maciços rochosos nas proximidades das escavações subterrâneas (Brady & Brown, 2004).

Na mina de Neves-Corvo são utilizados como elementos de suporte, o betão projetado reforçado com fibras e a malha soldada.

4.2.1. Revestimento

O revestimento tem um papel fundamental na estabilização das superfícies escavadas e naturalmente na segurança das pessoas e equipamentos. Na Somincor são utilizados o betão projetado e a malha soldada, que combinam resistência mecânica e adaptabilidade às condições do maciço rochoso. São utilizados em combinação com os elementos de reforço, garantindo um sistema de estabilização muito completo.

BETÃO PROJETADO

O betão projetado é preparado por via húmida, ou seja, os materiais são misturados com água. A mistura é composta por cimento, agregados, água, fibras e aditivos, sendo preparada em instalação própria à superfície (Figura 4.10).



Figura 4.10 - Instalação para produção de betão na Somincor (Central ARCEN).

Na Somincor o transporte do betão é realizado por autobetoneiras até aos locais onde este tipo de revestimento é aplicado, posteriormente, com um robot de projeção por meio de ar comprimido.

Este tipo de suporte é utilizado no revestimento de escavações recentes, formando com os elementos de reforço um sistema que trabalha de forma integrada. A sua principal função é evitar a propagação da fracturação e a descompressão superficial do maciço rochoso, de forma a evitar a queda de blocos de rocha. Por ser um revestimento rígido, são-lhe adicionadas fibras metálicas ou plásticas, com o objetivo de aumentar a sua ductilidade, ganhando dessa forma capacidade de resistência à tração e à fissuração. Trata-se de uma solução que é prática e muito eficaz quando se pretende aplicar betão em zonas onde o maciço rochoso tem grande deformabilidade.

As características do betão projetado utilizado na Somincor (ver Tabela 4.6) fazem dele uma solução de fácil e rápida aplicação sendo utilizado em todos os tipos de escavações, incluindo galerias, chaminés, silos, infraestruturas de apoio, etc.

Tabela 4.6 - Propriedades e especificações do Betão Projetado.

Propriedades	Especificações
Dimensão Máxima do Agregado Fino (mm)	4
Dimensão Máxima do Agregado Grosso (mm)	8
Razão A/C	0,4 - 0,5
Densidade (g/cm³)	2200
Abaixamento (mm)	200
RCU a 28 dias (MPa)	≥ 35
Absorção de Energia (J)	800
% Acelerador de Presa (%)	8 - 9
Ressalto (%)	6 - 12

MALHA SOLDADA

A malha metálica soldada é colocada na superfície das escavações, sendo a sua fixação realizada com a instalação de parafusos (Figura 4.11). A máquina utilizada para essa função é um Jumbo composto por dois braços, um para segurar e colocar a malha junto ao terreno e outro para furação e colocação dos parafusos.



Figura 4.11 - Jumbo para colocação de malha soldada da marca Sandvik.

Este tipo de malha é fabricado por electrossoldagem dos pontos onde os fios se cruzam, particularidade que a torna numa estrutura solidária e uniforme. As suas características (ver Tabela 4.7) contribuem para que seja a solução ideal para aplicar em maciços que apresentam maior deformabilidade, embora, pontualmente, seja utilizada como camada estruturante antes da aplicação de betão projetado. A grande vantagem da malha soldada surge com a necessidade de aplicar um suporte menos rígido e com maior capacidade de absorção dessas deformações, pois a resistência de qualquer elemento de suporte é infinitamente menor, quando comparada com as grandes tensões transmitidas pelos maciços rochosos que envolvem a escavação.

Tabela 4.7 - Malha soldada, componentes e especificações.

Propriedades	Especificações
Tempo de Vida (anos)	> 2 anos
Dimensões da Quadricula (mm)	100 X 100
Espessura dos Filamentos (mm)	5,6
Fator de Sobreposição	1,27
Dimensões do Painel (mm)	Altura: 2400 ; Largura: 3000
Área do Painel (m ²)	7,2
Área útil após sobreposição (m ²)	5,67

4.2.2. Enchimento mineiro

O enchimento mineiro refere-se ao material ou a uma mistura de materiais que são utilizados no preenchimento de cavidades subterrâneas produzidas pela extração mineira. Consiste em materiais como escombros, agregados, areias, ou rejeitados das lavarias, aos quais podem adicionar-se agentes ligantes, sendo o mais comum o cimento Portland (Rocha, 2018).

Em Neves Corvo são utilizados três tipos de enchimento: o enchimento hidráulico e o enchimento com pasta são produzidos em instalações próprias à superfície (Figura 4.12) e enviados, por gravidade ou por bombagem, para todas as áreas da mina, por uma vasta rede de tubagens; o terceiro tipo de enchimento, designado por enchimento com escombro é transportado diretamente, em Dumpers, das frentes de desenvolvimento para os desmontes a encher.



(a)



(b)

Figura 4.12 - a) Instalações de produção de enchimento com pasta. b) Instalações para produção de enchimento hidráulico.

A utilização de enchimento permite garantir a estabilidade em áreas adjacentes a outras já exploradas, pois o preenchimento das cavidades evita a convergência das paredes dos desmontes e a queda de blocos dos tetos, controlando dessa forma a propagação de problemas de estabilidade e a própria deterioração por descompressão dos maciços rochosos. Outra vantagem da sua utilização está relacionada com o seu contributo para a eliminação dos resíduos da exploração, reduzindo bastante as dimensões das barragens de deposição de rejeitos e consequentemente, diminuir o impacte ambiental.

Este relatório abordará apenas o enchimento mineiro com pasta, por se tratar do método predominante na mina de Neves-Corvo e o mais interessante do ponto de vista técnico. Os métodos de enchimento hidráulico e com escombro não serão contemplados, pois, juntos, representam menos de 20% do volume total de enchimento utilizado, o que reduz significativamente, a sua relevância para os objetivos deste documento.

Ressalta-se que o enchimento hidráulico é composto por uma mistura de areia (92 %), cimento (3 %), rejeitados (5 %) e água, de forma que a sua percentagem de

sólidos em peso ronde os 75 %. Já o enchimento com escombro resulta do aproveitamento do estéril proveniente de frentes de desenvolvimento, sendo utilizado principalmente, em desmontes secundários, onde a resistência do material não é um critério determinante por se tratar de áreas já exploradas e abandonadas. Este último método permite otimizar o uso das infraestruturas da mina (como telas de transporte e o poço), ao direcioná-las exclusivamente à extração de minério, além de contribuir para a redução a deposição superficial de resíduos.

ENCHIMENTO COM PASTA

A pasta é um fluido não-newtoniano composto por duas fases, uma sólida e outra líquida, sendo caracterizado por não apresentar segregação entre elas, fazendo com que o seu fluxo ocorra por *plug-flow* ou seja, dentro de um tubo move-se como um todo, sem turbulência ou mistura (Cândido, 2012).

A mistura de pasta é preparada com rejeitados, cimento, água, adjuvante, sendo a base desta mistura essencialmente rejeitados das lavarias provenientes do *underflow* dos ciclones (Figura 4.13), ou seja, a fração grosseira dos rejeitados.

Estes rejeitados passam por um processo de filtração, onde lhe é retirado o excesso de água, de forma que a percentagem de sólidos, em peso, na mistura final ronde os 80 %. Com esta relação, entre a parte sólida e líquida na mistura, obtém-se a consistência de uma pasta onde não existe fase líquida livre, o que é fundamental para o seu transporte.

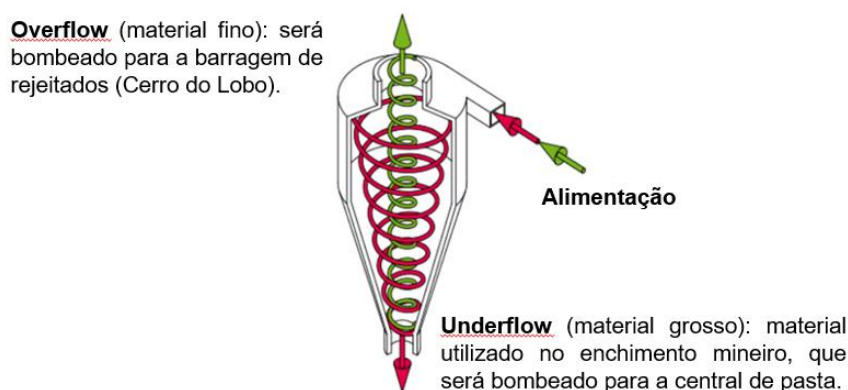


Figura 4.13 - Ilustração de hidrociclone que classifica/divide os rejeitados produzidos nas lavarias em duas correntes (adaptado de Junior et al, 2018).

A pasta pode ter várias resistências, dependendo do desmonte a encher. Nos desmontes primários a adição de cimento pode atingir os 7,5 %, enquanto para os desmontes secundários é de apenas 2,5 %. Estas diferenças explicam-se pelo facto da pasta que preenche os desmontes primários (> 2,5 %) ser exposta lateralmente durante a exploração dos desmontes subsequentes, sendo necessário minimizar os problemas de diluição entre pasta e o minério, enquanto os desmontes secundários (2,5 %) finalizam a sequência de exploração (Figura 4.14).

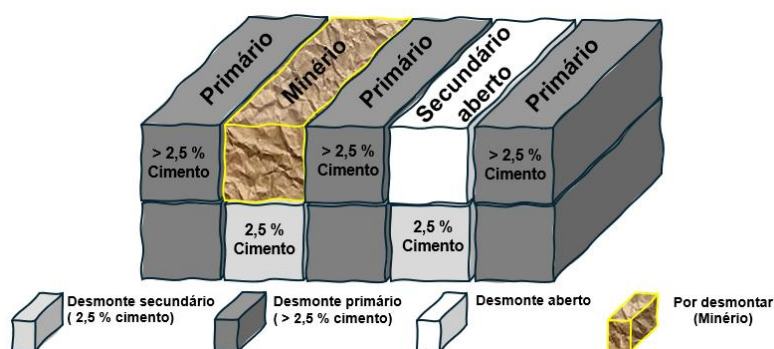


Figura 4.14 - Ilustração de dois níveis de exploração em bancadas com as diferentes percentagens de cimento de acordo com a sequência de desmonte.

As composições da pasta podem variar devido ao método de desmonte, ao tipo de furação e à heterogeneidade dos rejeitados, nomeadamente à sua natureza mineralógica e granulometria, pois essas características afetam a resistência final, levando à necessidade de correções (ver Tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Propriedades e especificações do enchimento com pasta*.

Propriedades	Especificações
Densidade específica (g/cm ³)	2,35 - 2,50
Sólidos (%)	79 - 82
Água (%)	16 - 21
Cimento (%)	2,5 - 7,5
Rejeitados (%)	92,5 - 97,5
RCU a 28 dias (KPa)	350 - 1500
Slump (mm)	220 - 270
Transporte	Gravidade - Bombeado

* Os intervalos apresentados correspondem ao conjunto das diferentes misturas utilizadas.

4.3. Controlo de qualidade e monitorização

Os ensaios de controlo de qualidade e as atividades de monitorização desenvolvidas e aplicadas pela equipa de Mecânica das Rochas são fundamentais para garantir a estabilidade, segurança e eficiência das operações mineiras em ambiente subterrâneo. Para assegurar a fiabilidade e a consistência dos resultados, todos os procedimentos seguem metodologias internas previamente definidas, geralmente baseadas em normas técnicas portuguesas e internacionais reconhecidas. Adicionalmente, todos os equipamentos utilizados são sujeitos a calibrações regulares por entidades externas devidamente certificadas, garantindo a conformidade metrológica e a rastreabilidade dos dados obtidos.

Os ensaios aos elementos de reforço, nomeadamente em ancoragens passivas e ativas, permitem avaliar o desempenho dos sustimentos instalados, assegurando que estes cumprem os requisitos de resistência e durabilidade necessários face às condições geomecânicas do maciço rochoso. Através da realização de ensaios, como a determinação das dimensões dos parafusos, verificação da qualidade das resinas ou ensaios de tração, verifica-se a capacidade de ancoragem, detetando eventuais falhas de instalação ou no material, o que permite agir corretivamente em tempo útil.

No que respeita ao suporte, os ensaios realizados ao revestimento e ao enchimento mineiro garantem que os materiais utilizados oferecem suporte adequado à escavação e contribuem para o controlo de deformações e da estabilidade estrutural. A verificação da composição das misturas, das espessuras e resistência dos elementos de suporte é essencial para prevenir colapsos locais, assegurando a integridade dos trabalhadores, equipamentos e estruturas mineiras.

Um dos trabalhos mais especializados é a determinação das tensões naturais, que fornece dados cruciais para os modelos de cálculo e para o planeamento das escavações. O conhecimento do estado de tensão inicial no maciço rochoso é fundamental para prever o seu comportamento geomecânico sujeito às solicitações causadas pelos trabalhos mineiros e para definir estratégias de escavação mais seguras e eficazes.

Por fim, a monitorização contínua através de métodos como a microsísmica, subsidências, extensómetros e medição de convergências permite detetar alterações no comportamento do maciço ao longo do tempo. Estes sistemas de monitorização

são essenciais para a gestão de risco, pois oferecem alertas precoces de instabilidade e sustentam decisões operacionais baseadas em dados reais. A análise da evolução dos deslocamentos e pequenos eventos sísmicos associados às escavações fornece uma visão detalhada do desempenho do maciço rochoso e da eficácia das medidas de reforço e de suporte que forem implementadas.

Em suma, os ensaios de controlo de qualidade e os sistemas de monitorização realizados pela equipa de mecânica das rochas, constituem uma componente vital na gestão da segurança e da sustentabilidade das operações mineiras da Somincor, contribuindo diretamente para a otimização dos métodos de escavação e para a preservação da integridade estrutural das infraestruturas subterrâneas.

Capítulo 5 - CONTROLO DE QUALIDADE E MONITORIZAÇÃO NA ESTABILIZAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS

O controlo de qualidade dos materiais aplicados no reforço e suporte dos maciços rochosos é um componente essencial para assegurar a segurança, a estabilidade e a eficiência das operações mineiras subterrâneas. Paralelamente, a monitorização contínua do comportamento do próprio maciço rochoso permite identificar alterações estruturais, antecipar potenciais instabilidades e validar a eficácia das soluções de engenharia implementadas.

As atividades de controlo técnico permitem verificar se os materiais utilizados estão em conformidade com os requisitos de projeto e normas aplicáveis, contribuindo para a prevenção de falhas estruturais e para o correto dimensionamento das técnicas utilizadas na estabilização dos maciços rochosos nas cavidades subterrâneas resultantes das escavações. A fiabilidade destes processos é determinante para a sustentabilidade operacional da mina e para a proteção de trabalhadores, equipamentos e infraestruturas.

Neste capítulo, serão abordados apenas os principais ensaios e atividades de acompanhamento técnico desenvolvidos durante o período de estágio, tendo em consideração os critérios de relevância prática e técnica, bem como as limitações de tempo e recursos disponíveis.

5.1. Ensaios de qualidade aos elementos de reforço

Neste subcapítulo, serão apresentados os principais ensaios realizados aos elementos de reforço, com foco naqueles considerados mais críticos e representativos da qualidade global do sistema. Serão abordados os seguintes ensaios: o ensaio *pull-out*, utilizado para aferir a capacidade de ancoragem dos elementos; o controlo dimensional dos furos e dos parafusos expansivos, fundamentais para garantir a correta instalação; o controlo da calda de cimento dos cabos, cujas propriedades influenciam diretamente o desempenho mecânico da ancoragem. Apesar de existirem outros ensaios complementares, optou-se por destacar os que assumem maior relevância no contexto do projeto em análise.

5.1.1. Ensaio *pull-out* e ensaio de tração

Na Somincor, dos ensaios realizados às ancoragens, aquele com mais importância é o ensaio *pull-out*. Este ensaio é fundamental para avaliar a aderência entre a ancoragem e o terreno, mais precisamente entre os materiais (aço, resina, cimento) responsáveis pela fixação da ancoragem e o maciço rochoso. O ensaio simula o esforço de arrancamento, testando a capacidade da ligação em resistir a cargas aplicadas, sendo essencial para garantir o cumprimento dos requisitos de segurança e durabilidade exigidos na empresa. Normalmente, apenas o ensaio *pull-out* é realizado como controlo de qualidade de rotina, sendo o ensaio de tração aplicado apenas em casos específicos, quando se suspeita de não conformidade dos materiais ou são detetadas falhas no desempenho da ancoragem. Em suma, o ensaio *pull-out* avalia a aderência entre a ancoragem e o maciço rochoso, enquanto o ensaio de tração verifica se o material da ancoragem cumpre as propriedades mecânicas indicadas pelo fornecedor.

As ancoragens são sempre colocadas perpendicularmente à face da rocha, uma vez que as solicitações naturais do terreno devem provocar esforços de tração e não de corte, onde a resistência das ancoragens é significativamente inferior.

O ensaio consiste na aplicação de uma força de tração axial diretamente numa ancoragem já instalada, utilizando para isso um cilindro hidráulico. Para garantir que a força aplicada seja paralela ao eixo da ancoragem, o equipamento deve ser corretamente posicionado e ajustado às irregularidades do terreno, assegurando um alinhamento preciso, garantindo o paralelismo com a ancoragem.

O equipamento utilizado na Somincor (Figura 5.1) é prático e portátil, permitindo a realização de ensaios em qualquer ponto da escavação, seja em hasteais ou no teto. A sua mobilidade torna-o adequado para intervenções em locais de difícil acesso.

Os ensaios *pull-out* são realizados de acordo com um procedimento de trabalho interno da empresa. Durante a sua execução, são registados, de forma contínua, tanto a força aplicada como o deslocamento da ancoragem, desde o início até ao fim do ensaio. Após a conclusão do ensaio, os dados recolhidos são transferidos para um software específico, onde são interpretados graficamente. A informação tratada é posteriormente armazenada numa base de dados interna.

Os ensaios podem ser conduzidos segundo diferentes critérios, nomeadamente:

- Verificação do cumprimento dos parâmetros mínimos exigidos pela Somincor;
- Cedência da ligação entre a ancoragem e a rocha;
- Rotura da ancoragem.

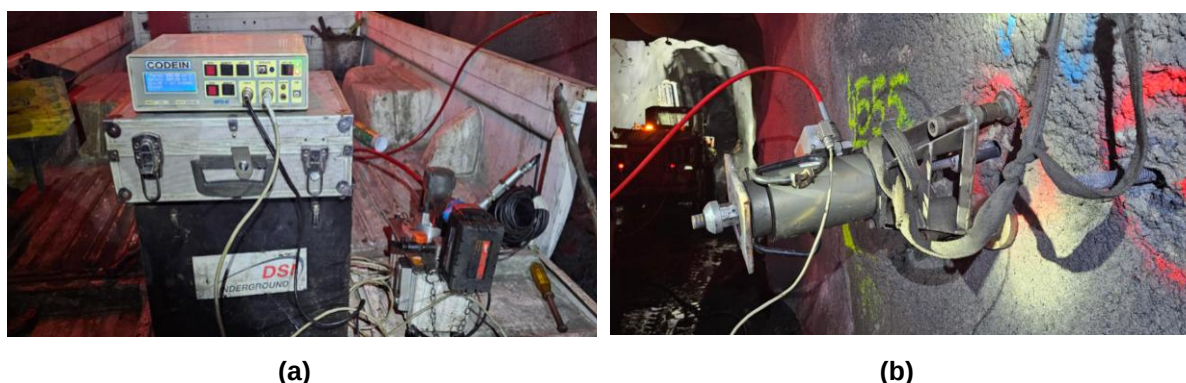


Figura 5.1 - a) Imagem de registador de dados e bomba hidráulica. b) Imagem de cilindro hidráulico, tripé e garra instalados em ancoragem para ensaio pull-out.

O equipamento de ensaio é constituído por vários componentes (ver Tabela 5.1), e a sua montagem envolve a colocação de um mordente, um tripé de apoio e um cilindro hidráulico que através de um varão transfere, de forma eficaz, a carga de tração para as ancoragens.

Tabela 5.1 - Materiais que constituem o equipamento *pull-out* e suas funções.

Componente	Função
Cilindro de interior cónico e Mordente tronco-cónico	Agarra firmemente a ancoragem para transmitir a força de tração.
Varão	Faz a ligação entre o Cilindro de interior troncoconico e mordente com o Cilindro hidráulico
Cilindro hidráulico	Aplica a força de tração axial sobre a ancoragem durante o ensaio.
Bomba hidráulica (elétrica)	Alimenta o cilindro com fluido (óleo) sob pressão.
Registador de dados (Data logger)	Permite registar a pressão o deslocamento e realizar os cálculos.
Extensómetro	Mede o deslocamento da ancoragem durante o ensaio.
Sensor de pressão	Permite medir a pressão hidráulica do sistema durante o ensaio.
Tripé de alinhamento	Asseguram que a força é aplicada paralelamente ao eixo da ancoragem.

5.1.2. Determinação das dimensões das ancoragens e furos

A relação entre o diâmetro interno dos furos e as dimensões das ancoragens é um parâmetro crítico para o desempenho do sistema de ancoragem, sendo fundamental garantir que não existam desvios significativos que comprometam a eficácia deste método de estabilização.

A perfuração do maciço rochoso, realizada com recurso a um *bit* em modo roto-percussivo, é frequentemente influenciada pela anisotropia do terreno. Esta condição pode originar variações no diâmetro e na regularidade dos furos, afetando diretamente a aderência das ancoragens, sejam elas do tipo expansivo, revestidas com resina ou cimento. Assim, torna-se necessário controlar com regularidade e precisão as dimensões internas dos furos, uma vez que a resistência de aderência depende da qualidade da interface entre os componentes envolvidos.

Também as dimensões das próprias ancoragens, embora tipicamente menos variáveis, devem ser verificadas, ainda que com menor frequência. A exceção são os parafusos expansivos, cuja verificação é mais frequente, devido ao seu funcionamento por expansão hidráulica. Neste tipo de parafuso, a eficácia depende exclusivamente da relação entre o diâmetro do tubo de aço expandido e o diâmetro do furo, sendo essencial garantir que a expansão seja suficiente (Figura 5.2) de forma a assegurar a aderência pretendida.



Figura 5.2 - Imagem de parafusos expansivos onde é possível verificar a diferença de perfil entre um parafuso antes e depois de ser expandido.

Por uma questão de representatividade dos trabalhos desenvolvidos pela equipa do Laboratório de Mecânica das Rochas, este relatório foca-se apenas no controlo dimensional da furação dos parafusos expansivos, sendo estes trabalhos realizados de acordo com um procedimento de trabalho interno da empresa.

O controlo dos diâmetros é realizado com um dispositivo específico, composto por um cabo que permite a introdução de uma cabeça medidora, acionada manualmente a partir da pega do equipamento que contém uma escala milimétrica para leitura (Figura 5.3).

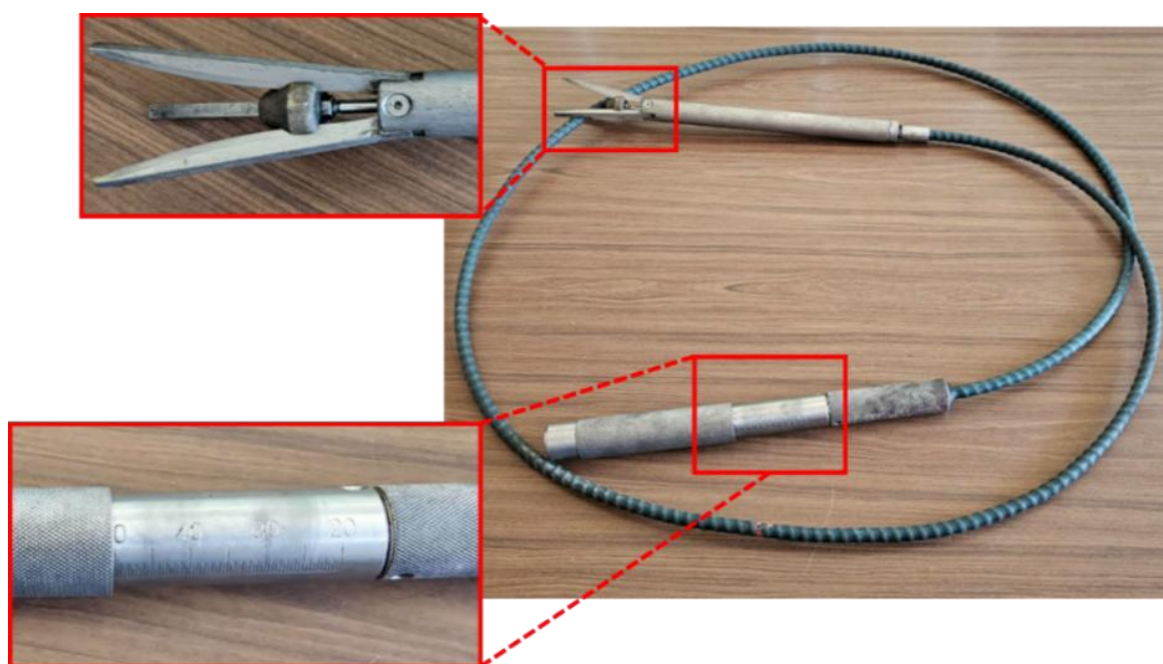


Figura 5.3 - Imagem do equipamento de medição do diâmetro interno dos furos com pormenor da cabeça medidora e da pega com escala milimétrica de leitura.

O ensaio prevê o registo de seis leituras ao longo de cada furo e o procedimento é repetido em cinco furos diferentes, por cada frente de trabalho a controlar (Figura 5.4), sendo os dados registados provisoriamente numa folha de campo (Anexo I)



Figura 5.4 - Imagem capturada no momento do ensaio de verificação do diâmetro interno de um furo para parafusos expansivos com pormenor da cabeça medidora e escala milimétrica de leitura.

No caso do controlo das dimensões dos parafusos o procedimento prevê a recolha de seis parafusos na mina, três não expandidos e três expandidos, sendo que a expansão é realizada, pelo jumbo, na frente de trabalho (Figura 5.5).

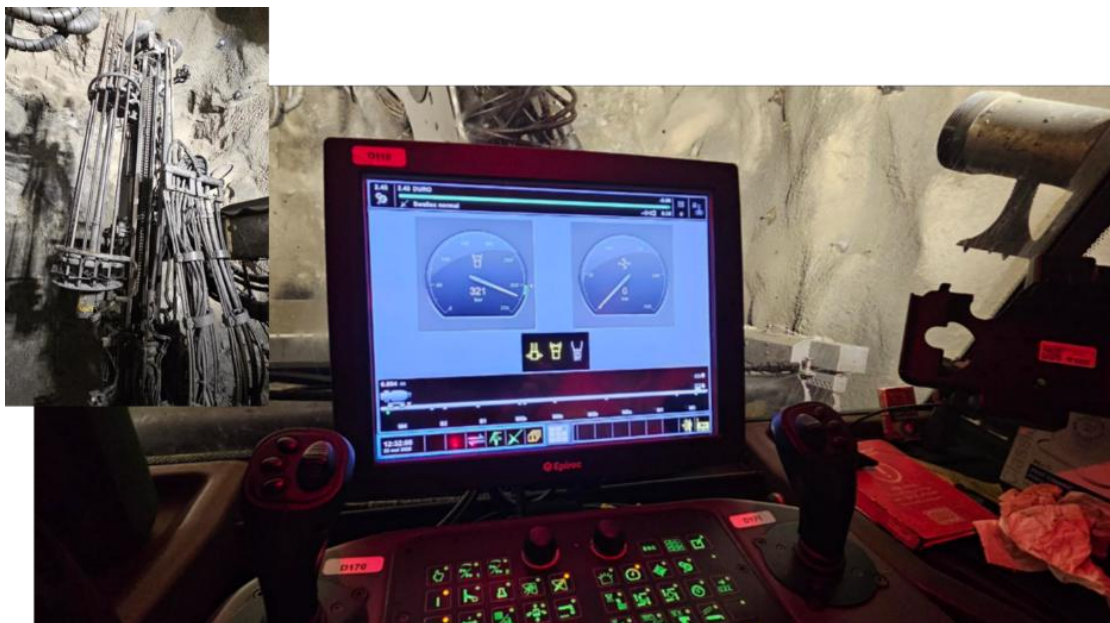


Figura 5.5 - Imagem da consola do jumbo durante o enchimento dos parafusos expansivos com pormenor do braço de furação, colocação e enchimento dos parafusos.

No laboratório os parafusos são preparados cuidadosamente de forma a não modificar as dimensões originais, sendo medidas diretamente com um paquímetro. O procedimento envolve a medição dos diâmetros de 3 parafusos não expandidos, em 3 zonas diferentes, sendo registados 3 diâmetros em cada uma dessas zonas (Figura 5.6).

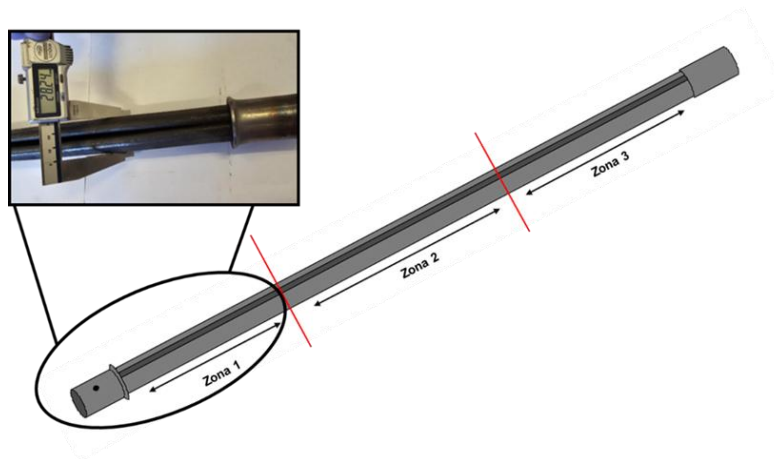


Figura 5.6 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, não expandido, com pormenor da medição efetuada com um paquímetro.

O procedimento é o mesmo para a medição dos 3 parafusos expandidos, ou seja, a medição dos três diâmetros em cada uma das 3 zonas e o registo das suas dimensões (Figura 5.7).

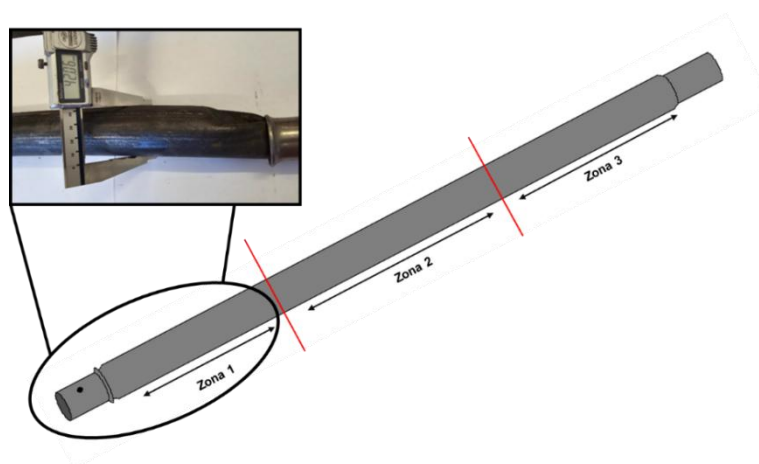


Figura 5.7 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, após expansão, com pormenor da medição efetuada com um paquímetro.

Após o controlo do diâmetro externo, os parafusos expandidos são cortados para permitir a medição da espessura da parede de aço que constitui o tubo do parafuso. O procedimento prevê a medição da espessura do aço dos 3 parafusos, em 2 zonas diferentes, sendo registados 3 espessuras em cada uma dessas zonas (Figura 5.8).

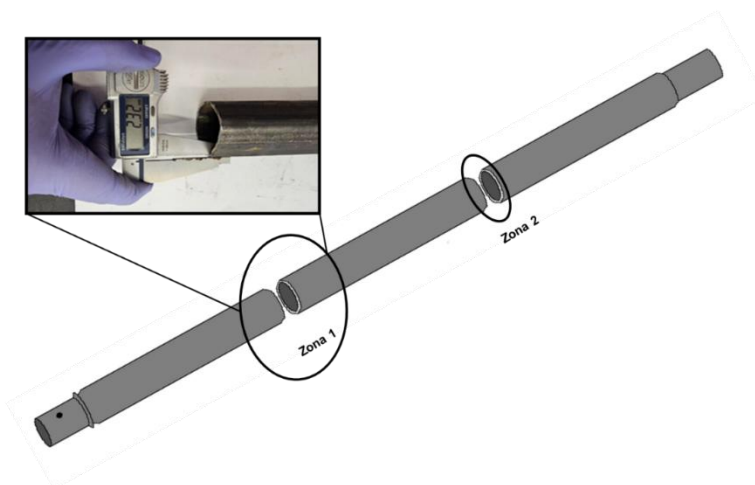


Figura 5.8 - Ilustração de parafuso do tipo expansivo, após expansão e corte, para medição da espessura do aço e pormenor da medição efetuada com um paquímetro.

As medições são registadas provisoriamente num documento interno (Anexo I) e, posteriormente, colocadas em base de dados na rede geral. Os resultados são calculados pela média das leituras sendo que cada uma, individualmente, não deverá exceder os limites estipulados.

Um aspeto importante, que é sempre verificado pelas equipas de manutenção, é a calibração da bomba hidráulica utilizada para a expansão dos parafusos, nomeadamente, da verificação frequente se atinge os 300 bar de pressão durante o processo.

5.1.3. Ensaios aos cabos de aço e calda de cimento

O controlo de qualidade efetuado às ancoragens com cabos de aço inclui a realização de ensaios de *pull-out*, bem como a análise da calda de cimento. Os ensaios *pull-out* foram descritos anteriormente, no subcapítulo 5.1.1, pelo que esta secção se dedica especificamente ao estudo da calda de cimento.

Relativamente à calda de cimento, são realizados ensaios com o objetivo de avaliar a sua consistência e resistência mecânica. Parâmetros como a densidade, a percentagem de sólidos e a relação água/cimento (A/C) são determinados através da utilização da balança de Marcy (balança de polpas). Para a avaliação da resistência, procede-se à amostragem e moldagem de cubos com dimensões de 100 mm x 100 mm, que são posteriormente sujeitos a ensaios de resistência à compressão (RCU) em diferentes tempos de cura, nomeadamente aos 1, 3, 7 e 28 dias.

Na Somincor, adota-se uma relação água/cimento de 0,33, valor que assegura um equilíbrio ótimo entre fluidez e resistência, permitindo a execução eficaz do processo de injeção. Para a preparação da calda, é utilizado cimento tipo II 32,5 R, cuja formulação confere um desempenho mecânico adequado, atingindo resistências à compressão da ordem dos 40 MPa aos 28 dias. Importa salientar que a utilização de água industrial proveniente da mina raramente compromete as propriedades do cimento, assegurando a sustentabilidade e a viabilidade económica do processo.

BALANÇA DE MARÇY

A determinação da densidade da calda de cimento através da balança de Marcy (Figura 5.9) constitui um método rápido e eficaz para avaliar a sua consistência, permitindo igualmente o cálculo da percentagem de sólidos e da razão água/cimento (A/C).



Figura 5.9 - Imagem da escala da balança de Marcy e pormenor do conjunto, balança e copo de medição.

Esta relação é fundamental para garantir a performance adequada da calda, uma vez que valores elevados da razão A/C podem causar o escorrimento da calda, impedindo a sua correta fixação dentro dos furos. Por outro lado, relações demasiado baixas resultam num enchimento insuficiente dos furos, originando a formação de vazios e zonas de fragilidade ao longo do comprimento do furo, comprometendo a aderência e a durabilidade do sistema.

O ensaio é realizado segundo um procedimento de trabalho interno que se inicia pela calibração do equipamento utilizando água, ou seja, enchendo-se o recipiente até aos orifícios superiores do copo e ajustando o ponteiro da balança para a posição zero da escala. Após este procedimento, o copo é completamente preenchido com a calda de cimento até o nível dos orifícios superiores, sendo submetido a leve vibração com o intuito de promover a eliminação de bolhas de ar. Quando necessário, realiza-se uma adição complementar de calda para restabelecer o nível adequado.

A leitura da densidade é efetuada na escala específica para sólidos com a densidade de referência do cimento utilizado (3140 kg/m^3). Os valores obtidos são registados provisoriamente na folha de campo (Anexo I) e o ensaio é sempre repetido três vezes consecutivas, a fim de assegurar a representatividade e a fiabilidade dos resultados.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (RCU)

O objetivo do ensaio RCU é determinar a evolução da resistência mecânica da calda de cimento ao longo do tempo, em função da razão A/C utilizada na mistura. Esta análise permite verificar a conformidade do material com os critérios de aceitação definidos pela Somincor para a instalação das ancoragens.

O controlo de qualidade é executado com base num procedimento de trabalho interno da empresa, desenvolvido para garantir a fiabilidade e reprodutibilidade dos ensaios laboratoriais. Embora este procedimento inclua ajustes operacionais específicos à realidade da empresa, encontra-se fundamentado em normas técnicas europeias aplicáveis à calda de cimento, assegurando o cumprimento dos requisitos regulamentares e a qualidade do produto final. Em particular, são observadas as seguintes normas:

- NP EN 196 - 1 (2016) – Estabelece os métodos para a determinação da resistência mecânica (compressão e flexão) de provetes moldados com

argamassa padrão, permitindo a classificação e verificação do desempenho do cimento utilizado na calda;

- NP EN 196 - 3 (2017) – Define os procedimentos para a determinação dos tempos de presa e da expansibilidade da pasta de cimento, parâmetros essenciais para garantir a trabalhabilidade e estabilidade da calda;
- NP EN 447 (2012) – Especifica os requisitos técnicos da calda de cimento utilizada em ancoragens, incluindo propriedades físicas, composição e critérios de qualidade para garantir segurança e desempenho estrutural adequados.

A adoção destas normas assegura a reprodutibilidade e comparabilidade dos resultados e garante que os ensaios são conduzidos de acordo com as boas práticas reconhecidas a nível europeu. O controlo de qualidade realizado envolve realização de uma amostragem da calda de cimento, e de seguida a preparação de provetes cúbicos, com aresta de 100 mm em moldes padronizados. A calda é cuidadosamente compactada nos moldes, por meio de um pilão, onde permanece *in situ* durante a cura inicial, ou seja, nas primeiras 24 horas (Figura 5.10).



Figura 5.10 - Imagem de moldes após enchimento e pormenor da compactação manual com pilão. A areia na base dos moldes tem o objetivo de nivelar o piso.

Concluído o período inicial, os provetes são recolhidos, desmoldados com o auxílio de ar comprimido e transferidos para uma câmara húmida. Nessa câmara, permanecem armazenados até o momento de cada ensaio, garantindo-se, assim, condições controladas de cura.

As informações relativas à amostra são registadas num mapa de ensaios (Anexo V), no qual estão indicadas as datas previstas para cada ensaio. Esse mapa é consultado diariamente pelos técnicos responsáveis.

Os ensaios RCU são realizados numa prensa hidráulica da marca MATEST (MOD: C089P357) (Figura 5.11), aplicando-se uma carga axial até à rotura dos provetes. Para cada intervalo de tempo de cura, 1, 3, 7 e 28 dias são ensaiados três provetes.



Figura 5.11 - Imagem da prensa hidráulica MATEST utilizada para realizar os ensaios RCU.

5.2. Ensaio de qualidade aos elementos suporte

Este subcapítulo aborda os principais ensaios de controlo de qualidade realizados aos elementos de suporte, com destaque para os mais representativos e críticos do ponto de vista técnico. No caso do betão projetado, serão descritos os ensaios relativos aos agregados, nomeadamente à análise granulométrica, ensaios de verificação das resistências iniciais e ensaios de verificação das espessuras aplicadas, parâmetros essenciais para o desempenho estrutural e adesão do revestimento. Relativamente ao enchimento mineiro, serão apresentados os procedimentos de amostragem para ensaios RCU realizados ao enchimento com pasta, bem como ensaios de reologia, fundamentais para avaliar o escoamento e comportamento mecânico do material. Embora existam outros ensaios a outros materiais (por exemplo, malha soldada, enchimento hidráulico, etc.), este subcapítulo reflete os mais relevantes para o controlo da qualidade e conformidade do suporte utilizado pela Somincor.

5.2.1. Ensaios de qualidade ao betão projetado

O controlo de qualidade do betão projetado envolve a realização de um conjunto de ensaios tanto aos seus constituintes como à mistura, em diferentes fases do processo: antes da aplicação (estado fresco) e após aplicação (estado endurecido). Estes ensaios são fundamentais para assegurar o desempenho do betão e a conformidade com os requisitos pretendidos pela Somincor.

No caso específico do betão aplicado por projeção com ar comprimido, existem variáveis operacionais que influenciam significativamente a qualidade final do revestimento e resultados dos ensaios realizados para controlo de qualidade. Entre as principais variáveis, destacam-se:

- Caudal volumétrico de projeção ($\pm 18 \text{ m}^3/\text{h}$);
- Distância entre a ponteira de projeção e a superfície de aplicação ($\pm 1,5 \text{ m}$);
- Ângulo de inclinação da projeção: idealmente próximo dos 90° em relação à superfície de aplicação.

O controlo rigoroso destas variáveis (Figura 5.12) é fundamental, uma vez que qualquer desvio pode comprometer a aderência, a compacidade e a resistência mecânica do betão projetado. Além disso, esses desvios dificultam a interpretação fiável dos resultados obtidos nos ensaios de qualidade, podendo mascarar não conformidades ou induzir conclusões incorretas.



Figura 5.12 - Imagem do monitor do robot de projeção onde se define o caudal de betão em m^3/h .

Após garantir que estas condições operacionais estão devidamente controladas, a análise técnica dos resultados torna-se mais precisa e eficaz, permitindo uma identificação rigorosa das causas de eventuais não conformidades. Esse diagnóstico técnico é essencial para a implementação de medidas corretivas adequadas, assegurando a qualidade e desempenho do betão projetado em conformidade com os padrões exigidos.

5.2.1.1. Agregados

A realização dos ensaios aos agregados deve basear-se em amostras representativas, sendo este um requisito fundamental para garantir a fiabilidade dos resultados. Para tal, é essencial seguir o procedimento interno da empresa que foi desenvolvido tendo como base na norma NP EN 932-1 (2000) – Ensaios para avaliação geral das propriedades dos agregados - Parte 1: Métodos de amostragem, o qual assegura a correta caracterização do material. Este procedimento considera fatores como o tipo de pilha de armazenamento e a dimensão das partículas de cada fração de agregado.

Após a recolha das amostras, procede-se à preparação dos provetes para os diferentes ensaios. A redução da amostra laboratorial até à quantidade necessária que constitui o provete elementar é também realizada conforme o critério definido num procedimento de trabalho interno, tendo este como base a norma NP EN 932-2 (2000). O processo inicia-se junto à pilha de material (Figura 5.13), pelo método de fracionamento com pá, após perda de humidade excessiva, segue-se a redução a provetes elementares que é efetuada com recurso a um divisor de amostras e aplicando os métodos de divisão 1/2, 3/4 ou 5/8, conforme o mais adequado.

No contexto da Somincor, o controlo de qualidade dos agregados incide sobretudo, na dimensão das partículas, um parâmetro crucial para assegurar que a mistura de betão apresenta as características exigidas para uma aplicação eficaz e uniforme. Para esse efeito é utilizado a análise granulométrica.



Figura 5.13 - Agregados utilizados para produção de betão projetado localizados em baias de separação na central de produção.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio de análise granulométrica realizado na Somincor segue um procedimento de trabalho interno escrito com base a norma NP EN 933-1 (2000). Este consiste na separação das partículas, do material a ensaiar, com base na sua dimensão, utilizando um conjunto de peneiros normalizados (Figura 5.14).



Figura 5.14 - Conjunto de peneiros (crivos) para realização da análise granulométrica aos agregados.

O procedimento adotado compreende duas etapas: lavagem do provete, para remover partículas finas aderidas, seguida de peneiração a seco, realizada em agitador mecânico. Cada fração é pesada individualmente e registados os valores numa folha de registo provisório (Anexo II) sendo, mais tarde, os valores colocados em base de dados interna.

Este ensaio é realizado com frequência semanal, ou sempre que se verifica alguma anomalia na mistura de betão que possa estar relacionada com a variação nas características dos agregados.

A granulometria dos agregados utilizados, nomeadamente da areia (0/4 mm) e da brita (2/6 mm) deve estar em conformidade com os limites estabelecidos, especificamente:

- Para a areia (0/4 mm), a fração inferior a 0,125 mm deve aproximar-se de 5,0%;
- Para a brita (2/6 mm), a fração inferior a 6 mm deve aproximar-se dos 90,0%.

A presença de 5,0% de partículas abaixo de 0,125 mm na areia, em conjugação com o cimento, é essencial para garantir que a mistura de betão contenha quantidade suficiente de pasta ligante, o que previne a segregação dos componentes. Este fator é particularmente relevante em betões com alta trabalhabilidade, como o betão projetado, que apresenta um abaixamento típico de ± 220 mm. A proporção adequada de finos evita a separação de água e a deposição das partículas mais densas, contribuindo para a homogeneidade da mistura e prevenindo entupimentos nas mangueiras do robô de projeção.

Relativamente à fração mais grosseira, o controlo da percentagem de partículas superiores a 8 mm (limitada a 2,0%) é fundamental para reduzir o ressalto, isto é, a porção de betão que não adere à superfície e é perdida durante a projeção. Este parâmetro tem impacto direto na eficiência e no desperdício do processo de aplicação por via húmida.

5.2.1.2. Ensaio ao betão projetado fresco

Tal como sucede com os restantes materiais, os ensaios ao betão fresco devem ser realizados com base em amostras representativas, condição indispensável para garantir a fiabilidade e validade dos resultados obtidos. No caso do betão, é

fundamental que a amostra se apresente em estado perfeitamente homogéneo, evitando variações na composição que possam comprometer a interpretação dos ensaios.

A amostragem do betão fresco é efetuada diretamente das autobetoneiras de transporte (Figura 5.15 a), que possuem boa capacidade de mistura. Para assegurar a representatividade da amostra, é essencial respeitar o tempo mínimo de mistura antes da recolha, conforme definido nos procedimentos internos aplicáveis.

Após a recolha, o betão deve manter-se homogéneo até à realização dos ensaios. Para tal, no laboratório utilizam-se misturadoras de pequena capacidade (25 litros) (Figura 5.15 b), onde o betão permanece em agitação contínua até à conclusão das subamostragens necessárias para os diferentes ensaios. Este procedimento garante a uniformidade da amostra ao longo de todos os ensaios, evitando variações que poderiam introduzir erros sistemáticos nos resultados.

No laboratório são realizados diversos ensaios ao betão fresco, com o objetivo de caracterizar as suas propriedades no estado no qual é aplicado. Entre os ensaios mais comuns encontram-se:

- Abaixamento (Slump Test);
- Razão água/cimento (a/c);
- Teor de humidade;
- Teor de ar (Aerómetro);
- Massa volúmica (densidade);

No entanto, por restrições de tempo e foco operativo, este subcapítulo abordará exclusivamente o ensaio de abaixamento, uma vez que este assume particular relevância para a aplicação do betão projetado e apresenta correlação direta com os restantes parâmetros. De facto, o valor de abaixamento reflete, de forma integrada, fatores como a quantidade de água na mistura, a coesão, a trabalhabilidade e a presença de ar incorporado, sendo por isso um indicador-chave de controlo em obra e em laboratório.



a



b

Figura 5.15 - a) Imagem de autobetoneira para transporte do betão projetado até aos locais de aplicação. b) Imagem de misturadora de laboratório utilizada para manter o betão homogêneo durante o período de tempo em que se realizam os ensaios de qualidade.

ABAIXAMENTO

O ensaio de abaixamento, também conhecido por *slump test*, é realizado com base num procedimento interno de trabalho, desenvolvido segundo os princípios estabelecidos na norma NP EN 12350-2 (2009), sendo os resultados registados provisoriamente numa folha de registo provisório (Anexo III) e posteriormente em base de dados interna.

Este ensaio tem como principal objetivo a avaliação da consistência do betão fresco, ou seja, a sua trabalhabilidade. O método consiste no enchimento, em três camadas sucessivas com compactação manual, de um molde troncocónico metálico (Figura 5.16), o qual é posteriormente removido de forma vertical e contínua.



Figura 5.16 - Imagem de equipamento para ensaio de abaixamento (*slump test*) composto por chapa, cone, funil e pilão de compactação.

A deformação do betão, após remoção do molde, traduz-se numa redução da altura original da amostra, e a diferença entre a altura inicial e final corresponde ao valor do abaixamento, medido em milímetros (mm).

O resultado do ensaio é influenciado por diversos fatores, nomeadamente:

- Composição da mistura;
- Granulometria dos agregados (mais ou menos grosseira);
- Teor de água e ar incorporado;
- Proporção de pasta ligante (cimento + finos).

Estas variáveis tornam o ensaio uma ferramenta expedita e eficaz para o controlo da qualidade do betão fresco, permitindo verificar se o betão produzido em central está em conformidade com os valores de referência definidos em laboratório. No caso específico do betão projetado utilizado pela Somincor, os valores de abaixamento aceitáveis situam-se tipicamente entre 200 mm e 220 mm, compatíveis com as exigências de elevada trabalhabilidade.

As variações nos resultados do ensaio de abaixamento constituem um indicador imediato de potenciais desvios na composição do betão fresco. Tais desvios podem decorrer de proporções incorretas dos constituintes ou do uso de materiais fora das especificações técnicas definidas, comprometendo a trabalhabilidade e o desempenho final da mistura.

Apesar de ser um ensaio simples e de execução rápida, o *slump test* assume um papel fundamental no controlo de qualidade em tempo real, funcionando frequentemente, como primeiro alerta para detetar erros operacionais ou anomalias na produção. A sua eficácia na identificação precoce de não conformidades torna-o um dos ensaios mais relevantes e valorizados por todos os intervenientes no processo de produção, controlo e aplicação do betão projetado.

Deste modo, o ensaio de abaixamento não só contribui para a verificação da consistência da mistura, como também reforça a eficiência do sistema de controlo de qualidade, promovendo respostas rápidas e medidas corretivas imediatas sempre que necessário.

5.2.1.3. Ensaios ao betão projetado endurecido

O betão projetado, quando corretamente aplicado, constitui um dos revestimentos mais amplamente utilizados em minas subterrâneas, devido à sua capacidade de adaptação às superfícies irregulares e à rápida aquisição de resistência, sendo particularmente eficaz em ambientes com elevada exigência estrutural e operacional (Figura 5.17).



Figura 5.17 - Imagem de galeria subterrânea onde foi utilizado o revestimento com betão projetado.

Entre os ensaios realizados ao betão projetado no estado endurecido, destacam-se, pela sua relevância operacional, os seguintes:

- Ensaios RCU;
- Resistências iniciais;
- Verificação das espessuras finais do betão após a projeção.

Embora os ensaios RCU envolvam a amostragem do betão ainda em estado fresco, são classificados como ensaios ao betão endurecido, uma vez que a avaliação da resistência mecânica ocorre em idades específicas após a cura (1, 3, 7 e 28 dias), segundo um mapa de ensaios atualizado a cada nova amostragem (Anexo V). O método de ensaio é semelhante ao utilizado para a determinação da resistência à compressão em caldas de cimento, já abordado em capítulo anterior, pelo que não será aqui aprofundado.

Neste subcapítulo, será dada especial atenção às resistências iniciais (primeiras 24 horas após aplicação) e à verificação da espessura efetiva do betão projetado, parâmetros críticos para garantir a eficácia estrutural e o desempenho funcional da aplicação, bem como para validar a conformidade com os requisitos de projeto.

RESISTÊNCIAS INICIAIS

A resistência inicial do betão projetado é um parâmetro fundamental, pois o tempo necessário para o desenvolvimento das primeiras resistências influencia diretamente a velocidade de avanço das frentes de trabalho e a estabilidade do revestimento recentemente aplicado.

A Somincor pretende que o betão projetado pertença à classe J2 segundo a norma NP EN 14488-7 (2008) que é utilizado para aplicações rápidas e camadas espessas (Figura 5.18), sendo os dados do ensaio registados provisoriamente numa folha de registo provisório (Anexo IV) e posteriormente em base de dados interna.

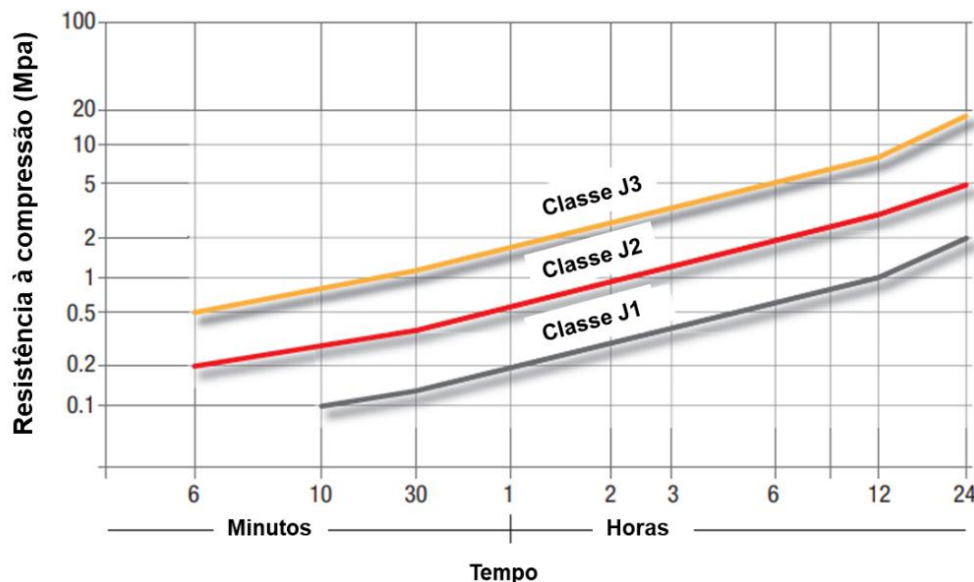


Figura 5.18 - Classes de resistência do betão projetado jovem (primeiras 24 horas) (adaptado de Fernandes, 2015).

Para acelerar este processo, recorre-se à utilização de aditivos aceleradores de presa, os quais desempenham um papel crítico no endurecimento imediato da

mistura. Na Somincor, o acelerador é incorporado diretamente na cabeça de projeção do robô, em dosagens típicas entre 8 % e 9 % em relação ao cimento presente na mistura. A função deste aditivo é reduzir significativamente o tempo de presa, permitindo que o betão projetado adira e endureça quase de forma instantânea, atingindo 1 MPa de resistência após 2 horas de aplicação.

Após a projeção, o betão entra numa fase de ganho progressivo de resistência mecânica, um processo influenciado por diversos fatores, tais como:

- Composição da mistura;
- Tipo e dosagem de acelerador utilizado;
- Condições ambientais, em especial a temperatura;
- Qualidade da projeção.

A avaliação da resistência inicial segue um procedimento técnico interno da Somincor adaptado da norma NP EN 14488-2 (2008), composto por duas fases complementares, que permitem acompanhar a evolução da resistência nas primeiras horas após a projeção.

A primeira fase envolve a verificação da resistência por penetração com um penetrómetro digital Mecmesin BFG 1000 N (*Basic Force Gauge*) (Figura 5.19 a). O procedimento consiste na medição da resistência à penetração por compressão de uma agulha até que o betão atinja uma resistência de 1 MPa, valor considerado indicativo da transição do estado plástico para o estado endurecido.

A segunda fase envolve a avaliação da resistência por profundidade de penetração de pregos (Método Hilti). Este procedimento ocorre quando o betão já não permite a penetração da agulha do penetrómetro, sendo então utilizada uma pistola de fulminantes Hilti DX-460MX / DX-5 MX (Figura 5.19 b), que dispara pregos metálicos contra a superfície do betão. A resistência à compressão é inferida a partir da profundidade de penetração dos pregos, utilizando curvas de conversão fornecidas pelo fabricante.



Figura 5.19 - a) Imagem do penetrômetro digital utilizado na primeira fase do ensaio de verificação das resistências iniciais. b) Imagem da pistola Hilti, fulminantes verdes e pregos de 52 mm utilizados na segunda fase do ensaio de verificação das resistências iniciais.

Importa referir que a segunda fase é subdividida em dois intervalos distintos:

- Intervalo intermédio: utilização de pregos de 72 mm, quando a resistência é superior a 1 MPa mas ainda insuficiente para suportar os pregos de menor comprimento;
- Intervalo final: utilização de pregos de 52 mm, quando a resistência do betão permite apenas penetrações controladas, indicativas de valores superiores de resistência.

Em ambos os casos são utilizados fulminantes de cor verde do tipo Clean-Tec 6.8/M10, que asseguram a uniformidade da energia de disparo, embora as curvas de conversão variem consoante o tipo de prego (Figura 5.20 e Figura 5.21).

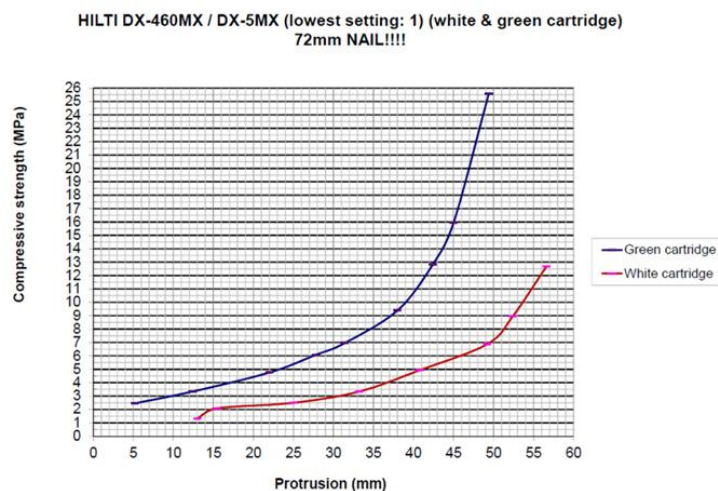


Figura 5.20 - Gráfico utilizado para verificar a resistência do betão, após 24 horas de aplicação, utilizando pregos de 72 mm.

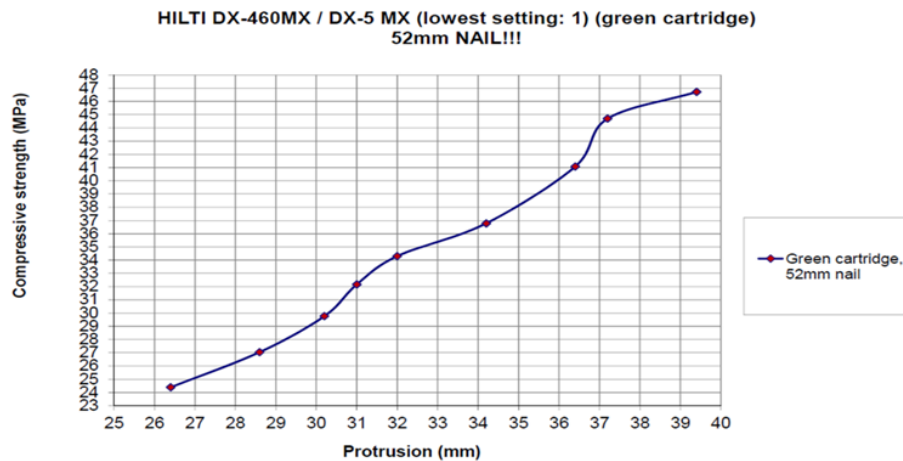


Figura 5.21 - Gráfico utilizado para verificar a resistência do betão, após 24 horas de aplicação, utilizando pregos de 52 mm.

ESPESSURAS

A espessura do betão projetado após aplicação é um parâmetro determinante para garantir a capacidade do revestimento em suportar as cargas transmitidas pelo maciço rochoso. Por esse motivo, a sua verificação deve ser realizada com regularidade e rigor, assegurando que os valores obtidos se mantêm dentro do intervalo exigido, normalmente entre 50 mm e 80 mm, conforme as especificações do projeto.

Além do seu impacto estrutural, o controlo da espessura apresenta também relevância económica, uma vez que espessuras superiores às previstas ou uma elevada taxa de ressalto podem resultar em desperdício significativo de betão projetado, com implicações diretas nos custos da operação.

A verificação da espessura do betão segue um procedimento interno da Somincor, desenvolvido com base na norma NP EN 14488-6 (2008). O método consiste na perfuração de cinco pontos de medição, utilizando um equipamento roto-percussivo, dispostos em duas linhas perpendiculares com espaçamento de 600 ± 50 mm (Figura 5.22 a). Cada linha contém três furos, com um furo comum no ponto de interseção.

A quantidade de furos e leituras pode ser ajustada em função da dimensão da área a inspecionar (Figura 5.22 b), sendo as leituras da espessura realizadas com recurso a um paquímetro específico, introduzido no interior dos furos para medição direta da espessura da camada aplicada.

Os valores obtidos são inicialmente registados provisoriamente em folha de campo (Anexo IV) e, posteriormente, introduzidos numa base de dados interna. O sistema informático associado processa automaticamente as médias, desvios padrão e variações em relação aos valores de projeto, permitindo uma análise estatística e a deteção imediata de não conformidades.

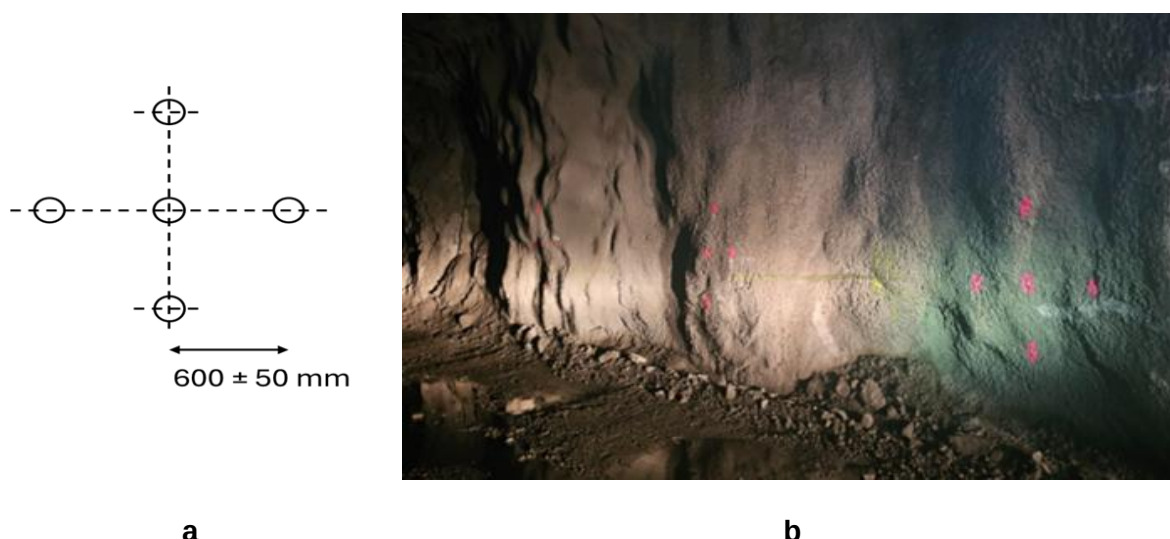


Figura 5.22 - a) Ilustração da disposição dos cinco pontos para medição das espessuras de betão projetado. b) Imagem de troço de betão projetado com a localização onde foram realizadas as medições.

5.2.2. Ensaio ao enchimento mineiro

No contexto do enchimento mineiro, especificamente na utilização de pasta, é fundamental garantir que determinados parâmetros assegurem um comportamento adequado tanto no suporte e estabilização das áreas envolventes às cavidades preenchidas, como no seu escoamento eficiente através da extensa rede de tubarias até aos desmontes a serem preenchidos.

Para tal, torna-se essencial a verificação da resistência mecânica da pasta e das suas propriedades reológicas. É importante salientar que alguns dos ensaios são

realizados enquanto a pasta se encontra no estado fresco, enquanto outros são efetuados após o seu endurecimento.

Todos os ensaios realizados no âmbito do controlo de qualidade da pasta seguem procedimentos internos definidos pela Somincor. Embora apresentem semelhanças com alguns ensaios habitualmente aplicados a solos, estes procedimentos foram desenvolvidos especificamente pela empresa, tendo em conta as particularidades do enchimento mineiro com pasta. Importa referir que a mina de Neves-Corvo foi uma das pioneiras na aplicação deste tipo de enchimento em ambiente mineiro subterrâneo, o que contribuiu para o desenvolvimento e consolidação de metodologias próprias e adaptadas à realidade operacional da exploração.

Entre os diversos ensaios realizados, como a determinação da densidade, o ensaio de abaixamento, o teor de humidade, a medição da resistência *in situ* com penetrómetro, a análise reológica e a resistência à compressão, este relatório foca-se naqueles com maior relevância para a avaliação da qualidade do enchimento e para a tomada de decisões técnicas. Assim, serão apresentados os ensaios de resistência à compressão uniaxial e os ensaios reológicos, por serem os que melhor indicam, respetivamente, a resistência final da pasta e o seu comportamento durante o escoamento.

5.2.2.1. Ensaios à pasta fresca

Os ensaios realizados à pasta têm início com a amostragem na central de produção. Considerando que esta central opera por ciclos de produção de 4 m³ por amassadura, a amostragem é realizada em, pelo menos, três ciclos distintos, de forma a garantir a representatividade da amostra. Após a recolha, registo dos dados da composição e operação em folha de registo provisório (Anexo VI), o material é transportado para o laboratório, onde é homogeneizado numa misturadora, assegurando-se a uniformidade da pasta antes da realização dos ensaios.

A partir da amostra homogeneizada, são retiradas várias subamostras destinadas aos diferentes ensaios de controlo de qualidade. Simultaneamente, são moldados 21 provetes cilíndricos para a avaliação da resistência à compressão, com ensaios programados desde as primeiras 24 horas até à idade de 360 dias, permitindo acompanhar a evolução da resistência mecânica ao longo do tempo.

REOLOGIA

A análise do comportamento reológico da pasta permite avaliar se a mistura apresenta as propriedades adequadas para o seu escoamento ao longo da rede de tubagens até aos locais de enchimento, garantindo, assim, a eficiência do processo de transporte e aplicação.

A determinação das propriedades reológicas é realizada com recurso a um reómetro digital do tipo RheolabQC da Anton Paar (Figura 5.23). O procedimento consiste na colocação de uma amostra representativa e devidamente homogeneizada num copo apropriado, sendo depois a medição conduzida automaticamente pelo equipamento. Os resultados obtidos, tanto em forma de tabela como em gráfico, são exportados diretamente para a base de dados interna da Somincor, assegurando o registo e o tratamento sistemático da informação para fins de controlo de qualidade e suporte à tomada de decisão.



Figura 5.23 - Imagem do reómetro digital (RheolabQC) onde é determinada a reologia da pasta.

5.2.2.2. Ensaios à pasta endurecida

Os ensaios realizados à pasta endurecida permitem avaliar as suas características mecânicas ao longo do tempo, possibilitando a análise da evolução da resistência desde o momento da amassadura até à fase em que a pasta atinge um estado consolidado. Esta informação é fundamental para compreender o desenvolvimento das propriedades da mistura ao longo das diferentes idades de cura.

Os dados obtidos nos ensaios de controlo de qualidade em laboratório permitem estabelecer correlações com o comportamento da pasta nos desmontes onde foi efetivamente aplicada. Apesar de se preverem algumas variações devido às condições ambientais *in situ*, essas diferenças são geralmente ligeiras e os resultados continuam a ser de grande relevância para a operação mineira. Esta correlação assume particular importância em contextos onde se prevê a exploração de áreas adjacentes a desmontes previamente preenchidos, uma vez que permite uma avaliação mais rigorosa da estabilidade dessas zonas. Além disso, contribui para a identificação de eventuais fenómenos de diluição da pasta no minério, os quais podem resultar em reduções significativas nos teores efetivos face aos valores previstos em plano, afetando negativamente o desempenho económico da operação mineira.

ENSAIOS RCU

A resistência da pasta é avaliada por meio de amostragens regulares, através da realização de ensaios de compressão uniaxial em provetes cilíndricos. Estes provetes são moldados em formas cilíndricas padronizadas (Figura 5.24) e, após 24 horas, são desmoldados e retificados para dimensões normalizadas de 100 mm de altura por 50 mm de diâmetro. A retificação visa garantir a uniformidade das amostras e a fiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios.



Figura 5.24 - Imagem de execução de provetes de pasta para posterior realização de ensaios RCU.

Após a preparação, os provetes são devidamente identificados, embalados a vácuo e colocados numa câmara de cura (Figura 5.25) com temperatura controlada a cerca de 30 °C e humidade relativa próxima dos 99%. Estas condições visam simular o ambiente de cura existente no interior da mina, promovendo uma replicação mais realista do comportamento da pasta *in situ*.



Figura 5.25 - Imagem da câmara de cura e pormenor da identificação dos provete.

Nas diferentes idades de ensaio a 1, 3, 7, 28, 56, 180 e 360 dias, os provetes são retirados da câmara de cura, removidos dos sacos selados a vácuo, pesados e ensaiados individualmente numa prensa hidráulica do tipo VJ Tech TRI-SCAN 50 (Advanced Digital Triaxial System) (Figura 5.26).



Figura 5.26 - Imagem da prensa hidráulica (VJ Tech) para ensaios RCU de Pasta.

Os ensaios são realizados em conjuntos de três provetes por idade, permitindo a obtenção de uma média estatisticamente representativa da resistência à compressão. Durante o ensaio, é também registado o tipo de rotura numa folha de registo provisório específica (Anexo VII).

Posteriormente, os provetes ensaiados são colocados em estufa a 110 °C, com o objetivo de determinar o teor de humidade no momento do ensaio. Após a conclusão de todo o processo, os dados são importados diretamente da prensa para a base de dados interna, assegurando a rastreabilidade e integridade da informação obtida para análise técnica.

5.3. Monitorização do maciço rochoso

A monitorização dos maciços rochosos constitui uma etapa fundamental na compreensão do comportamento geomecânico das formações rochosas, especialmente no contexto da atividade mineira. Durante o estágio, foi possível acompanhar diversas atividades relacionadas com a instrumentação e controlo desses maciços, com o objetivo de avaliar a sua estabilidade e resposta à atividade desenvolvida na mina subterrânea e também como forma de encontrar as melhores soluções para cada desafio.

Entre os trabalhos desenvolvidos, destacam-se o acompanhamento do ensaio de determinação do estado de tensão natural do maciço rochoso e a instalação de um novo sistema de monitorização baseado em microsísmica. Além disso, foi possível a recolha de dados de instrumentos como sensores de convergência, extensómetros e marcos de subsidência. A combinação dessas técnicas permite obter uma visão abrangente do estado de tensões, deslocamentos e deformações no interior do maciço, fornecendo informações essenciais para suporte de decisões técnicas e operacionais ao longo do tempo.

5.3.1. Determinação do estado de tensão natural

O estado de tensão natural ou inicial do maciço rochoso é fundamental para o dimensionamento adequado das escavações e do suporte adequado, sendo ainda mais relevante quando estes se desenvolvem em grandes profundidades. Em Neves Corvo as profundidades já ultrapassam os 1070 m e, para além das enormes tensões que resultam de todo o recobrimento, existe outro fator determinante que resulta da redistribuição das tensões induzidas pelas zonas já exploradas, nas zonas adjacentes.

Determinar o valor da distribuição de tensões e da sua direção é de grande importância para a estabilidade dos desmontes, desde logo pela sua utilização no cálculo de modelos numéricos, utilizados no dimensionamento, mais próximos da realidade que permitam prever e antecipar problemas na estabilidade e consequentemente, nos ciclos produtivos.

As tensões naturais em maciços rochosos, são aquelas que se encontram presentes antes de qualquer intervenção humana, resultantes do peso das camadas subjacentes, das forças tectónicas e de outras ações geológicas de longo prazo. A determinação dessas tensões é essencial para compreender o estado de tensão inicial do maciço e prever a sua resposta a escavações ou outras alterações no seu equilíbrio.

Durante o estágio, acompanhou-se a execução de um ensaio para determinação do estado de tensão natural, realizado por uma empresa altamente especializada no método de sobre-carotagem (*overcoring*), a MMS (*Mining Measurement Services*).

O ensaio foi realizado de acordo com as recomendações da ISRM (*International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*), conforme o relatório técnico *Suggested Methods for Rock Stress Determination by Overcoring Techniques* (ver Sjöberg *et al.*, 2003), que apresenta um guia reconhecido internacionalmente para a execução deste método.

O procedimento tem início com a realização de um furo de diâmetro médio (aproximadamente 105 mm) no maciço rochoso, utilizando-se uma sonda (Figura 5.27).



Figura 5.27 - Imagem da sonda de perfuração, coroas de corte, centralizadores de furação e testemunhos dos primeiros metros de furação.

Esta perfuração estende-se até uma profundidade suficiente, de forma que a zona selecionada se encontre fora da influência das tensões induzidas pela escavação (normalmente 9 m e 15 m), permitindo a medição das tensões naturais do maciço.

Alcançada a profundidade desejada, procede-se à execução de uma nova perfuração de pequeno diâmetro no fundo do furo principal, com alinhamento centrado. Nesta perfuração é instalada uma célula equipada com extensómetros de elevada precisão, capazes de medir deslocamentos na ordem dos micrómetros. A colocação da célula depende diretamente da qualidade do testemunho recuperado durante esta segunda perfuração, sendo imprescindível obter uma amostra com comprimento adequado e isenta de fraturas, uma vez que a integridade da rocha condiciona a correta instalação da célula, a fase seguinte com a operação de sobre-carotagem (*overcoring*) e pode mesmo impedir a realização do ensaio (Figura 5.28).



Figura 5.28 - Imagem do comprimento final do furo, com pormenor do testemunho de pequeno diâmetro e célula de medição acoplada na vara de colocação.

A fixação da célula à parede do furo é efetuada com recurso a uma resina epóxi bicomponente. Durante a instalação, e com o auxílio de uma vara, garante-se a orientação precisa da célula, de forma a identificar a direção do Norte (Figura 5.29). Este detalhe é essencial para a determinação das direções das tensões principais (σ_1 , σ_2 e σ_3).



Figura 5.29 - Imagem da vara de colocação e centralização da célula de monitorização.

Após um período de cura da resina de cerca de 24 horas e registo de uma primeira leitura inicial, realiza-se a sobre-carotagem, ou seja, a perfuração do tarolo em torno da célula, utilizando-se uma coroa de maior diâmetro. Este processo é efetuado com água de arrefecimento à temperatura da rocha *in situ* ($\pm 37,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), prevenindo alterações térmicas que possam comprometer os resultados. Durante esta etapa, monitoriza-se o relaxamento da rocha, envolvente à célula, à medida que a perfuração avança. Todo o processo é conduzido com elevada precisão, sendo os dados registados e analisados em tempo real através de software especializado (Figura 5.30).

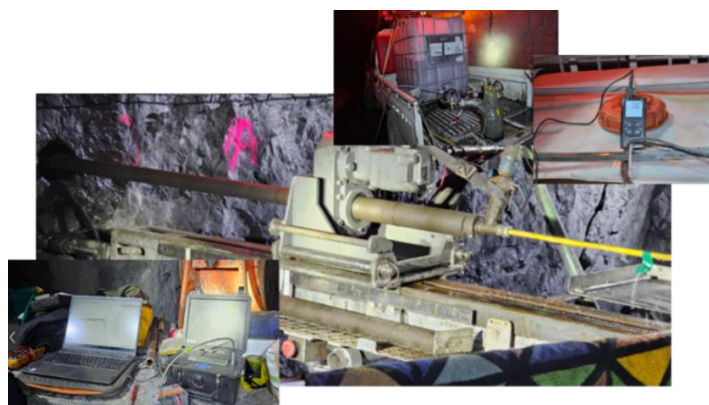


Figura 5.30 - Imagens da realização da sobre-carotagem, com pormenores do reservatório de água quente, termómetro e software de monitorização.

Concluído o processo de sobre-carotagem e registo das leituras, a amostra cilíndrica, contendo a célula de medição no seu interior, é submetida a um ensaio de carga

biaxial *in situ* num cilindro hidráulico específico. Durante este ensaio, aplica-se uma pressão radial controlada sobre a amostra, enquanto se monitorizam continuamente as deformações radiais e axiais. Numa primeira fase, o objetivo é calibrar os extensómetros da célula em função de uma pressão conhecida e da deformação esperada, garantindo que os valores usados para calcular tensões estejam corretos, o que permite calcular com precisão as tensões naturais originalmente presentes na rocha (Figura 5.31). Adicionalmente, a análise da relação entre a pressão aplicada e as deformações registadas permite determinar *in situ* as constantes elásticas do maciço rochoso, nomeadamente o Módulo de Elasticidade ou Módulo de *Young* (E) e o Coeficiente de *Poisson* (ν). Estes parâmetros são fundamentais para caracterizar o comportamento mecânico da rocha sob carga e para validar modelos de estabilidade e dimensionamento de suportes.

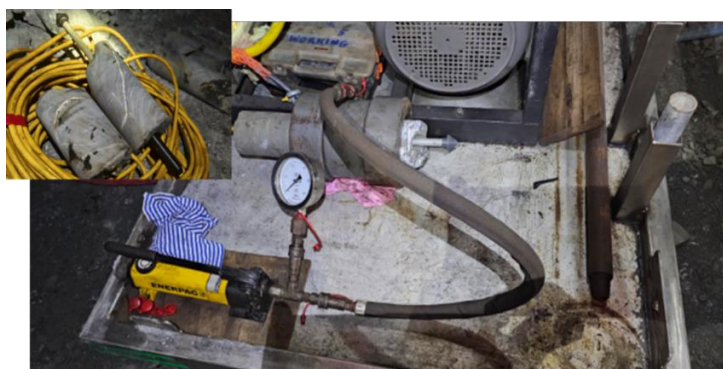


Figura 5.31 - Ao centro imagem do cilindro hidráulico e testemunho durante o ensaio biaxial *in situ*. No canto superior esquerdo pormenor do testemunho e célula.

5.3.2. Microssísmica

Durante o estágio, foi acompanhada a instalação do sistema de microssísmica no interior da mina, com foco na monitorização da atividade sísmica na zona do jazigo do Lombador, a área mais profunda da exploração mineira.

Este sistema integra-se num conjunto abrangente de monitorização sísmica e microssísmica, composto por um total de 14 geofones triaxiais. Deste conjunto, 4 sensores estão instalados à superfície, distribuídos pelas aldeias vizinhas e pelas instalações da Somincor, e os restantes 10 estão localizados no interior da mina (Figura 5.32).

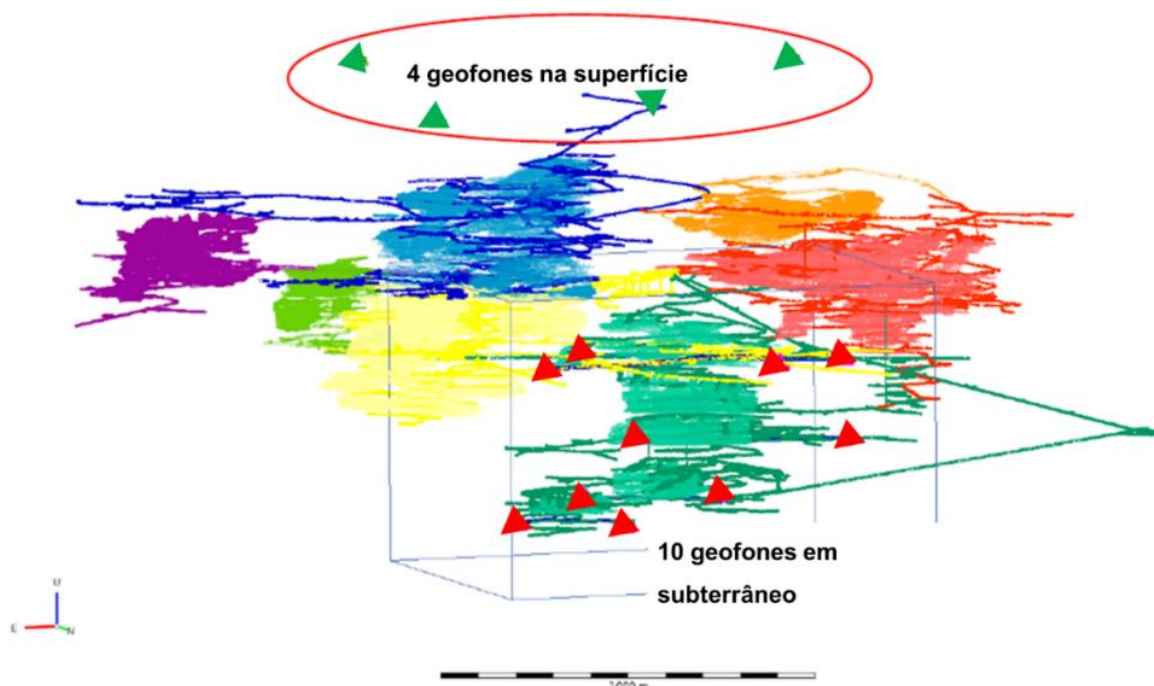


Figura 5.32 - Localização dos geofones na mina de Neves-Corvo.

O objetivo global do sistema consiste na monitorização das vibrações à superfície provocadas por desmontes a fogo nas frentes de trabalho da mina, assim como das vibrações provocadas por eventos sísmicos no interior da mina. No entanto, durante o período de estágio, a análise centrou-se exclusivamente na componente subterrânea, associada ao sistema de microsísmica.

Na rede subterrânea, foram instalados geofones em locais estratégicos no interior da mina, de forma a garantir uma triangulação eficaz. Esta configuração permite localizar eventos sísmicos com uma precisão espacial até 10 metros.

Os sinais captados pelos sensores são enviados, em tempo real, para uma central de monitorização, onde são processados por sismologistas especializados. Em média, são analisados até 10.000 eventos sísmicos por mês, cuja magnitude é expressa na escala de magnitude local (mL), também conhecida como escala de Richter. Os valores registados variam entre -2 mL e 3,5 mL, sendo a maioria de baixa intensidade e não percecionada à superfície.

A interpretação destes dados permite:

- Identificar zonas de potencial instabilidade;
- Apoiar o planeamento das operações de lavra;

- Reforçar as medidas de segurança subterrâneas ao risco sísmico.

Os trabalhos iniciaram-se com a execução de dez furos no maciço rochoso, estrategicamente distribuídos por diferentes zonas previamente definidas, cada furo foi executado até uma profundidade de 12 metros, com um diâmetro interno aproximado de 76 mm. Após a perfuração, os furos foram cuidadosamente georreferenciados com o objetivo de minimizar possíveis desvios na localização dos eventos sísmicos registados.

A instalação dos geofones foi realizada a uma profundidade de 10 metros, recorrendo a uma vara de colocação. Este procedimento incluiu a inserção de um tubo de respiro que excedia a posição do geofone em cerca de 0,5 m, de forma a permitir a saída de ar durante a etapa de enchimento.

Uma vez posicionado o geofone e garantido o seu nivelamento adequado, procedeu-se à sua georreferenciação através do sensor inteligente incorporado no equipamento (Figura 5.33).



Figura 5.33 - Imagem de geofone e pormenores do dispositivo de transmissão de dados, varas de instalação e tubo de respiro.

Posteriormente, a vara de colocação foi desconectada, sendo então introduzido um tubo de enchimento com aproximadamente 1,5 metros de comprimento na entrada do furo. A abertura foi devidamente selada, iniciando-se o processo de enchimento

com calda de cimento. Este procedimento foi realizado utilizando uma máquina de colocação de cabos, aproveitando-se o seu sistema de injeção.

Para evitar pressões excessivas no interior do furo, a injeção foi conduzida de forma lenta e controlada. Adotou-se uma razão água/cimento = 0,4, de modo a otimizar o escoamento da calda e garantir uma distribuição uniforme do material. Durante o enchimento, verificou-se a saída de ar pelo tubo de respiro, prosseguindo-se com a injeção até que este ar fosse completamente substituído pela calda. Este indicativo assegurou o preenchimento completo do furo e a eliminação de possíveis vazios.

O procedimento descrito foi repetido com sucesso para a totalidade dos 10 furos equipados com geofones.

5.3.3. Extensómetros

Os extensómetros são instrumentos geotécnicos (Figura 5.34) utilizados para medir deslocamentos internos em maciços rochosos, permitindo a avaliação das deformações ao longo de diferentes profundidades. A sua aplicação é fundamental para compreender o comportamento do maciço frente a escavações de grande porte, contribuindo para a análise da estabilidade e segurança das estruturas subterrâneas.

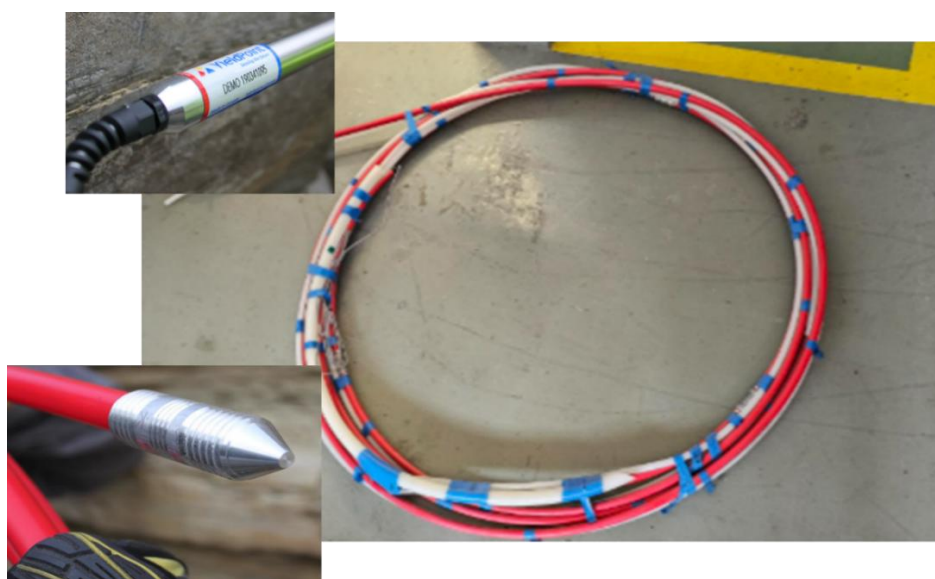


Figura 5.34 - Imagem de extensómetro preparado com tubo de respiro e tubo de injeção com pormenores de ponto de medição em baixo e cabeça do extensómetro em cima.

Na Somincor, os extensómetros são utilizados principalmente em zonas onde se esperam grandes deformações, como oficinas de apoio, instalações de britagem ou acessos a grandes bancadas. A sua instalação é feita em furos previamente executados, nos quais são introduzidos os extensómetros com os distintos pontos de medição (âncoras) a diferentes profundidades. O enchimento do furo realiza-se com recurso a uma máquina de colocação de cabos, utilizando o sistema de injeção de calda de cimento. A calda aplicada prepara-se com uma razão água/cimento de 0,4, de forma a garantir uma fluidez adequada que facilite a sua circulação pelo tubo de injeção. Este processo é cuidadosamente controlado para evitar fugas ou roturas, garantindo a integridade do preenchimento, considerando-se concluído quando se verifica que deixa de circular ar pelo tubo de respiro, assegurando assim o completo enchimento do furo.

Após o período de cura da calda de cimento e a estabilização do equipamento, inicia-se a monitorização das deformações, através da medição dos deslocamentos entre os pontos fixos instalados e a boca do furo. Estes registos permitem identificar a distribuição das deformações ao longo do perfil monitorizado e localizar zonas de maior mobilidade ou fragilidade.

Este tipo de instrumentação encontra-se atualmente bastante automatizado. Em Neves-Corvo, a recolha dos dados dos extensómetros é realizada de forma remota, através de conexões *Bluetooth* e pela rede LTE (*Long Term Evolution 4G*) instalada no local, permitindo um acompanhamento contínuo e em tempo real das condições geotécnicas.

5.3.4. Convergências

As convergências são dispositivos instalados nas galerias com o objetivo de medir o afastamento ou aproximação entre dois pontos nos hasteais ou no teto das escavações. Esta técnica fornece informações diretas sobre a estabilidade da escavação e sobre o grau de deformação que o maciço rochoso está a sofrer com o tempo, como resultado das tensões induzidas pelas escavações.

Na Somincor são utilizados dois tipos de instrumentação para monitorização de convergências. O primeiro tipo consiste em dois pontos de leitura instalados em pequenas ancoragens de heliaço com 1 metro de comprimento, dispostos em pares

opostos, ou seja, um ponto de leitura em cada hasteal. O preenchimento que liga os pontos de leitura às paredes do furo é realizado com cartuchos de cimento de presa rápida. A leitura é efetuada com um medidor de fita, sendo necessário acoplar o equipamento aos dois pontos de leitura (Figura 5.35).

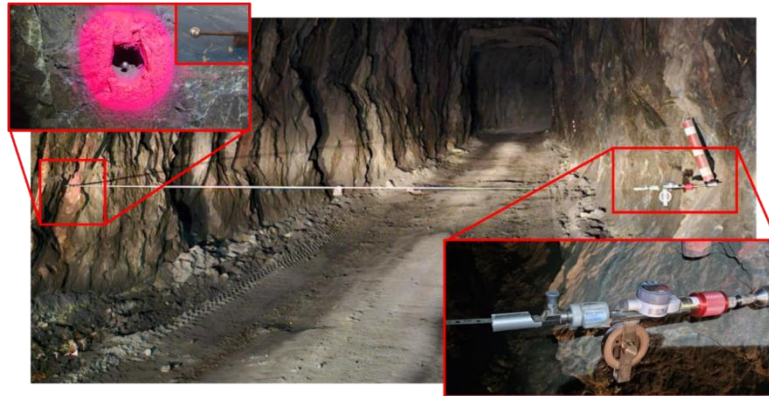


Figura 5.35 - Imagem do medidor de fita acoplado nos pontos de leitura.

O segundo tipo baseia-se num sensor que regista a variação da distância entre o próprio sensor e um alvo fixado no hasteal ou no teto, oposto à sua localização (Figura 5.36). Este sistema é composto por um simples sensor do tipo Xcell Cyclops da marca Sandvik que fica acoplado em ancoragens já existentes. Este permite o registo contínuo numa frequência previamente definida, de acordo com as necessidades de monitorização. As leituras são transmitidas remotamente via *wi-fi*, possibilitando o acompanhamento em tempo real do comportamento das escavações.



Figura 5.36 - Imagem de sensor de convergência acoplado em ancoragem (lado esquerdo) e de alvo no hasteal oposto (lado direito).

Estes equipamentos permitem detetar variações da ordem das décimas de milímetro na distância entre os pontos monitorizados. A observação contínua da convergência é essencial para antecipar potenciais colapsos, planejar reforços estruturais e de sustentação às condições geotécnicas observadas.

Este tipo de instrumentação destaca-se pela simplicidade do seu processo de instalação, permitindo a recolha de dados imediatamente após a sua colocação. A aquisição das medições é realizada por um registador de dados que efetua a leitura de forma automática, sendo apenas necessária a aproximação a cerca de 50 metros dos sensores instalados. Este sensor, além de realizar as leituras, possui um disco de memória incorporado para armazenamento local dos dados recolhidos.

5.3.5. Subsidiências

A subsidência corresponde ao movimento vertical descendente da superfície do terreno, geralmente provocado pela escavação de materiais no subsolo, como ocorre nas atividades mineiras. No contexto da mina de Neves-Corvo, este fenómeno está diretamente associado à deformação progressiva dos maciços rochosos em resultado da exploração mineira, podendo afetar tanto as instalações da empresa à superfície como as localidades vizinhas à área de exploração (Figura 5.37).



Figura 5.37 - Imagem com localização dos marcos superficiais para leitura de subsidiências.

O método de monitorização da subsidência baseia-se na instalação de marcas superficiais, cujas posições são semestralmente medidas com recurso a equipamentos topográficos de alta precisão (Figura 5.38). Estas medições são realizadas pela equipa de topografia da mina.



Figura 5.38 - Imagem de subsidência e mira de invar, captada durante a leitura.

A análise comparativa das medições ao longo do tempo permite detetar variações milimétricas no nível da superfície, fornecendo uma base sólida para a avaliação da estabilidade do terreno. Deste modo, este método de monitorização representa um suporte técnico indispensável para a gestão segura das operações mineiras e para a definição de eventuais medidas de mitigação de riscos associados à subsidência.

Capítulo 6 - RESULTADOS E SOLUÇÕES TÉCNICAS

Neste capítulo, apresentam-se os principais resultados obtidos durante o estágio, com destaque para os indicadores globais das atividades realizadas e a análise de casos práticos relevantes. O objetivo é fornecer uma visão abrangente do trabalho desenvolvido, evidenciando casos práticos que ilustram os desafios e as soluções técnicas aplicadas.

6.1. Resultados do controlo de qualidade

A quantidade de ensaios realizados seguiu as frequências estabelecidas no Plano de Inspeção e Ensaios (PIE) do Laboratório de Mecânica das Rochas. Os intervalos de execução foram definidos com o objetivo de garantir a representatividade dos dados, tendo em consideração as intervenções de estabilização em curso.

Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de médias mensais (Tabela 6.1), refletindo o total de ensaios efetuados em cada mês do período de estágio.

Tabela 6.1 - Estatística do controlo de qualidade onde se pode observar a evolução dos resultados ao longo dos diferentes meses.

Estatísticas - Controlo de Qualidade 2025 (Janeiro - Junho)												
Materiais	Ensaio	Parâmetro			Indicadores		Meses					
		Mínimo	Máximo	Unid	Média Anual	2024	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho
Parafusos Expansivos	Pressão Bomba	300	-	Bar	302,5	310,1	303	300	300	305	300	306
	Pull-Out	100	-	kN	124,5	129,1	123,9	123,6	124,1	129,3	121,4	124,6
	Diâmetro Expandido	41		mm	41,0	41,2	39,5	41,3	40,9	41,6	41,2	41,7
	Diâmetro Furação		42	mm	41,1	41,1	39,5	40,9	41,6	41,2	41,7	41,7
	Espessura do Aço	2	-	mm	2,1	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,0	2,2
Parafusos Resina	Pull-Out	180	-	kN	191,1	210,3	216,6	209,7	84,4	207,9	222,3	206,0
Parafusos Autoperfurantes	Pull-Out	180		KN	245,3	253,6	253,4	242,6	259,4	239,6	250,4	252,6
Cabos	RCU Calda	35	-	Mpa	50,0	49,0	50,1	49,5	51,8	55,4	44,6	48,4
	Consistência da Calda (Razão A/C)	0,30	0,35	-	0,3	0,31	0,35	0,31	0,32	0,33	0,32	0,31
	Pull-Out	250	-	kN	262,7	-	254,3	256,2	267,4	281,0	251,1	266,3
Pasta	RCU 3,5 % (28 dias)	120	-	kPa	521,6	453,9		546,5	488,4	526,1	576,3	470,8
	RCU 4 % (28 dias)	440	-	kPa	644,0	612,2	853,6	765,7	587,1	777,9	446,5	433,1
	RCU 5 % (28 dias)	650	-	kPa	546,3	1039,1	388,7		829,9			420,2
	RCU 6,5 % (28 dias)	1000	-	kPa	1021,9	1031,3					1025,4	1018,3
Betão Projectado	RCU a 28 dias	35	-	MPa	43,2	39,1	44,5	43,6	44,4	41,8	42,1	42,9
	Espessuras	50		mm	57,2	63,7	62,3	59,8	60,3	52,7	55,0	53,2
	Slump	200	250	mm	237	210,0	250,0	230,0	240,0	250,0	230,0	220,0
	RI's (2 horas)	1	-	MPa	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	1,2	1,2	1,4
Agregados	Areia 0/4 mm finos < 1,0 mm	85	93	%	93,1	94,8	92,0	92,0	94,0	93,0	93,0	94,5
	Areia 0/4 mm finos < 0,5 mm	60	65	%	63,5	71,0	61,0	61,0	64,5	64,0	64,0	66,5
	Areia 0/4 mm finos < 0,250 mm	17	19	%	15,9	22,5	16,0	16,0	17,5	14,5	14,5	17,0
	Areia 0/4 mm finos < 0,125 mm	4	8	%	4,7	6,3	5,5	5,5	5,5	3,5	3,5	4,5
	Bago 2/6 mm < 6,0 mm	80	100	%	97,3	96,0	96,5	96,5	96,5	98,5	98,5	97,0
	Bago 2/6 mm < 1,0 mm	0	5	%	4,3	3,0	3,5	3,5	5,0	4,5	4,5	4,5

6.1.1. Resultados dos ensaios aos elementos de reforço

O controlo de qualidade realizado às ancoragens prevê a realização dos diversos ensaios numa frequência mensal, no entanto, sempre que são detetados problemas durante os trabalhos de estabilização, são realizados mais ensaios para investigação das causas.

6.1.1.1. Ancoragens

ENSAIOS *PULL-OUT*

Os ensaios *pull-out* foram efetuados segundo o procedimento descrito no subcapítulo 5.1.1, sendo de seguida comentados os resultados obtidos durante o período do estágio.

Os parafusos expansivos apresentaram valores de resistência entre 121,4 kN e 129,3 kN, com uma média global de aproximadamente 124,5 kN ao longo do período de janeiro a junho (Figura 6.1). Estes resultados indicam um comportamento estável e consistente que se manteve acima do parâmetro (100,0 kN) estabelecido pela Somincor, com variações mensais reduzidas, o que evidencia a fiabilidade deste tipo de ancoragem para aplicações que requerem desempenho regular e previsível.

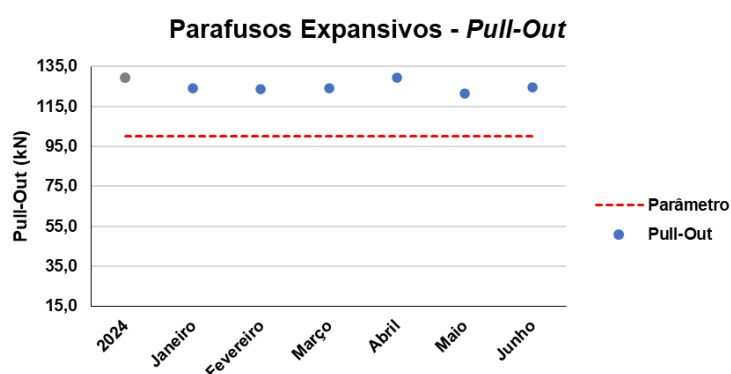


Figura 6.1 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos expansivos.

Os parafusos de heliço mostraram uma maior variabilidade nos resultados, com valores entre 84,38 kN e 222,27 kN, e uma média global de cerca de 191,82 kN

(Figura 6.2). Destaca-se um valor anômalo registado em março, significativamente inferior aos demais resultados e inferior ao parâmetro requerido pela Somincor (180 kN), o que indica uma zona em que este tipo de parafuso não apresentou a aderência necessária. Esta situação mereceu uma análise cuidada e uma resposta técnica que será descrita mais à frente.

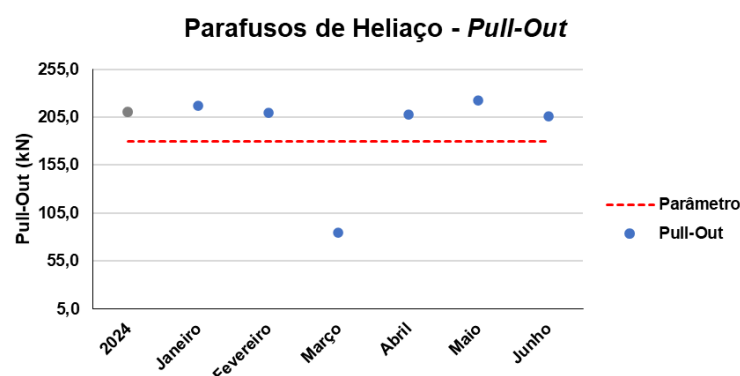


Figura 6.2 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos de heliação.

Os parafusos autoperfurantes mantiveram uma resistência relativamente constante durante o período estudado, com valores entre 239,6 kN e 259,35 kN, e uma média de aproximadamente 249,66 kN muito acima do parâmetro requerido pela Empresa (180 kN) (Figura 6.3). Esta estabilidade demonstra um desempenho regular e adequado, sugerindo que este tipo de ancoragem oferece uma das melhores soluções para ancoragens.

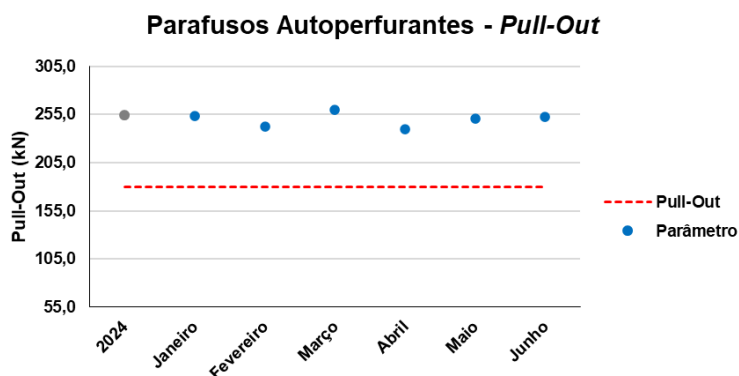


Figura 6.3 - Representação gráfica com resultados dos ensaios *pull-out* realizados a parafusos autoperfurantes.

A aplicação dos cabos de aço foi o sistema que apresentou os maiores valores de resistência *pull-out*, variando entre 251,1 kN e 281 kN, com uma média de cerca de 262,55 kN acima do valor do parâmetro requerido (250 kN) (Figura 6.4). Os resultados indicam uma elevada capacidade de resistência, com uma ligeira tendência de aumento até abril e pequenas oscilações nos meses seguintes, confirmando a robustez e eficiência deste tipo de ancoragem.

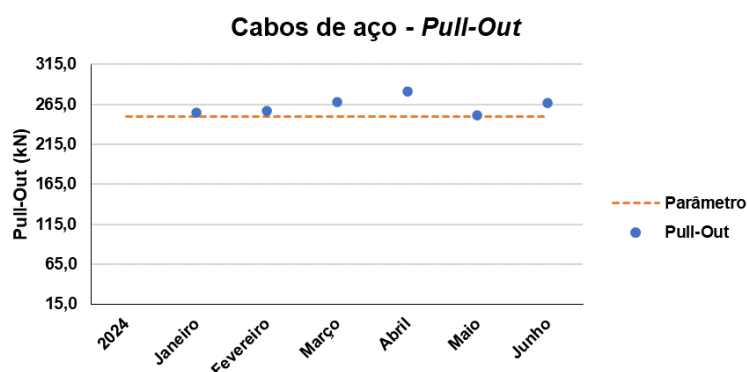


Figura 6.4 - Representação gráfica com resultados dos ensaios pull-out realizados a parafusos autoperfurantes.

CONTROLO DIMENSIONAL

O controlo dimensional dos parafusos expansivos e da furação, descrito no subcapítulo 5.1.2 é realizado numa frequência mensal. A amostragem é realizada durante o acompanhamento da instalação dos parafusos destinados à estabilização das escavações, coincidindo com a seleção das ancoragens a submeter a ensaios pull-out. Esta abordagem integrada permite o cruzamento de dados relevantes, sobretudo em situações em que se identificam anomalias no desempenho das ancoragens.

Ao longo dos meses de janeiro a junho, a pressão aplicada pela bomba para instalação dos parafusos expansivos manteve-se bastante constante, com valores entre 300,00 bar e 306,40 bar, sendo o parâmetro requerido pela Somincor 300 bar (Figura 6.5). Esta estabilidade indica um controlo rigoroso do processo de instalação, garantindo a repetibilidade dos ensaios e a uniformidade da expansão das ancoragens.

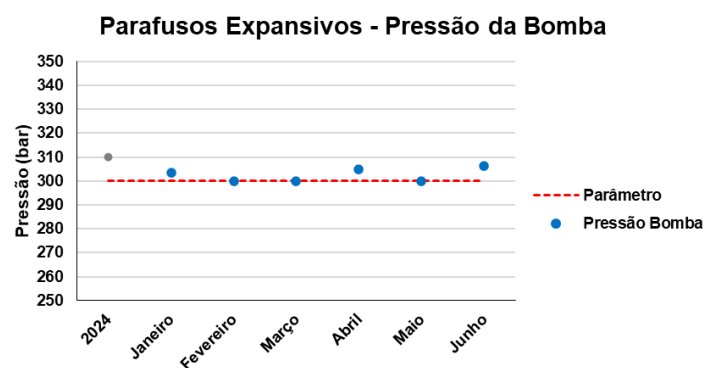


Figura 6.5 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo das pressões de expansão em parafusos expansivos.

O diâmetro expandido dos parafusos apresentou uma variação entre 39,50 mm e 41,70 mm no período analisado (Figura 6.6). Apesar de pequenas oscilações mensais, o diâmetro manteve-se relativamente constante, sugerindo uma expansão eficaz e consistente das ancoragens durante a instalação.

Destaca-se um valor anômalo registado em janeiro, inferior aos demais resultados e inferior ao parâmetro requerido pela Somincor (41 mm), o que indica um possível problema no equipamento que procede à instalação dos parafusos. Esta situação pode causar baixa aderência entre os parafusos e o maciço rochoso, tendo sido analisada e corrigida. Este procedimento técnico será descrito mais à frente.

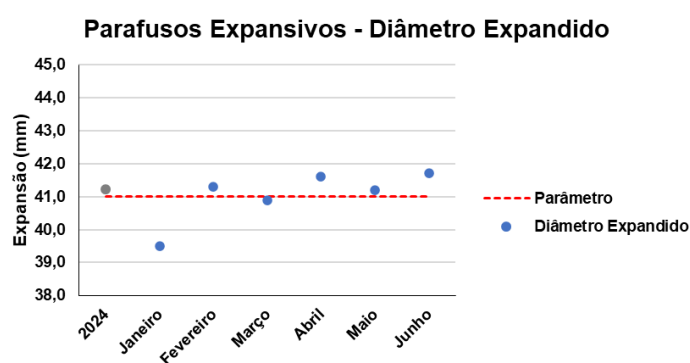


Figura 6.6 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo do diâmetro externo após expansão de parafusos expansivos.

A espessura do aço dos parafusos expansivos manteve-se entre 1,98 mm e 2,15 mm ao longo dos seis meses muito próxima dos 2,00 mm requeridos pela Empresa

(Figura 6.7). Esta pequena variação pode ser atribuída às tolerâncias de fabrico dos materiais, no entanto, após mais ensaios verificou-se que não existiam maiores variações. A espessura adequada do aço é crucial para garantir a resistência mecânica e à corrosão.

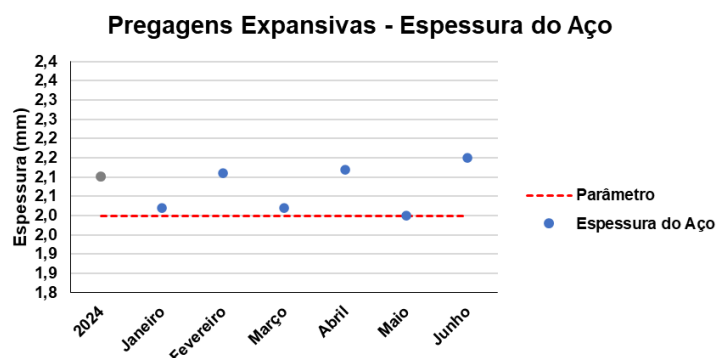


Figura 6.7 - Representação gráfica dos resultados obtidos durante o controlo da espessura do aço dos parafusos expansivos.

O diâmetro dos furos onde os parafusos são inseridos variou entre 39,50 mm e 41,70 mm mantendo-se dentro do requerido pela Somincor (< 42 mm) (Figura 6.8). Esta ligeira variação está dentro do esperado para a operação, refletindo tolerâncias normais no processo de perfuração. A compatibilidade entre o diâmetro do furo e o diâmetro expandido é importante para a correta fixação e desempenho da ancoragem.

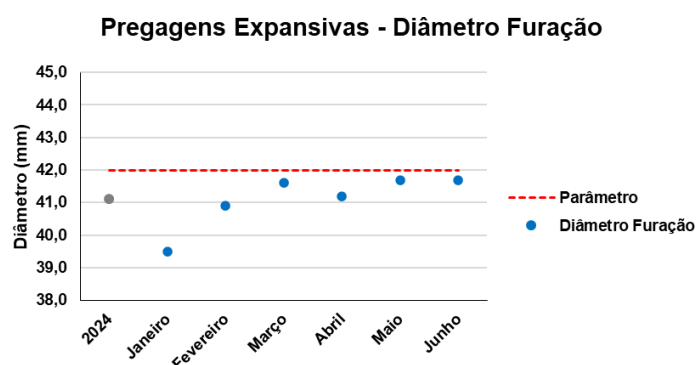


Figura 6.8 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios de controlo do diâmetro interno dos furos para parafusos expansivos.

De um modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, evidenciando resultados dentro do pretendido para ensaios *pull-out* e baixa variabilidade nas medições das dimensões das ancoragens e dos furos. Estes dados refletem não só a uniformidade dos materiais aplicados, como também a consistência do processo de instalação.

6.1.1.2. *Calda de cimento*

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados dos ensaios à calda de cimento aplicada no sustimento com cabos de aço que foram obtidos durante o estágio.

O controlo da calda realiza-se mensalmente e inclui a recolha de amostras para ensaios RCU e a avaliação das propriedades físicas com a balança de Marcy. Os ensaios foram realizados segundo o procedimento descrito no subcapítulo 5.1.3, sendo os resultados da balança de Marcy apresentados pela razão A/C obtida, enquanto os resultados dos ensaios RCU pela resistência mecânica em MPa aos 28 dias.

A consistência da calda, avaliada pela razão água/cimento, manteve-se relativamente constante, variando entre 0,31 e 0,33 ao longo do semestre (Figura 6.7). Esta estabilidade na proporção água/cimento é crucial para garantir a homogeneidade da mistura e o desempenho mecânico da calda.

No geral, os resultados indicam um controlo eficaz na preparação da calda de cimento, com parâmetros dentro dos valores esperados (entre $A/C=0,30$ e $A/C=0,35$) para assegurar a qualidade do preenchimento dos furos e a resistência necessária para as aplicações em ancoragens.

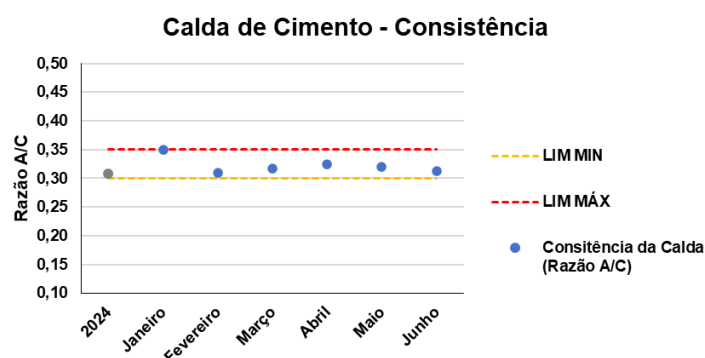


Figura 6.9 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios com a balança de Marcy.

Os ensaios demonstraram que os valores de resistência foram sistematicamente superiores ao parâmetro de referência, mantendo-se entre 44.04 MPa e 55.4 MPa proporcionando uma margem de segurança significativa (Figura 6.10). Esta margem, acima dos 35 MPa requeridos pela Somincor, garante a fiabilidade do material, mesmo quando a qualidade da água industrial utilizada é inferior, afetando negativamente a resistência. A evolução da resistência mecânica confirma ainda o seu desenvolvimento, independentemente da razão A/C obtida.

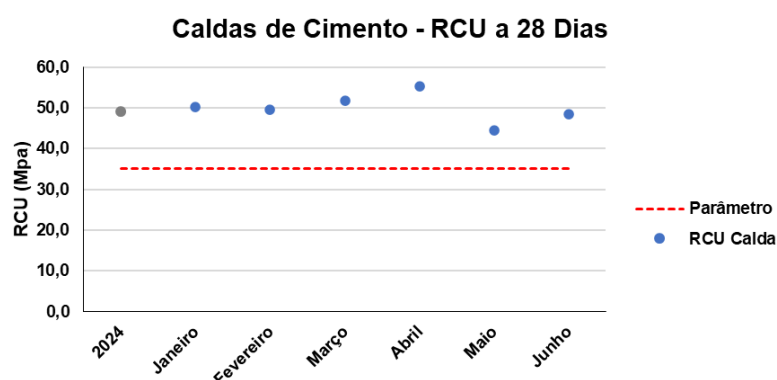


Figura 6.10 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios RCU a 28 dias realizados à calda de cimento.

No geral, os resultados dos ensaios efetuados aos materiais utilizados no reforço dos maciços rochosos demonstram um controlo satisfatório dos parâmetros, garantindo que o processo de aplicação se mantém dentro dos procedimentos e que as características dos materiais são adequadas para o desempenho pretendido.

6.1.2. Resultados dos ensaios aos elementos de suporte

Como já foi referido o controlo de qualidade realizado ao betão projetado envolve ensaios aos seus constituintes e ao betão antes e depois de aplicado. Estes ensaios realizam-se numa frequência semanal, sendo que o betão projetado representa um dos suportes mais importantes e complexos utilizados no revestimento das escavações. Isto explica-se pelo facto do betão envolver a combinação de diferentes materiais e necessitar de muito rigor na sua preparação e aplicação, nomeadamente,

a conformidade dos agregados, a água na mistura, o doseamento dos componentes na central, o transporte e a aplicação.

6.1.2.1. Betão projetado

AGREGADOS

As análises granulométricas foram realizadas segundo o procedimento descrito no subcapítulo 5.2.1.1, sendo os resultados apresentados como média mensal dos acumulados passados das frações críticas para a operação.

Os resultados da areia 0/4 mm (Figura 6.11) indicam que esta apresenta uma distribuição bem graduada de partículas finas, o que favorece a compacidade e a trabalhabilidade do betão projetado. A ligeira variação mensal é normal e mantém-se dentro de uma faixa técnica aceitável. A presença de partículas finas em percentagens controladas contribui positivamente para a coesão da mistura e para o bom desempenho do betão projetado em termos de aplicação e aderência.

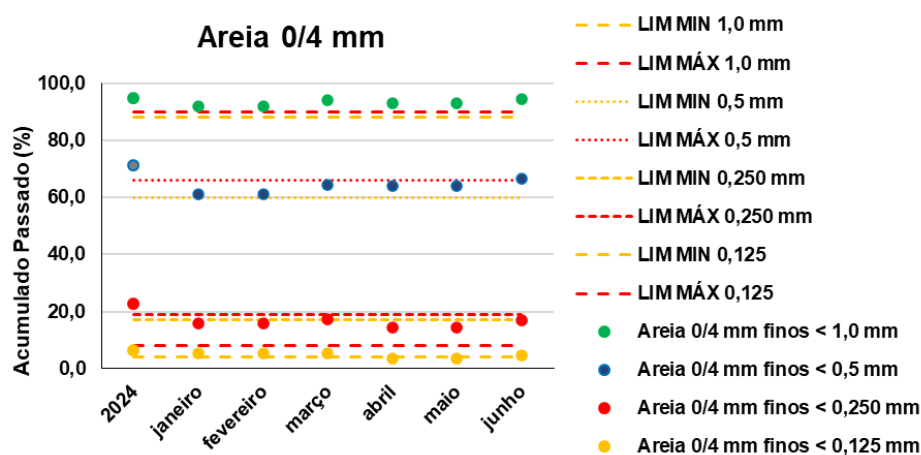


Figura 6.11 - Representação gráfica dos resultados das análise granulométricas da areia 0/4 mm obtidos.

Os resultados das análises granulométricas da brita 2/6mm (Figura 6.12) indicam que esta é adequada para o betão projetado, com uma granulometria que favorece uma boa distribuição dos tamanhos das partículas, assegurando uma mistura densa e eficiente em termos de resistência. A baixa percentagem de partículas acima de 6 mm

permite evitar problemas na projeção e ao mesmo tempo garantir valores de ressalto aceitáveis dentro dos 10 %.

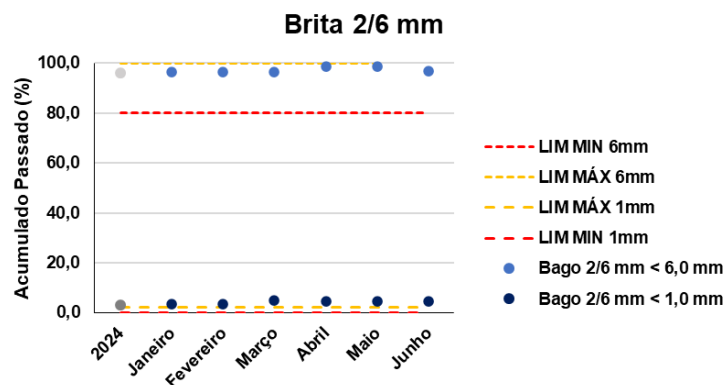


Figura 6.12 - Representação gráfica dos resultados das análise granulométricas da brita 2/6 mm obtidos.

ABAIXAMENTO

Os ensaios realizados ao betão fresco, nomeadamente o ensaio de abaixamento, segue o procedimento descrito no subcapítulo 5.2.1.2, sendo os resultados obtidos durante o estágio apresentados como médias mensais em milímetros. As amostragens foram realizadas na central de betão, pelo que o abaixamento deverá ser ligeiramente superior de forma a corrigir durante o transporte até aos locais de aplicação.

Os resultados dos ensaios realizados apresentam valores entre 220 mm e 250 mm (Figura 6.14), demonstrando uma trabalhabilidade elevada, característica desejada no betão projetado para garantir o transporte e facilidade de aplicação (Figura 6.13). A consistência manteve-se estável, com pequenas variações que não comprometem o desempenho global do material em obra, sendo este um aspeto crítico principalmente nos meses quentes de verão.

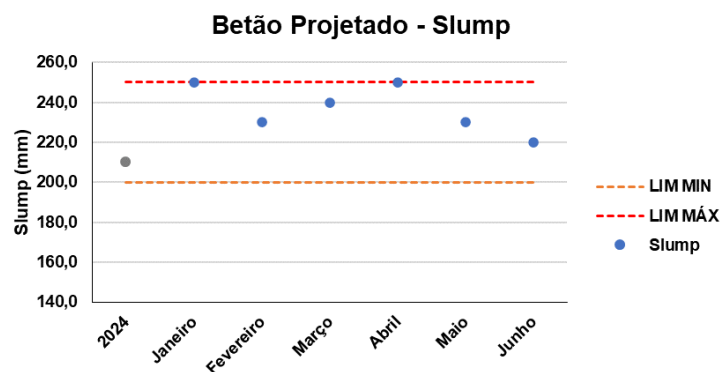


Figura 6.13 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios de abaixamento ao betão projetado.

RCU

Os ensaios ao betão endurecido realizados durante o estágio seguiram os procedimentos descritos no subcapítulo 5.2.1.3. As resistências à compressão uniaxial aos 28 dias indicam valores entre 41,79 MPa e 44,53 MPa, com uma média geral próxima dos 43 MPa (Figura 6.14). Estes valores demonstram um desempenho mecânico consistente e adequado do betão projetado ao longo do primeiro semestre. A pequena variabilidade observada poderá estar relacionada com desvios mínimos de amostragem e de execução dos provetes, mantendo-se dentro de limites considerados aceitáveis. No geral, os resultados estão dentro dos requeridos pela Somincor (35 MPa a 28 dias) evidenciando que os materiais e o processo de produção estão controlados.

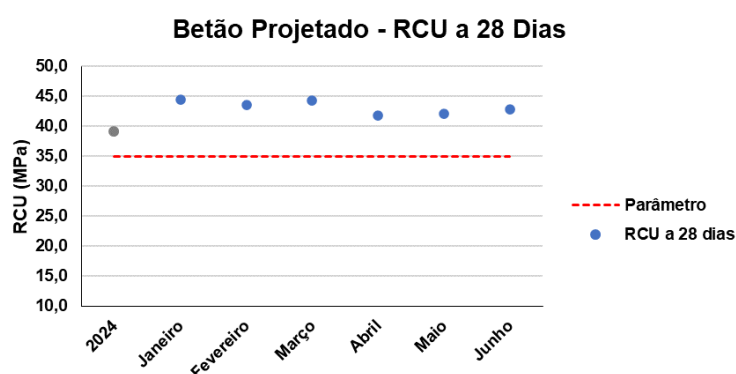


Figura 6.14 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados ao betão projetado.

RESULTADOS DAS RESISTÊNCIAS INICIAIS

As resistências iniciais medidas nas duas horas após a aplicação variaram entre 0,9 MPa e 1,40 MPa, com uma tendência de aumento nos últimos meses (Figura 6.15). Esta variação explica-se essencialmente pelo aproximar da época quente, sendo que o calor funciona como um importante fator na evolução da resistência do betão.

Este comportamento é minimizado com o ajuste das dosagens de acelerador de presa, nomeadamente nas dosagens de 9 % nos meses frios e de 8 % nos meses quentes, no entanto, estes parâmetros estão muito dependentes das características da mistura de betão e das propriedades químicas do acelerador.

As resistências iniciais do mantêm-se dentro da faixa aceitável para betões do tipo J2, no entanto, caso as resistências baixem demasiado as medidas podem passar por consignar as áreas projetadas até que esta atinja valores que garantam a segurança das pessoas e equipamentos que se desloquem por baixo do betão projetado.

Destaca-se, no mês de fevereiro, um valor ligeiramente inferior ao parâmetro requerido pela Somincor, o que indica um possível problema com a mistura de betão ou equipamento de projeção. Esta pequena anomalia foi identificada, analisada e posteriormente corrigida, sendo que o procedimento técnico será descrito mais à frente.

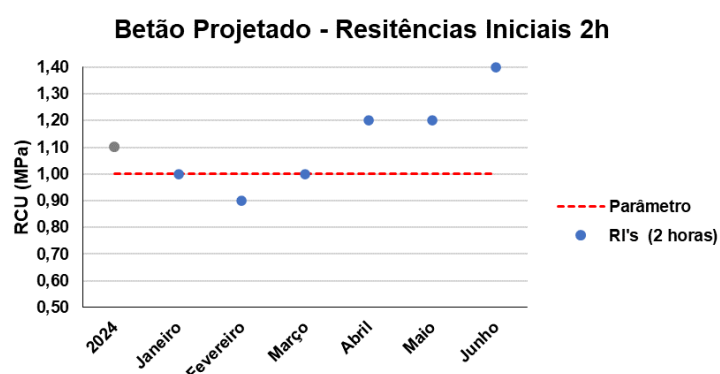


Figura 6.15 - Representação gráfica dos resultados da resistência inicial do betão projetado após 2 horas de projeção.

ESPESSURAS

As espessuras medidas durante o estágio variaram entre 52,70 mm e 62,25 mm, resultados acima dos 50 mm requeridos pela Somincor para revestimentos em escavações que necessitam de suporte moderado (Figura 6.16). As pequenas flutuações observadas podem estar associadas a fatores de aplicação em obra, como a geometria da superfície de projeção, a experiência do operador, no entanto os valores mantêm-se dentro de uma faixa aceitável de 30 mm para garantir cobertura e proteção adequada das estruturas subterrâneas.

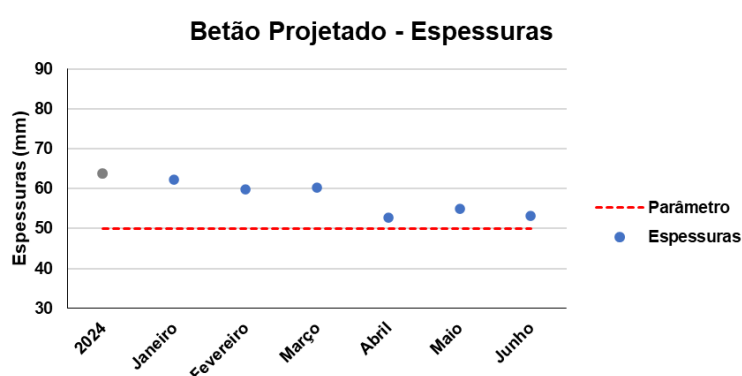


Figura 6.16 - Representação gráfica dos resultados obtidos nos ensaios de verificação das espessuras do betão.

6.1.2.2. Pasta

RCU

O processo de produção de pasta encontra-se sob rigoroso controlo, sendo que o principal desafio reside na influência da granulometria (mais ou menos fina) dos rejeitados provenientes da lavaria sobre a resistência final da mistura. Este comportamento justifica-se pela significativa variação da densidade das partículas dos diferentes minérios processados, bem como pela dificuldade associada à separação, por meio de cilonagem, da fração mais adequada para a produção da pasta. Tal dificuldade é mitigada através do ajuste das dosagens de cimento, de acordo com as características do rejeitado e a resistência final desejada.

Entre os diversos ensaios realizados à pasta, a avaliação da sua resistência ao longo do tempo destaca-se como o parâmetro mais crítico, sendo essencial para o

planeamento adequado do ciclo produtivo em zonas adjacentes a desmontes recentemente preenchidos com pasta.

A resistência da pasta com 3,5% de cimento variou entre 470,81 kPa e 576,26 kPa entre fevereiro e junho (sem dados em janeiro) (Figura 6.17). Os resultados mostram uma variação mensal considerável, com o valor mais elevado em abril (576,26 kPa) e o mais baixo em junho (470,81 kPa). Esta dispersão pode estar relacionada com pequenas flutuações na composição dos materiais. No geral, os valores demonstram uma resistência aceitável para um teor de cimento relativamente baixo, mantendo-se em níveis satisfatórios para enchimento mineiro com pasta.

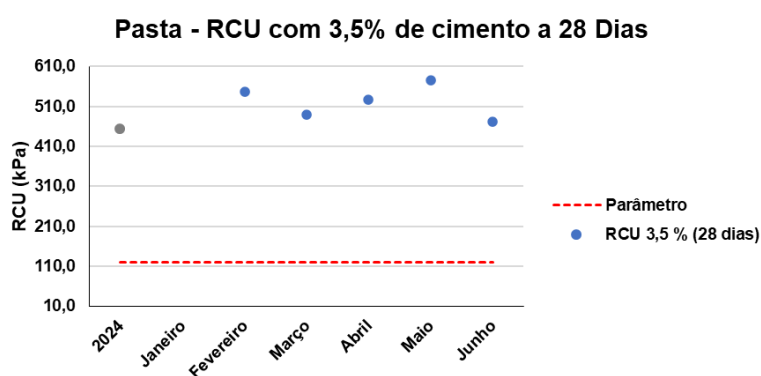


Figura 6.17 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados a enchimento com pasta com 3,5 % de cimento.

A pasta com 4% de cimento apresentou as resistências mais elevadas no conjunto dos dados analisados, com um pico de 853,60 kPa em janeiro e um mínimo de 433,08 kPa em junho (Figura 6.18). Observa-se uma tendência de queda ao longo dos meses, o que pode indicar alterações acentuadas no tipo de rejeitados utilizados. Apesar disso, os valores continuam acima do intervalo de segurança requerido pela Somincor para pasta com 4 % de cimento, demonstrando que esta mistura garante uma resistência mecânica eficaz para as necessidades de enchimento e suporte.

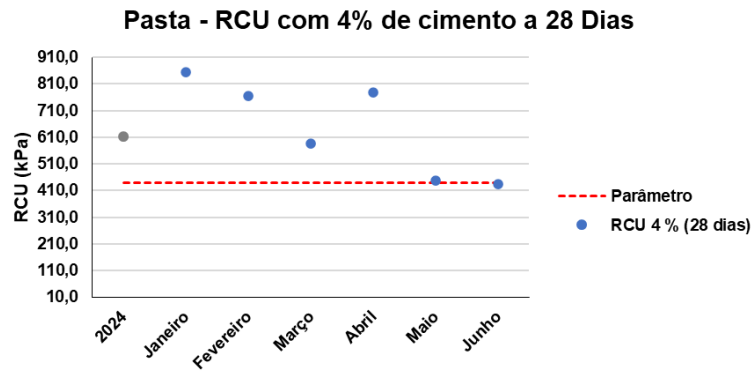


Figura 6.18 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 4,0 % de cimento.

A resistência da pasta com 5% de cimento apresenta alguma inconsistência, com valores em apenas três meses: 388,71 MPa (janeiro), 829,88 MPa (março), e 420,23 MPa (junho) (Figura 6.19). Esta variedade explica-se pelas alterações nas características dos rejeitados utilizados e pela pouca representatividade das amostragens, nomeadamente pelos valores se afastarem bastante dos resultados obtidos em anos anteriores (dados fornecidos pela Somincor).

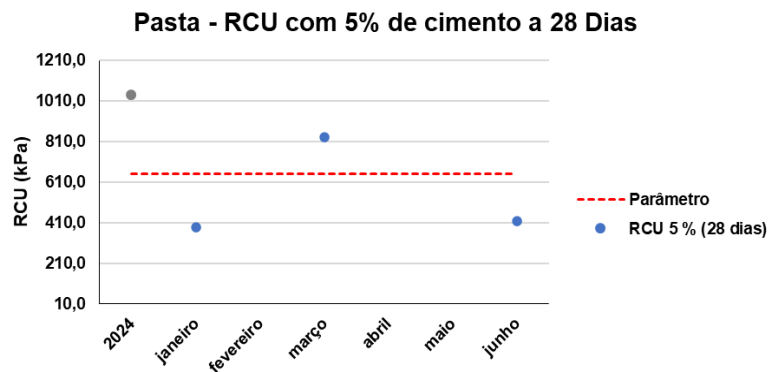


Figura 6.19 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 5,0 % de cimento.

Há registo de dois valores com 6,5% de cimento, em maio e junho, atingindo valores acima dos 1010,0 kPa definidos pela Somincor. Este resultado confirma a expectativa de um desempenho mecânico elevado com maiores teores de ligante (Figura 6.20). Embora os dados sejam isolados, servem como referência de potencial resistência

máxima em formulações com maior teor de cimento, reforçando a viabilidade do uso de pastas mais concentradas em contextos de maior exigência estrutural.

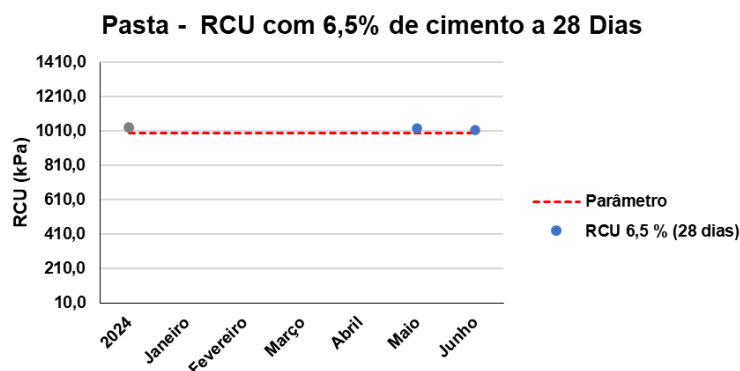


Figura 6.20 - Representação gráfica dos resultados dos ensaios RCU a 28 dias realizados à Pasta com 6,5 % de cimento.

6.2 Resultados da monitorização

6.2.1 Estado de tensão natural (*Método Overcoring*)

No âmbito das atividades desenvolvidas durante o estágio, foi acompanhado o procedimento de medição do estado de tensão natural na área do Lombador, através de ensaios de determinação do estado de tensão em furo de sondagem, recorrendo a uma sobre-carotagem (*overcoring*) do tarolo com as células CSIRO HI equipadas com extensómetros de elevada precisão, para medição de deslocamentos e ensaios biaxiais *in situ*, conforme descrito no subcapítulo 5.3.1. Esta atividade foi conduzida por uma empresa especializada de origem australiana, a MMS (*Mining Measurement Services Pty Ltd*), tendo o acompanhamento incidido, na observação das operações de perfuração, instalação das células, execução da sobre-carotagem e na realização dos ensaios biaxiais *in situ*.

A análise detalhada e o tratamento dos dados foram realizados exclusivamente pela equipa técnica da MMS, recorrendo a ferramentas e métodos próprios desenvolvidos para o processamento das informações recolhidas com as células CSIRO HI.

O relatório técnico elaborado pela entidade executante foi disponibilizado e serviu de base para o enquadramento e interpretação dos resultados apresentados neste documento. Devido a que as atividades do estágio são centradas no

acompanhamento das operações de recolha de dados no terreno, estes ensaios apesar de serem específicos e pouco comuns nos trabalhos de controlo de qualidade e na monitorização dos trabalhos de estabilização dos maciços rochosos da mina, são apresentados neste relatório de estágio, por uma questão de contextualização, embora com uma descrição sumária do processo de interpretação dos resultados obtidos, sem aprofundar os procedimentos utilizados, cuja responsabilidade esteve exclusivamente a cargo da empresa responsável pela realização dos ensaios.

A área estudada insere-se nos sulfuretos maciços do CVS, localizando-se a uma profundidade vertical de aproximadamente 950 m ($\pm$ 750 m abaixo do nível médio da água do mar). Para garantir que o ponto de medição se situasse fora da zona de influência direta da escavação, o furo foi projetado com um comprimento de 10,4 m a partir da boca, apresentando uma direção de 280,5° e mergulho de 5,3°. Das três células inicialmente previstas, apenas duas (Amostra 1 e Amostra 2) forneceram resultados fiáveis tanto na fase de sobre-carotagem (*overcoring*) como nos ensaios biaxiais *in situ*. A terceira célula (Amostra 3) apresentou um comportamento atípico durante o ensaio biaxial *in situ*, pelo que os resultados dessa etapa não foram considerados no cálculo dos parâmetros mecânicos elásticos, tendo sido atribuídas as propriedades combinadas das duas amostras válidas.

A Tabela 6.2 apresenta os principais detalhes de um dos ensaios realizados, incluindo parâmetros geométricos do furo, coordenadas espaciais, condições térmicas, características da célula de medição e propriedades do material de fixação.

Tabela 6.2 - Detalhes do ensaio de determinação de tensões naturais pelo método *overcoring*, incluindo parâmetros geométricos, coordenadas, condições térmicas, características da célula de medição e propriedades do material de fixação.

Detalhes do Ensaio	Valores	Detalhes do Ensaio	Valores
Local	Lombador	Orientação do Extensómetro B90°	180°
Número de Ensaios	3	Número da Célula CSIRO HI	TRT005589
Número de Furos	1	Comprimento do Testemunho	480 mm
Direção de inclinação	280,5°	Diâmetro do Testemunho	104,2 mm
Mergulho	5,3°	Diâmetro Interno da Célula	35,0 mm
Cordenada Norte	4809,1 m	Diâmetro dos Extensómetros	35,0 mm
Cordenada Este	3601,5 m	Fator de Calibração da Célula	2,103
Cota Reduzida	276,3 m	Fator de Calibração do Indicador	2
Temperatura da Água de Perfuração	34,5°C (Aquecida)	Módulo de Elasticidade da Epoxy	2,60 GPa
Temperatura da Rocha	37,9°C	Coefficiente de Poisson da Epoxy	0,4
Profundidade dos Extensómetros	8,990m	K1	1,1195
Comprimento do Furo Largo	8,675m	K2	2,2396
Comprimento do Ensaio	545mm	K3	1,0755
Diâmetro do Furo Piloto	37,8 mm	K4	0,917

Cada célula medidora está equipada com 12 extensómetros, separados em conjuntos de três, o que permite alguma redundância nas medições e uma análise estatística dos dados. Estes ficam distribuídos em torno da circunferência interna da amostra, dispostos por ângulos α (posição circunferencial) e β (orientação axial em relação ao furo) (Figura 6.21). Esta configuração permite decompor as deformações medidas nas componentes principais de tensão e reconstruir com precisão o estado de tensão natural.

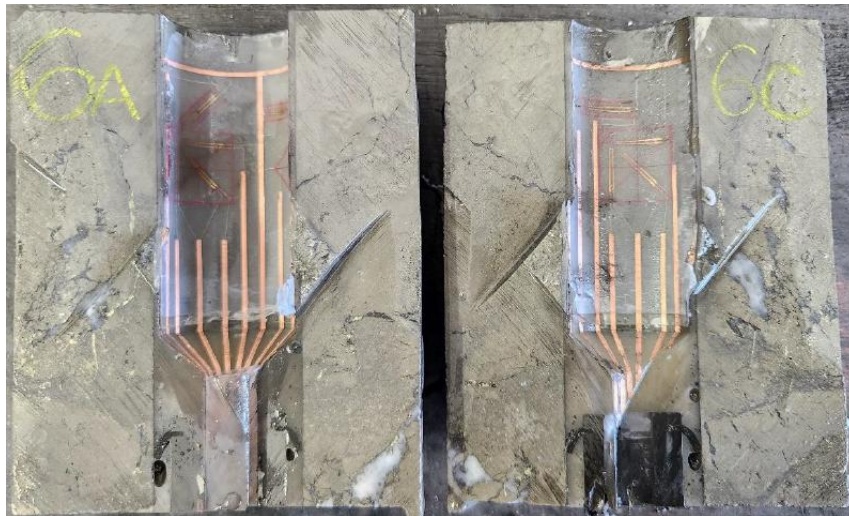


Figura 6.21 - Amostras instrumentadas cortadas longitudinalmente, evidenciando o arranjo interno dos extensómetros da célula CSIRO HI.

Durante o ensaio de sobre-carotagem (*overcoring*), foram registadas leituras em microvolts (μV) nos extensómetros (sensores) instalados na célula. A conversão dessas leituras em deformações verdadeiras ($\mu\epsilon$) (Figura 6.22) realizou-se com base na aplicação do fator de calibração específico de cada extensómetro e do fator característico da célula, permitindo uma determinação mais rigorosa das deformações induzidas pelo alívio das tensões.

Importa referir que a resposta elástica dos extensómetros, essencial para a conversão correta dos sinais elétricos em deformações, é posteriormente calibrada através dos ensaios biaxiais *in situ*, nos quais se aplicam pressões radiais controladas até 10 MPa. Esta etapa assegura a fiabilidade dos fatores de calibração utilizados no tratamento dos dados de sobre-carotagem (*overcoring*).

Para uma interpretação tridimensional coerente, foram ainda aplicados fatores de correção geométricos, que compensam os efeitos da interação entre os sensores e o maciço rochoso, bem como a geometria finita da célula. Estes fatores, fornecidos pelo fabricante ou obtidos por modelação numérica, são imprescindíveis para transformar com precisão os valores de microdeformações em componentes de tensão no espaço.

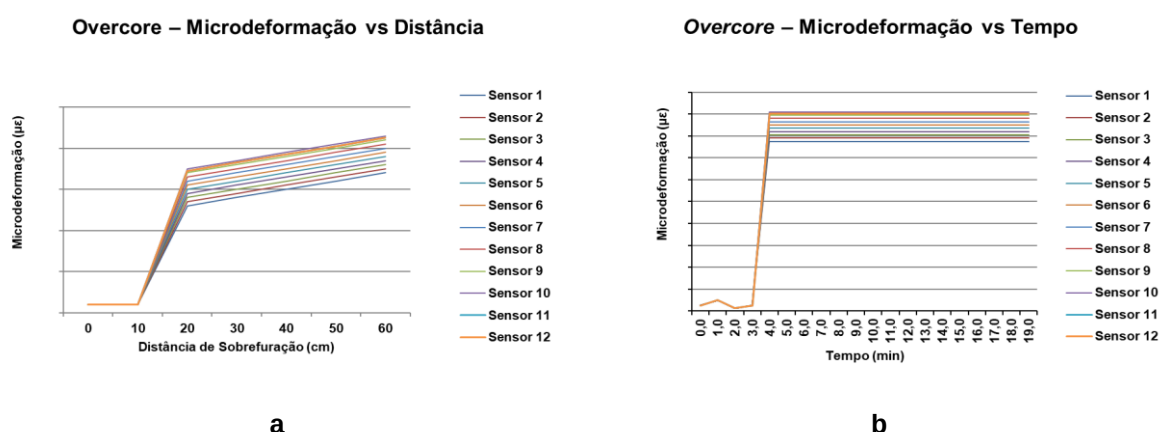


Figura 6.22 - a) Variação das microdeformações em função da distância de avanço do corte durante a sobrecarotagem (*overcoring*) da Amostra 1, evidenciando o comportamento elástico local e o aumento brusco de deformação após o início do corte. b) Registo das microdeformações em função do tempo, permitindo analisar a evolução dinâmica durante a sobrecarotagem (*overcoring*) e confirmar a estabilização das leituras após a perfuração. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)

Durante a realização dos ensaios sobrecarotagem (*overcoring*), foi mantido um controlo rigoroso da temperatura, garantindo-se que mantivesse próxima das condições naturais da rocha, por forma a evitar desvios nas medições provocados por variações térmicas (Figura 6.23 a). Segundo (Hudson & Harrison, 1997) se o fluido de perfuração estiver a uma temperatura diferente da rocha, a expansão ou contração térmica da amostra pode levar à indução de deformações enganosas.

Após a sobrecarotagem (*overcoring*) e recuperação das amostras, procede-se aos ensaios biaxiais *in situ*, estes permitem determinar diretamente o Módulo de Elasticidade e o Coeficiente de *Poisson* do maciço rochoso, parâmetros essenciais para a aplicação da teoria da elasticidade tridimensional na conversão das deformações de alívio em componentes reais de tensão. Estes ensaios consistiram

em submeter as amostras instrumentadas a incrementos controlados de carga radial, monitorizando-se em paralelo as deformações axiais e radiais induzidas (Figura 6.23 b).

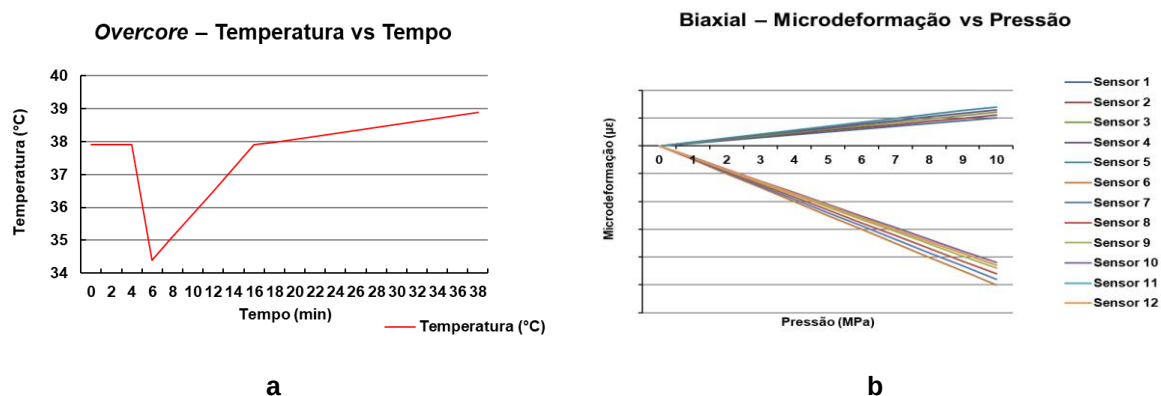


Figura 6.23 - a) Monitorização da variação da temperatura ao longo do tempo durante a sobre-carotagem (*overcoring*) na amostra 1. b) Gráfico do ensaio biaxial realizado na Amostra 1, de onde foram retirados dados para calcular o Módulo de Elasticidade e o Coeficiente de Poisson *in situ*. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)

Para garantir a rastreabilidade das leituras e a interpretação correta das deformações medidas, foram utilizados os ângulos α e β , que permitem classificar, para cada sensor, se a deformação registada corresponde a uma direção axial, radial ou diagonal (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Classificação dos sensores da célula CSIRO HI com base nos ângulos α e β

Sensor	Ângulo α (°)	Ângulo β (°)	Orientação da Deformação
Sensor 1	323	0	Axial
Sensor 2	300	90	Radial
Sensor 3	300	45	Diagonal
Sensor 4	163,5	45	Diagonal
Sensor 5	163,5	135	Diagonal
Sensor 6	180	90	Radial
Sensor 7	83	0	Axial
Sensor 8	60	90	Radial
Sensor 9	60	45	Diagonal
Sensor 10	300	135	Diagonal
Sensor 11	210	90	Radial
Sensor 12	90	90	Radial

Com base neste parâmetro, classificaram-se como deformações axiais ($\beta = 0^\circ$), radiais ($\beta = 90^\circ$) e diagonais ($\beta = 45^\circ$ ou 135°), sendo que esta distinção é fundamental

para converter corretamente as microdeformações em tensões. As deformações axiais tendem a ser positivas devido ao efeito de Poisson, que provoca alongamento na direção do furo, enquanto as radiais são negativas, refletindo a compressão aplicada. As deformações diagonais apresentam valores intermédios, resultantes da combinação dos dois efeitos.

A análise da relação entre a pressão aplicada e as deformações registadas permitiu calcular os parâmetros elásticos, nomeadamente o Módulo de Elasticidade (Figura 6.24) e o Coeficiente de *Poisson* (Figura 6.25) representativos do maciço rochoso, sendo para estas condições utilizadas as seguintes expressões:

- Módulo de Elasticidade (E)

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_{axial}}$$

onde:

E : Módulo de Elasticidade, em Pa;

$\Delta\sigma$: Variação de pressão radial aplicada, em Pa;

$\Delta\varepsilon_{axial}$: Variação de deformação axial correspondente

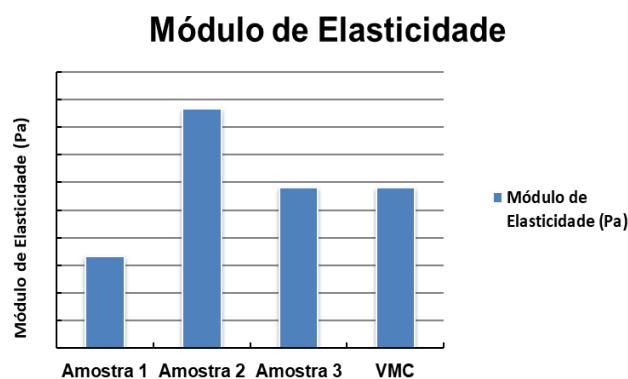


Figura 6.24 - Valores do Módulo de Elasticidade, determinados a partir dos ensaios biaxiais *in situ*.
(Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)

Relativamente ao coeficiente de *Poisson*, este traduz a relação entre as deformações segundo duas direções principais, nomeadamente entre a deformação radial com a deformação axial, tal como indicado pela expressão matemática abaixo indicada:

- Coeficiente de *Poisson* (ν)

$$\nu = - \frac{\Delta \varepsilon_{radial}}{\Delta \varepsilon_{axial}}$$

onde:

$\Delta \varepsilon_{radial}$: é a variação da deformação radial, em $\mu\epsilon$ (converter para adimensional);

$\Delta \varepsilon_{axial}$ é a variação da deformação axial, em $\mu\epsilon$ (converter para adimensional);

Nota: O sinal negativo está presente por convenção, pois uma compressão radial provoca tipicamente uma deformação axial positiva (alargamento) e vice-versa.

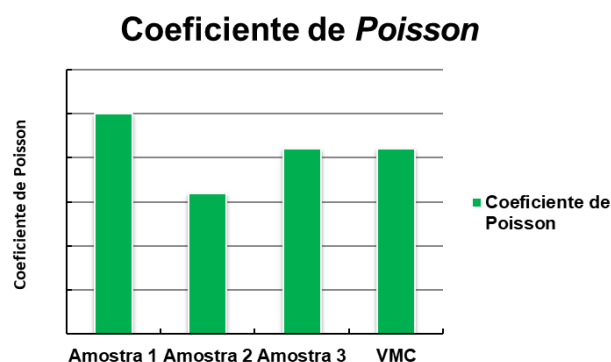


Figura 6.25 - Distribuição dos valores do Coeficiente de *Poisson* determinados a partir dos ensaios biaxiais *in situ*. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)

A determinação do estado de tensão natural realizou-se com base na resolução de um sistema de equações lineares, utilizando como parâmetros de entrada o Módulo de Elasticidade e o Coeficiente de *Poisson*, obtidos através de ensaios biaxiais realizados no local, bem como os fatores de correção geométricos específicos de cada célula CSIRO HI (K1, K2, K3 e K4). A análise baseou-se num total de 36 leituras corrigidas, correspondentes às três células instaladas sendo que a célula correspondente à amostra 3, cuja resposta foi considerada atípica, foi analisada com base nos parâmetros médios obtidos para as amostras 1 e 2.

As componentes de tensão determinadas foram posteriormente convertidas em tensões principais (σ_1 , σ_2 e σ_3), utilizando um referencial espacial absoluto, onde o norte da mina foi definido como 4° a este do norte verdadeiro. Esta abordagem

permitiu obter orientações reais para as tensões principais, que são importantes para o enquadramento geotécnico do local (Figura 6.26) .

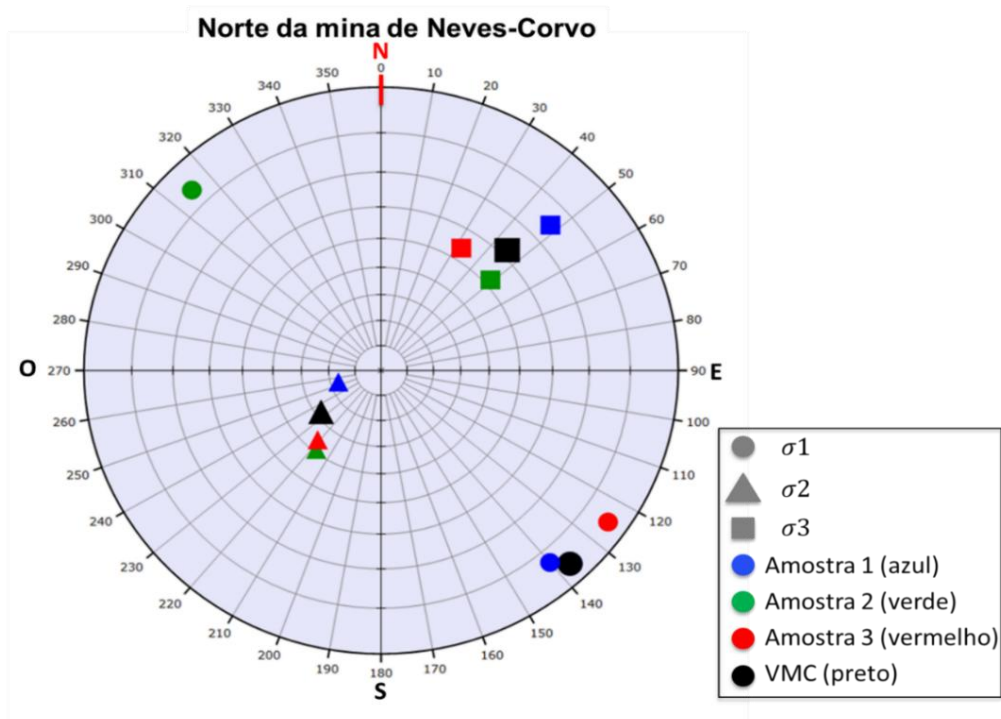


Figura 6.26 - Projeção estereográfica (software Dips) representando a orientação das tensões principais (σ_1 , σ_2 e σ_3) determinadas para cada amostra individual (Amostra 1 a azul, Amostra 2 a Verde, Amostra 3, vermelho) e o Valor Médio Calculado (VMC a Preto), sendo os 0° o norte da mina de Neves-Corvo. Os símbolos diferenciam as tensões: círculo (σ_1), triângulo (σ_2) e quadrado (σ_3). (Imagem Dips)

A maior tensão principal (σ_1) apresenta uma orientação quase horizontal, com mergulho de 4° e direção de 137°, aproximadamente no sentido sudeste, o que confirma a ausência de alinhamento com o eixo do furo e evidencia a existência de um regime de tensões tridimensional complexo. Esta configuração reforça a importância da georreferenciação rigorosa das tensões principais na correta interpretação do comportamento do maciço rochoso.

As magnitudes obtidas σ_1 , σ_2 e σ_3 , para cada amostra foram comparadas e integradas estatisticamente, definindo-se o Valor Médio Calculado (VMC) como estimativa representativa do estado de tensões naturais no local estudado. A interpretação final revelou resultados estatisticamente consistentes e robustos, confirmando a qualidade

das amostras, o controlo rigoroso das condições de ensaio e a fiabilidade de todo o procedimento (Figura 6.27).

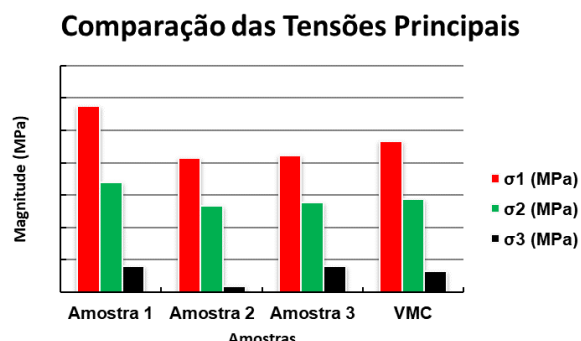


Figura 6.27 - Representação gráfica da comparação dos resultados de σ_1 , σ_2 e σ_3 para Amostra 1, Amostra 2, Amostra 3 e o VMC. (Observações: Valores da escala omissos por solicitação da empresa)

O VMC constitui, assim, uma estimativa técnica fiável do estado de tensão natural na área estudada, devendo ser utilizado como base para a modelação numérica, o dimensionamento de escavações subterrâneas e a definição de sistemas de suporte adaptados às condições reais do maciço. Esta abordagem contribui de forma decisiva para garantir a segurança e a eficiência das operações mineiras.

6.2.2 Microssísmica

Após a instalação dos geofones, tal como descrito no subcapítulo 5.3.2, iniciou-se a recolha e interpretação dos dados, permitindo o acompanhamento em tempo real da atividade sísmica da área em estudo, a identificação de zonas com maior concentração de eventos e a avaliação contínua da estabilidade do maciço rochoso em função do avanço das escavações.

O sistema de monitorização por microssísmica encontra-se totalmente integrado com o software *Ticker3D*, o que permite a visualização em tempo real dos eventos registados, otimizando assim a resposta operacional e a tomada de decisão no terreno. Esta funcionalidade tem-se revelado essencial para o acompanhamento

contínuo do comportamento do maciço rochoso, possibilitando intervenções preventivas de forma mais célere.

Para além disso, encontra-se em fase de planeamento a implementação de *triggers* automáticos (TARP – *Trigger Action Response Plan*), os quais permitirão a ativação imediata de medidas de mitigação sempre que sejam detetados eventos sísmicos com características anómalas ou que ultrapassem limiares pré-definidos. Esta evolução visa reforçar ainda mais a segurança operacional e a gestão do risco sísmico e sua mitigação, para a atividade mineira em profundidade.

O modelo tridimensional das escavações (Figura 6.28) na zona de estudo, elaborado a partir de dados de levantamento topográfico e atualizado no software Ticker3D, mostra os diferentes níveis de escavação e frentes de trabalho, servindo como base de referência para a sobreposição das estruturas geológicas e dos eventos microsísmicos registados. Esta representação integrada facilita a identificação de zonas potencialmente críticas em função do progresso das operações mineiras, contribuindo para uma análise de estabilidade do maciço rochoso com uma precisão de 10 m.

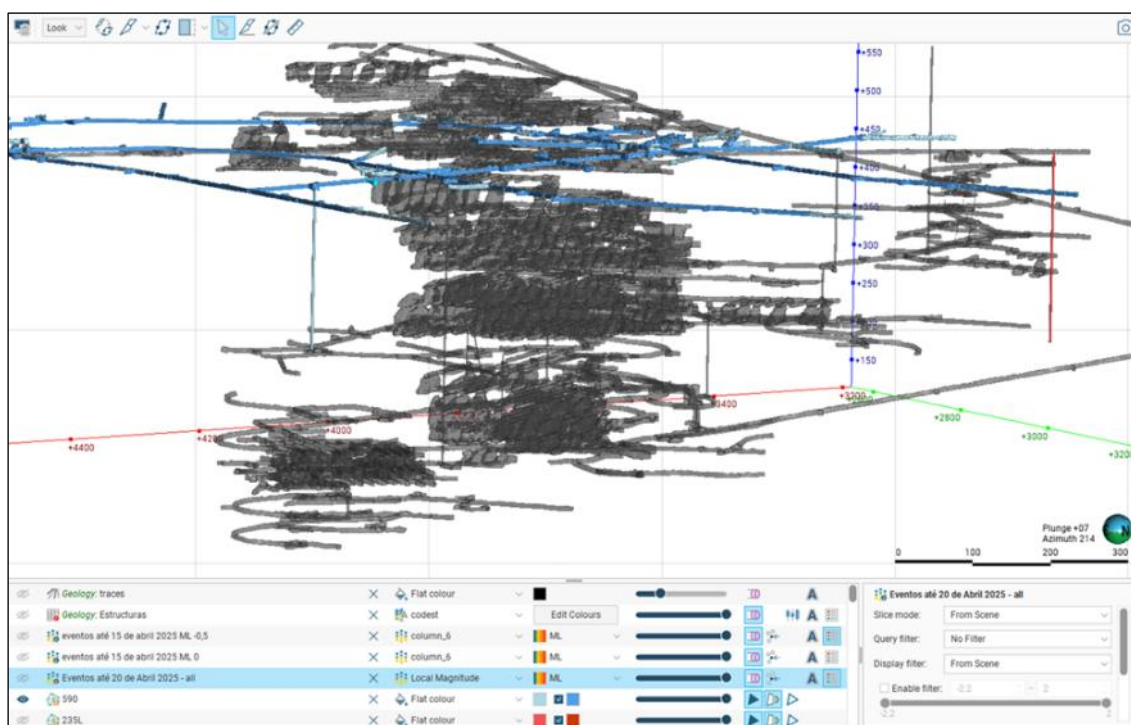


Figura 6.28 - Modelo tridimensional das escavações mineiras na área monitorizada, visualizado no Ticker3D.

A sobreposição dos eventos microssísmicos no modelo tridimensional das escavações (Figura 6.29), permite verificar que a maioria dos eventos se concentra junto às frentes de trabalho ativas. Destacam-se áreas com maior densidade de ocorrências, indicativas de zonas de relaxamento provocadas pelas escavações ou de potencial instabilidade. Os pontos coloridos representam os eventos registados durante o período analisado, codificados por magnitude conforme a escala de cores apresentada à direita, o que possibilita identificar rapidamente a distribuição energética e a intensidade relativa da atividade microssísmica nas zonas de maior atividade mineira.

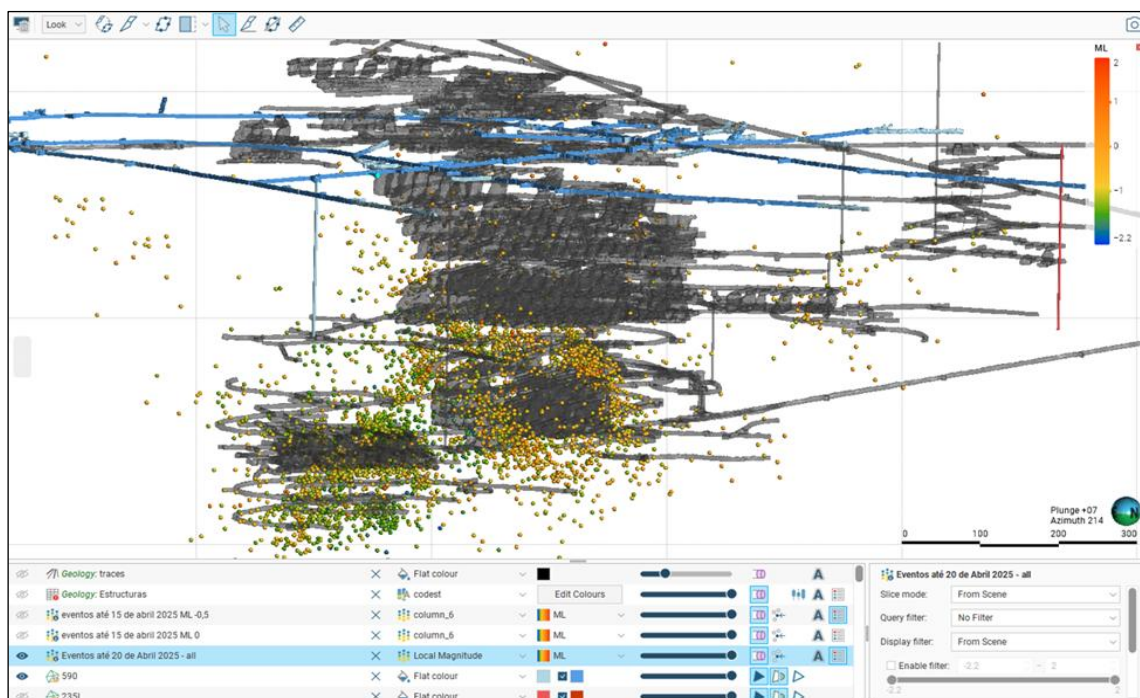


Figura 6.29 - Distribuição espacial dos eventos microssísmicos sobre o modelo tridimensional das escavações.

A visualização detalhada da interação entre a superfície de falha (representada pelo plano vermelho), as escavações (em cinzento) e a dispersão dos eventos microssísmicos (pontos coloridos) (Figura 6.30) permite perceber a concentração de eventos junto ao plano de falha e nas imediações das frentes de escavação, possibilitando uma análise mais precisa da sua distribuição espacial, bem como da influência da falha e de possíveis movimentos associados a esta. Esta representação tridimensional constitui uma ferramenta essencial para identificar zonas críticas

potencialmente suscetíveis a deslocamentos induzidos pelas operações mineiras, contribuindo para o planeamento de ações de mitigação e de reforço estrutural de forma preventiva.

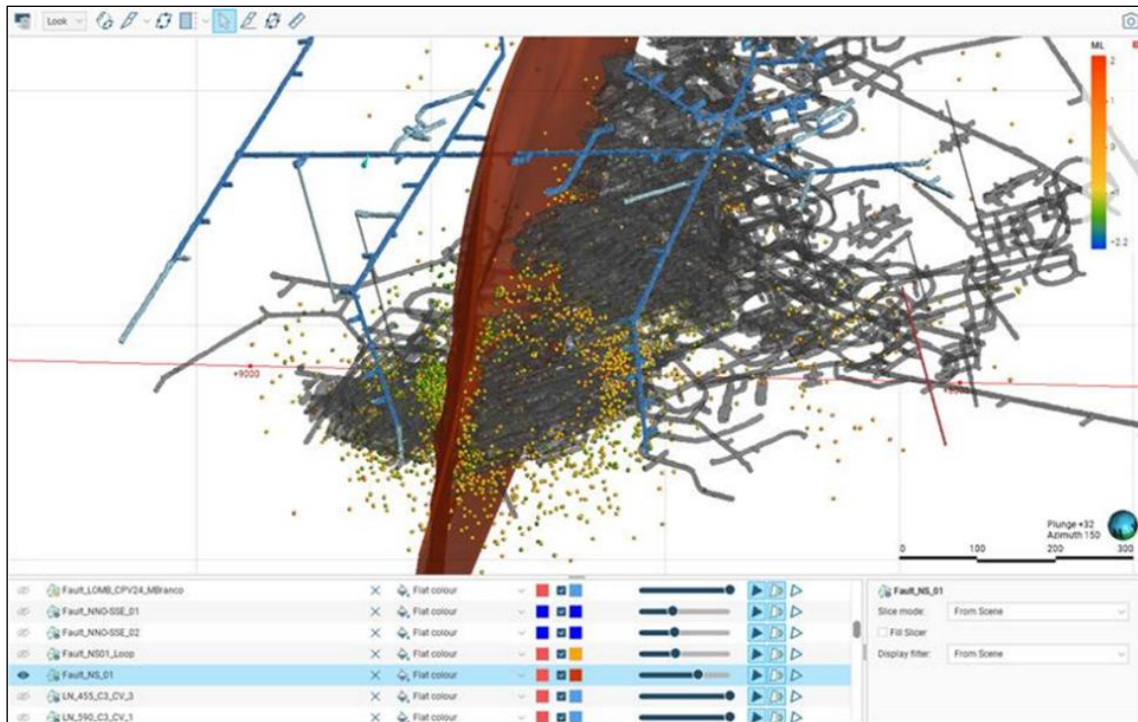


Figura 6.30 - Concentração dos eventos microssísmicos junto à falha principal (plano vermelho).

A análise combinada dos dados evidencia a correlação espacial entre as escavações, as estruturas geológicas e a distribuição dos eventos microssísmicos registados. A maior densidade de eventos observa-se nas imediações das frentes de trabalho e em torno da falha principal, sugerindo interação entre a atividade mineira e as descontinuidades preexistentes. Estes resultados reforçam a importância da monitorização em tempo real para apoiar a tomada de decisão e definir medidas de mitigação ajustadas às condições do maciço.

6.2.3 Extensómetros

Durante o estágio foram instalados dois extensómetros em duas zonas com características geomecânicas distintas, com o objetivo de monitorizar a deformabilidade do maciço rochoso e identificar possíveis movimentos ao longo do

tempo. A instalação seguiu o procedimento descrito no subcapítulo 5.3.3, assegurando a correta fixação dos sensores.

1) Extensómetro Local 1

O primeiro extensómetro foi instalado na galeria de acesso ao muro incluída na área do Corvo Sudeste. O acesso é condicionado por uma zona com um grau de instabilidade elevado com presença de várias fraturas, de espessura considerável, no revestimento de betão projetado. A monitorização teve como principal objetivo detetar deslocamentos na zona identificada que pudessem comprometer a segurança dos trabalhadores e da operação, sendo os dados tratados de forma a representar graficamente os deslocamentos acumulados ao longo do tempo (Figura 6.31) e a evolução da abertura das fissuras (Figura 6.32).

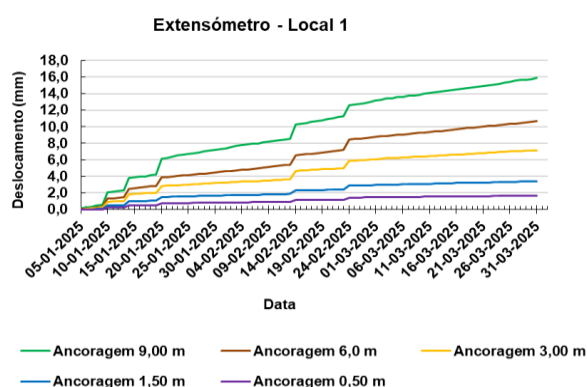


Figura 6.31 - Variação dos deslocamentos nos pontos de medição ao longo do extensómetro. Observa-se um padrão de movimento progressivo.

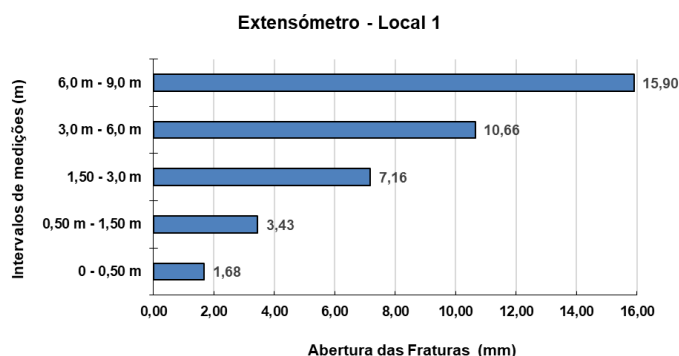


Figura 6.32 - Variação da abertura das fissuras identificadas no local 1.

O extensómetro do local 1 evidenciou deslocamentos progressivos, mais acentuados nas ancoragens mais profundas (6.0 m e 9.0 m) e praticamente residuais nas superficiais. A evolução dos deslocamentos apresenta um padrão escalonado, indicando episódios de instabilidade intercalados com fases de relativa estabilização, sendo que este ajustamento progressivo reflete a redistribuição de tensões no maciço induzidas pela utilização de explosivos nas proximidades. Estes sinais recomendam a continuidade de acompanhamento da tendência dos deslocamentos e no caso de incrementos significativos a tomada de medidas de contenção adicionais (resposta técnica adotada a esta evolução é apresentada em detalhe no subcapítulo posterior).

2) Extensómetro Local 2

O segundo extensómetro foi instalado na galeria de acesso ao muro incluída na área do Lombador, uma área conhecida por conter uma zona de falha ativa. Devido à sua geologia complexa marcada pela zona de falha, esta frente apresenta uma maior probabilidade de condições instáveis. A monitorização teve como principal objetivo verificar possíveis movimentos estruturais indesejados, sendo os dados tratados de forma a representar graficamente os deslocamentos acumulados ao longo do tempo (Figura 6.33) e a evolução da abertura das fissura (Figura 6.34)

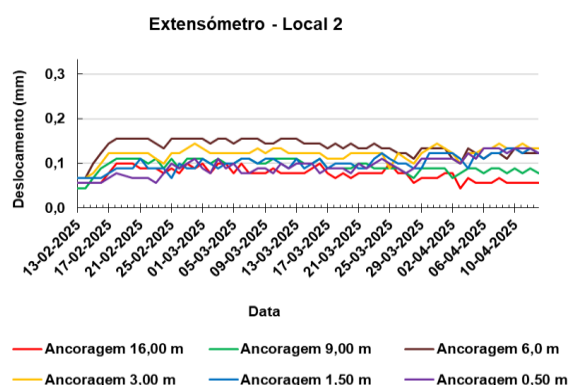


Figura 6.33 - Deslocamentos registados ao longo do tempo. Observa-se um padrão de pequenos movimentos, mas na generalidade o maciço encontra-se estável.

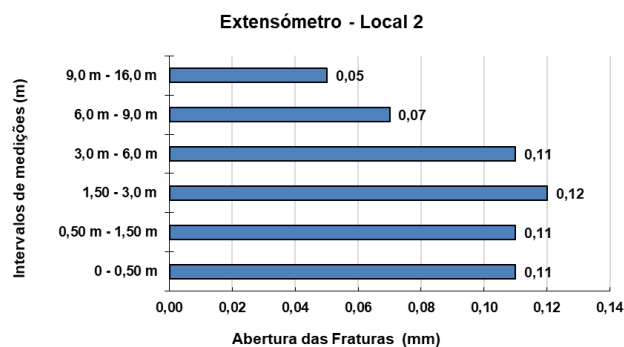


Figura 6.34 - Variação da abertura das fissuras identificadas no local 2.

A leitura do extensómetro do local 2 mostra deslocamentos muito reduzidos, na ordem de décimos de milímetro, relativamente estáveis ao longo do tempo e sem variações significativas. Este comportamento indica uma condição de equilíbrio do maciço rochoso na zona monitorizada, sem registo de deformações relevantes durante o período analisado. A estabilidade observada confirma a eficácia do reforço e do suporte existente e não evidencia necessidade de medidas adicionais.

A utilização de extensómetros é essencial no controlo do comportamento dos maciços rochosos onde se desenvolvem as escavações mineiras, uma vez que deformações excessivas podem comprometer a segurança dos trabalhadores e afetar o ciclo produtivo, provocando atrasos no avanço das frentes de trabalho e no cronograma de exploração das bancadas. Situações de instabilidade podem ainda gerar custos acrescidos com ações corretivas, como reabilitações com instalação de novos elementos de reforços e de suporte, sendo que dependendo da gravidade da deformação, poderá ser necessário, em casos mais críticos, executar novos acessos, com impacto direto na eficiência, complexidade e rentabilidade da operação.

Neste contexto, a instalação dos extensómetros demonstrou ser uma ferramenta fundamental para a gestão do risco geotécnico, permitindo a deteção precoce de deslocamentos e a definição de estratégias de mitigação antes que ocorram roturas por deformação excessiva.

6.2.4 Convergências

Durante o estágio, foram realizadas diversas leituras manuais de convergências numa galeria na área de Neves, correspondente a uma rampa de acesso a bancadas, para verificação da estabilidade ao longo da rampa. Paralelamente, a equipa procedeu à instalação de dois sistemas automáticos de medição de convergências (sensores de convergência), numa galeria na área do Corvo que corresponde a um acesso de *Drifts*. Neste segundo caso o objetivo foi monitorizar o comportamento do maciço rochoso numa zona de maior complexidade geológica, onde a escavação intercepta a falha 7 e toda a sua zona de influência. Os equipamentos utilizados, bem como os respetivos detalhes técnicos e operacionais, encontram-se descritos no subcapítulo 5.3.4 deste relatório.

a) Convergências Neves

Na rampa da área de Neves, foi realizada a monitorização de deslocamentos do maciço rochoso através de 10 convergências lidas manualmente (Figura 6.35 e 6.36). Esta metodologia baseia-se na utilização de fita metálica, com pontos de referência fixos, permitindo acompanhar o comportamento estrutural ao longo do tempo e identificar eventuais movimentos excessivos, sobretudo em zonas de escavação em desenvolvimento.

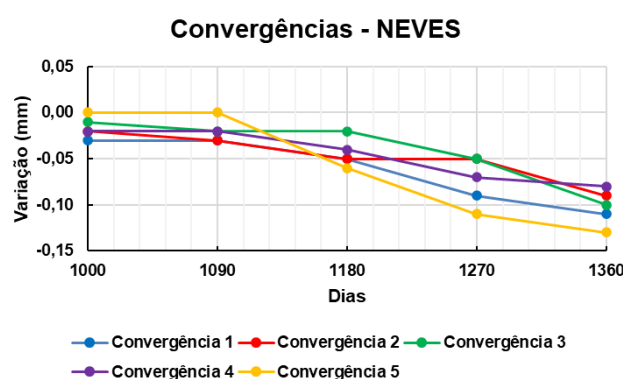


Figura 6.35 - Variação das convergências lidas manualmente (convergências 1 a 5) na rampa de Neves, correspondente a um acesso a bancadas.

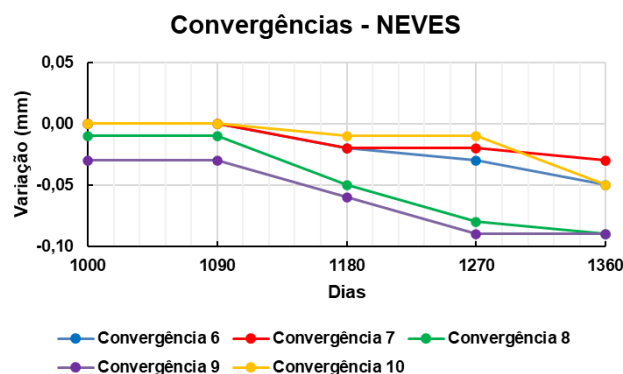


Figura 6.36 - Variação das convergências lidas manualmente (convergências 6 a 10) na rampa de Neves, correspondente a um acesso a bancadas.

A análise das leituras de convergência apresentadas nas figuras acima, evidencia uma tendência geral de deslocamentos negativos ao longo do tempo, traduzindo um ligeiro fecho da secção monitorizada. A variação acumulada situa-se, de forma geral, entre -0,05 mm e -0,15 mm, o que indica deformações de pequena magnitude, típicas de um comportamento estável e controlado do maciço rochoso no período observado.

Verifica-se alguma dispersão entre os diferentes pares de convergências, com certas leituras a evidenciar uma taxa de fecho ligeiramente mais acentuada (por exemplo, a Convergência 5 e a Convergência 8). Contudo, o padrão geral permanece coerente e não se observam inversões significativas que indiquem instabilidade ou convergência localizada. Estes valores encontram-se dentro dos limites de deformação admissíveis para zonas instrumentadas de reforço e sustentação já consolidados.

b) Convergências Corvo

Com o intuito de garantir uma monitorização contínua e de maior precisão na passagem pela falha 7, foram instalados sensores de convergência, do tipo Xcell Cyclops, num acesso a *Drifts* na área do Corvo (Figura 6.37 e 6.38). Estes dispositivos permitem recolher dados via *wi-fi* em intervalos programados, minimizando a necessidade de intervenções no local e assegurando o acompanhamento em tempo real de possíveis movimentos diferenciais na zona de influência da estrutura geológica.

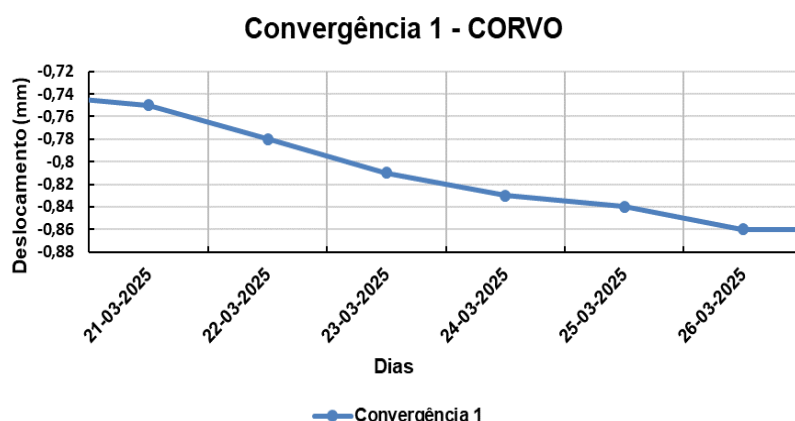


Figura 6.37 - Evolução do deslocamento registado pelo sensor de convergência 1 no acesso aos *drifts* da área do Corvo, zona de influência da falha 7.

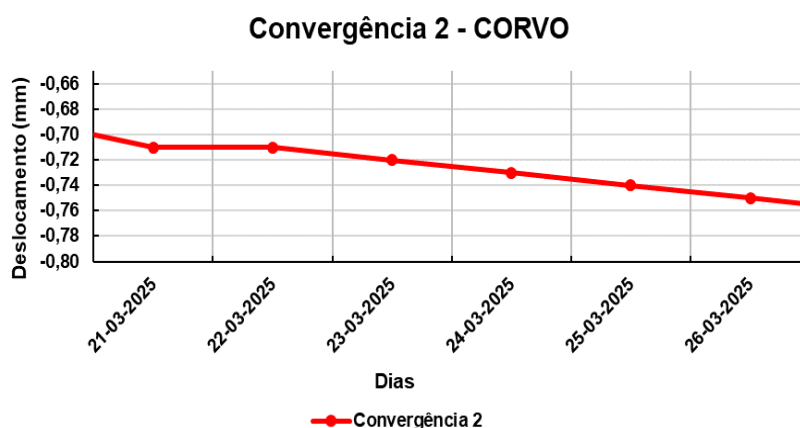


Figura 6.38 - Evolução do deslocamento registado pelo sensor de convergência 2 no acesso aos *drifts* da área do Corvo, zona de influência da falha 7.

As leituras automáticas das convergências 1 e 2, registadas entre 21/03/2025 e 26/03/2025, mostram uma evolução progressiva do deslocamento acumulado, evidenciando um fecho ligeiro e contínuo da secção monitorizada.

Na Convergência 1, observa-se uma variação de aproximadamente -0,12 mm durante o período analisado, com uma tendência de fecho regular e sem oscilações bruscas. Já na Convergência 2, o comportamento é semelhante, embora com deslocamentos ligeiramente inferiores, totalizando uma variação próxima de -0,09 mm.

Este comportamento é compatível com o relaxamento normal do maciço rochoso após eventuais atividades de escavação ou reforço, não se detetando sinais de

aceleração ou instabilidade anômala. Os valores encontram-se dentro dos limites admissíveis para monitorização automática de curto prazo.

A comparação entre os dois métodos evidencia vantagens e limitações próprias de cada abordagem.

No caso das convergências de leitura manual, destaca-se a simplicidade e o baixo custo de instalação. No entanto, este método implica deslocamentos frequentes de pessoal ao local para registo das leituras, o que pode interromper ou condicionar o trânsito na rampa e expor os técnicos a condições adversas. Além disso, a precisão pode ser afetada por fatores como a variação de temperatura, que interfere com a dilatação da fita, o desgaste mecânico da mola de retração e eventuais erros humanos na leitura e registo dos valores.

Por outro lado, os sensores de convergência automática possibilitam a recolha remota e em tempo real dos dados, aumentando a frequência de monitorização sem necessidade de interrupção das operações mineiras ou presença constante de técnicos na galeria. A automatização reduz significativamente a probabilidade de erro humano e permite integrar alarmes para resposta imediata em caso de deslocamentos anómalos. Contudo, apresenta custos iniciais de instalação e manutenção mais elevados, e pode requerer calibração periódica para garantir a fiabilidade dos sensores em ambientes subterrâneos sujeitos a humidade, poeiras e variações térmicas.

Em conjunto, a utilização complementar dos dois métodos contribui para uma gestão mais robusta da segurança e da estabilidade das escavações subterrâneas, combinando o controlo pontual com monitorização contínua em função do tipo de escavação e de necessidade de maior ou menor acompanhamento.

6.2.5 Subsidências

No decurso do estágio, colaborou-se na análise dos levantamentos topográficos e na recolha sistemática de dados provenientes dos pontos de monitorização de subsidência, estrategicamente implantados em torno do couro mineiro e na superfície das zonas subterrâneas de influência (Figura 6.39).

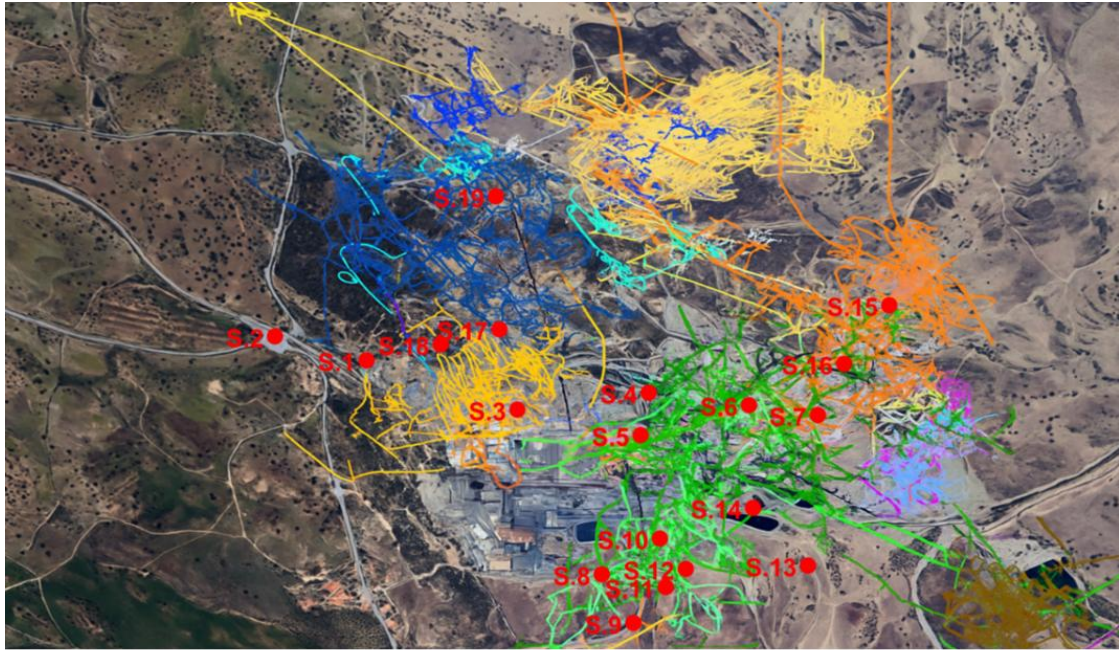


Figura 6.39 - Localização dos pontos de monitorização de subsidência (S.1 a S.19) implantados na área superficial do couro mineiro, sobre as zonas subterrâneas de influência. As linhas de diferentes cores representam as frentes de exploração e galerias subterrâneas ativas ou históricas.

Esta atividade permitiu projetar graficamente (Figuras 6.40, 6.41, 3.42, 6.43 e 6.44) os dados de forma a poder-se observar a evolução do comportamento da superfície nas zonas influenciadas pela atividade mineira.

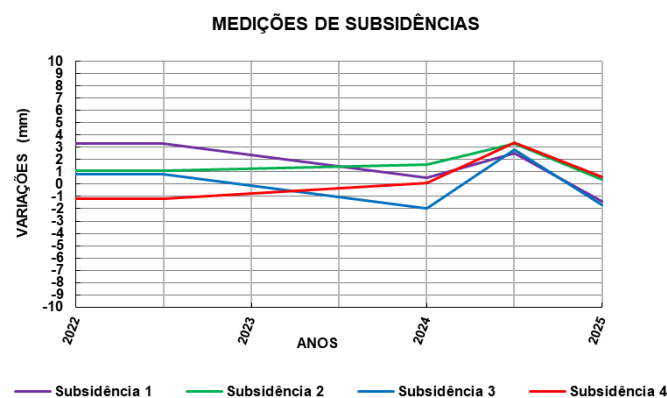


Figura 6.40 - Variação anual das subsidências 1 a 4 entre 2022 e 2025. Observam-se oscilações moderadas com pico em 2024, seguido de estabilização.

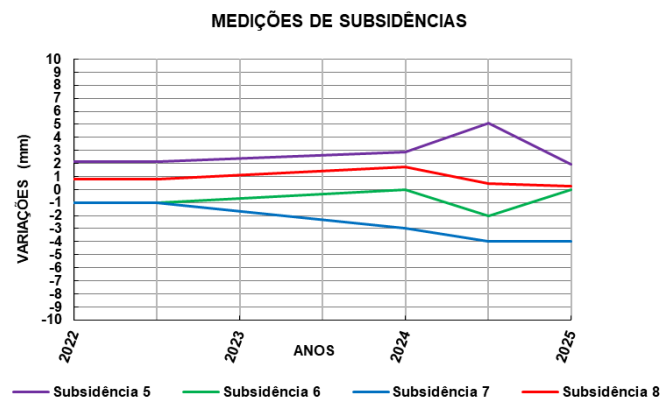


Figura 6.41 - Evolução das subsidências 5 a 8 no período de 2022 a 2025. Destaca-se o aumento pontual da subsidência 5 e a tendência descendente da subsidência 7.

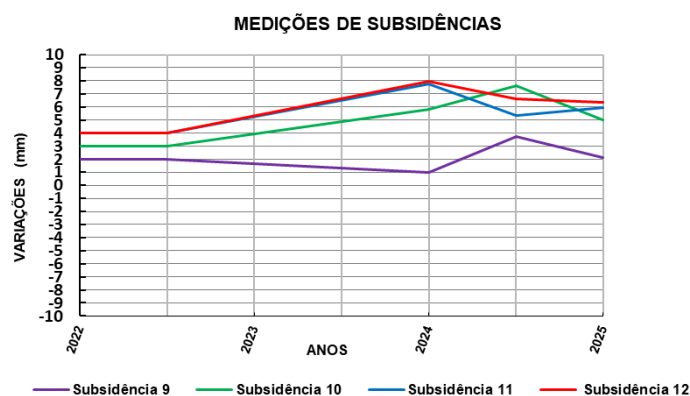


Figura 6.42 - Registo das subsidências 9 a 12 de 2022 a 2025. Verifica-se crescimento gradual até 2024, seguido de ligeira diminuição em algumas séries.

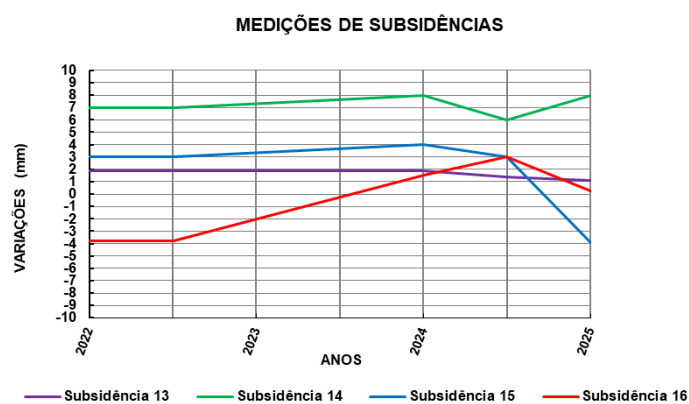


Figura 6.43 - Medições das subsidências 13 a 16 entre 2022 e 2025. Nota-se estabilidade geral com variações pontuais, e inversão de tendência na subsidência 16.

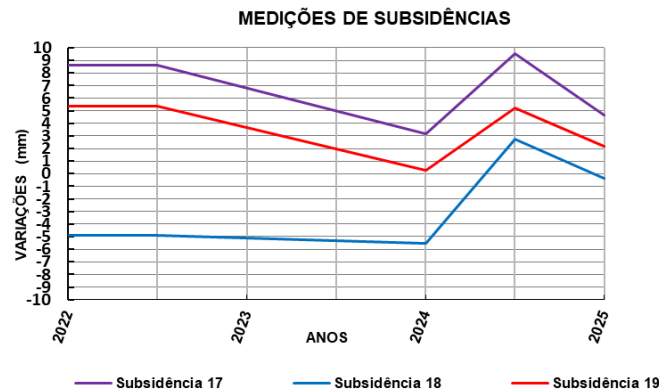


Figura 6.44 - Variação temporal das subsidências 17 a 19 de 2022 a 2025. Observam-se amplitudes maiores na subsidência 17 e tendências de recuperação em 2024.

A análise conjunta dos gráficos de medições de subsidências mostra que, de forma geral, os deslocamentos observados são de pequena magnitude, com oscilações moderadas ao longo dos anos e picos pontuais que podem refletir condições locais específicas. A maioria dos locais monitorizados mantém-se relativamente estável, revelando que, até ao momento, não se verificam movimentos de subsidência significativos que indiquem alteração na estabilidade estrutural.

Para reforçar o controlo destas variações, está prevista a instalação de mais cinco marcos de subsidência na zona superficial do jazigo do Lombador, assinalada a amarelo claro na Figura 6.39, permitindo assim aumentar a cobertura e a precisão do monitoramento em superfície.

Contudo, é importante destacar que parte destas variações pode não estar associada exclusivamente a movimentos reais do terreno, mas a pequenas imprecisões instrumentais, variações de temperatura ou outros fatores externos que afetam a leitura.

6.3 Soluções Técnicas

6.3.1 Aderência deficiente de parafusos de heliaço em zona de falha em galeria na área do Corvo

Em março, área do Corvo, acesso aos desmontes tipo *Drift*, realizaram-se ensaios que permitiram identificar uma zona específica em que os parafusos de heliaço com resina evidenciaram um desempenho insatisfatório nos ensaios pull-out.

Esta zona localiza-se nas proximidades da falha estrutural 7 sendo uma zona de transição litológica marcada pelo elevado grau de fracturação do maciço rochoso (Figura 6.45).

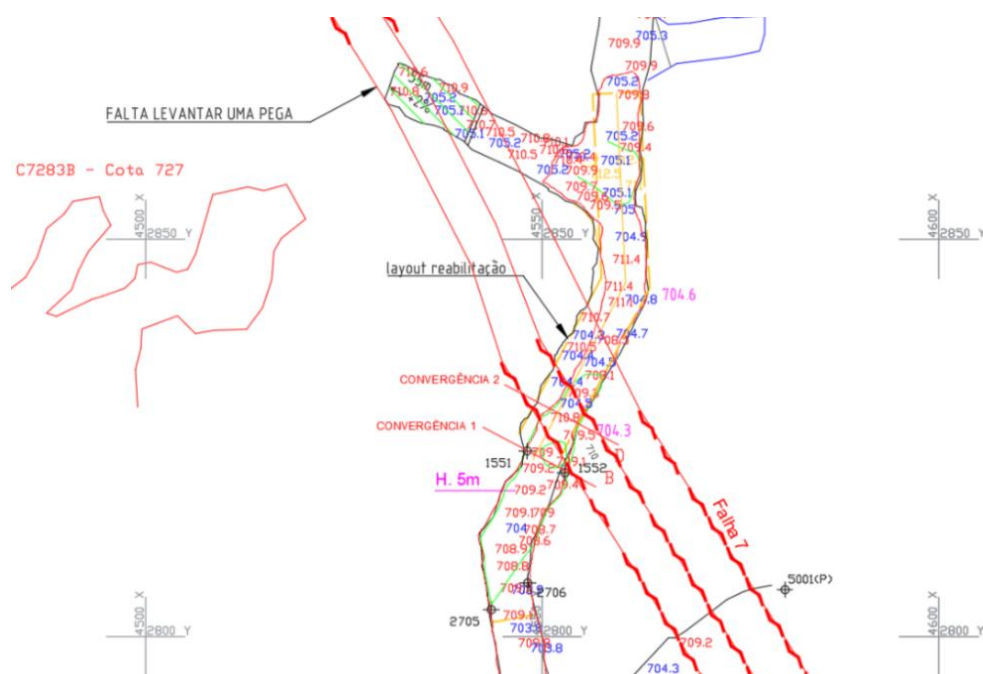


Figura 6.45 - Imagem de carta (planta) onde a escavação intersectou uma falha e zona de fracturação excessiva do maciço rochoso.

Aparentemente a baixa resistência do terreno estaria a impedir a aderência entre o parafuso, a resina e a própria rocha.

Os resultados dos ensaios realizados confirmaram a baixa eficácia do tipo de parafuso utilizado para as condições encontradas (Figura 6.46).

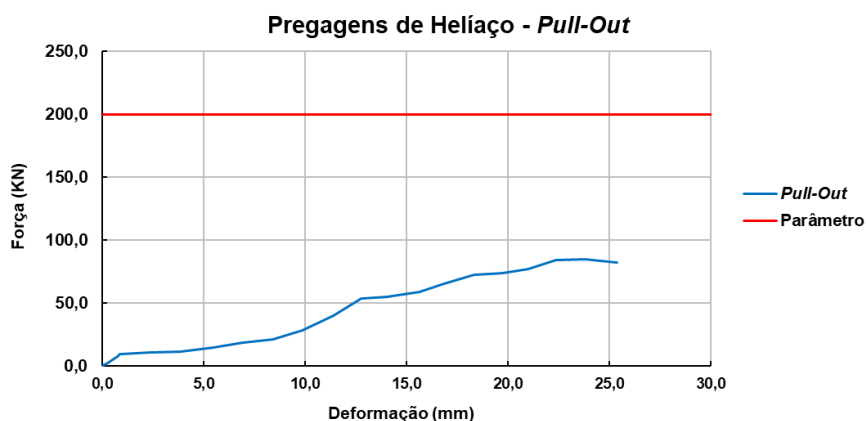


Figura 6.46 - Representação gráfica de um ensaio pull-out realizado aos parafusos de helião onde se verificou uma deficiência na aderência entre o parafuso, resina e o maciço rochoso.

Com base nas inspeções realizadas ao local e na interpretação dos resultados obtidos, optou-se por substituir o tipo de ancoragem em toda a zona de influência da falha, recorrendo a parafusos autoperfurantes. Esta alteração visou tirar partido das características do sistema, em particular das propriedades percolantes da resina injetada, para promover a consolidação da área envolvente à escavação.

Após a substituição do tipo de parafusos seguiu-se a execução de novos *ensaios pull-out*, verificando-se uma melhoria significativa na aderência e, conseqüentemente, na capacidade de resistência às solicitações impostas pelas condições adversas da falha e da zona de transição (Figura 6.47).

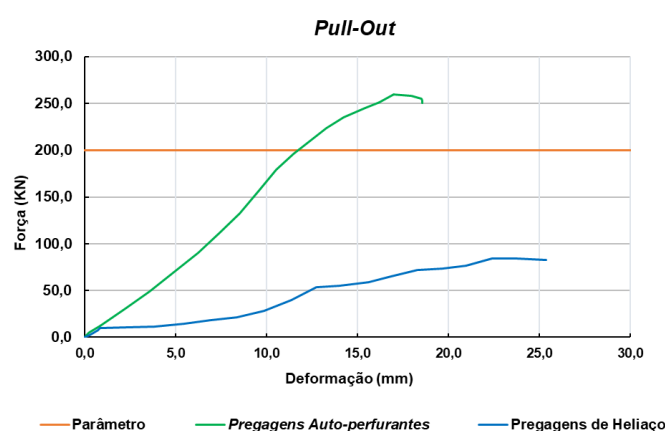


Figura 6.47 - Representação gráfica dos ensaios pull-out realizado aos parafusos de helião e aos parafusos autoperfurantes.

Como complemento à alteração, foram instalados dois sensores automáticos de convergências do tipo Xcell Cyclops (Figura 6.48 e 6.49) com um *trigger* (gatilho de alerta) para movimentos superiores a 5 mm. Foi também definido um novo plano de inspeção, que prevê a observação diária do acesso intervencionado, de forma a verificar se a solução implementada atua como elemento estabilizador, permitindo apenas deformações dentro de limites aceitáveis e garantindo a segurança da estrutura.

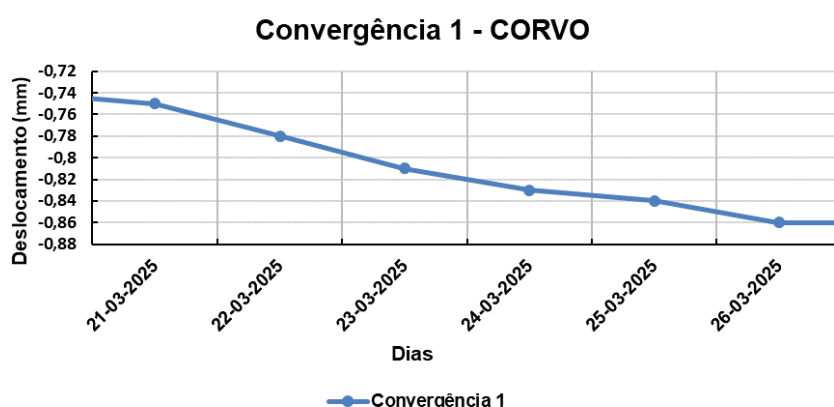


Figura 6.48 - Registo de deslocamentos da convergência 1, obtido com sensor Xcell Cyclops, equipado com sistema de alerta (*trigger*) para movimentos pré-definidos.

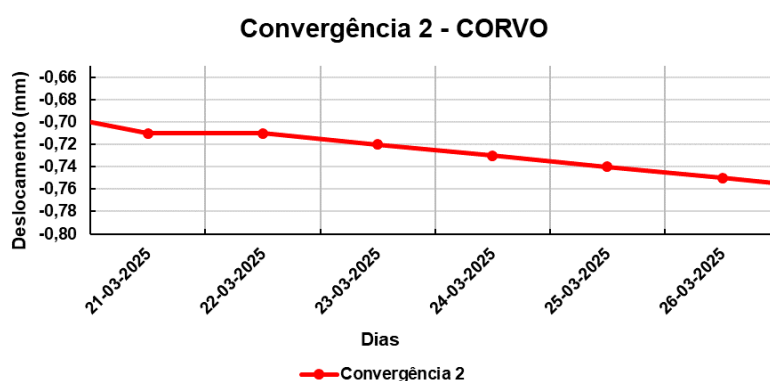


Figura 6.49 - Registo de deslocamentos da convergência 2, obtido com sensor Xcell Cyclops, equipado com sistema de alerta (*trigger*) para movimentos pré-definidos.

As convergências 1 e 2 instaladas na galeria localizada na área do Corvo, na zona de influência da falha 7, evidenciam deslocamentos de pequena magnitude e evolução gradual, confirmando um comportamento controlado do maciço após a aplicação dos

parafusos autoperfurantes com resina injetada. Estas medições automáticas permitiram não só monitorizar continuamente o terreno, como validar a eficiência do novo sistema de reforço, comprovando a sua eficácia na estabilização de zonas com elevada fraturação e comportamento potencialmente instável. Assim, este sistema de monitorização constitui um apoio essencial para verificar a performance do sustimento implementado e garantir que os deslocamentos permanecem dentro dos limites de segurança definidos para a operação da galeria

6.3.2 Anomalia na instalação de parafusos expansivos na área do Zambujal

No mês de janeiro, foi reportada uma dificuldade na instalação de parafusos expansivos numa bancada da área do Zambujal, onde operava o Jumbo de sustimento JS-021. Em resposta à ocorrência, a equipa do laboratório deslocou-se ao local e realizou uma amostragem de três parafusos. O controlo envolveu o enchimento dos parafusos expansivos e a medição do seu diâmetro externo no próprio local (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Resultados das dimensões dos diâmetros dos parafusos expandidos amostrados no reporte de março referente à bancada da área do Zambujal.

Diâmetros Parafusos Expansivos							
Parafuso 1	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Média Total
	Leitura 1	39,11	Leitura 4	39,97	Leitura 7	39,86	39,48
	Leitura 2	38,15	Leitura 5	41,03	Leitura 8	39,33	
	Leitura 3	38,26	Leitura 6	40,36	Leitura 9	39,65	
	Média	38,51	Média	40,45	Média	39,61	
Parafuso 2	Leitura 1	39,66	Leitura 4	41,23	Leitura 7	39,47	39,94
	Leitura 2	39,21	Leitura 5	41,22	Leitura 8	39,55	
	Leitura 3	39,55	Leitura 6	39,79	Leitura 9	39,78	
	Média	39,47	Média	40,75	Média	39,60	
Parafuso 3	Leitura 1	39,99	Leitura 4	41,22	Leitura 7	38,88	39,95
	Leitura 2	39,63	Leitura 5	41,27	Leitura 8	39,04	
	Leitura 3	39,63	Leitura 6	40,69	Leitura 9	39,23	
	Média	39,75	Média	41,06	Média	39,05	

Embora os parâmetros operacionais aparentassem estar dentro dos valores normais, os resultados indicaram que os diâmetros dos parafusos após a expansão não atingiam as dimensões especificadas. Perante esta não conformidade, procedeu-se à análise técnica da situação, que culminou na implementação de uma ação corretiva:

foi solicitado um ajuste à bomba de pressão do equipamento, por suspeita de que os valores indicados na consola (cerca de 300 bar) não correspondiam à pressão real aplicada.

Na sequência da intervenção da equipa de manutenção, verificou-se que o manómetro da bomba se encontrava avariado, sendo necessária a sua substituição. A intervenção foi concluída de forma célere, permitindo a realização de uma nova amostragem para controlo dimensional e de pressões durante a expansão (Tabela 6.5 e 6.6).

Tabela 6.5 - Resultados das pressões registadas durante a expansão dos parafusos após intervenção mecânica referente ao reporte de março na bancada da área do Zambujal.

Pressão hidráulica de expansão	
Parafuso 1	320
Parafuso 2	320
Parafuso 3	322

Tabela 6.6 - Resultados das dimensões dos diâmetros dos parafusos expandidos amostrados após reparação de avaria no JS-021 referente a março na bancada da área do Zambujal.

Diâmetros Parafusos Expansivos							
Parafuso 1	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Média Total
	Leitura 1	41,99	Leitura 4	42,56	Leitura 7	42,1	42,28
	Leitura 2	42,1	Leitura 5	42,71	Leitura 8	42,17	
	Leitura 3	42,11	Leitura 6	42,23	Leitura 9	42,31	
	Média	42,07	Média	42,50	Média	42,19	
Parafuso 2	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Média Total
	Leitura 1	42,08	Leitura 4	42,24	Leitura 7	42,09	42,14
	Leitura 2	42,16	Leitura 5	42,24	Leitura 8	42,09	
	Leitura 3	41,77	Leitura 6	42,39	Leitura 9	42,2	
	Média	42,00	Média	42,29	Média	42,13	
Parafuso 3	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Média Total
	Leitura 1	41,99	Leitura 4	42,63	Leitura 7	42,05	42,16
	Leitura 2	42,06	Leitura 5	42,31	Leitura 8	42,13	
	Leitura 3	42,13	Leitura 6	42,11	Leitura 9	42,01	
	Média	42,06	Média	42,35	Média	42,06	

Os resultados obtidos após a reparação de avaria no jumbo JS-021 confirmaram a resolução do problema, validando a eficácia da ação corretiva e demonstrando, uma

vez mais, a relevância do controlo de qualidade como ferramenta essencial na deteção precoce de anomalias e na garantia da eficácia das soluções implementadas.

6.3.3 Correção da composição de pasta com o objetivo de melhorar as propriedades de escoamento

Durante o enchimento de uma bancada com pasta, foi realizado o controlo de qualidade de rotina, que incluiu a amostragem, a preparação de provetes e a realização de ensaios para determinação das propriedades reológicas do material. Após a análise dos primeiros resultados, verificou-se que a tensão de corte apresentava valores excessivamente elevados, comprometendo a fluidez necessária para o escoamento da pasta através das tubagens até à zona de enchimento, localizada a grande profundidade na mina (Figura 4.50).

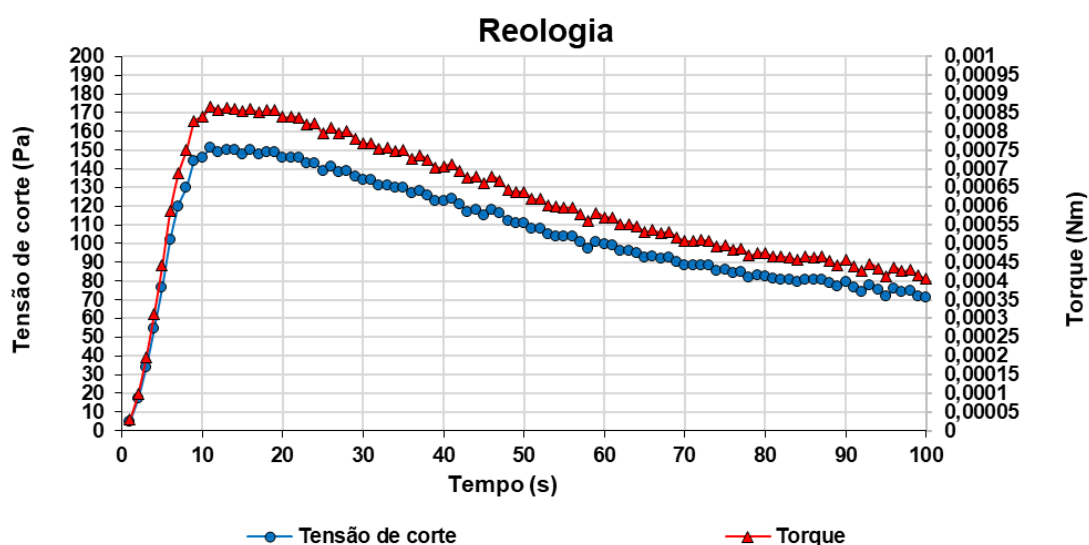


Figura 6.50 - Gráfico da tensão de corte e torque relativo, determinados durante o ensaio reológico da pasta.

A pasta é produzida a partir dos rejeitados provenientes diretamente dos ciclones, os quais são alimentados pela lavaria. Assim, a granulometria de alimentação varia consoante o minério processado, sendo inviável qualquer atuação direta sobre o tamanho das partículas, um fator determinante no equilíbrio entre as frações sólida e líquida, essencial para obter uma pasta com as características adequadas de

bombeamento. Neste contexto, para reduzir a tensão de corte, existiam duas alternativas viáveis: a adição direta de água à mistura ou o aumento da dosagem de adjuvante. Contudo, a introdução de água implica uma redução da resistência final da pasta, o que se torna indesejável. Por este motivo, optou-se por incrementar a dosagem de adjuvante em 150 ml/t, procedendo-se, de seguida, a nova campanha de amostragem e ensaios de controlo para validar a eficácia da medida adotada.

De notar que a utilização excessiva de adjuvante pode ter como desvantagem uma menor resistência mecânica às 24 horas, período crítico em que existe maior suscetibilidade à liquefação da pasta, aumentando o risco de acidentes nas portas de enchimento, concebidas para reter o material nos desmontes durante o enchimento.

Após análise dos dados reológicos obtidos na amostra corrigida e comparação de ambos os resultados (Figura 6.51), confirmou a redução da tensão de corte, validando a decisão técnica.

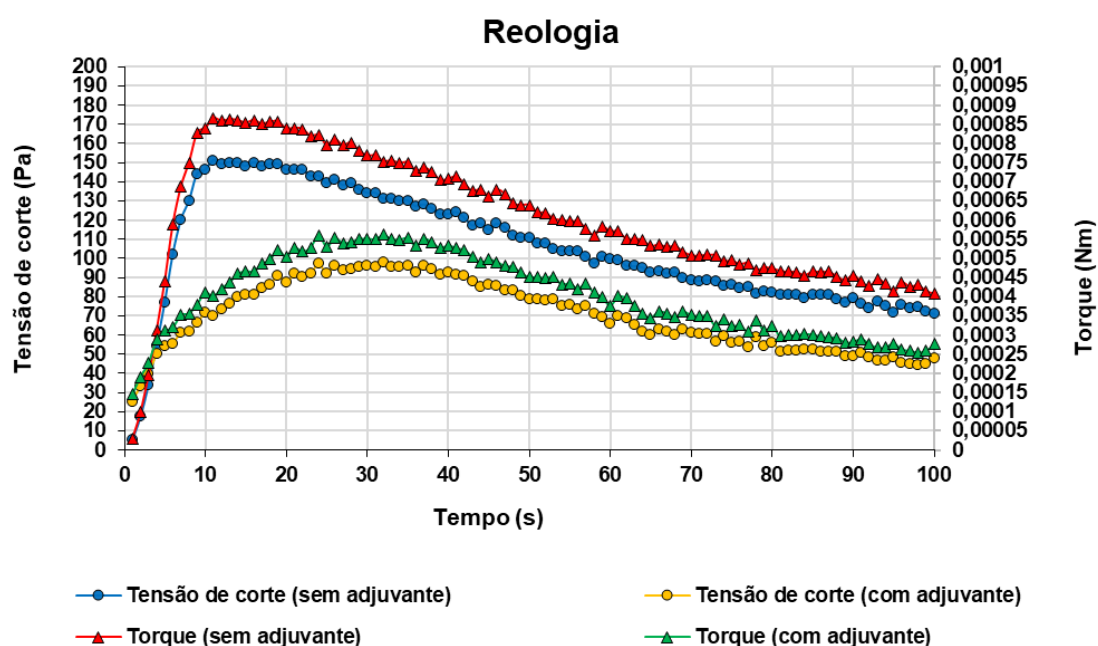


Figura 6.51 - Gráfico do comportamento reológico da amostra sem adjuvante (vermelho e azul) e da amostra com adjuvante (verde e amarelo).

Paralelamente, os ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU), realizados ao 1.º dia, evidenciaram uma melhoria significativa da resistência inicial (Figuras 6.52 e 6.53). Este comportamento é explicado pela aplicação do adjuvante e pelo aumento

de compacidade da pasta, proporcionado pelo efeito do adjuvante, que favorece uma melhor floculação e organização das partículas finas de rejeitado e cimento.

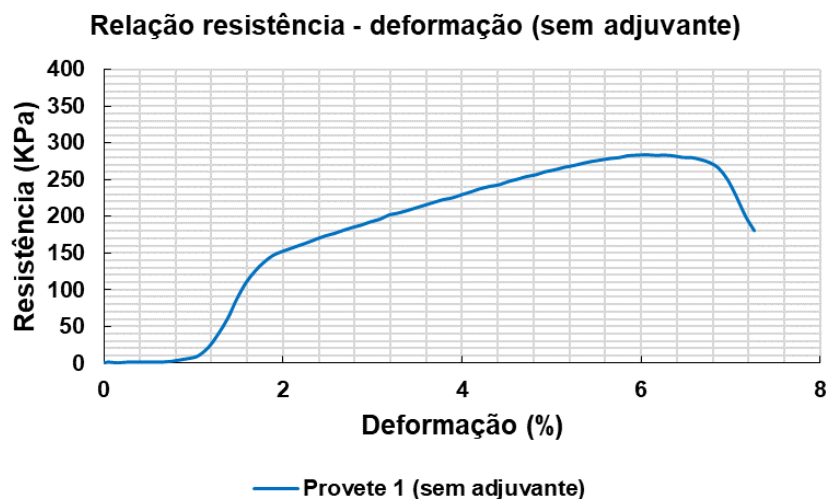


Figura 6.52 - Curva tensão-deformação para o provete 1, preparado sem adjuvante. O gráfico mostra a evolução da resistência (kPa) em função da deformação (%), com destaque para uma menor rigidez inicial, resistência máxima inferior e maior capacidade de deformação quando comparado com o provete com adjuvante, indicando comportamento mais dúctil.

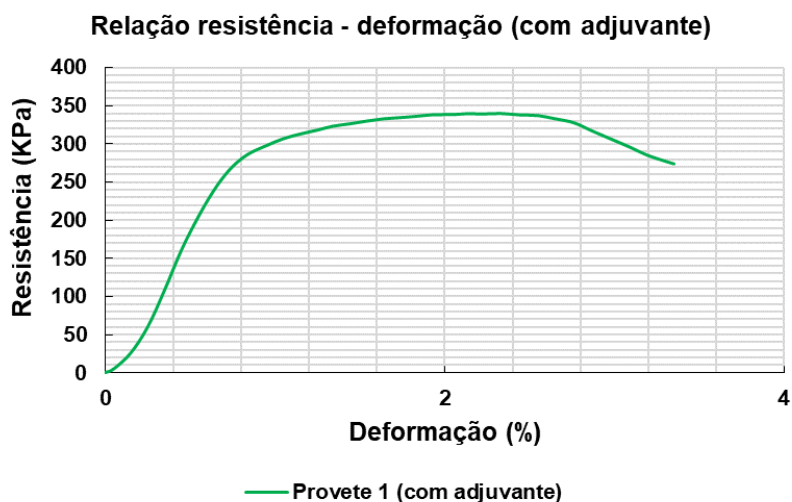


Figura 6.53 - Curva tensão-deformação obtida para o provete 1, preparado com adjuvante. O gráfico representa a resistência (kPa) em função da deformação (%), evidenciando o comportamento típico de um material com aditivo plastificante, com rápido ganho de resistência seguido de uma fase de pico e subsequente redução, indicando início de rotura.

A experiência adquirida durante o enchimento desta bancada evidenciou a relevância de um controlo rigoroso das propriedades reológicas da pasta, condição essencial para assegurar a fluidez adequada para o transporte até zonas profundas, bem como a resistência necessária para garantir a estabilidade do enchimento. A tensão de corte excessivamente elevada observada inicialmente, resultante de variações na granulometria dos rejeitados provenientes da lavaria, teve como consequência o aumento das pressões de bombagem nas linhas de tubagem, elevando significativamente o risco de ruturas na rede de transporte. Este problema, para além de representar um perigo operacional e ambiental, pode comprometer diretamente os ritmos produtivos planeados, originando paragens imprevistas e atrasos no ciclo de enchimento.

A correção desta situação foi conseguida através da adição de adjuvante, evitando o recurso à adição de água que poderia reduzir a resistência final da pasta. A análise comparativa das amostras, recolhidas antes e após o incremento da dosagem de adjuvante, comprovou uma redução significativa da tensão de corte e uma melhoria da resistência à compressão uniaxial a curto prazo, evidenciando o efeito benéfico do adjuvante na floculação e organização das partículas finas de rejeitado e cimento.

Em síntese, esta experiência demonstrou que uma gestão criteriosa dos parâmetros de produção, associada a um controlo de qualidade sistemático, é determinante para minimizar riscos operacionais, mitigar o perigo de liquefação e roturas na tubagem, e assegurar a segurança, a eficácia e a continuidade dos ritmos produtivos na operação de enchimento subterrâneo.

6.3.4 Otimização do betão projetado para melhoria das resistências iniciais

Durante os trabalhos realizados no período de estágio, foi efetuado um controlo de qualidade de rotina ao betão projetado aplicado na área do Zambujal, concretamente no acesso de remoção de uma bancada ascendente. Durante este controlo, identificou-se um desvio no parâmetro de resistência inicial às duas horas, uma vez que os resultados obtidos indicavam que este valor não ultrapassava o mínimo de 1 MPa exigido para garantir a qualidade e desempenho adequados do betão projetado (Figura 6.54). Para avaliar o impacto da dosagem do aditivo acelerador na resistência inicial e de possíveis problemas da dosagem do *robot* de projeção, foram realizados

ensaios com duas percentagens distintas de acelerador, incluindo 8 % e 9 %, cujos resultados comparativos se encontram abaixo representados.

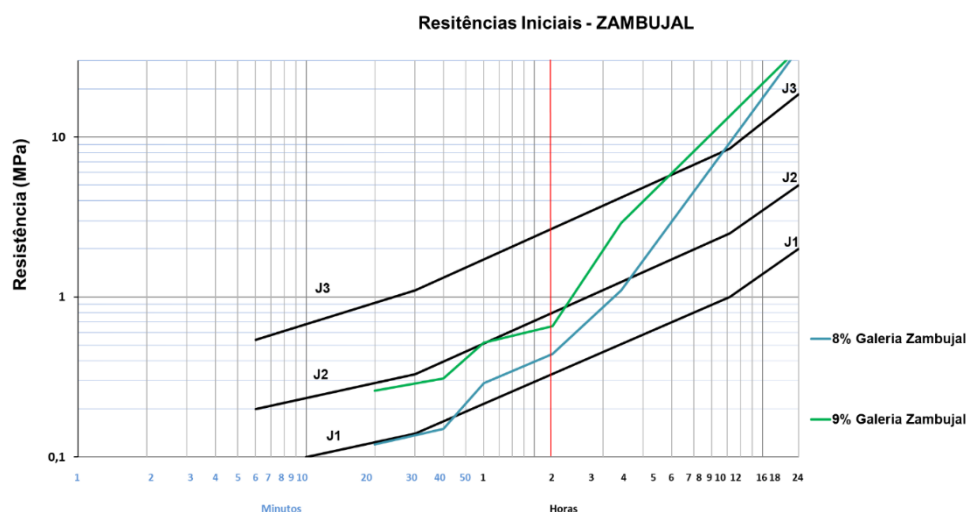


Figura 6.54 - Evolução das resistências iniciais à compressão simples do betão projetado, para as duas percentagens de acelerador (8 % e 9 %).

Após a realização do ensaio de abaixamento, que registou um valor de 250 mm no local, verificou-se de imediato que a mistura apresentava um excesso de água. Este facto comprometeu a eficácia da adição de acelerador durante a aplicação, uma vez que a presença de água em demasia favorece a dispersão das partículas de acelerador, dificultando a sua ação sobre as partículas de cimento e, consequentemente, limitando o desenvolvimento da resistência inicial.

Perante esta situação, procedeu-se à comunicação com os operadores da central de betão, tendo sido indicada uma correção na receita, nomeadamente uma redução de 10 litros de água na mistura. Esta redução foi conseguida através do aumento do teor de humidade da areia em 1 %, o que representa um decréscimo equivalente de 10 litros de água, considerando que a receita contempla a utilização de 1000 kg de areia 0/2 mm.

Após a chegada da autobetoneira com a mistura corrigida, realizou-se nova amostragem e repetiram-se os ensaios de controlo. O novo ensaio de abaixamento indicou um valor de 200 mm, evidenciando uma melhoria no equilíbrio água/cimento (razão A/C) da mistura. Subsequentemente, as medições das resistências iniciais

demonstraram resultados satisfatórios, dentro dos parâmetros exigidos, classificando o betão como de classe J2, isto é, com resistência à penetração da agulha de teste superior a 1 MPa ao fim de duas horas de aplicação (Figura 6.55).

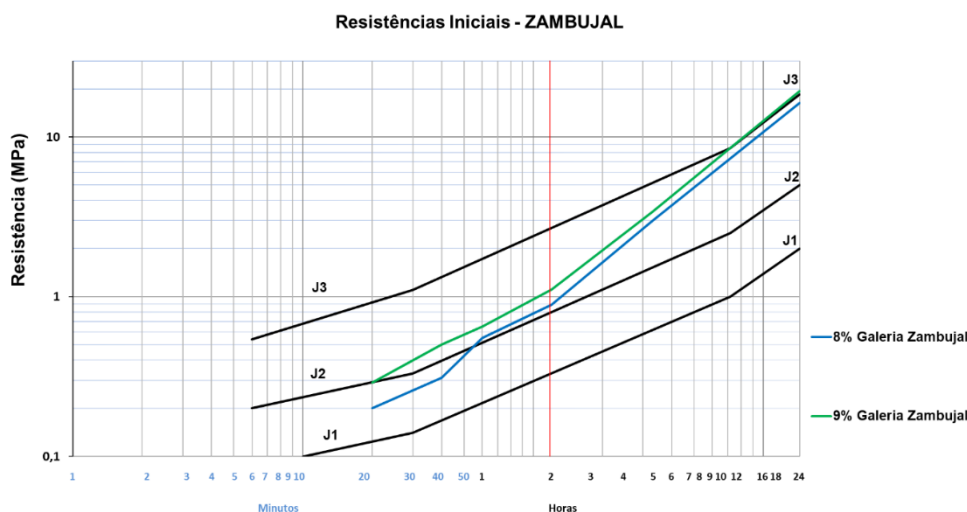


Figura 6.55 - Evolução das resistências iniciais à compressão simples do betão projetado, para as duas percentagens de acelerador (8 % e 9 %) após correção.

A ação corretiva implementada permitiu restabelecer os parâmetros de qualidade exigidos para o betão projetado na área do Zambujal, evidenciando a importância de um controlo rigoroso das condições de mistura, transporte e aplicação. Verificou-se que o excesso de água na mistura compromete significativamente a eficácia do acelerador de presa, resultando em resistências iniciais insuficientes para garantir a qualidade do revestimento e segurança da operação. Adicionalmente, o excesso de água aumenta os valores de ressalto durante a projeção, traduzindo-se em maiores quantidades de betão desperdiçado, o que representa custos acrescidos de material.

Destaca-se ainda que, para a aplicação de betão projetado em locais distantes, no interior da mina, é essencial que a consistência da mistura seja ajustada na origem, antecipando as perdas naturais de fluidez durante o transporte. O controlo adequado da humidade dos agregados e da dosagem de água é determinante para evitar desvios que, além de afetarem o desempenho do acelerador e o ganho de resistência inicial, comprometem os prazos de reentrada. Neste contexto, importa referir que existe um intervalo de segurança de aproximadamente 2 horas para que os trabalhos

possam prosseguir numa frente acabada de projetar. Caso a resistência de 1 MPa não seja atingida nesse período, o tempo de reentrada deverá ser obrigatoriamente prolongado para garantir a segurança operacional, o que acarreta um impacto direto e muito negativo nos ritmos de produção, podendo gerar atrasos significativos no avanço dos trabalhos subterrâneos.

Este caso reforça, portanto, a necessidade de uma comunicação eficaz entre as equipas de controlo de qualidade, a central de betão e os operadores de aplicação, garantindo que eventuais desvios sejam rapidamente detetados e corrigidos, minimizando riscos técnicos, desperdícios de material e constrangimentos no planeamento mineiro.

6.3.5 Controlo da estabilidade de acesso a bancada com extensómetro

Durante o período de estágio, foi identificada uma zona com elevado grau de instabilidade geotécnica em galeria de acesso ao muro, inserida na área de exploração da Graça. A instabilidade foi observada através da presença de fraturas de espessura significativa no revestimento em betão projetado (Figura 6.56), evidenciando comprometimento da integridade estrutural local.

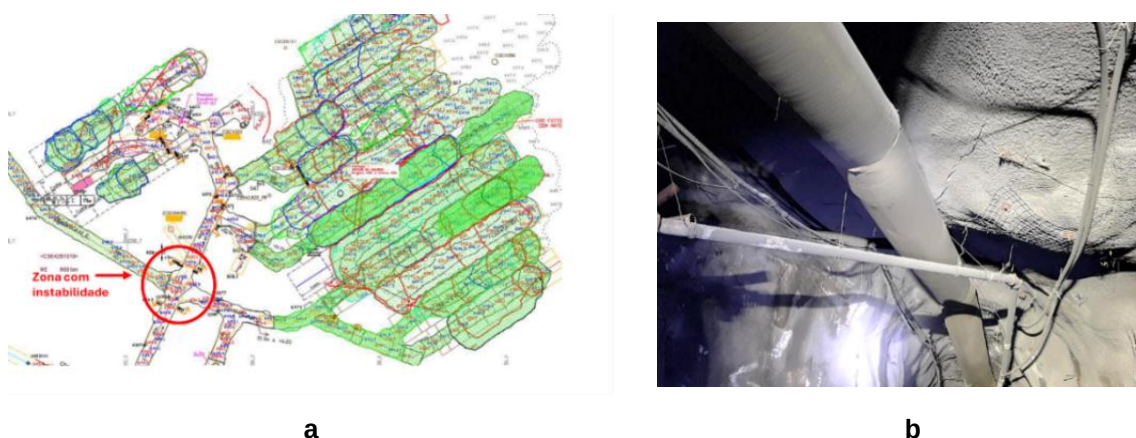


Figura 6.56 – a) Carta topográfica em planta com localização da galeria de acesso a muro com pormenor da zona instável intervencionada. b) Fotografia da zona instável com pormenor das fissuras no revestimento.

Esta galeria desenvolve-se onde o maciço rochoso é constituído predominantemente por xisto negro, apresentando descontinuidades significativas e fraturação intensa. Com base na classificação geomecânica proposta por (Hoek et al., 1995) foi calculado o Índice de Qualidade do maciço (*Q-system*), resultando num valor de $Q = 0.21$, o que o classifica como maciço muito pobre (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 - Valores do índice de qualidade Q, obtidos no local.

Índice de Qualidade Q	
RQD (Rock Quality Designation)	20
Jn (nº de famílias)	12
Jr (Rugosidade das fraturas)	0,5
Ja (alteração das paredes das fraturas)	2
Jw (caudal de água nas fraturas)	2,5
SRF (stress reduction factor)	5
Q	0,21 (muito pobre)

Face a esta classificação, definiu-se um plano de intervenção para conter a instabilidade identificada e permitir a monitorização contínua de eventuais deslocamentos que pudessem comprometer a segurança da operação mineira.

O plano de estabilização e monitorização incluiu as seguintes etapas:

- Saneamento do material descomprimido;
- Aplicação de parafusos de heliaço;
- Projeção de betão na zona saneada;
- Instalação de cabos de aço 7.2 m de comprimento;
- Colocação de Extensómetro na zona crítica.

Durante a execução dos trabalhos, surgiram complicações que exigiram ajustes ao plano inicial. Destaca-se a remoção de uma grande quantidade de material descomprimido no teto da galeria, o que reduziu significativamente a espessura do chamado “ pilar de soleira ” entre a zona intervencionada e uma galeria superior (Figura 6.57).

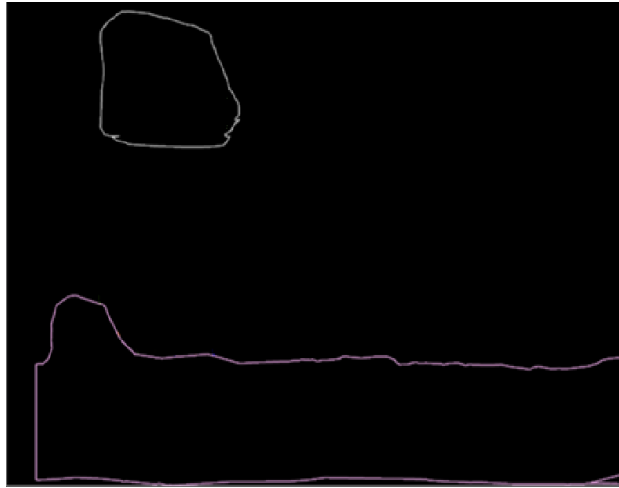


Figura 6.57 - Imagem em corte (software Deswik) do posicionamento das galerias, nível inferior (acesso ao muro) e nível superior, na área da Graça.

Adicionalmente, verificaram-se dificuldades na instalação dos cabos de aço, o que motivou a substituição por parafusos autoperfurantes, tirando partido do seu método de instalação em um único passo (conforme descrito no subcapítulo 4.1.1). Outra adaptação envolveu o encurtamento do extensómetro de 16 m para 9 m, através da remoção do ponto de medição superior, devido às novas limitações geométricas do local (Figura 6.58).

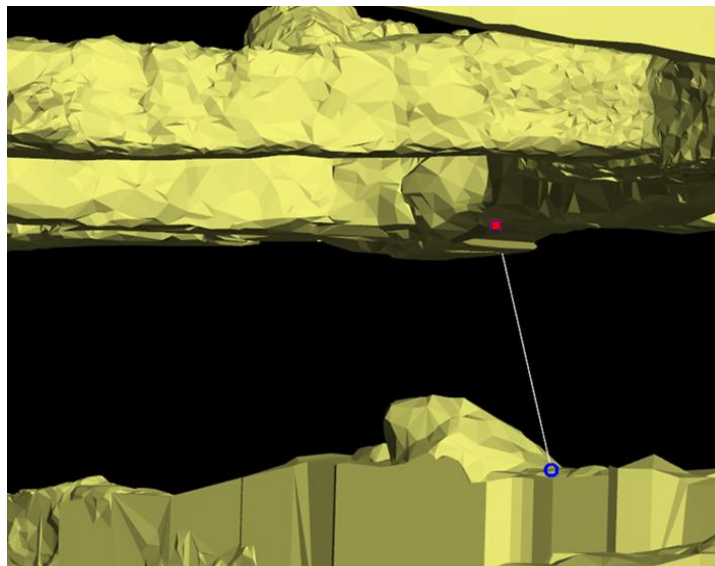


Figura 6.58 - Imagem 3D (software Deswik) com os sólidos das escavações adjacentes e localização do extensómetro colocado para monitorização do maciço rochoso entre as duas escavações.

Concluída a estabilização da zona crítica e instalada a instrumentação, foram reunidas as condições para a retoma dos trabalhos, mantendo-se uma avaliação contínua da estabilidade local. O plano de controlo incluiu observação visual sistemática da galeria de acesso e monitorização dos deslocamentos registados pelo extensómetro, durante a atividade mineira nas escavações adjacentes (Figura 6.59).

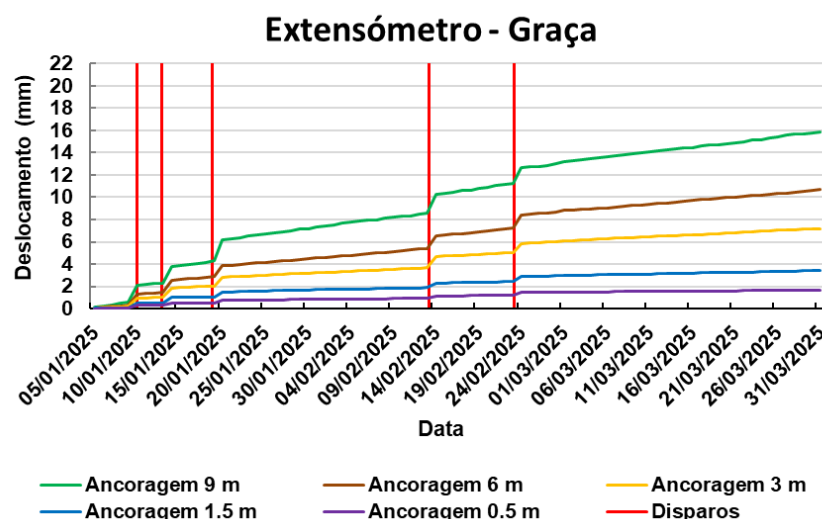


Figura 6.59 - Variação dos deslocamentos medidos nos pontos de ancoragem ao longo do extensómetro no acesso da área da Graça. Observa-se um padrão de deslocamento progressivo, com incrementos mais acentuados imediatamente após os disparos (indicados pelas linhas vermelhas).

As primeiras leituras indicaram que, após cada fase de escavação com detonações, ocorriam incrementos súbitos nos deslocamentos, seguidos de estabilização gradual. Este comportamento é indicativo de uma resposta elástica e de acomodação do maciço rochoso.

Em função destes resultados, foi adotada uma medida preventiva importante: o alargamento do intervalo entre os disparos, permitindo o ajustamento de tensões internas e a estabilização progressiva da rocha. Além disso, a operação de remoção de material passou a ser realizada por controlo remoto, com o equipamento operado à distância a partir da superfície, reduzindo significativamente o risco para os trabalhadores.

A monitorização realizada com o extensómetro no acesso revelou-se essencial para garantir a segurança na desmontagem da bancada remanescente, permitindo validar

a eficácia da estratégia de remoção remota e das medidas de estabilização. Esta abordagem eliminou a necessidade de presença humana em zonas instáveis, reduzindo riscos e permitindo decisões operacionais mais informadas, assegurando a continuidade segura das operações.

Este caso destaca a importância da instrumentação geotécnica e do planeamento integrado entre monitorização, soluções técnicas de reforço dos maciços rochosos e operações mineiras como fatores essenciais para garantir intervenções seguras em contextos instáveis.

Capítulo 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controlo de qualidade dos materiais e dos trabalhos de estabilização de maciços rochosos desempenha um papel crucial na atividade mineira, assegurando a segurança das operações e a durabilidade das infraestruturas subterrâneas. A monitorização contínua e a aplicação de metodologias geotécnicas adequadas são determinantes para prevenir instabilidades, otimizar os sistemas de suporte e garantir a eficiência e a sustentabilidade da exploração.

No contexto do estágio curricular realizado na Somincor – Sociedade Mineira de Neves-Corvo, no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica da Universidade de Évora, o controlo de qualidade constituiu a base para a implementação de soluções técnicas de estabilização dos maciços rochosos, assegurando maior eficiência e fiabilidade nas operações subterrâneas.

Em paralelo, foi possível acompanhar a aplicação de ferramentas de monitorização e caracterização geotécnica. Destacam-se, neste âmbito, a microssísmica, utilizada na monitorização contínua de eventos sísmicos relevantes, e a determinação das tensões naturais, cujos resultados servem de referência para a calibração de modelos geotécnicos e para o dimensionamento futuro de escavações e sistemas de suporte adequados às condições do maciço rochoso. Estas técnicas revelaram-se fundamentais para a caracterização do estado de tensão, fornecendo parâmetros essenciais ao desenvolvimento de soluções de reforço ajustadas.

Complementarmente, realizaram-se ensaios laboratoriais e atividades de monitorização geotécnica, que envolveram o acompanhamento e a interpretação de dados provenientes de instrumentação instalada em zonas críticas da mina. Estas ações permitiram validar, em condições reais, as abordagens aplicadas em campo, aumentando a fiabilidade dos processos de tomada de decisão e reforçando a integração entre prática operacional e suporte científico.

A importância destas atividades transcende o enriquecimento académico e profissional individual, refletindo-se diretamente na melhoria das condições de segurança, no incremento da produtividade e na otimização dos custos operacionais da empresa mineira. Assim, o controlo de qualidade, quando sistematizado e articulado com as restantes áreas da engenharia geológica e da geotecnia, afirma-se como um pilar essencial para uma exploração moderna, eficiente e sustentável.

A experiência adquirida durante o estágio reforçou, portanto, a relevância da aplicação prática de métodos científicos em ambiente mineiro, confirmando o papel determinante que o controle de qualidade e a monitorização geotécnica assumem na gestão integrada de riscos e na sustentabilidade da atividade extrativa.

BIBLIOGRAFIA

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4), 189–239.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1977). Estimation of support requirements for underground excavations. In *Proceedings of the 16th Symposium on Design Methods in Rock Mechanics*, Minnesota, 1975 (pp. 163–177). New York, NY: ASCE (American Society of Civil Engineers).
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2004). *Rock mechanics for underground mining* (3rd ed.). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Cândido, M. A. (2012). *Produção de enchimento* [Relatório de candidatura a membro efetivo da Ordem dos Engenheiros].
- Carvalho, P., & Ferreira, A. (1993). *Geologia de Neves-Corvo: Estado atual do conhecimento*.
- Epiroc (2021). (Acesso em 02 de maio de 2025) Ground support catalogue. Disponível em: <https://www.Epiroc.com/content/dam/Epiroc/rock-drilling-tools/documents/ground-support/7035%20Epiroc%20Ground%20Support%20Catalogue.pdf>
- Epiroc (2025). (Acesso em 02 de maio de 2025). Media Gallery. Disponível em: <https://www.media.Epiroc.com/en>
- Fernandes, S. C. (2015). *Estudo de otimização do betão projetado na Mina de Neves-Corvo* [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal]

- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, 4–16.
- Hoek, E. (2007). Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner.
- Hoek, E., Carter, T. G., & Diederichs, M. S. (2013). Quantification of the geological strength index chart. *Proceedings of the Geomechanics Symposium, 47th US Rock Mechanics*, (pp. 1–8). San Francisco, CA, USA.
- Hoek, E., Kaiser, P. K., & Bawden, W. F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema Publishers.
- Hoek, E., Marinos, P., & Benissi, M. (1998). Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(2), 151–160.
- Hoek, E., & Marinos, P. (2000a). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Part 1: Estimating rock mass strength. *Tunnels and Tunnelling International*, 32(11), 45–51.
- Hoek, E., & Marinos, P. (2000b). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Part 2: Potential squeezing problems in deep tunnels. *Tunnels and Tunnelling International*, 32(12), 37–42.
- Hutchinson, D. J., & Diederichs, M. S. (1996). *Cablebolting in underground mines*. Richmond, BC: BiTech Publishers. ISBN 0-921095-37-6.
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (1997). Engineering rock mechanics: An introduction to the principles. Oxford, UK: Pergamon.
- Junior, T. F., Moreira, E. B., & Heineck, K. S. (2018). Barragens de contenção de rejeitos de mineração no Brasil. Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LNEG. (1995). Folha 46-C - Almodôvar (Folha 46-III, Edição 2, Escala 1:50000, Série M782). Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

LNEG. (2025, Setembro 12). Geoportal: Visualizador 2D. <https://geoportal.lneg.pt/mapa/>

Marinos, V. (2012). Assessing rock mass behaviour for tunnelling. *Environmental and Engineering Geoscience*, 18(4), 327–341.

Marinos, P., Hoek, E., & Marinos, V. (2006). Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: The case of ophiolites with special emphasis on tunnelling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 129–142.

Marinos, V., Marinos, P., & Hoek, E. (2005). The geological strength index: Applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 55–65.

Mathews, W., & Potvin, Y. (1988). *The Stability Graph Method: A Basic Numerical Approach*. Ottawa, Canada: CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories.

NP EN 932-1 (2000). Ensaios das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 932-2 (2000). Ensaios das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Métodos de redução de amostras laboratoriais. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-1 (2000). Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica – Método da peneiração. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 14488-2 (2008). Ensaaios de betão projetado. Parte 2: Resistência à compressão do betão projetado jovem. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 14488-6 (2008). Ensaaios de betão projetado. Parte 6: Espessura de betão sobre um substrato. Lisboa, Portugal: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 14488-7 (2008). Ensaaios de betão projetado. Parte 7: Dosagem de fibras no betão reforçado com fibras. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 12350-2 (2009). Ensaaios do betão fresco. Parte 2: Ensaio de abaixamento. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 447 (2012). Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Requisitos básicos. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 196-1 (2016). Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP EN 196-3 (2017). Métodos de ensaio de cimentos. Parte 3: Determinação dos tempos de presa e da expansibilidade. Lisboa,: Instituto Português da Qualidade.

Oliveira, J. T., Pereira, Z., Carvalho, P., Pacheco, N., & Korn, D. (2004). Estratigrafia da sucessão litológica tectonicamente imbricada da área da mina de Neves Corvo, Faixa Piritosa Ibérica, Portugal. Lisboa, Portugal: F. Tornos.

Oliveira, J. T., Relvas, J. M., Pereira, Z., Matos, J. X., Rosa, C. J., Rosa, D., ... Pinto, Á. M. (2006). O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa: Estratigrafia, Vulcanismo, Mineralizações Zona Sul Portuguesa. p. 21.

- Rocha, L. B. (2018). A influência da rugosidade na resistência ao corte na interface rocha – past fill. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal]
- Sjöberg, J., Christiansson, R., & Hudson, J. A. (2003). ISRM suggested methods for rock stress estimation – Part 2: Overcoring methods. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(7–8), 999–1010.
- Sandvik. (2026). (Acesso em 03 de janeiro de 2026) Resin capsules. Sandvik. Disponível em: <https://www.mining.sandvik/pt-br/produtos/suporte-de-solo/produtos-qu%C3%ADmicos-e-argamassas/resin-capsules/>
- Windsor, C., & Thompson, A. (1993). Rock reinforcement – technology, testing, design and evaluation.

ANEXOS

ANEXO I

Folha de Registo provisório

Ancoragens

BOLIDEN Metal for generations to come	ANCORAGENS (Registo provisório)																																																																																									
DADOS DA AMOSTRA																																																																																										
ID nº		Ancoragem tipo:																																																																																								
Data:		Frente:																																																																																								
Hora:		Jumbo:																																																																																								
Local de aplicação:	H.Esquerdo ☐ H.Direito ☐ Tecto ☐	Terreno:																																																																																								
ENSAIOS																																																																																										
Diâmetro de Bit's ☐	Dimensões Furos ☐	Diâmetro Parafuso expandido ☐																																																																																								
Validade de resinas ☐	Calda Cimento ☐	Diâmetro de parafusos não expandido ☐																																																																																								
Secagem de resinas ☐	Pressão de aperto ☐	Espessura da parede ☐																																																																																								
Pull-Out ☐	Dimensões Chapa ☐	Pressão de Bomba ☐																																																																																								
Bit's ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Nº</th> <th>(mm)</th> </tr> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> </table>	Nº	(mm)	1		2		3		Chapas ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>L1</td><td></td></tr> <tr><td>L2</td><td></td></tr> <tr><td>L3</td><td></td></tr> <tr><td>L4</td><td></td></tr> <tr><td>L5</td><td></td></tr> </table>	L1		L2		L3		L4		L5		Resinas ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Validade ☐</td> <td>Secagem ☐</td> </tr> <tr> <td>Tipo / Lote</td> <td>Data Tempo(s)</td> </tr> <tr> <td>Rápida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lenta</td> <td></td> </tr> </table>	Validade ☐	Secagem ☐	Tipo / Lote	Data Tempo(s)	Rápida		Lenta																																																															
Nº	(mm)																																																																																									
1																																																																																										
2																																																																																										
3																																																																																										
L1																																																																																										
L2																																																																																										
L3																																																																																										
L4																																																																																										
L5																																																																																										
Validade ☐	Secagem ☐																																																																																									
Tipo / Lote	Data Tempo(s)																																																																																									
Rápida																																																																																										
Lenta																																																																																										
Calda de cimento ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Ensaio</th> <th>% Sólidos</th> <th>Razão a/c</th> <th>Densidade</th> </tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		Ensaio	% Sólidos	Razão a/c	Densidade	1				2				3				Diâmetro Parafuso expandido ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="6">Pregagem 1 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> <tr><td colspan="6">Pregagem 2 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> <tr><td colspan="6">Pregagem 3 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> </table>	Pregagem 1 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9		Pregagem 2 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9		Pregagem 3 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9	
Ensaio	% Sólidos	Razão a/c	Densidade																																																																																							
1																																																																																										
2																																																																																										
3																																																																																										
Pregagem 1 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Pregagem 2 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Pregagem 3 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Pressão ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Pregagem nº</th> <th>Pressão (Bar)</th> </tr> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> </table>		Pregagem nº	Pressão (Bar)	1		2		3																																																																																		
Pregagem nº	Pressão (Bar)																																																																																									
1																																																																																										
2																																																																																										
3																																																																																										
Espessura da parede ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Pregagem 1</th> <th>Pregagem 2</th> <th>Pregagem 3</th> </tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> </table>		Pregagem 1	Pregagem 2	Pregagem 3	1			2																																																																																		
Pregagem 1	Pregagem 2	Pregagem 3																																																																																								
1																																																																																										
2																																																																																										
Dimensões dos furos ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> </tr> </table>		1	3	5	2	4	6																																																																																			
1	3	5																																																																																								
2	4	6																																																																																								
Pull-Out ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Pregagem 1</th> <th>Pregagem 2</th> <th>Pregagem 3</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		Pregagem 1	Pregagem 2	Pregagem 3							Diâmetro Parafuso não expandido ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="6">Pregagem 1 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> <tr><td colspan="6">Pregagem 2 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> <tr><td colspan="6">Pregagem 3 Lote:</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td>4</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>5</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>6</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> </table>	Pregagem 1 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9		Pregagem 2 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9		Pregagem 3 Lote:						1		4		7		2		5		8		3		6		9								
Pregagem 1	Pregagem 2	Pregagem 3																																																																																								
Pregagem 1 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Pregagem 2 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Pregagem 3 Lote:																																																																																										
1		4		7																																																																																						
2		5		8																																																																																						
3		6		9																																																																																						
Observações																																																																																										

ANEXO II

Folha de Registo provisório

Agregados

BOLIDEN Materiais for generations to come	REGISTO PROVISÓRIO - AGREGADOS -																																																																																																																																																																																									
DADOS DA AMOSTRA																																																																																																																																																																																										
ID nº		Data de recolha:																																																																																																																																																																																								
Material:		Local da recolha:																																																																																																																																																																																								
Origem:		Hora:																																																																																																																																																																																								
Clima:	Sol ☐ Chuva ☐ Nublado ☐	Operador Amostragem:																																																																																																																																																																																								
Massa Total de Amostra Recolhida (g) _____																																																																																																																																																																																										
ENSAIOS																																																																																																																																																																																										
Análise Granulométrica ☐ Teor de Humidade ☐	Equivalente de Areia ☐ Massa Volumica e Absorção de Água ☐																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5" style="text-align: left; background-color: #d3d3d3;">Análise Granulométrica - NP EN 933-1 2002 ☐</th> </tr> <tr> <td>Método de Repartição</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> <td>5/8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Data de Ensaio</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Operador</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Massa seca total (g)</td> <td>(M1)</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Massa seca após lavagem (g) (M2)</td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>MALHA (mm)</td> <td colspan="4">MASSA RETIDA (g) (Ri)</td> </tr> <tr><td>31,5</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>22,4</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>20,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>16,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>14,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>12,5</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>11,2</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>10,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>8,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>6,3</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>5,6</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>4,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>3,15</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>2,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>1,0</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>0,500</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>0,250</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>0,125</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>0,0625</td><td colspan="4"></td></tr> <tr><td>FUNDO (P)</td><td colspan="4"></td></tr> </table>	Análise Granulométrica - NP EN 933-1 2002 ☐					Método de Repartição	1/2	3/4	5/8		Data de Ensaio					Operador					Massa seca total (g)	(M1)				Massa seca após lavagem (g) (M2)					MALHA (mm)	MASSA RETIDA (g) (Ri)				31,5					22,4					20,0					16,0					14,0					12,5					11,2					10,0					8,0					6,3					5,6					4,0					3,15					2,0					1,0					0,500					0,250					0,125					0,0625					FUNDO (P)					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left; background-color: #d3d3d3;">Teor de Humidade por Secagem em Estufa Ventilada - NP EN 1097-5 2002 ☐</th> </tr> <tr> <td>Método de Repartição</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Data de Ensaio</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operador</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recipiente (g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recipiente + Amostra Húmida (g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recipiente + Amostra Seca (g)</td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: left; background-color: #d3d3d3;">Ensaio do Equivalente de Areia - NP EN 933-8 2002 ☐</th> </tr> <tr> <td>Método de Repartição</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> </tr> <tr> <td>Data de Ensaio</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Operador</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Teor de humidade (w) da fracção 0/2 mm (%)</td> <td>Provet 1</td> <td>Provet 2</td> </tr> <tr> <td>Massa do provete (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$[120 \times (100 + w)] / 100$</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>h1 (mm)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>h2 (mm)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left; background-color: #d3d3d3;">Determinação da Baridade - NP EN 1097-3 2002 ☐</th> </tr> <tr> <td>Recipiente (g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recipiente + Amostra Seca (g)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volume Recipiente (L)</td> <td></td> </tr> </table>		Teor de Humidade por Secagem em Estufa Ventilada - NP EN 1097-5 2002 ☐		Método de Repartição		Data de Ensaio		Operador		Recipiente (g)		Recipiente + Amostra Húmida (g)		Recipiente + Amostra Seca (g)		Ensaio do Equivalente de Areia - NP EN 933-8 2002 ☐			Método de Repartição	1/2	3/4	Data de Ensaio			Operador			Teor de humidade (w) da fracção 0/2 mm (%)	Provet 1	Provet 2	Massa do provete (g)			$[120 \times (100 + w)] / 100$			h1 (mm)			h2 (mm)			Determinação da Baridade - NP EN 1097-3 2002 ☐		Recipiente (g)		Recipiente + Amostra Seca (g)		Volume Recipiente (L)	
Análise Granulométrica - NP EN 933-1 2002 ☐																																																																																																																																																																																										
Método de Repartição	1/2	3/4	5/8																																																																																																																																																																																							
Data de Ensaio																																																																																																																																																																																										
Operador																																																																																																																																																																																										
Massa seca total (g)	(M1)																																																																																																																																																																																									
Massa seca após lavagem (g) (M2)																																																																																																																																																																																										
MALHA (mm)	MASSA RETIDA (g) (Ri)																																																																																																																																																																																									
31,5																																																																																																																																																																																										
22,4																																																																																																																																																																																										
20,0																																																																																																																																																																																										
16,0																																																																																																																																																																																										
14,0																																																																																																																																																																																										
12,5																																																																																																																																																																																										
11,2																																																																																																																																																																																										
10,0																																																																																																																																																																																										
8,0																																																																																																																																																																																										
6,3																																																																																																																																																																																										
5,6																																																																																																																																																																																										
4,0																																																																																																																																																																																										
3,15																																																																																																																																																																																										
2,0																																																																																																																																																																																										
1,0																																																																																																																																																																																										
0,500																																																																																																																																																																																										
0,250																																																																																																																																																																																										
0,125																																																																																																																																																																																										
0,0625																																																																																																																																																																																										
FUNDO (P)																																																																																																																																																																																										
Teor de Humidade por Secagem em Estufa Ventilada - NP EN 1097-5 2002 ☐																																																																																																																																																																																										
Método de Repartição																																																																																																																																																																																										
Data de Ensaio																																																																																																																																																																																										
Operador																																																																																																																																																																																										
Recipiente (g)																																																																																																																																																																																										
Recipiente + Amostra Húmida (g)																																																																																																																																																																																										
Recipiente + Amostra Seca (g)																																																																																																																																																																																										
Ensaio do Equivalente de Areia - NP EN 933-8 2002 ☐																																																																																																																																																																																										
Método de Repartição	1/2	3/4																																																																																																																																																																																								
Data de Ensaio																																																																																																																																																																																										
Operador																																																																																																																																																																																										
Teor de humidade (w) da fracção 0/2 mm (%)	Provet 1	Provet 2																																																																																																																																																																																								
Massa do provete (g)																																																																																																																																																																																										
$[120 \times (100 + w)] / 100$																																																																																																																																																																																										
h1 (mm)																																																																																																																																																																																										
h2 (mm)																																																																																																																																																																																										
Determinação da Baridade - NP EN 1097-3 2002 ☐																																																																																																																																																																																										
Recipiente (g)																																																																																																																																																																																										
Recipiente + Amostra Seca (g)																																																																																																																																																																																										
Volume Recipiente (L)																																																																																																																																																																																										
Massa Volumica e Absorção de Água - NP EN 1097-6 2003 ☐																																																																																																																																																																																										
Método de Repartição	1/2	3/4	5/8																																																																																																																																																																																							
Data de Ensaio																																																																																																																																																																																										
Operador																																																																																																																																																																																										
PARTÍCULAS DE AGREGADO DE DIMENSÃO ENTRE 4 mm E 31,5 mm		Provet 1	T (°C)	Provet 2	T (°C)																																																																																																																																																																																					
Massa do picnómetro com o provete de agregado saturado + água (g):		M2																																																																																																																																																																																								
Massa do picnómetro com água (g):		M3																																																																																																																																																																																								
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g):		M1																																																																																																																																																																																								
Massa no ar do provete seco em estufa (g):		M4																																																																																																																																																																																								
PARTÍCULAS DE AGREGADO DE DIMENSÃO ENTRE 0,0625 mm E 4 mm		Provet 1	T (°C)	Provet 2	T (°C)																																																																																																																																																																																					
Massa do picnómetro com o provete de agregado saturado + água (g):		M2																																																																																																																																																																																								
Massa do picnómetro com água (g):		M3																																																																																																																																																																																								
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g):		M1																																																																																																																																																																																								
Massa no ar do provete seco em estufa (g):		M4																																																																																																																																																																																								

ANEXO III

Folha de Registo provisório

Betão Projetado Fresco

		BETÃO (Registo Provisório)			
DADOS DA AMOSTRA					
ID nº			Hora:		
Material:			Local:		
Data:			Máquina:		
Clima:	Sol ☐	Chuva ☐	Nublado ☐	Destino:	
ENSAIOS					
Abaixamento	Teor de Humidade	RCU	Massa Volúmica (Fresco)		
Temperatura	Razão A/C	Mesa de Espalhamento	Vicat		
Aerómetro	Cubos 10x10	Massa Volúmica (Endurecido)			
Abaixamento ☐ Slump (mm)		Temperatura ☐ Betão (°C) Ambiente (°C)		Aerómetro Ar (%)	
Massa Volúmica Betão Fresco - NP EN 12350-6 2009 ☐ Massa recipiente vazio (Kg) M1 Massa recipiente + betão compactado (Kg) M2 Volume recipiente (L) V			Teor de Humidade por secagem em estufa ventilada - NP EN 1097-5 2002 ☐ Massa recipiente (g) Massa recipiente + Amostra Húmida (g) Massa recipiente + Amostra Seca (g)		
Razão Água/Ligante - Método da BASF ☐ Massa recipiente (g) Massa recipiente + Amostra Húmida (g) Massa recipiente + Amostra Seca (g)			Mesa de Espalhamento - NP EN 1230-5 2009 ☐ d1 (mm) d2 (mm)		
Massa Volúmica Betão Endurecido - NP EN 1230-7 2009 ☐ Massa do provete tal como recebido (Kg) Mr Massa do estribo imerso (Kg) Mst Massa do provete imerso (Kg) Mw Temperatura da água (°C) T Massa do provete saturado com superfície seca (Kg) Ma					
Observações:					
Operador de Central:		Técnico de Laboratório:			
Data:		Data:			
 ZERO HARM Every shift Every day					

ANEXO IV

Folha de Registo provisório

Betão Projetado Endurecido

BOLIDEN Metals for generations to come	BETÃO (Registro Provisório)	ZERO HARM SEGURO NO TRABALHO SEGURO EM CASA																																																					
DADOS DA AMOSTRA																																																							
ID :		Data:																																																					
Frete:		Hora:																																																					
Tipo de Betão:		Robot:																																																					
Slump (mm):		Espessura prevista:																																																					
Acelerador % :		Fibras/Receita (Kg):																																																					
ENSAIOS																																																							
% Fibras ☐ RI's ☐ Espessuras ☐																																																							
Espessuras ☐ Teto: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Leituras</th></tr> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Hasteal Esquerdo: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Leituras</th></tr> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Hasteal Direito: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Leituras</th></tr> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table> Leituras <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1-</td></tr> <tr><td>2-</td></tr> <tr><td>3-</td></tr> <tr><td>4-</td></tr> <tr><td>5-</td></tr> </table>			Leituras	1-	2-	3-	4-	5-	Leituras	1-	2-	3-	4-	5-	Leituras	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-	1-	2-	3-	4-	5-					
Leituras																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
Leituras																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
Leituras																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
1-																																																							
2-																																																							
3-																																																							
4-																																																							
5-																																																							
% Fibras ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Teto</th></tr> <tr><td>Amostra</td></tr> <tr><td>Fibras</td></tr> </table> Hasteal Esquerdo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Amostra</th></tr> <tr><td>Fibras</td></tr> </table> Hasteal Direito: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Amostra</th></tr> <tr><td>Fibras</td></tr> </table>			Teto	Amostra	Fibras	Amostra	Fibras	Amostra	Fibras																																														
Teto																																																							
Amostra																																																							
Fibras																																																							
Amostra																																																							
Fibras																																																							
Amostra																																																							
Fibras																																																							
RI's ☐ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Hora Fim</th><th style="background-color: #cccccc;">° C</th></tr> <tr><td>min</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Temp. Amb.</th><th style="background-color: #cccccc;">temp.BP</th><th style="background-color: #cccccc;">Temp. AC</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table> tempo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Penetrômetro</th></tr> <tr><td>20'</td></tr> <tr><td>40'</td></tr> <tr><td>60'</td></tr> <tr><td>120'</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th style="background-color: #cccccc;">Pistola Hilti</th></tr> <tr><td>1 mm</td><td>1 mm</td><td>1 mm</td><td>1 mm</td><td>1 mm</td></tr> <tr><td>2 mm</td><td>2 mm</td><td>2 mm</td><td>2 mm</td><td>2 mm</td></tr> <tr><td>3 mm</td><td>3 mm</td><td>3 mm</td><td>3 mm</td><td>3 mm</td></tr> <tr><td>4 mm</td><td>4 mm</td><td>4 mm</td><td>4 mm</td><td>4 mm</td></tr> <tr><td>5 mm</td><td>5 mm</td><td>5 mm</td><td>5 mm</td><td>5 mm</td></tr> </table>			Hora Fim	° C	min		0		5		10		15		20		60		Temp. Amb.	temp.BP	Temp. AC				Penetrômetro	20'	40'	60'	120'	Pistola Hilti	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
Hora Fim	° C																																																						
min																																																							
0																																																							
5																																																							
10																																																							
15																																																							
20																																																							
60																																																							
Temp. Amb.	temp.BP	Temp. AC																																																					
Penetrômetro																																																							
20'																																																							
40'																																																							
60'																																																							
120'																																																							
Pistola Hilti																																																							
1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm																																																			
2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm																																																			
3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm																																																			
4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm																																																			
5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm																																																			
Observações:																																																							
Técnico de Laboratório:		Data:																																																					

ANEXO V

Mapa de Ensaaios RCU

Betão Projetado - Calda

ANEXO VI

Folha de Registo provisório

Enchimento Pasta - Amostragem

BOLIDEN Metals for generations to come	PASTA Amostragem para RCU (Registo provisório)	REGIÃO DO TRABALHO ZERO HARM SEGURO EM CASA																																																																																												
DADOS DA AMOSTRA (A preencher pelo operador do Laboratório)																																																																																														
Amostra: _____		Câmara Húmida: _____ ID: _____																																																																																												
Desmonte: _____		Hora: _____ Data de Recolha: _____																																																																																												
COMPOSIÇÃO DA MISTURA (A preencher pelo operador da Central)																																																																																														
Cimento Portland CEM II/A-L 42.5 R ☐ % Portland CEM II/B-L 32.5N ☐ %	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Razão A/C</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Cimento</td><td style="text-align: center;">Kg</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Água</td><td style="text-align: center;">Kg</td></tr> </table>	Razão A/C		Cimento	Kg	Água	Kg	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Adjuvante</td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">Sólidos</td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MasterRoc MF503 V1</td> <td style="text-align: center;">Tipo</td> <td style="text-align: center;">%</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;">ml/ton</td> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	Adjuvante		Sólidos		MasterRoc MF503 V1	Tipo	%	%		ml/ton																																																																												
Razão A/C																																																																																														
Cimento	Kg																																																																																													
Água	Kg																																																																																													
Adjuvante		Sólidos																																																																																												
MasterRoc MF503 V1	Tipo	%	%																																																																																											
	ml/ton																																																																																													
Alimentação de Rejeitados	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Cobre</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">Ton/h</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Zinco</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">Ton/h</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Escombros</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">Ton/h</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Total</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">Ton/h</td></tr> </table>	Cobre		Ton/h	Zinco		Ton/h	Escombros		Ton/h	Total		Ton/h	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Cobre</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Zinco</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Escombros</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Total</td><td style="width: 50px;"></td><td style="text-align: center;">%</td></tr> </table>	Cobre		%	Zinco		%	Escombros		%	Total		%																																																																				
Cobre		Ton/h																																																																																												
Zinco		Ton/h																																																																																												
Escombros		Ton/h																																																																																												
Total		Ton/h																																																																																												
Cobre		%																																																																																												
Zinco		%																																																																																												
Escombros		%																																																																																												
Total		%																																																																																												
DADOS DA OPERAÇÃO (A preencher pelo operador da Central)																																																																																														
Processo estabilizado ☐ ^S ☐ ^N Filtro 1 ☐ 2 ☐ Torque _____ N/m Rejeitado da F302 _____ m³/h Bombado ☐ Por Gravidade ☐																																																																																														
Pressões na linha	Pipe Rack _____ 915-1N _____ 915-2N _____ 870-3N _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"> 915-2N _____ 700-GP3 _____ 590-GP3 _____ LS-455 _____ </td> <td style="width: 50%;"> 850-1Z _____ 850-2Z _____ 590-GP3 _____ 850-CL _____ </td> </tr> </table>	915-2N _____ 700-GP3 _____ 590-GP3 _____ LS-455 _____	850-1Z _____ 850-2Z _____ 590-GP3 _____ 850-CL _____	GW _____ 850-C _____ 720-1C _____ 915-2C _____																																																																																									
915-2N _____ 700-GP3 _____ 590-GP3 _____ LS-455 _____	850-1Z _____ 850-2Z _____ 590-GP3 _____ 850-CL _____																																																																																													
ENSAIOS (A preencher pelo operador do Laboratório)																																																																																														
ENSAIOS À MISTURA DE PASTA																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;"> Abaixamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Central Laboratório</td> <td style="width: 50%;"> % de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> Densidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Peso Húmido (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Volume do Copo (mL)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"> Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 30%;"> Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 40%;"> Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; background-color: #cccccc;"> ENSAIOS AOS REJEITADOS </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Teor de Humidade</td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Peso Específico</td></tr> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;">Provete 1</td> <td style="width: 50%;">T (°C)</td> <td style="width: 50%;">Provete 2</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + amostra + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="height: 40px; vertical-align: top;"> Observações: </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Operador de Central: _____ </td> <td> Técnico de Laboratório: _____ </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Data: _____ </td> <td> Data: _____ </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> ZERO HARM Every shift Every day </td> </tr> </table>			Abaixamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Slump (mm)		Slump (mm)		Central Laboratório	% de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Recipiente (g)		Amostra Húmida (g)		Amostra Seca (g)		Densidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Peso Húmido (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Volume do Copo (mL)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>			Peso Húmido (g)		Volume do Copo (mL)		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"> Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 30%;"> Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 40%;"> Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> </tr> </table>			Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	D1 (mm)		D2 (mm)		Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Ambiente (°C)		Pasta (°C)		Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Reologia (Pa)		Temperatura da Pasta no ensaio (°C)		ENSAIOS AOS REJEITADOS			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Teor de Humidade</td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Peso Específico</td></tr> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;">Provete 1</td> <td style="width: 50%;">T (°C)</td> <td style="width: 50%;">Provete 2</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + amostra + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			Teor de Humidade					Recipiente (g)				Amostra Húmida (g)				Amostra Seca (g)			Peso Específico					Provete 1	T (°C)	Provete 2	Picnómetro + amostra + água (g)				Picnómetro + água (g)				Amostra Seca (g)				Observações:			Operador de Central: _____		Técnico de Laboratório: _____	Data: _____		Data: _____	ZERO HARM Every shift Every day		
Abaixamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Slump (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Slump (mm)		Slump (mm)		Central Laboratório	% de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Recipiente (g)		Amostra Húmida (g)		Amostra Seca (g)																																																																																			
Slump (mm)																																																																																														
Slump (mm)																																																																																														
Recipiente (g)																																																																																														
Amostra Húmida (g)																																																																																														
Amostra Seca (g)																																																																																														
Densidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Peso Húmido (g)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Volume do Copo (mL)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>			Peso Húmido (g)		Volume do Copo (mL)																																																																																									
Peso Húmido (g)																																																																																														
Volume do Copo (mL)																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"> Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 30%;"> Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> <td style="width: 40%;"> Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table> </td> </tr> </table>			Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	D1 (mm)		D2 (mm)		Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Ambiente (°C)		Pasta (°C)		Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Reologia (Pa)		Temperatura da Pasta no ensaio (°C)																																																																														
Espalhamento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">D1 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D2 (mm)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	D1 (mm)		D2 (mm)		Temperatura <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Ambiente (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pasta (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Ambiente (°C)		Pasta (°C)		Reologia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Reologia (Pa)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Temperatura da Pasta no ensaio (°C)</td><td style="width: 50px;"></td></tr> </table>	Reologia (Pa)		Temperatura da Pasta no ensaio (°C)																																																																																	
D1 (mm)																																																																																														
D2 (mm)																																																																																														
Ambiente (°C)																																																																																														
Pasta (°C)																																																																																														
Reologia (Pa)																																																																																														
Temperatura da Pasta no ensaio (°C)																																																																																														
ENSAIOS AOS REJEITADOS																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Teor de Humidade</td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Húmida (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td><td style="width: 50%;"></td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Peso Específico</td></tr> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;">Provete 1</td> <td style="width: 50%;">T (°C)</td> <td style="width: 50%;">Provete 2</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + amostra + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Picnómetro + água (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Amostra Seca (g)</td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>			Teor de Humidade					Recipiente (g)				Amostra Húmida (g)				Amostra Seca (g)			Peso Específico					Provete 1	T (°C)	Provete 2	Picnómetro + amostra + água (g)				Picnómetro + água (g)				Amostra Seca (g)																																																											
Teor de Humidade																																																																																														
	Recipiente (g)																																																																																													
	Amostra Húmida (g)																																																																																													
	Amostra Seca (g)																																																																																													
Peso Específico																																																																																														
	Provete 1	T (°C)	Provete 2																																																																																											
Picnómetro + amostra + água (g)																																																																																														
Picnómetro + água (g)																																																																																														
Amostra Seca (g)																																																																																														
Observações:																																																																																														
Operador de Central: _____		Técnico de Laboratório: _____																																																																																												
Data: _____		Data: _____																																																																																												
ZERO HARM Every shift Every day																																																																																														

ANEXO VII

Folha de Registo provisório

Enchimento Pasta - Ensaaios RCU

BOLIDEN Metals for generations to come	PASTA Ensaios R.C.U (Registo provisório)	ZERO HARM SEGURO NO TRABALHO SEGURO EM CASA										
DADOS DA AMOSTRA												
Amostra: _____ Camara Húmida: _____ ID: _____ Data de Fabrico: _____ Data do Ensaio: _____ Desmonte: _____ Dias: _____ % Rejeitados: _____ Adjuvante (ml/ton): _____ % Ligante: _____ % Cimento: _____ % Adição: _____												
ENSAIOS												
PROVETE N° 												
Dimensões <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Altura (mm)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Diâmetro (mm)</td><td></td></tr> </table>	Altura (mm)		Diâmetro (mm)		Teor de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Húmido (g)</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Seco (g)</td><td></td></tr> </table>	Recipiente (g)		Proveite Húmido (g)		Proveite Seco (g)		
Altura (mm)												
Diâmetro (mm)												
Recipiente (g)												
Proveite Húmido (g)												
Proveite Seco (g)												
R.C.U <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Resistência (KPa)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Deformação (%)</td><td></td></tr> </table>	Resistência (KPa)		Deformação (%)		Densidade do proveite <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Húmida (g/cm³)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Seca (g/cm³)</td><td></td></tr> </table>	Densidade Húmida (g/cm³)		Densidade Seca (g/cm³)				
Resistência (KPa)												
Deformação (%)												
Densidade Húmida (g/cm³)												
Densidade Seca (g/cm³)												
PROVETE N° 												
Dimensões <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Altura (mm)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Diâmetro (mm)</td><td></td></tr> </table>	Altura (mm)		Diâmetro (mm)		Teor de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Húmido (g)</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Seco (g)</td><td></td></tr> </table>	Recipiente (g)		Proveite Húmido (g)		Proveite Seco (g)		
Altura (mm)												
Diâmetro (mm)												
Recipiente (g)												
Proveite Húmido (g)												
Proveite Seco (g)												
R.C.U <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Resistência (KPa)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Deformação (%)</td><td></td></tr> </table>	Resistência (KPa)		Deformação (%)		Densidade do proveite <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Húmida (g/cm³)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Seca (g/cm³)</td><td></td></tr> </table>	Densidade Húmida (g/cm³)		Densidade Seca (g/cm³)				
Resistência (KPa)												
Deformação (%)												
Densidade Húmida (g/cm³)												
Densidade Seca (g/cm³)												
PROVETE N° 												
Dimensões <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Altura (mm)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Diâmetro (mm)</td><td></td></tr> </table>	Altura (mm)		Diâmetro (mm)		Teor de Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Recipiente (g)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Húmido (g)</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Proveite Seco (g)</td><td></td></tr> </table>	Recipiente (g)		Proveite Húmido (g)		Proveite Seco (g)		
Altura (mm)												
Diâmetro (mm)												
Recipiente (g)												
Proveite Húmido (g)												
Proveite Seco (g)												
R.C.U <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Resistência (KPa)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Deformação (%)</td><td></td></tr> </table>	Resistência (KPa)		Deformação (%)		Densidade do proveite <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Húmida (g/cm³)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Densidade Seca (g/cm³)</td><td></td></tr> </table>	Densidade Húmida (g/cm³)		Densidade Seca (g/cm³)				
Resistência (KPa)												
Deformação (%)												
Densidade Húmida (g/cm³)												
Densidade Seca (g/cm³)												
Observações:												
Média R.C.U <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Resistência (KPa)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Deformação (%)</td><td></td></tr> </table>	Resistência (KPa)		Deformação (%)		Média Teor Humidade <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Teor Humidade (%)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> </table>	Teor Humidade (%)		Média de Densidades <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%; text-align: center; font-size: x-small;">Húmida (g/cm³)</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">Seca (g/cm³)</td><td></td></tr> </table>	Húmida (g/cm³)		Seca (g/cm³)	
Resistência (KPa)												
Deformação (%)												
Teor Humidade (%)												
Húmida (g/cm³)												
Seca (g/cm³)												
Processado: ☐ Base de Dados: ☐ Relatório Diário: ☐												
Técnico de laboratório: _____ Data: _____												