



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



Escavação de poços e/ou chaminés subterrâneas e seu sustimento através da técnica de “Shaft Lining”: importância em geotecnia mineira

Eduardo Alexandre Pinto Mouzinho de Figueiredo



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto



P. PORTO

2020

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Escavação de poços e/ou chaminés subterrâneas e seu sustimento através da Técnica de “Shaft Lining”: importância em geotecnia mineira

Excavation of underground shaft sinking and/or chimneys and their support using the Shaft Lining Technique: importance in mining geotechnics

Eduardo Alexandre Pinto Mouzinho de Figueiredo

1960683

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

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

Mestre Luís Carlos Correia Ramos

*Assistente convidado, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Iberian Resources Portugal – Recursos Minerais, Unipessoal Lda, Armamar*

*A dissertação de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, por Eduardo Figueiredo, em 9 de Novembro de 2020 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

*Trabalho dedicado à minha **Família**, incluindo quem “partiu”, que sempre me apoiaram, incentivaram a nunca parar, sendo um dos grandes pilares da minha vida...*

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

O meu sincero agradecimento a todos, que de uma forma ou de outra, contribuíram para que esta etapa da minha vida fosse possível, com a conclusão do Mestrado, evidenciando em particular:

Ao meu orientador, Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP e LABCARGA|ISEP), pela dedicação, compreensão, apoio, disponibilidade, pela força e capacidade que teve de transmitir todo o seu conhecimento e entusiasmo, que foi muito útil, ao longo do Mestrado, permitindo-me desenvolver agora nesta fase, este trabalho. Permitam-me uma nota mais pessoal e enviar uma cordial saudação ao antigo camarada do “Calhau” da EPI-Mafra, 2º turno, 1991.

Ao Centro de Prestação de Serviços Especializados Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela inteira disponibilidade e apoio durante esta fase e, em particular, à Doutora Liliana Freitas no apoio pontual à formatação e melhoria de algumas figuras.

A todos os docentes do ISEP, em especial do DEG, no qual tive o privilégio de ser discente nos dois Ciclos de Estudo, e de quem recebi formação fundamental e avançada, o que me permitiu ser o profissional que hoje sou. O meu bem-haja.

À EPOS SA, na pessoa da administração, constituída pelo Eng.º Carlos Russo e Eng.º Dias de Carvalho, pelo facto de me ter permitido poder avançar a nível académico e profissional, podendo desta forma e enquanto colaborador na empresa, acompanhar os trabalhos de projeção de poços e/ou chaminés subterrâneas. Às diversas direções de obra da EPOS SA, pela forma como fui recebido e terem facilitado e permitido o acesso à informação necessária, bem como ao acompanhamento do trabalho.

Ao Geólogo Dr. Luís Gonçalves (EPOS SA) pelo inestimável apoio prestado e indicações fornecidas que contribuíram para que este trabalho fosse uma realidade.

O Eng.º Eduardo Dias de Sousa, na pessoa representante da EPIROC, pelo apoio, incentivo e pela informação disponibilizada.

Por fim, não menos importante, resta agradecer a todos os colaboradores que integram as equipas da EPOS SA pela paciência que demonstraram aquando da minha presença em obra, para assistir ao desenrolar dos trabalhos e ainda, por toda a sua dedicação e profissionalismo.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Maciço Rochoso, “Shaft Lining”, Betão Projetado, Poços e Chaminés subterrâneas

Resumo

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário efetuar um acompanhamento em obra desde a abertura/alargamento de poços/chaminés subterrâneas até à sua fase final, que finda com o revestimento em betão projetado. Este desafio fez com que fosse necessária a deslocação às obras da empresa EPOS SA – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas SA, que se encontravam a decorrer. Destas obras faziam parte diversos tipos de escavação nas quais estavam incluídas em algumas, a abertura de poços e/ou chaminés subterrâneas e o posterior tratamento com betão projetado, independentemente fosse este considerado revestimento provisório ou definitivo, consoante estava especificado no projeto da obra. Ao longo deste trabalho, iremos deparar-nos com métodos distintos de abertura/alargamento de poços/chaminés subterrâneas, não influenciando isto de modo algum no objetivo final que é o da projeção dos mesmos com betão projetado. Ainda serão abordados, dois métodos de aplicação de betão projetado, o tradicional que é efetuado manualmente e o método alternativo que consiste na aplicação de betão projetado com robô, controlado remotamente — “Shaft Lining”. O objetivo deste trabalho, além de efetuar uma divulgação do método em si, será evidenciar a nível de segurança, qual dos dois métodos utilizados na projeção de poços/chaminés subterrâneas, apresentará menores riscos para os trabalhadores; e fazer uma breve análise de custos do revestimento de poços/chaminés subterrâneas comparando o método tradicional vs. “Shaft Lining”. Desta forma poder-se-á ter uma ideia, quando solicitado este tipo de trabalho, do impacto a nível económico bem como será o mais adequado na ótica dos domínios da SHST — Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Rock Mass, Shaft Lining, Shotcrete, Underground Shafts and Chimneys

Abstract

For the development of this work it was necessary to carry out a follow-up on the work from the opening/widening of underground shafts and/or chimneys, until its final stage, which ends with the shotcrete. This challenge made it necessary to move on the works of the company EPOS SA – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas SA, which were in progress. These works included several types of excavation in which they were included, the opening of underground shafts and/or chimneys and the subsequent treatment with shotcrete, regardless of whether it was considered temporary or definitive coating, depending on whether it was specified in the design of the work. Throughout this work, we will come across different methods of opening/widening of underground shafts and/or chimneys, not influencing this in anyway in the final goal of designing with shotcrete. Two methods of application of shotcrete will also be addressed, the traditional one that is done manually and the alternative method consisting of the application of concrete designed with a remotely controlled robot – "Shaft Lining". The objective of this work, in addition to making a disclosure of the method itself, will be to highlight the level of safety, which of the two methods used in the design of underground shafts and/or chimneys, will present lower risks for workers; and make a brief cost analysis of underground shafts and/or chimneys coating in comparison with the traditional method vs. "Shaft Lining". In this way you can get an idea, when asked for this type of work, of the economic impact as well as the most appropriate in the fields of SHST – Safety, Hygiene and Health at Work.

(página propositadamente em branco)

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos	2
2.	“Shaft liner”: breve introdução	5
2.1.	Apresentação	5
2.2.	Descrição do sistema	6
3.	“Shaft Liner” – equipamento (MACMAHON).....	9
3.1.	Equipamento de projeção remota.....	9
3.1.1.	Introdução histórica	9
3.1.2.	Considerações de “design”	10
3.1.3.	Gestão de riscos	12
3.1.4.	Qualidade de aplicação	12
3.2.	“Design” final	12
3.2.1.	Elementos do “Shaft Liner”	12
3.2.2.	Desempenho e qualidade	14
3.3.	Trabalho futuro – Macmahon	16
4.	“Shaft Liner” – Equipamento (EPOS SA)	19
4.1.	Instalação do “Shaft Liner”	19
4.1.1.	Montagem da plataforma técnica.....	19
4.1.2.	Montagem do robot de projeção.....	24
4.1.3.	Funcionamento do posto/cabine de comando.....	30
4.2.	Cuidados na aplicação de betão projetado.....	36
4.3.	Projeção de betão	43
4.3.1.	1ª fase – Preparatória	43
4.3.2.	2ª fase – Ensaios e posicionamento do “Shaft Liner”	46
4.3.3.	3ª fase – Operação	48
4.4.	Segurança – Cuidados/Riscos/Mitigação	51
4.4.1.	Riscos associados	52
4.4.2.	Cuidados a ter antes de projetar.....	54
4.4.3.	Cuidados durante a projeção de BP	55
4.4.4.	Obstrução da linha de betão	56
4.4.5.	Cuidados após projeção de BP	57
4.4.6.	Riscos e medidas de mitigação.....	57
4.4.7.	Segurança – acompanhamento SHST.....	75
4.4.8.	Segurança – evolução de culturas.....	76
5.	Obras – “Shaft Lining”.....	79
5.1.	Casos de obra	79
5.2.	Escavação – métodos utilizados em obra	80
5.2.1.	Obra de África – Poço 1.....	80
5.2.2.	Obra em Portugal – Poço 2 e Poço 3.....	86
5.2.3.	Obra de Espanha – Poço 4 e Poço 5.....	87
5.3.	Projeção de betão – métodos utilizados em obra	88
5.3.1.	Obra de África – Poço 1.....	88
5.3.2.	Obra de Portugal – Poço 2 e Poço 3.....	89
5.3.3.	Obra de Espanha – Poço 4 e Poço 5.....	93
5.4.	Dificuldades/Soluções na projeção de betão.....	96
6.	Breve Análise de Custos.....	99
7.	Conclusões.....	101
8.	Bibliografia.....	103

(página propositadamente em branco)

Índice de figuras

Figura 1. Plataforma técnica com cabeça rotativa de projeção (adaptado de Frade, 2017).....	7
Figura 2. “Shaft Liner” – Plataforma e Robot de Projeção (adaptado de Ford et al., 2010).....	13
Figura 3. Vedação física à volta da boca do poço (adaptado de Ford et al., 2010).	14
Figura 4. Câmara de infravermelho instalada no robot de projeção (adaptado de Ford et al., 2010).....	15
Figura 5. Robot de projeção posicionado no interior do poço (adaptado de Ford et al., 2010).	16
Figura 6. Sistema “Shaft Liner” instalado em funcionamento (adaptado de Ford et al., 2010).....	17
Figura 7. Montagem da plataforma técnica do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	20
Figura 8. Plataforma técnica com grua, lança e roldana guia, passarela e plataforma retrátil (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	21
Figura 9. Plataforma técnica montada na oficina em fase de testes (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	21
Figura 10. Abraçadeiras técnicas e guincho do cabo de aço (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	22
Figura 11. Enroladores de mangueiras e cabo de comunicações (adaptado de arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	23
Figura 12. Cavelete técnico com roldana guia (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização)...	23
Figura 13. Corpo de robot de projeção com quadro elétrico, centralina hidráulica e motor elétrico que transmite a rotação à ponteira de projeção (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	24
Figura 14. Robot de projeção - destorcedor, engates dos flexíveis de BP, difusor e ponteira de projeção (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	25
Figura 15. Holofotes a Led IP67 e câmara de infravermelhos com domo de proteção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	26
Figura 16. Robot montado no cavelete (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	27
Figura 17. a) acoplamento do corpo do robot sobre o cavelete, b) colocação do braço inferior rotativo (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).....	27
Figura 18. Acoplamento do braço inferior extensível para os diferentes diâmetros de poços (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).	28
Figura 19. Aplicação de braços extensíveis em função do diâmetro do poço e conjuntos de esquis com rodas guia (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).	29
Figura 20. Vista em corte e em planta do robot e projeção no interior do poço (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).....	29
Figura 21. Colocação do robot de projeção no poço auxiliado pela grua (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	30
Figura 22. Posto de comando do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	31
Figura 23. Disposição dos equipamentos numa obra (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	31
Figura 24. Mesa de controlo do “Shaft Liner” (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	32
Figura 25. Visão pormenorizada de botões iluminados/botões da mesa de controlo com legenda explicativa (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	32
Figura 26. Janela de comando dos enroladores (guincho do cabo de aço, cabo de comunicações e enrolador mangueiras) (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	33
Figura 27. Ecrã de comando do “Shaft Liner” com janela principal onde pode ser visualizada toda a informação (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	34
Figura 28. Instrumentos de comando do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	35

Figura 29. Imagens do interior do poço vistas a partir do posto de comando (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	35
Figura 30. Bombas de betão da frota EPOS SA e frota aluguer (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	38
Figura 31. a) Relação das perdas com a distância da ponteira à superfície a projetar; b) Relação das perdas com a velocidade do material na ponteira de projeção (adaptado de Gomes et al., 2010).....	39
Figura 32. Efeito do ângulo entre a ponteira de projeção e a horizontal (adaptado de Gomes et al., 2010)..	39
Figura 33. Fibras metálicas para betão projetado. A figura do meio é um novelo que se formou e entupiu a linha de betão (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	41
Figura 34. Holofotes do robot de projeção e seu poder de iluminação (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	44
Figura 35. Destorcedor – peça que liga o “Shaft Liner” ao cabo de aço (peça laranja) e indicação dos pontos a lubrificar (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	45
Figura 36. Pontos a serem verificados - mangueirão flexível, curva metálica, difusor e suas ligações às mangueiras de ar e aditivo, ponteira de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	46
Figura 37. Pedras encontradas na amassadura de betão projetado retidas pela grelha da tremonha da bomba de betão (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	47
Figura 38. Operador na cabine de comando a descer o robot de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	47
Figura 39. Sensor de carga utilizado no robot de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	48
Figura 40. Tipos de bomba e betão (adaptado de Hofler et al., 2011).	50
Figura 41. Curva de Bradley da DuPont (adaptado de DuPont, 2020).....	77
Figura 42. Da esquerda para a direita; material com marcação CE, guarda corpos e arnês, cavilha de segurança de uma abraçadeira de betão (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	78
Figura 43. Da esquerda para a direita - cabo de aço anti chicoteamento, cavilha de segurança de abraçadeira técnica, botão de emergência e sensor de carga (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	78
Figura 44. Extintor, linha de vida, dispositivo anti queda retrátil, guarda corpos, arrumação do material e sinalética (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	78
Figura 45. Localização dos poços de adução (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	80
Figura 46. Vista em corte do poço de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).	81
Figura 47. Fases de escavação com “raise boring” (adaptado de Llanllaya-Huamani, 2019 e de Luís, 2019). ..	81
Figura 48. Execução do furo piloto (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	82
Figura 49. Cabeça escarificadora (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	83
Figura 50. Furação e esquema tipo de uma pega de fogo (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização e adaptado de EPOS SA, 2014).	84
Figura 51. Pega de fogo carregada/rebentada (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	84
Figura 52. Litologia na zona dos poços de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).	85
Figura 53. Litologia na zona dos poços de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).	86
Figura 54. Preparação da projeção no interior do poço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	88
Figura 55. Projeção do poço com o manobrador no interior da miniescavadora (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	89
Figura 56. Fixação da roldana para o caço de aço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	90
Figura 57. Plataforma de onde podem ser colocadas as abraçadeiras técnicas (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	90
Figura 58. Abraçadeira técnica antes e depois de ser colocada no cabo de aço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	91

Figura 59. Afrouxamento de uma abraçadeira técnica (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	91
Figura 60. Local de descarga da autobetoneira (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	92
Figura 61. Projeção no interior do poço e visualização remota (arquivo de fotos EPOS S; com autorização).92	
Figura 62. Recipiente para reter a bola e bola de limpeza (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).	93
Figura 63. Plataforma técnica montada (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	93
Figura 64. Colocação do robot no interior do poço 4 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	94
Figura 65. Decorrer da projeção de betão - poço 4 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	94
Figura 66. Laser “scanner” do poço 4 (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	95
Figura 67. Estrutura montada para o poço 5 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).....	96

(página propositadamente em branco)

Índice de quadros

Quadro 1. Vantagens/desvantagens entre via seca e via húmida (adaptado de Gomes et al., 2010).....	11
Quadro 2. Características das bombas de betão (adaptado das fichas técnicas dos equipamentos OCMER e ALIVA 257 Top).	38
Quadro 3. Classe do betão (segundo BASF, 2014).	39
Quadro 4. Representação da dosagem mínima de fibras recorrendo à teoria de Mc. Kee e tendo em conta os diversos coeficientes de segurança (adaptado Gomes et al., 2010).....	42
Quadro 5. Tipo de lubrificação da linha de betão projetado (adaptado de Luís, 2018).....	49

(página propositadamente em branco)

Índice de acrónimos ou abreviaturas

% - percentagem

ATIA – Assistive Technology Industry Association

bar – unidade de pressão

BP – Betão Projetado / Shotcrete

CCTV – Closed Circuit Television

CE – Marcação com Conformidade Europeia

DEG – Departamento de Engenharia Geotécnica

DL – Decreto Lei

DO – Dono de Obra

EPC – Equipamento de proteção coletiva

EPI – Equipamento de proteção individual

EPOS SA – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas SA

g/l – grama por litro

IP – Índice de Proteção

IR – “Infrared”/infravermelho

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

IT – Instrução de Trabalho

ITA – International Tunneling Association

km/h – quilómetro por hora

kW – kilo Watt

L ou l – litro

LABCARGA – Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada

m – metro

m³/h – metro cúbico por hora

m³/min – metro cúbico por minuto

MEGG – Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente

mm – milímetro

MPa – mega pascal

° - graus

pol – polegada

rpm – rotações por minuto

Shaft Lining Technique – Técnica de revestimento com betão projetado

SHST – Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho

t – tonelada

vs – versus

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O presente trabalho é parte integrante da unidade curricular anual “Dissertação/Projeto/Estágio” do segundo ano de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (MEGG), do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG), Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP, do Politécnico do Porto.

O trabalho desenvolvido para a dissertação de mestrado, teve como finalidade, efetuar um acompanhamento dos trabalhos de revestimento (ou projeção) de betão em poços ou chaminés subterrâneas, manual e remotamente por forma a evidenciar a sua importância para o projeto mineiro.

Estes trabalhos de projeção de betão foram observados e acompanhados na Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas (EPOS SA), quando a mesma colaborava como subempreiteiro de trabalhos subterrâneos de uma dada obra em Portugal continental. Por questões de confidencialidade não serão mencionados os pormenores da localização geo-espacial das obras em causa, fazendo-se apenas referência ao país em que realmente se efetivaram. Por consequência, toda a documentação de suporte a esta dissertação encontra-se igualmente sob confidencialidade. Todavia, a presente versão da dissertação foi gentilmente aprovada pela EPOS SA.

Folheando o dicionário da Língua Portuguesa, e efetuando uma pesquisa pelos significados de *poço*, *silo* e *chaminé* poder-se-á encontrar o seguinte:

- Poço (do latim “*putĕu*”) – cavidade circular mais ou menos profunda aberta no solo, para dela se extrair água; cisterna; perfuração que se faz no subsolo; claraboia de mina (adaptado de Dicionário Universal Milénio, 2002 e do Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2020).
- Silo (do grego “*sillos*”) – tulha subterrânea ou construção agrícola impermeável para conservação de cereais e forragens verdes; armazém em forma de torre para substâncias sólidas (adaptado de Dicionário Universal Milénio, 2002 e do Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2020).
- Chaminé (do francês “*cheminée*”; *que, por sua vez, virá do latim antigo “caminata”*) – conduta para dar saída ao fumo de um lume; lugar da casa onde se acende o lume;

lareira, ventilador (adaptado de Dicionário Universal Milénio, 2002 e do Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2020).

Consoante a sua aplicabilidade geomineira poderemos ter as três designações (poço, silo, chaminé). Visto as obras em causa se desenrolarem em ambiente subterrâneo, teremos os nomes mais associados a este tipo de estrutura. Sendo assim, a todas as cavidades profundas poderemos aplicar a palavra *poço*. Sendo que, dentro da atividade mineira e em geral em subterrâneo, encontram-se *poços* que servem de armazenamento de minério/escombro — silos de armazenagem; *poços* que servem para evacuar o minério de pisos superiores até à rolagem situada em piso inferior — *chaminés de descarga* de minério; *poço* que serve para extrair o minério para a superfície — *poço de extração*; *poços* que servem para insuflar ar fresco ou extrair o ar viciado das minas efetuando assim a sua ventilação dos espaços subterrâneos — *chaminés de ventilação*; *poços* para instalação de condutas de água em obras hidráulicas — *poços de adução*, *chaminé de equilíbrio*. Já no manual clássico “De Re Metallica” (1556), de autoria de George Agricola, são referidas estas estruturas subterrâneas (pormenores em FFV-MML, 2006 e Agricola, 2014).

Por questões de simplicidade foi adotada apenas a palavra “poço” nesta dissertação, não sendo necessário constantemente efetuar a sua distinção específica consoante a sua utilização. Daqui em diante, sempre que se falar de um *poço* trata-se de uma cavidade, circular, vertical de determinado diâmetro e profundidade (mediante a obra em causa), no qual se vai efetuar projeção de betão. Desta forma, far-se-á o seu tratamento com o revestimento apropriado, sendo este primário ou definitivo, com betão projetado (pormenores, por exemplo, em Rispin et al. (2005), Hustrulid & Bullock, 2001, Bernard, 2010, Ford et al., 2010; Loevlie, 2017, e no sítio da “American Shotcrete Association” – <https://shotcrete.org/>).

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo efetuar uma abordagem metodológica à projeção de poços com betão projetado. O fulcro será, pois, a aplicação de betão projetado recorrendo a um controlo remoto ao longo de toda a extensão, em profundidade do poço mineiro.

Deste modo, será dado a conhecer o método de projeção remota para poços verticais – “Shaft Lining” (Ford et al., 2010; Loevlie, 2017), efetuando uma abordagem ao equipamento em si, bem como à montagem/desmontagem e operação durante o trabalho de projeção.

Serão evidenciados aspetos ao nível de segurança durante todas as fases de operação do equipamento. Ainda de salientar, no âmbito da segurança, no que diz respeito à aplicação de betão projetado comparando-se os dois métodos de projeção de betão que foram utilizados, manual ou com controlo remoto (“Shaft Liner”).

Tentando estabelecer um termo de comparação entre duas obras, poder-nos-á revelar, indicando com qual dos métodos de projeção utilizados (manual ou “Shaft Lining”) será mais vantajoso economicamente. Deste modo, ter-se-á uma ideia de qual o método a utilizar em termos de projeção por forma a efetuar uma boa gestão financeira da obra, optando pelo método com maior vantagem económica.

Serão ainda salientadas as dificuldades sentidas ao longo do trabalho desenvolvido, apresentando como foram ultrapassados estes obstáculos, por forma a poder concluir a mesma com satisfação do cliente.

(página propositadamente em branco)

2. “Shaft liner”: breve introdução

2.1. Apresentação

Este equipamento, foi desenvolvido no intuito de responder à necessidade de se revestir as paredes circulares de poços, com betão projetado, com ou sem introdução de fibras metálicas de reforço. Tendo como principal preocupação a segurança de pessoas e do próprio equipamento face às condições de trabalho, normalmente em zonas cujo espaço é bastante reduzido, este equipamento foi concebido para operar remotamente, controlado a partir do topo do poço a tratar. Este sistema de projeção permite a projeção em poços verticais e inclinados.

Este equipamento é constituído genericamente por:

➤ **Cabeça rotativa de projeção (robot):**

Está suspensa no cabo do guincho, é composta pelo corpo central e por uma estrutura metálica móvel que pode variar de diâmetro entre os 2 e os 8 m.

O seu corpo central contém uma unidade hidráulica, quadro elétrico, câmaras de vídeo e os focos indispensáveis à iluminação da operação.

➤ **Consola de comando remoto:**

Instalada em cabine própria para proteção do operador e da própria consola de comando. É constituída pelo gravador e pelo monitor que permite receber, em simultâneo, quatro imagens emitidas pelas câmaras.

A consola de comando integra, ainda, um computador que permite o controlo total dos parâmetros e da localização do trabalho de projeção de betão.

➤ **Plataforma técnica:**

Situada no topo do poço é constituída por 3 plataformas e um quadro elétrico geral.

- Plataforma 1: constituído pelo guincho enrolador das mangueiras de ar e aditivo e do cabo elétrico;
- Plataforma 2: constituída pelo guincho principal com capacidade de 20 t;
- Plataforma 3: constituída pela lança hidráulica que suporta a roldana onde passa o cabo de aço, que por sua vez suporta a cabeça de projeção no eixo do poço.

A junção das três plataformas parciais constitui a plataforma final designada por plataforma técnica (Frade, 2017).

2.2. Descrição do sistema

Após mobilização e conveniente posicionamento de toda a estrutura junto ao local a intervir, segue-se a operação de tratamento do poço com betão projetado. Salienta-se aqui a necessidade do elevado rigor na operação de instalação no sentido de garantir com sucesso o primeiro passo para a intervenção de tratamento.

A projeção de betão, ou seja, a operação de tratamento propriamente dito, consiste na aplicação de betão projetado para revestimento das paredes de poços, com a espessura pretendida, incluindo ou não na sua composição fibras metálicas de reforço, em conformidade com as necessidades do projeto.

Em condições normais, após uma primeira observação remota a partir das câmaras integradas e de uma lavagem da superfície a tratar, caso seja geotecnicamente aconselhável, os trabalhos são iniciados com a aplicação de uma camada de betão, executada no sentido descendente do poço em troços até um máximo aconselhável de 30 metros. O tratamento neste troço ficará terminado com a segunda passagem, no sentido ascendente, completando assim a espessura requerida.

A operação de projeção descendente/ascendente repetir-se-á em troços unitários ao longo da totalidade do poço a tratar.

Refere-se, ainda, a vantagem técnica da inspeção visual remota, que permite adequar e adaptar o projeto de sustimento de acordo com a realidade encontrada.

Finalmente, a operação de desmobilização integra a desmontagem e transporte, por ordem inversa da mobilização, de todo o equipamento presente no local. Nesta fase, deverão manter-se presentes todos os cuidados de segurança, relativamente a pessoas e bens, sempre tão necessários na movimentação de peças pesadas e de grandes dimensões.

O esquema da Figura 1 mostra a cabeça rotativa de projeção e a sua estrutura de apoio (Frade, 2017).

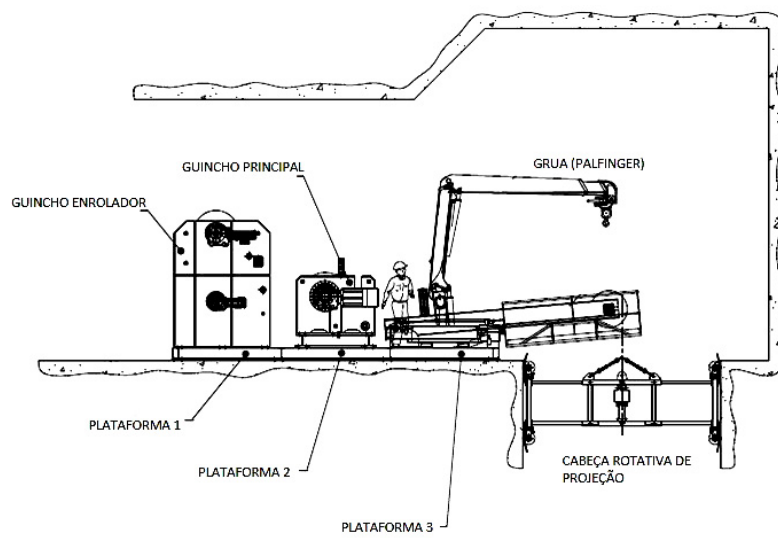


Figura 1. Plataforma técnica com cabeça rotativa de projeção (adaptado de Frade, 2017).

(página propositadamente em branco)

3. “Shaft Liner” – equipamento (MACMAHON)

3.1. Equipamento de projeção remota

3.1.1. Introdução histórica

Historicamente a projeção de poços com betão projetado, tem sido realizada permitindo o acesso do trabalhador ao interior do poço por intermédio de um guincho, desta forma efetuando manualmente a projeção de betão, malha eletrosoldada entre outros.

Trabalhar em poços trata-se de uma atividade de alto risco e também custos significativos devido a equipamentos e pessoal altamente especializados. Uma alternativa à aplicação manual de betão projetado será, pois, utilizando um equipamento controlado remotamente.

Relativamente a este tema – “Shaft Lining”, há uma escassez de material publicado na área por comparação com outros domínios técnicos. Por conseguinte, existe uma enorme dificuldade de evolução técnica e práticas atuais. Hustrulid & Bullock (2001) referem-se a “Shelob Shaft Shotcreting Units” desenvolvido por Caledonian Mining Co Ltd, mas nenhum detalhe é fornecido. Rispin et al. (2005) referem-se brevemente às máquinas “Shaft Robo” utilizadas para a aplicação e betão projetado, embora este tipo de equipamento pareça ter sido desenvolvido para colocar em um determinado nível, permitindo o acesso ao trabalhador para efetuar a projeção de betão manualmente. Um relatório da ITA/ATIA em 2006 intitulado “Shotcrete for rock support – A summary of the state of the art”¹ refere-se a uma submissão do Canadá detalhando a aplicação robótica e continua de 75 mm de betão projetado, num poço de 415 m de profundidade e com 2,4 m de diâmetro utilizando uma mistura via húmida com agregados locais; não se referindo nem dando mais detalhes. Para se poder ter uma melhor ideia desta tecnologia, poderão ser consultados “websites” de empresas que proporcionam este tipo de serviço de projeção de poços com “Shaft Liner”. Como exemplo podem ser realçadas a Jetcrete Austrália, Rix Group Austrália e Multicrete Systems do Canadá.

Baseado no conhecimento destas empresas, referido anteriormente, a Macmahon Mining Services, que é um departamento dentro da Macmahon que oferece serviços subterrâneos especializados para a indústria mineira australiana e internacional, ocupa-se com a instalação de diversos tipos de sustimento, perfuração e projeção de betão. No sentido de fornecer aos seus clientes um conjunto completo de opções para o desenvolvimento e suporte de trabalhos verticais, foi desenvolvido um sistema de projeção remoto ao eixo – “Shaft Liner”.

¹ <https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications/225/shotcrete-for-rock-support-a-summary-report-on-state-of-the-art>

Após serem analisados todos os tipos de equipamentos que existiam até então, na indústria mineira, a Macmahon baseada em todo este conhecimento existente, embora que escasso, concebeu um equipamento – “Shaft Liner”; de última geração para a projeção de poços. Este equipamento foi construído tendo em conta os seguintes princípios:

- Melhorar a segurança dos trabalhadores que operam junto e por vezes no interior do poço;
- Minimizar as perdas de betão projetado (ou seja, recuperar as perdas e é designado na linguagem técnica anglo-saxónica como “rebound”);
- Obter uma melhor qualidade durante a projeção e como produto final.

A conceção da plataforma do “Shaft Liner” permite que a sua montagem e operação nas proximidades do poço sejam efetuadas com segurança. O “Shaft Liner” incorpora tecnologia de digitalização por forma a permitir digitalização pré e pós projeção de betão. Desta forma, poder-se -á efetuar um controlo da espessura de betão aplicado. As imagens de vídeo podem ser gravadas separadamente para permitir uma inspeção rigorosa e minuciosa ao poço. Assim, são identificadas todas as anomalias como falhas, fissuras, descontinuidades e ruínas relevantes que carecem de tratamento. Além disso, a aplicação de betão projetado é constantemente monitorizada e gravada em vídeo para garantia da sua boa aplicação e consistência do “spray” (Ford et al., 2010; Bernard, 2010).

3.1.2. Considerações de “design”

Tanto em ambiente mineiro como civil, o método de abertura de poços com recurso a “raise-boring” tornou-se muito usual. Em geral, a abertura de poços por este método, devido à sua perfeita conceção, induz a aplicação à posteriori de betão projetado com recurso ao “Shaft Liner”. Este método de abertura de poços normalmente é efetuado em terreno competente o suficiente, por forma a aguentar toda a sua escavação até à aplicação do Betão Projetado (BP). A escavação recorrendo a uma “broca de elevação” (“raise-boring”), associada à projeção remota com “Shaft Liner” reduz significativamente os custos. Estes poços são normalmente construídos a partir de uma abertura subterrânea, à superfície ou entre aberturas subterrâneas. Por conseguinte, todo o equipamento de “Shaft Liner” deverá ser projetado para poder funcionar tanto à superfície como dentro de galerias/câmaras subterrâneas. Esta possibilidade de poder operar tanto em espaço aberto como confinado restringe as dimensões próprias do equipamento.

Existem dois métodos de aplicação de betão projetado:

- Via seca;
- Via húmida.

A utilização da via seca implica uma mistura onde a água apenas é adicionada na fase final do circuito de projeção, junto à ponteira de projeção; enquanto na via húmida a mistura vem pronta a ser aplicada, já com a quantidade de água necessária na sua composição. A via seca apresenta algumas vantagens à partida. Tem um tempo de retenção ilimitado para materiais secos (desde que não tenham sido pré humedecidos), longas distâncias de transporte e menor peso na linha de projeção. A via húmida pode ter um problema de segregação do material quando utilizada nestes tipos de trabalho. Nestas condições ter-se-á de ter cuidados adicionais por forma a evitar a segregação do betão (Ford et al., 2010; Bernard, 2010).

No Quadro 1 visualizam-se as vantagens e desvantagens de cada um método de projeção.

Quadro 1. Vantagens/desvantagens entre via seca e via húmida (adaptado de Gomes et al., 2010)

	VIA SECA	VIA HÚMIDA
VANTAGENS	<p>Adaptável a condições variáveis do solo, particularmente no que respeita à quantidade de água porque esta é controlada pelo operador</p> <p>Equipamento de mistura mais barato</p> <p>Máquinas de mistura mais pequenas, logo adaptáveis a locais confinados</p> <p>Adapta-se facilmente à utilização de equipamento de projeção mecanizada</p> <p>Os materiais podem ser conduzidos a grandes distâncias nas tubagens</p>	<p>Menores reflexões (10%)</p> <p>Menor produção de poeira e melhor visibilidade na operação</p> <p>Menor necessidade de ar comprimido</p> <p>Controlo de qualidade mais fácil pois a mistura é realizada em unidades de produção idênticas às do betão convencional</p> <p>Qualidade do betão projetado é menos sensível à perícia do operador, uma vez que não tem de regular a quantidade de água</p> <p>O operador controla diretamente a velocidade de impacto das partículas e, portanto, a compactação regulando o ar comprimido</p> <p>Adapta-se facilmente à utilização de equipamento de projeção mecanizada</p> <p>Custos de conservação mais baixos e níveis de produção mais elevados</p> <p>Mais fácil a aplicação de fibras</p>
DESVANTAGENS	<p>Provoca grande quantidade de poeira, agravando-se em locais confinados (interior de galerias)</p> <p>Quantidade de reflexões é grande (30% nos agregados e 50% nas fibras de aço)</p> <p>A qualidade pode ser muito influenciada pela regulação de água por parte do operador</p> <p>Pequena capacidade</p>	<p>O sistema exige uma instalação de mistura</p> <p>Geralmente é necessário usar aditivos para manter as características do betão até à sua aplicação</p> <p>Necessita de maior quantidade de cimento para a mesma resistência quando comparado com o betão projetado por via seca</p> <p>O aditivo acelerante só pode ser adicionado na ponteira de projeção quer seja seco ou líquido</p> <p>O tempo entre a mistura e a aplicação é reduzido quando não se utilizam retardadores de presa</p>

3.1.3. *Gestão de riscos*

A projeção de betão recorrendo ao “Shaft Liner”, expõe os trabalhadores a riscos que deverão ser muito bem geridos. Os perigos que resultam no maior risco para o pessoal é o fato de estarem a trabalhar em redor de um buraco aberto, e à volta de linhas em movimento. A montagem do próprio equipamento, a colocação do robot no poço, o adicionar/retirar segmentos de tubagem e mangueiras, são exemplos de tarefas que têm de ser muito bem planeadas por parte de quem as vai executar. Todas estas ações deverão obedecer a procedimentos de segurança por forma a mitigar o risco de queda ou outro qualquer tipo de acidente (Ford et al., 2010; Bernard, 2010).

3.1.4. *Qualidade de aplicação*

Em qualquer processo de betão projetado a qualidade final depende do método de aplicação. A utilização do método por via seca necessita de um controlo mais cuidadoso do desperdício e da quantidade de água adicionada à mistura. Este controlo depende do rigor e sincronismo do sistema velocidade de projeção e caudal de água. Pouca água pode resultar numa má mistura e num maior desperdício resultante de uma deficiente hidratação do cimento na mistura. Excesso de água irá fazer com que o material da mistura perca as características de resistência.

O desempenho de qualquer estrutura de betão projetado é controlado pela espessura que lhe é aplicada. Portanto, a capacidade de tornar mensurável com precisão a espessura de revestimento aplicado é essencial para garantir a qualidade da aplicação (Ford et al., 2010).

3.2. *“Design” final*

Na sequência de uma extensa investigação, a construção do “Shaft Liner” teve início em 2008, sendo concluída e encomendada em janeiro de 2009.

A investigação envolveu uma análise abrangente de riscos, a avaliação de equipamentos existentes na indústria, e tomada de pareceres com outros fabricantes de equipamentos análogos (Ford et al., 2010; Bernard, 2010).

3.2.1. *Elementos do “Shaft Liner”*

O “Shaft Liner” é composto por quatro elementos principais:

- Posto de comando;

- Bomba de betão;
- Robot de projeção;
- Plataforma técnica.

A plataforma de controlo fica alojada num contentor. É neste compartimento em que se encontra a pessoa que vai operar o robot de projeção. A partir deste ponto poderá facilmente monitorizar todo o processo de projeção.

A bomba de betão exige a presença constante de um trabalhador. É alimentada diretamente por um camião autobetoneira.

A configuração básica da plataforma técnica e do robot de projeção é ilustrada na Figura 2. O robot possui umas pernas ou esquis que são extensíveis por forma a se adaptarem ao diâmetro do poço. A ponteira de projeção encontra-se por baixo do corpo principal do robot e pode rodar até 360 graus. O próprio corpo do robot possui incorporadas câmaras de vídeo para monitorização de todo o processo de projeção.

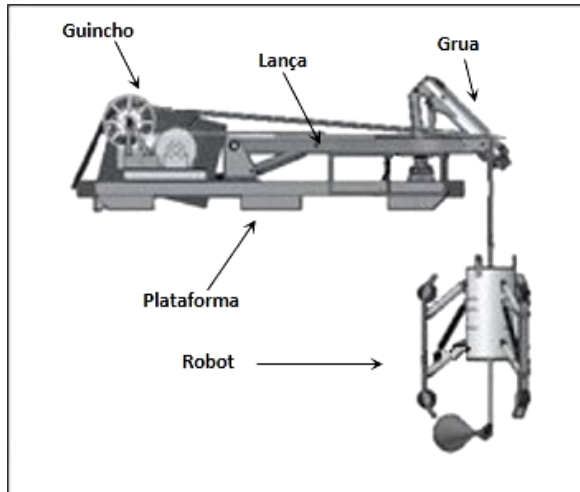


Figura 2. “Shaft Liner” – Plataforma e Robot de Projeção (adaptado de Ford et al., 2010).

Uma grua tipo “Hiab” ou “Palfinger”, um braço hidráulico, um conjunto de guinchos e enroladores integram a plataforma técnica. No projeto para conceção da plataforma ter-se-á de ter em conta que a mesma poderá ter de efetuar trabalhos no interior de galerias. As dimensões da plataforma técnica têm de ser em função dos espaços confinados existentes, caso de uma mina. A plataforma ficará fixa ao solo, com ancoragens e resina.

A função da grua será auxiliar a tarefa de colocar e retirar o robot do interior do poço. Desta forma garantimos que os trabalhadores executam as suas tarefas o mais afastados do poço possível. Uma vez que o acesso à plataforma só poderá ser efetuado por pessoal devidamente autorizado e com formação, tem de se vedar fisicamente o acesso ao poço como é exemplificado na Figura 3.



Figura 3. Vedação física à volta da boca do poço (adaptado de Ford et al., 2010).

Ainda na plataforma existem pontos fixos de amarração e uma linha de vida. É nestes locais, nos quais os trabalhadores que estejam a trabalhar na plataforma têm de se encontrar amarrados e estar equipados com um arnês de segurança e sistema anti queda retrátil.

Toda e qualquer tipo de intervenção de manutenção na plataforma, robot ou acessório só será permitida apenas fora do raio de influência do poço.

O perigo de se trabalhar perto de linhas técnicas móveis fica bastante minimizado, pelo fato das mesmas passarem por um braço hidráulico. Este braço não é mais do que um canal parcialmente fechado por onde passam todas as linhas técnicas.

Como auxílio na descida/subida do robot, existem, na parte traseira da plataforma, um guincho e um enrolador para as mangueiras, com a intenção de facilitar e minimizar o esforço humano (Ford et al., 2010).

3.2.2. Desempenho e qualidade

A forma mais comum de controlar a eficiência da aplicação do betão, é sem dúvida alguma, a observação pelas câmaras que se encontram instaladas no robot. Este encontra-se equipado com câmaras de infravermelhos – IR, colocadas estrategicamente a 90 graus entre si – Figura 4. Ter uma visão da projeção é vital para que o operador avalie a consistência da mistura de betão

projetado. Desta forma o operador poderá saber de imediato se o BP está a ficar na parede do poço ou, se pelo contrário, se encontra a cair.



Figura 4. Câmara de infravermelho instalada no robot de projeção (adaptado de Ford et al., 2010).

A qualidade final do betão projetado na parede do poço é de todo o mais importante. Toda a mistura de betão tem de ser bem controlada e ter especial atenção à adição de água quando utilizamos a via seca. A dosagem do aditivo é também um fator importante.

O controlo da espessura do BP aplicado, poderá ser efetuado por intermédio de um dispositivo de medição ultrassónica. Trata-se de um “scanner” configurado para medir 20 pontos durante a rotação da ponteira de projeção. A profundidade fica registada e é indexada a cada leitura. É efetuada uma primeira leitura, “varrendo” toda a área a ser projetada, devido à rotação da ponteira de projeção. Após a projeção de betão efetua-se nova leitura. A diferença da medida da distância em cada ponto vai indicar a espessura de betão projetado aplicado. Por conseguinte, poderemos ter indicação de áreas subprojetadas. Nestes casos há a necessidade de dar uma segunda passagem com betão projetado, efetuando de seguida nova leitura da espessura. Com este procedimento vamos ter no final a espessura desejada.

Antes de dar início à projeção de betão dever-se-á escolher uma zona do poço para efetuar alguns testes de ensaio, por forma a ajustar a velocidade de rotação da ponteira com a velocidade de projeção e estas duas, com a velocidade de descida do robot. Na Figura 5 pode-se observar o robot posicionado no interior do poço.

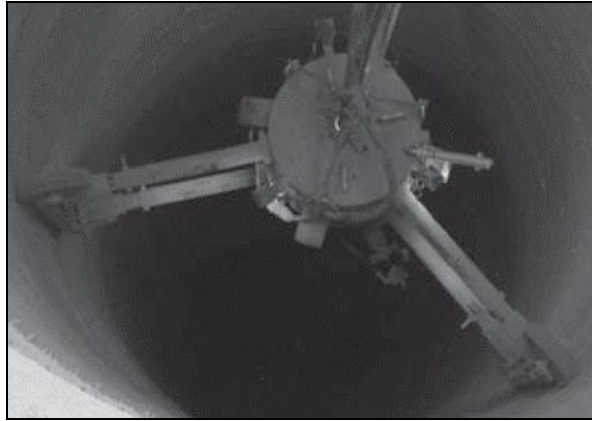


Figura 5. Robot de projeção posicionado no interior do poço (adaptado de Ford et al., 2010).

Obviamente que poderemos sempre à posteriori efetuar testes adicionais como confirmação da espessura, como por exemplo, a retirada de pequenos carotes ou até efetuando sondagem com uma broca de forma aleatória (Ford et al., 2010).

3.3. Trabalho futuro – Macmahon

O “Shaft Liner” desenvolvido pela Macmahon representa uma nova abordagem em termos de segurança, garantia de qualidade para a projeção de betão em poços verticais e subverticais. Com o desenvolvimento do equipamento espera-se que faça aumentar a sua utilização e com isso poder redefinir os sistemas de comando.

Pensa-se que a profundidade atual que este equipamento poderá operar de forma eficaz serão os 350 metros. Irão ser efetuados ensaios em obra futuras na tentativa de poder projetar ainda a maior profundidade.

Sistemas de travagem do guincho serão melhorados por forma a garantir uma melhor taxa de descida em profundidade.

Estão previstas alterações ao sistema de digitalização para traduzir dados pontuais em imagens dimensionais, e ficheiros que poderão ser importados para software de mina.

O “feedback” sobre a geometria do eixo prevê a instalação de braços/esquis pneumáticos com rodas. Estes esquis vão-se ajustar às paredes do poço, transmitindo as variações do diâmetro em relação ao eixo.

Desta forma, a Macmahon antecipa que as características de segurança e desempenho deste “Shaft Liner” ajudarão a elevar os padrões da indústria para o revestimento remoto de poços (Ford et al., 2010).

A Figura 6 representa todo o sistema de “Shaft Liner” instalado num poço durante a projeção. Neste caso, todo o sistema encontra-se instalado à superfície.



Figura 6. Sistema “Shaft Liner” instalado em funcionamento (adaptado de Ford et al., 2010).

(página propositadamente em branco)

4. “Shaft Liner” – Equipamento (EPOS SA)

As exigências de rigoroso controlo ao nível da de segurança, por forma a minimizar riscos e evitar acidentes, aliado à necessidade de tratamento em interiores de poços, conduziu de certa forma à atividade de projeção remota de poços designada por “Shaft Lining”.

No âmbito dos trabalhos subterrâneos a EPOS SA – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas SA, optou por abraçar um novo método de execução. Estava desta forma iniciado o sustimento de poços verticais com betão projetado.

Este tipo de trabalho visa concluir revestimento de poços, quando estes têm como revestimento final o betão projetado, ou este, servir de revestimento provisório para trabalhos subsequentes no interior do poço.

Tendo a empresa sempre como objetivo “Zero Acidentes” dá assim início a esta atividade que, ao mesmo tempo, irá ser um desafio derivado a fatores intrínsecos às obras e obviamente a outro fator importante que é a profundidade dos poços que serão alvo de intervenção.

4.1. Instalação do “Shaft Liner”

4.1.1. Montagem da plataforma técnica

Todos os elementos componentes do equipamento “Shaft Liner”, são transportados por camião até ao estaleiro da obra, onde poderão ser descarregados. É conveniente que o camião que efetuar o transporte esteja equipado com uma grua por questões de facilitar a carga/descarga, e quando as condições da obra o permitem poder assegurar uma fase da montagem. Caso este auxílio não possa ser prestado pelo mesmo, motivado por problemas de confinamento do local, ter-se-á de recorrer somente a um multifunções para auxiliar a montagem do “Shaft Liner”.

O “Shaft Liner” é composto por uma plataforma técnica. Esta não é nada mais do que uma plataforma em perfil metálico que se encontrará ancorada ao solo por meio de ancoragens e resina. Antes de iniciar a sua montagem é necessário garantir que existe um maciço em betão armado, suficientemente grande para colocar em cima a plataforma. Normalmente, o que acontece, é a necessidade de acrescentar um maciço a um já existente que é de dimensões menores e serviu de ancoragem à “raise-boring” para a abertura/escavação do poço. Na Figura 7, poder-se-á visualizar o início da montagem da plataforma técnica.

Após montada no local e devidamente fixa ao solo, por baixo desta, desliza uma segunda plataforma (gaveta) que serve de auxílio a qualquer atividade que seja necessária efetuar no robot de projeção (engatar/desengatar na manilha o gancho da grua por exemplo).

Encontra-se acoplada à plataforma uma grua “Palfinger” com uma capacidade máxima de carga de 5 t. Esta grua tem como principal objetivo dar assistência quando é necessário colocar ou retirar o robot de projeção do poço. Após retirar o robot do poço, coloca-o mesmo ao lado da plataforma técnica, ficando assim o robot afastado do poço.

Ao lado da grua existe um lança hidráulica com uma roldana guia na extremidade que fica virada para o poço. Esta lança hidráulica tem a possibilidade de efetuar um movimento ascendente e descendente. A lança hidráulica trata-se de uma calha por onde passam todas as linhas técnicas que servem de apoio à projeção e se encontram conectadas ao robot de projeção. A roldana guia serve para fazer a transição das linhas técnicas da zona da calha para o interior do poço. São consideradas linhas técnicas a mangueira de ar, aditivo, mangueirão de betão, cabo de aço e o cabo de comunicação e transmissão de dados com o robot de projeção.



Figura 7. Montagem da plataforma técnica do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Ao lado desta lança hidráulica existe acoplado uma passarela que permite a circulação de um trabalhador quando o robot de projeção está a baixar ou a subir. Esta pessoa efetuará a supervisão das linhas técnicas que circulam na calha e terá como tarefa colocar/retirar as abraçadeiras técnicas que fixam as linhas ao cabo de aço por forma a formar um conjunto solidário.

Na Figura 8 tem-se uma vista da plataforma já com a grua “Palfinger”, a lança hidráulica com roldana guia, passarela com guarda corpos e plataforma retrátil inferior (gaveta). Na Figura 9 outra foto da plataforma montada na oficina a ser submetida a ensaios.



Figura 8. Plataforma técnica com grua, lança e roldana guia, passarela e plataforma retrátil (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).



Figura 9. Plataforma técnica montada na oficina em fase de testes (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Imediatamente atrás da lança hidráulica está posicionado o guincho elétrico, que é o enrolador do cabo de aço. Trata-se de um guincho com um tambor dimensionado para poder comportar um

cabo de aço com 500 m de comprimento e uma capacidade de carga de 20 t. Este cabo tem a função de suportar o peso do robot de projeção que fica engatado na ponta do cabo. Ao longo do cabo e sensivelmente de 2 em 2 metros serão colocadas as abraçadeiras técnicas que permitem fixar as restantes linhas (mangueirão de betão, mangueira de ar e aditivo e cabo de comunicação) ao cabo de aço e este por sua vez é que as suporta durante o período de descida, subida e projeção de betão. A Figura 10 evidencia as abraçadeiras técnicas e o enrolador de cabo de aço.



Figura 10. Abraçadeiras técnicas e guincho do cabo de aço (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Atrás deste guincho existem dois enroladores de mangueira (ar e aditivo) e cabo de comunicações, que facilitam bastante o trabalho principalmente quando se está a subir o robot de projeção, porque o enrolamento vai sendo automático. O enrolador da mangueira foi concebido para comportar uma mangueira de 500 m de comprimento e de 1 pol. O do cabo de comunicação foi concebido para uma bobine de cabo de 600 m com uma espessura de 12 mm. Pode ser observado na Figura 11 os enroladores de mangueiras e cabo de comunicações.



Figura 11. Enroladores de mangueiras e cabo de comunicações (adaptado de arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Na zona de influência do poço, poder-se-á montar um cavalete técnico – Figura 12, que desliza sobre o poço quando necessário. Contém uma roldana guia que serve para “guiar” as linhas técnicas ao eixo do poço quando se efetua o movimento ascendente/descendente do robot e durante a projeção.



Figura 12. Cavalete técnico com roldana guia (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Obviamente que estes elementos que acabaram de ser descritos integram a plataforma técnica montada como inicialmente foi projetada. No entanto, parte destes elementos podem ser montados mais afastados e mesmo desligados da plataforma inicial. Para isso, terão de se encontrar ancorados ao maciço existente no local. Esta imposição será ditada pelo espaço disponível em obra, bem como do próprio maciço efetuado no local. Por vezes tem de se adaptar

todo este sistema às condições de trabalho existentes no terreno, tendo sempre em vista o trabalho a ser efetuado, mas nunca descurando as regras de segurança.

Sempre que seja prevista uma alteração à sua montagem tradicional, será sempre solicitado um estudo e emitida uma nota técnica, por forma a validar a execução do trabalho.

4.1.2. Montagem do robot de projeção

O robot de projeção é constituído por um corpo sólido, onde se encontra alojado, um quadro elétrico para alimentação do mesmo. Possui uma centralina hidráulica com motor elétrico que transmite o movimento de rotação de 360 graus à ponteira de projeção – Figura 13.



Figura 13. Corpo de robot de projeção com quadro elétrico, centralina hidráulica e motor elétrico que transmite a rotação à ponteira de projeção (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Pelo seu interior passa um segmento de tubagem rígida de betão. A conexão do mangueirão flexível de betão pela parte superior do robot, é efetuada a esta tubagem por intermédio de um destorcedor. Por sua vez, na parte inferior é acoplado um mangueirão flexível até à ponteira de projeção. Mesmo antes da ponteira de projeção encontra-se um difusor. É aqui que se efetua a entrada de ar e o acelerador de presa para o circuito de betão projetado – Figura 14.

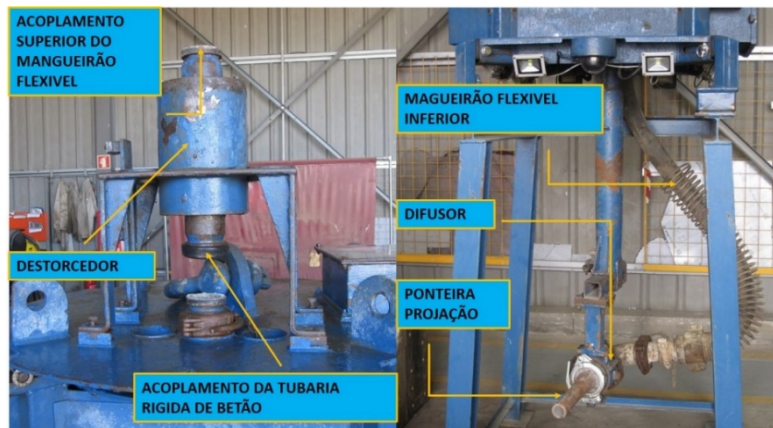


Figura 14. Robot de projeção - destorcedor, engates dos flexíveis de BP, difusor e ponteira de projeção (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

O robot encontra-se equipado com oito holofotes led na zona inferior e quatro na superior, que permitem iluminar o local de trabalho dentro do poço. Pelo fato das condições que vão ter de suportar no interior do poço, estes holofotes têm de ser resistentes a agentes sólidos e líquidos. Neste caso têm um índice de proteção, IP 67.

Com este índice teremos uma proteção total contra entrada de pó e resíduos, bem como uma proteção em imersão entre 15 centímetros e 1 metro de profundidade.

Condições estas que nunca se irão verificar no interior de um poço a ser projetado.

O robot encontra-se equipado com sistema CCTV – Closed Circuit Television. No meio de cada holofote existe uma câmara de infravermelhos – IR, que permitirá ao operador, ter uma visualização do trabalho de projeção – Figura 15.

Com isto perfaz um total de quatro câmaras. Estas câmaras estão equipadas com um domo protetor que efetua uma proteção contra poeiras e quebras da lente bem como da entrada de água. Estas câmaras também têm IP 67.

Existe no robot um pequeno depósito de água que quando necessário projeta água sobre o domo da câmara, efetuando a limpeza do mesmo. Sistema idêntico ao utilizado nos automóveis para deitar água no vidro.

No entanto, deve-se com periodicidade retirar os domos das câmaras e substituir por novos. Apesar da sua boa resistência existe sempre ressalto de agregados e betão projetado que vai sujando e deteriorando o próprio domo.



Figura 15. Holofotes a Led IP67 e câmara de infravermelhos com domo de proteção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Quando se efetua o transporte do corpo do robot de projeção utiliza-se uma estrutura metálica onde podem encaixar os grafos do multifunções para o poder deslocar de local.

Na fase de montagem do robot, este tem de ser colocado num cavalete por forma a poder ser todo montado. Garantimos assim, que o mesmo fica afastado do chão e colocado numa plataforma de apoio segura.

Esta plataforma será sempre utilizada como base sempre que há necessidade de ter o robot de projeção fora do poço ou necessita de alguma intervenção mecânica ou elétrica.

Com o corpo principal do robot em cima do cavalete, poder-se-á efetuar a montagem da parte inferior onde se situa o eixo de transmissão da rotação, a ponteira de projeção bem como as saídas de ar/aditivo que engatam no difusor da ponteira de projeção.

São montados os braços extensíveis que permitem cobrir uma gama de vários diâmetros que os poços possam ter. Apenas ter-se-á de efetuar um ajuste em termos de distância da ponteira de projeção à parede a ser projetada por forma a termos uma distância de cerca de 1 metro.

Nestes braços extensíveis são acoplados uns patins com rodas guia que vão permitir a centralização do robot ao eixo do poço, bem como dificultam uma possível rotação do robot sobre o eixo do poço. Esta tendência que o robot tem em rodar sobre si mesmo é derivada à projeção, aliada à rotação da própria ponteira de projeção.

Na Figura 16 pode ser observado o robot completamente montado ainda em cima do cavalete. O cavalete apenas serve de base de “descanso” para o robot de projeção quando este se encontra no exterior do poço.



Figura 16. Robot montado no cavalete (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Na sequência de figuras seguintes pode ser observado as diversas fases de montagem do robot de projeção tendo em consideração três diâmetros possíveis de poços.

Por conseguinte, na Figura 17 encontra-se representado a colocação do corpo principal do robot de projeção sobre o cavalete de montagem e o acoplamento inferior do braço rotativo.

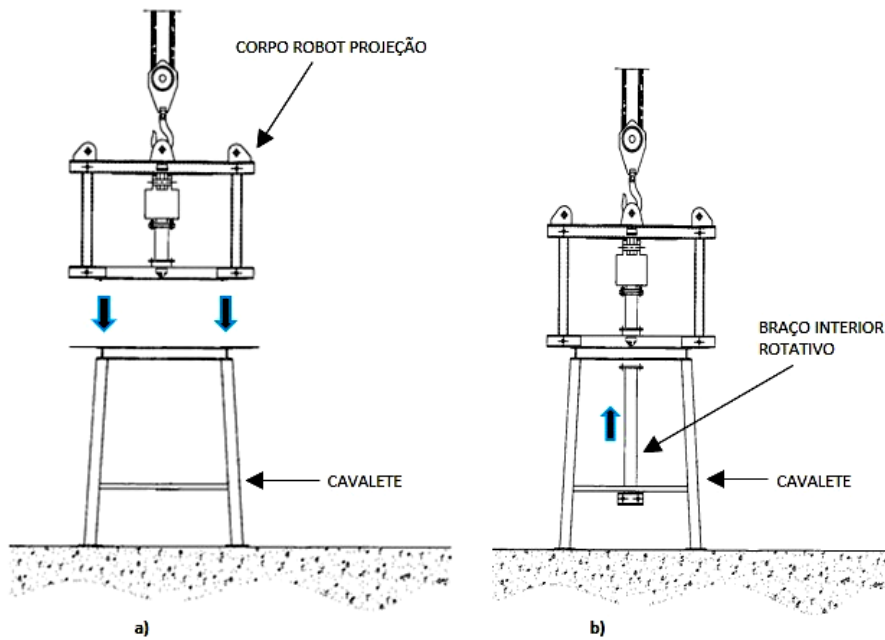


Figura 17. a) acoplamento do corpo do robot sobre o cavalete, b) colocação do braço inferior rotativo (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).

A montagem do braço inferior extensível, adaptável aos diferentes diâmetros de poços encontra-se representada na Figura 18.

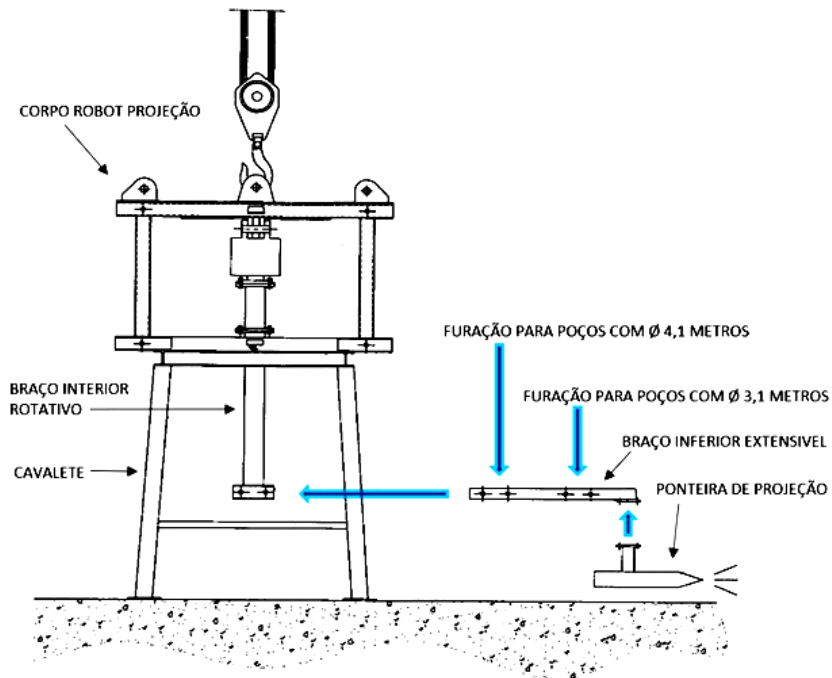


Figura 18. Acoplamento do braço inferior extensível para os diferentes diâmetros de poços (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).

Finalmente, têm de ser montados os braços extensíveis consoante os diferentes diâmetros dos poços, onde vão encaixar uns esquis com rodas guia – Figura 19.

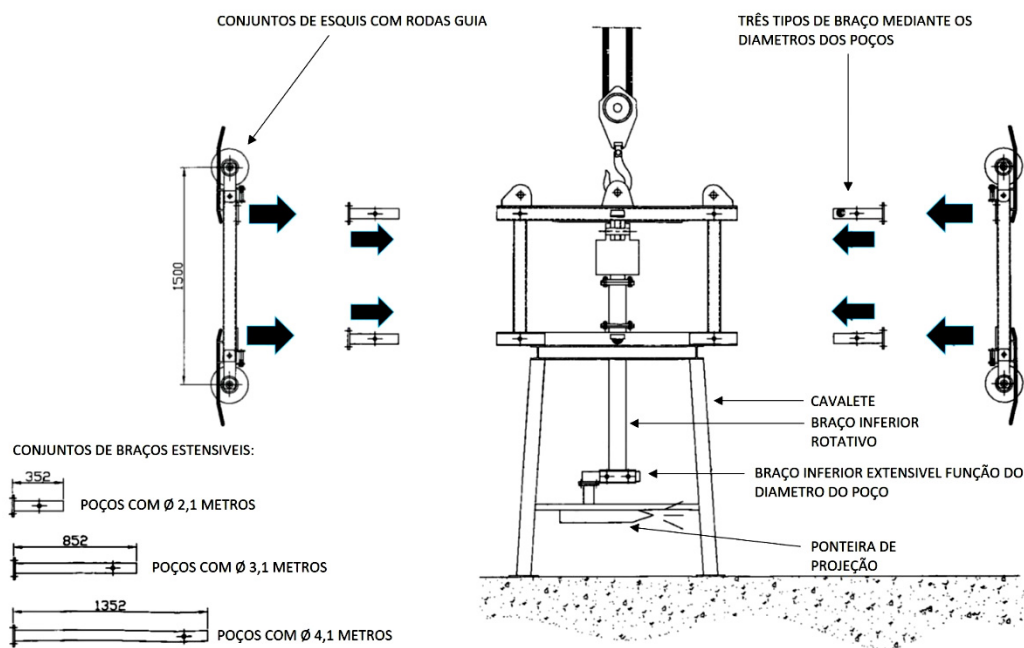


Figura 19. Aplicação de braços extensíveis em função do diâmetro do poço e conjuntos de esquis com rodas guia (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).

Na Figura 20 está a representação em corte e planta, de todo o conjunto do robot de projeção já montado no interior do poço.

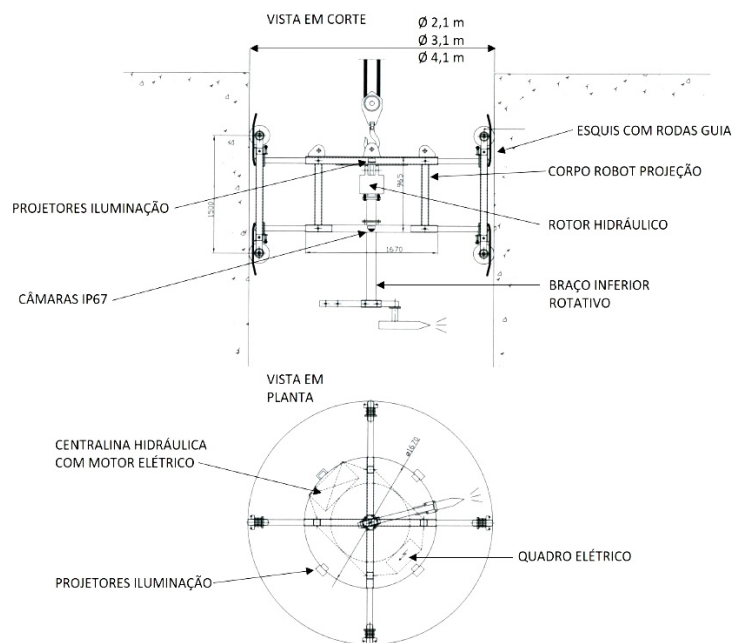


Figura 20. Vista em corte e em planta do robot e projeção no interior do poço (adaptado de MARCOVIL SA, 2012).

Após a montagem ter-se-á de efetuar testes de comunicação, movimentos da ponteira, testes de luzes e verificações das câmaras por forma a se encontrar tudo operacional. Na Figura 21 podemos visualizar o robot completamente montado a ser colocado dentro do poço com o auxílio da grua.



Figura 21. Colocação do robot de projeção no poço auxiliado pela grua (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

4.1.3. Funcionamento do posto/cabine de comando

O posto de comando deve ficar localizado de preferência e sempre que possível de frente para o poço. Desta forma, o operador tem uma maior visibilidade sobre a área do poço. Após posicionado no local onde vai ficar (deverá obedecer ao projeto), tem de ser instalado todo o sistema e energia. Efetuar todas as ligações de comunicações elétricas e de dados com o robot. Instalar o computador, gravador de imagem, que permitirá efetuar as gravações dos trabalhos.

Após todas as ligações efetuadas é fundamental que se executem ensaios para a verificar todo o funcionamento do “Shaft Liner”. Existem parâmetros a serem configurados e devidamente testados, para que tenhamos um bom funcionamento com indicações precisas.

Na Figura 22 pode ser observado o posto de comando. Local este onde o operador do “Shaft Liner” deve permanecer quando opera o equipamento de projeção. É a partir do posto/cabine de comando que são controladas todas as funções do equipamento, velocidade de descida, de subida e de rotação entre outras.



Figura 22. Posto de comando do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Dentro do posto/cabine de comando, onde vai estar o operador do “Shaft Liner”, existe um computador que é parte integrante de uma mesa de controlo, um monitor que permite visualizar as imagens das câmaras e um gravador de vídeo onde ficará tudo registado.

Na Figura 23 temos um exemplo da instalação do posto/cabine de comando num local confinado. Como se pode observar pela imagem, neste caso guincho, quadro elétrico e cabine de comando tiveram de ser colocados nas laterais da galeria por forma a dar acesso à projeção de betão.

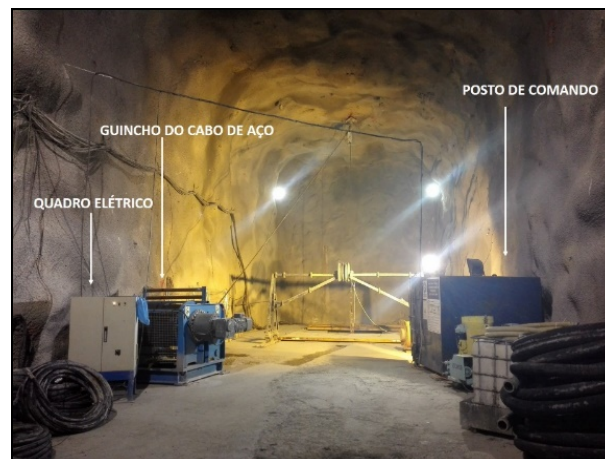


Figura 23. Disposição dos equipamentos numa obra (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

O posto/cabine de comando encontra-se equipado com um sistema computadorizado que serve para controlar o “Shaft Liner” no trabalho de projeção de poços. Este sistema possui uma mesa de controlo que é composta por uma chave ON/OFF que liga e desliga o sistema. Botões iluminados e

botões aos quais estão atribuídas diversas funções. Um “joystick” que permite atuar ao nível do guincho principal e da rotação da ponteira de projeção.

A todo este painel de instrumentos encontra-se associado um ecrã/“display” táctil com o qual poderemos interagir e efetuar alterações em alguns parâmetros.

Não menos importante que o descrito anteriormente, ainda nesta mesa encontra-se um botão de emergência que quando acionado obriga a parar todo o sistema por completo.

Na Figura 24 pode ser visualizado a mesa de controlo do “Shaft Liner” ligada.



Figura 24. Mesa de controlo do “Shaft Liner” (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Na Figura 25 encontra-se uma visão mais pormenorizada das luzes/botões da mesa de controle. Por forma a não sobrecarregar a figura foi efetuada uma legenda com as indicações e cada luz/botão.



- 1 – Chave ON/OFF que ativa todo o sistema de energia do “Shaft Liner”
- 2 – Indicador luminoso verde – assinala que o poço tem energia (robot e seus acessórios)
- 3 – Botão iluminado que liga a bomba hidráulica do robot de projeção
- 4 – Indicador luminoso vermelho – informa de alguma anomalia
- 5 – Botão iluminado com luz branca que liga/desliga a rotação automática da ponteira de projeção
- 6 – Botão que serve para colocar a zero o conta metros (temporização de 4 segundos)
- 7 – Botão de emergência
- 8 – Indicador luminoso verde – assinala que tudo está com energia
- 9 – Botão de desliga a bomba hidráulica do robot de projeção
- 10 – Botão de coloca o guincho a trabalhar de forma semiautomática
- 11 – Botão iluminado com luz branca que coloca o guincho a trabalhar em automático

Figura 25. Visão pormenorizada de botões iluminados/botões da mesa de controlo com legenda explicativa (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

A informação fornecida pelo ecrã/“display” táctil é bastante importante. Encontra-se dividida por áreas ou campos, para uma perceção mais simples. Sendo assim, temos um campo situado do lado esquerdo, designado por “estado” em que temos neste “menu” três botões com fundo cinza. Adotando o sentido descendente, o primeiro mostra as listagens de alarmes no segundo permite um acesso ao “setup” que nos permite aceder ao “menu” que controla os três enroladores (mangueiras, guincho, cabo de comunicações). Na Figura 26 pode observar-se o “menu” dos enroladores em que se encontram ativos (verde) o guincho do cabo de aço, o cabo de comunicações e inativo (vermelho) o enrolador das mangueiras. Neste caso quando se atuar no “joystick” apenas os que se encontram a verde vão enrolar/desenrolar consoante as necessidades do momento, ficando o enrolador das mangueiras parado.

O último botão dá a listagem em ecrã total da informação durante a projecção como data, hora, duração e distância.



Figura 26. Janela de comando dos enroladores (guincho do cabo de aço, cabo de comunicações e enrolador mangueiras) (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

No mesmo campo e acima dos botões cinza encontram-se informações acerca das comunicações entre poço, central e guincho. Existe informação que avisa se algum botão de emergência está acionado, indicação do relé térmico do motor do robot, a indicação se o robot se encontra preso com indicação do peso a ser exercido no mesmo e também informação acerca do relé de fases. Todos estes itens têm de estar com indicação a verde, se algo não está a funcionar corretamente passam a vermelho.

No campo central existe a informação relativa à posição da ponteira de projeção fornecida em graus e um esquema gráfico indicativo da sua rotação. É ainda apresentada a sua velocidade, que tocando no ecrã nessa zona abre uma janela permitindo atuar na velocidade de rotação da ponteira em percentagem (0% – 100%).

Imediatamente abaixo temos o conta metros que nos indica a profundidade a que se encontra o robot no poço. Sempre que o robot entra à boca do poço tem de se colocar o contador de metros a zero (partindo do princípio de que o zero é a boca do poço). Existe também a possibilidade de alterar a velocidade de descida/subida do guincho que varia de 1 a 5. Para o efeito basta tocar no ecrã onde diz velocidade.

Do lado direito do ecrã existe mais um campo que nos transmite informação entre que ângulos estamos a projetar e o tempo de projeção.

Quando o “Shaft Liner” se encontra a trabalhar em automático pode ser definida o passo do avanço e o número de passagens pretendidas. Teremos também a informação dos metros projetados.

Em baixo existe parcialmente um resumo das atividades mais recentes com indicação da hora, data tempo que durou e metros projetados.

Na Figura 27 encontra-se a representação do ecrã com a informação descrita anteriormente.

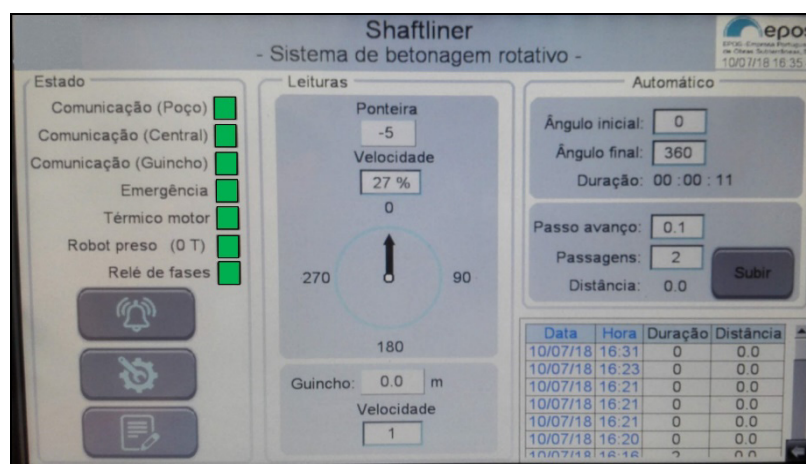


Figura 27. Ecrã de comando do “Shaft Liner” com janela principal onde pode ser visualizada toda a informação (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Ligado a este computador está, ainda, o sistema de gravação de vídeo e o monitor onde se pode visualizar toda a informação transmitida pelas câmaras de vídeo instaladas no corpo do robot de projeção.

Por intermédio do computador tem-se acesso às gravações efetuadas pelas câmaras de vídeo, que podem ser retiradas facilmente para não sobrecarregar o disco e podem ser posteriormente organizadas num ficheiro digital para incluir qualquer relatório que seja necessário ou servir de evidência caso de necessidade.

Na Figura 28 podemos ver todo o conjunto que integra os comandos do “Shaft Liner” dando destaque para o gravador de vídeo e o monitor onde se podem ver as imagens das 4 câmaras. Sempre que se pretender, ao clicar sobre a imagem de uma das câmaras, com o auxílio do rato, passamos a ver a mesma em ecrã completo existindo ainda a possibilidade de efetuar zoom nessa mesma imagem.

Já na figura seguinte – Figura 29, são imagens do interior de um poço visualizadas a partir do posto de comando.



Figura 28. Instrumentos de comando do “Shaft Liner” (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

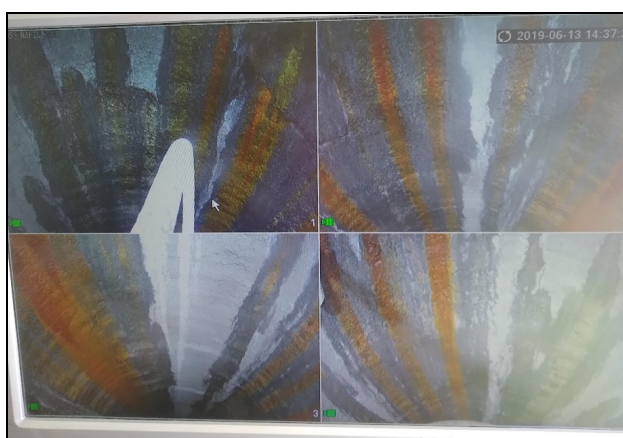


Figura 29. Imagens do interior do poço vistas a partir do posto de comando (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

4.2. Cuidados na aplicação de betão projetado

Antes de qualquer operação de aplicação de betão projetado existe uma série de trabalhos preparatórios cruciais para o sucesso de toda a operação.

Um dos recursos da EPOS SA, é utilizar todo o seu “know-how” em todo o seu trabalho, para conseguir resultados satisfatórios. Desta forma, o trabalho fica bem executado e o cliente ficará satisfeito com o produto final.

Para entender e ter-se sucesso com a projeção de betão utilizando o “Shaft Liner”, ter-se-á sempre de pensar antecipadamente na obra em si. Terá de ser efetuada uma análise, por forma a preparar a obra, minimizando as possíveis falhas que acarretam sempre custos associados.

Sendo assim, em termos de material de desgaste para este tipo de trabalho, poderá ser considerado toda a tubagem de betão, mangueiras de ar e aditivo. Teremos de garantir sempre uma reserva de pelo menos 20% a mais.

Também ter-se-á de garantir um stock de pelo menos 1 destorcedor (peça de ligação entre manilhas robot/cabo de aço), 5 ponteiros de projeção, 2 curvas metálicas (aplicadas junto à ponteira de projeção), 1 tubo em aço (interior do corpo do robot), 4 esquis, 8 braços extensíveis (de acordo com o diâmetro do poço), 1 cabo de comunicações, +20% de abraçadeiras metálicas para tubaria, +20% de abraçadeiras técnicas de fixação ao cabo de aço, 1 câmara de filmar, 4 domos das câmaras.

É necessário executar um projeto de montagem da plataforma técnica, posto de comando e poço, em planta e alçado, acompanhado sempre com nota técnica dos cálculos justificativos.

Adquirir lingas, estropos e manilhas, consoante os cálculos da nota técnica, garantindo desta forma que quando as tensões aplicadas forem superiores à carga de rotura, ou estas estejam danificadas, não sejam utilizadas de forma alguma.

Pensando no trabalho por turnos, para integrar a equipa de trabalho tem de existir um encarregado, um mecânico e um eletricista pelo menos num turno. Um chefe de equipa e 4 manobreadores por turno. As manutenções do equipamento são fundamentais para uma boa operação. Todo o apoio do mecânico e do eletricista é de extrema importância para garantir uma boa execução das manutenções. O encarregado ou chefe de operações é importante para coordenar os trabalhos com o cliente, fiscalização e entre chefes de equipa.

Ainda parte integrante da equipa terá de existir um técnico de SHST que para além de todo o acompanhamento em obra, deverá efetuar as verificações do DL 50/2005 dos equipamentos e da

sua montagem. Igualmente a cargo deste técnico, será a divulgação/formação da IT específica para esta operação, por todos os trabalhadores envolvidos nos trabalhos.

No respeitante à bomba de betão e compressor têm de ser escolhidos em função do trabalho a executar. Se o poço tiver uma profundidade até 50 metros poderá usar-se uma bomba de betão de pistões via húmida. No caso de o poço ter uma profundidade entre os 50 e 100 metros poder-se-á utilizar uma bomba de betão de rotor via húmida e um compressor de 7 bar e 12 m³/min de caudal. Acima dos 100 metros de profundidade convém utilizar uma bomba de betão de rotor via húmida e um compressor de 12 bar e 23 m³/min de caudal. Depois da barreira dos 300 metros é necessário aferir se 12 bar e 23 m³/min de caudal são suficientes para efetuar a projeção.

As bombas possíveis que foram equacionadas para efetuar os trabalhos dos poços eram duas. Uma pertence à frota da EPOS SA – OCMER 046 e outra era da frota de aluguer – ALIVA 257 Top. As características das duas bombas encontram-se descritas no Quadro 2, e as bombas correspondentes na Figura 30.

Um dos fatores a ter em conta é a distância horizontal necessária percorrer entre a localização da bomba de betão e o centro do poço. Não menos importante será a distância vertical a percorrer entre a bomba e o topo do cavalete/pórtico.

Convém o “Shaft Liner” estar equipado com câmaras IR de alta resolução, por forma a ter-se uma imagem mais nítida dentro do poço.

Para a projeção de betão a ponteira deverá estar entre 1 e 1,5 m de distância da parede de projeção. Somente desta forma se conseguirá uma espessura uniforme e boas qualidades de resistência. Se as distâncias forem superiores, além do referido anteriormente, aumentamos significativamente o desperdício (Luís, 2018).

Por forma a evitar as reflexões, a distância ideal, entre a ponteira de projeção e a parede a ser projetada deve ser de cerca de 1m. A quantidade de material que não adere é significativamente influenciada pela distância de projeção, como se pode observar pela Figura 31 a).

A velocidade de projeção é também importante, pois uma velocidade demasiado baixa resulta de uma saída de material aos “soluços” e não em fluxo contínuo. Por sua vez uma alimentação demasiada rápida causa o entupimento da linha de betão ou da própria bomba. Na Figura 31 b) encontra-se o gráfico que relaciona a perda de material com a velocidade de projeção.

A reflexão também é influenciada pelo ângulo efetuado entre a ponteira com a horizontal – Figura 32. Em poços verticais a posição será sempre horizontal, mas em poços inclinados isso já não se verifica (Gomes et al., 2010).

As características do betão vão influenciar bastante o trabalho da projeção. Após algumas tentativas, umas sem outras com sucesso, chegou-se à conclusão de que a receita de betão projetado normalmente usada é um C 30/37 S5.

O “Slump” terá de ser obrigatoriamente 260 mm ou superior. Caso seja inferior aumenta muito o risco de encravamento na linha. No Quadro 3, encontram-se representadas as classes de betão.

Quadro 2. Características das bombas de betão (adaptado das fichas técnicas dos equipamentos OCMER e ALIVA 257 Top).

	OCMER 046 (EPOS SA)	ALIVA 257 Top (frota aluguer)
Velocidade (rpm)	1400 – 4200	720 – 2000
Capacidade Rotor (L)	18	12
Débito (m ³ /h)	4,74 – 15,79	3,60 – 9.60
Potência elétrica/motor (kW)	11,8	3
Distância Horizontal máxima – via húmida (m)	60	40
Distância Vertical máxima – via húmida (m)	30	15
Consumo Ar distância horizontal de 30m (m ³ /m)	20	10
Doseador Aditivo	Automático	Manual
NOTA: Doseador de aditivo automático aumenta na proporção com a velocidade da bomba, enquanto o manual não.		



Figura 30. Bombas de betão da frota EPOS SA e frota aluguer (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Quadro 3. Classe do betão (segundo BASF, 2014).

Classe	Slump (mm)	Obs.
S1	10 - 40	
S2	50 -90	
S3	100 -150	
S4	160 - 210	S4 - S5 recomendados para betão projetado
S5	≥ 220	

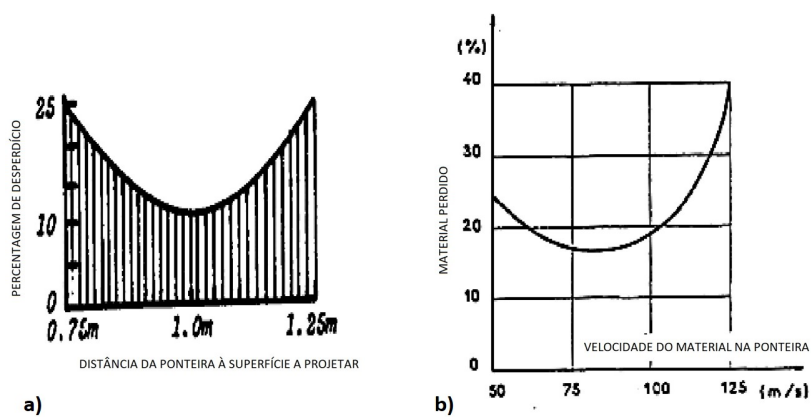


Figura 31. **a)** Relação das perdas com a distância da ponteira à superfície a projetar; **b)** Relação das perdas com a velocidade do material na ponteira de projeção (adaptado de Gomes et al., 2010)

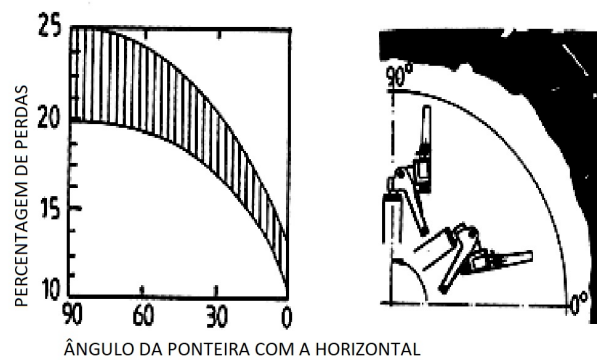


Figura 32. Efeito do ângulo entre a ponteira de projeção e a horizontal (adaptado de Gomes et al., 2010).

O cimento a utilizar na composição do betão deverá ser um Tipo II 42,5 ou Tipo I. Nunca utilizar um cimento Tipo III ou IV devido à enorme adição de escórias e cinzas volantes, diminuindo a ação do acelerador de presa. Não adicionar cinzas volantes à mistura do betão projetado. É considerado ligante, mas não atua como acelerador de presa.

Em termos de agregados deve ser dada preferência aos rolados e não aos britados. Os agregados britados aumentam consideravelmente o atrito nas mangueiras e dificultam a fluidez do betão.

A máxima dimensão do agregado ideal que incorpora o betão projetado deverá ser de 6 mm, no limite 12 mm. Caso a dimensão ultrapasse os 12 mm vai aumentar o risco de encravamento da linha.

Usar sempre duas areias (grossa e fina) e não apenas uma. Deverão ser de rio e lavadas. As areias de britagem – excedentes das britas, e pó de pedra, adicionadas à mistura vão consumir muita água. Nota-se na aplicação que o uso de pó de pedra nas composições origina um aumento de viscosidade do betão e diminui a fluidez.

É aconselhado usar um super-plastificante na mistura de betão. É um forte redutor de água e assegura boa trabalhabilidade no betão, ao contrário dos tradicionais plastificantes para betão estrutural.

A quantidade de cimento a utilizar na mistura deverá ser superior a 400 kg/m³. Ter-se-á de ter uma garantia das resistências necessárias, do fecho da curva granulométrica nos valores mais baixos, da fluidez e trabalhabilidade do betão.

Adquirir um acelerador de presa “alkali-free” em quantidade suficiente para a quantidade de betão estimada. Normalmente o utilizado, a título de exemplo, é o da BASF SA 160 ou 167. Para o cálculo do acelerador de presa dever-se-á contar com 10% do consumo de cimento em peso.

A quantidade de betão estimada depende do diâmetro do poço e da espessura a colocar. No entanto, deverá ter-se atenção de que o desperdício ronda os 100%, pelo que é necessário “colocar” o dobro do betão teórico calculado.

Relativamente à aplicação de fibras metálicas ter-se-á de ter uma quantidade suficiente para a quantidade de betão estimada. Normalmente o tipo de fibras utilizadas é “Dramix” 3D 65/35BG.

O consumo de fibras metálicas é de 15 kg/m³ de betão. Em quantidades superiores aumenta-se a probabilidade de encravamento da linha devido à formação de novelos de fibras (Luís, 2018).

Na Figura 33 podemos ver as fibras e os novelos que se formam e são causadores de entupimentos da tubagem.



Figura 33. Fibras metálicas para betão projetado. A figura do meio é um novelo que se formou e entupiu a linha de betão (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Uma das formas de aumentar a resistência à tração do betão projetado é a adição de fibras de aço na sua composição, bem como faz aumentar a sua flexibilidade durante as primeiras horas após a aplicação enquanto existe a descompressão e movimentos no maciço rochoso. O teor em fibras varia entre 2 e 7% em peso verificando-se que acima deste valor existem dificuldades na aplicação devido a entupimentos da linha de betão. Existem diversos tipos de fibras, nylon, vidro, polipropileno, etc., mas as mais utilizadas são as fibras de aço. A utilização de fibras no betão projetado vai induzir um maior desgaste no mangueirão e por vezes pode ser causadora de entupimentos indesejáveis. Existem diversas formas e tamanhos de fibras, mas as mais utilizadas são de 30 ou 40 mm de comprimento e 0,5 mm de diâmetro (Gomes et al., 2010).

A resistência do betão projetado varia com o tipo de fibra aplicada, Poder-se-á para as fibras de aço destacar as seguintes propriedades (Gomes et al., 2010):

- **Comprimento da fibra** – o comprimento da fibra deve ser 2,5 a 3 vezes maior que a máxima dimensão do agregado, não devendo ultrapassar os 40 mm para evitar obstrução da linha de betão.
- **Diâmetro da fibra** – desde que a não rotura seja garantida, o diâmetro da fibra deve ser o menor possível. A utilização de fibras com menor diâmetro conduz a um aumento da quantidade de fibras para o mesmo volume de betão, com conseqüente aumento da eficiência pelo efeito da dispersão. A fibra deverá apresentar uma uniformidade do diâmetro de forma a não ultrapassar a tolerância de aproximadamente 0,03 mm.

- **Esbelteza (relação entre o diâmetro e comprimento)** – as fibras mais compridas são as mais eficientes que as fibras curtas, contudo, a utilização destas, pode diminuir a trabalhabilidade do betão. A esbelteza deverá ser superior a 45.
- **Resistência à tração e módulo de elasticidade do aço das fibras** – a resistência à tração deve ser superior a 1.000 MPa e o módulo de elasticidade $E > 200.000$ MPa.
- **Dosagem** – de acordo com a esbelteza da fibra as dosagens mínimas devem ser determinadas recorrendo-se à teoria de Mc. Kee, considerando os diferentes coeficientes de segurança.

No Quadro 4 encontra-se representado a dosagem mínima recorrendo à teoria de Mc. Kee e tendo em conta os diversos coeficientes de segurança.

Quadro 4. Representação da dosagem mínima de fibras recorrendo à teoria de Mc. Kee e tendo em conta os diversos coeficientes de segurança (adaptado Gomes et al., 2010).

$\lambda = d_f / l_f$ (esbelteza)	45	50	55	60	65	Fator Segurança	Energia Absorvida (Joules)
	Kg/m ³						
	43	34	29	24	20	1,40	500
	53	43	35	30	25	1,50	700
	64	52	43	36	31	1,60	1.000
	71	58	48	40	34	1,66	1.250

Os valores da energia absorvida são indicativos para o betão da classe C30/37 (adaptado de Gomes et al., 2010).

4.3. Projeção de betão

A projeção de betão com “Shaft Liner” engloba sempre três fases. Poderemos designar essas fases como sendo inicialmente uma fase preparatória, uma segunda que podemos designar por fase de ensaios e a última fase que será a de operação concretamente dita. Seguidamente encontram-se descritas as três fases (Luís, 2018).

4.3.1. 1ª fase – Preparatória

Após estar tudo montado e pronto a funcionar, a primeira operação a ser efetuada será descer e subir o robot de projeção dentro do poço, levando-o até ao fundo do poço a projetar. Embora o guincho do cabo de aço tenha um cabo anti torção, este deve ser todo desenrolado do tambor e voltar a ser enrolado já com o próprio peso do robot de projeção. Esta operação deverá ser efetuada apenas com o cabo de aço e o de comunicações. Para esta operação não deverão ser incluídas as mangueiras de ar e aditivo nem o mangueirão do robot.

No decorrer da operação anteriormente descrita tem de ser efetuada uma inspeção visual ao cabo de aço por forma a detetar algum filamento danificado ou alguma entaladela que possa colocar em risco o desenrolar do trabalho de projeção.

Durante a descida/subida podemos averiguar como se encontra o estado do poço a ser projetado. Como é possível efetuar a gravação de imagem com o “Shaft Liner” dever-se-á efetuar a gravação das mesmas. Desta forma ficamos com a possibilidade de poder visualizar posteriormente em que estado se encontrava o poço.

Com esta descida poderemos ter de afinar o comprimento dos braços por forma aos esquis estarem com as rodas apoiadas nas laterais do poço. É conveniente que as rodas dos esquis estejam em contato com as paredes do poço. Nem sempre isto será possível pois, poder-se-á dar o caso, de o poço a ser intervencionado se tratar de uma reabilitação. Normalmente nestes casos de reabilitações de poços encontram-se algumas zonas geotecnicamente instáveis e em alguns casos algumas derrocadas. Situações destas originadas pela exposição constante ao ar, infiltrações de águas e a própria decomposição dos terrenos. São situações que terão de merecer certamente maior atenção e cuidado durante a projeção estando sempre atento à sua evolução enquanto o poço estiver a ser alvo de intervenção.

Se algum esqui se encontrar danificado ou empenado deverá proceder-se imediatamente à sua substituição por um dos suplentes. Somente depois se poderá descer o equipamento ao poço.

Essencial a este trabalho é ter-se uma excelente intensidade luminosa. Será necessário verificar se as luzes são suficientes e se encontram bem direcionadas para os locais que pretendemos. O “Shaft Liner” encontra-se equipado com 8 holofotes na parte inferior e mais 4 na parte superior. Estes mesmos direcionados para locais críticos que necessitam de constante monitorização e todos com elevado índice de proteção – IP 67.

A Figura 34 evidencia os holofotes colocados no robot de projeção bem como o seu poder de iluminação no interior do poço.



Figura 34. Holofotes do robot de projeção e seu poder de iluminação (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Da mesma forma deveremos proceder em relação às câmaras verificando a sua orientação, a sua limpeza e se estão prontas para filmar. Tem de ser garantida uma boa visibilidade. Após cada período de projeção têm de ser limpos os domos das câmaras e se eventualmente algum se encontrar danificado terá de ser substituído. Vão ter tendência a ficar arranhados devido ao ressalto de agregados oriundos do próprio betão projetado.

O destorcedor (peça que liga duas manilhas, a do robot e a do cabo de aço), os engates dos braços e os esquis devem estar completamente limpos e devidamente lubrificados – Figura 35.



Figura 35. Destorcedor – peça que liga o “Shaft Liner” ao cabo de aço (peça laranja) e indicação dos pontos a lubrificar (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Para conservar o equipamento da incrustação provocada pela própria projeção de betão, e provocada por águas provenientes do maciço que circulam no terreno e drenam automaticamente para o poço, antes de qualquer operação no interior do poço deve ser aplicado óleo descofrante em todo o equipamento (robot de projeção).

É bastante importante efetuar uma verificação às ligações e montagem da curva flexível que sai pela parte de baixo do robot de projeção, bem como a curva metálica, a ponteira de projeção e o difusor. Uma vez que o movimento rotacional da ponteira de projeção é efetuado dos 0 aos 360 graus e depois efetua o movimento inverso ($360^\circ - 0^\circ$) tem de ser verificado se com a rotação não provoca um estrangulamento o mangueirão flexível bloqueando a passagem de betão.

Antes de baixar o equipamento dever-se-á preparar e limpar todas as mangueiras e mangueirões, testando tudo individualmente por forma a verificar o seu bom funcionamento. Juntamente devem ser inspecionados os engates entre as mangueiras e também tem de ser alvo de inspeção todas as abraçadeiras (mangueirão de betão e técnicas) (Luís, 2018).

Na Figura 36, encontra-se indicado as zonas a serem verificadas na parte inferior do robot de projeção.

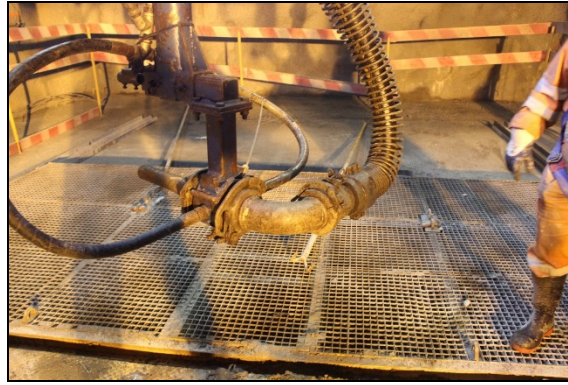


Figura 36. Pontos a serem verificados - mangueirão flexível, curva metálica, difusor e suas ligações às mangueiras de ar e aditivo, ponteira de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

4.3.2. 2ª fase – Ensaios e posicionamento do “Shaft Liner”

O fato de descer o equipamento ao poço com a montagem no momento das mangueiras e mangueirão não permite realizar os testes necessários e obrigatórios. Uma mangueira ou mangueirão poderá encravar de um momento para o outro e irá anular toda a operação.

Toda a linha (mangueirão de betão, ar e aditivo) devidamente engatada deverá ser sujeita a ensaio com injeção de água. Ter-se-á de ter especial atenção à linha de aditivo por possíveis cristalizações no interior da mesma. Após o teste com água saberemos de imediato se existem obstruções ou não. Somente após ter sido ensaiada com água poderemos ensaiar a mesma com ar. Em caso de obstrução da linha ou de esta se encontrar dobrada, a água não vai passar e desta forma evita-se uma acumulação de ar sob pressão na mesma que se torna bastante perigoso caso rebente ou exista um recuo do ar comprimido.

Antes de a bomba de betão ser utilizada tem de ser devidamente ensaiada. Efetua-se o ensaio com água se estivermos a operar uma bomba de pistões e com ar e água de estivermos perante uma bomba de rotor.

Independentemente de que bomba de betão se tratar, tem de ser colocada uma grelha metálica de 20 x 20 mm na boca da tremonha da bomba. Esta grelha retém a passagem de pedras de maiores dimensões bem como possíveis novelos de fibra metálicas.

Na Figura 37 encontra-se uma amostragem de pedras que podem vir misturadas no betão projetado. Isto acontece frequentemente quando se está a trabalhar com uma central que não produz unicamente betão projetado. Pode também dar-se o caso de estas pedras se encontrarem já dentro das autobetoneiras (pedras ou pedaços de betão seco que se desprende das lâminas).



Figura 37. Pedras encontradas na amassadura de betão projetado retidas pela grelha da tremonha da bomba de betão (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Após todos os testes anteriormente descritos terem sido efetuados, o operador a partir da cabine de comando começa a descer o robot de projeção por forma a posicionar o mesmo na área a projetar.

Durante todo este procedimento de posicionamento do robot o operador tem de estar constantemente a olhar para o computador verificando visualmente por intermédio das camaras instaladas, que não ocorre nenhum encravamento durante o movimento descendente do robot.

Na Figura 38 pode-se ver o operador na cabine de comando a baixar o robot de projeção tomando a devida atenção nas imagens transmitidas pelas 4 câmaras.



Figura 38. Operador na cabine de comando a descer o robot de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Na eventualidade de uma falha humana, existe colocado entre o robot e o destorcedor do cabo de aço, um sensor de carga.

Este sensor de carga funciona tanto no movimento descendente como ascendente. Portanto, abaixo ou acima de valores previamente programados, consoante o robot desce ou sobe

respetivamente, atua ao nível do guincho principal obrigando-o a parar de imediato fazendo soar um alarme.

Na Figura 39 podemos ver o sensor de carga utilizado e instalado no robot de projeção.



Figura 39. Sensor de carga utilizado no robot de projeção (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

No caso de o robot de projeção ficar encravado nas paredes do poço ter-se-á de acionar o desencravamento no computador e manualmente subir/descer o equipamento com muito cuidado até ficar desencravado. Somente após estar garantido o desencravamento, é que poderemos retomar os trabalhos, por forma a efetuar o posicionamento do robot na zona pretendida (Luís, 2018).

4.3.3. 3ª fase – Operação

Estando o robot posicionado na cota correta para projetar, tem de se ter sempre presente que se a iluminação falhar, as comunicações com o robot se perderem ou existir alguma falha na rotação da ponteira de projeção, tem de se parar de imediato o trabalho e efetuar a subida do equipamento. Antes de iniciar a projeção do poço será sempre necessário efetuar uma lubrificação da linha em função da profundidade a que nos encontramos a projetar. A lubrificação da linha deve ser sempre efetuada com água e calda de cimento. No Quadro 5 encontra-se representada a lubrificação indicada para a linha de betão.

Quadro 5. Tipo de lubrificação da linha de betão projetado (adaptado de Luís, 2018).

PROFUNDIDADE (metros)	TIPO DE LUBRIFICAÇÃO	
	ÁGUA (minutos)	CALDA DE CIMENTO – relação 1/5 (m ³)
0 – 40	10	1
40 – 150	10	2
150 – 300	10	4

Durante a lubrificação da linha deve-se manter a grelha na tremonha da bomba de betão, pois a calda de cimento não devia, mas pode conter pedras.

Após a lubrificação da linha deve-se iniciar a projeção de betão. Projetar 4 m³ de cada vez. O acelerador de presa deve apenas ser ligado quando começar a sair betão na ponteira. Caso seja ligado antes, corre-se o risco de encravar o sistema.

Durante a lubrificação da linha e no início da projeção sem acelerador o robot deve situar-se 1 metro abaixo do início da zona de projeção. Entre cada carro terá de se desligar o acelerador de presa e fazer uma leitada de cimento. Apenas voltar a ligar o acelerador quando voltar a sair betão na ponteira.

Não convém usar a última lâmina da autobetoneira pois pode conter pedras e novelos de fibras e se entrarem na linha facilmente a entopem. Apenas projetar 3 carros de 4 m³ de cada vez. O ideal será mal sai um carro entra logo outro, por forma a termos uma continuidade e não ter de interromper a projeção de betão.

Após a projeção de 12 m³ de betão começa-se a ter problemas de visualização com a sujidade instalada nos domos das câmaras, e já nem simplesmente a água a retira.

Terminada a projeção dos 12 m³ de betão, e ainda com o robot no interior do poço deve-se baixar o mesmo para uma zona não projetada e proceder à lavagem de toda a linha com água e ar. Ter especial cuidado com a lavagem da mangueira de aditivo.

Depois de todo o circuito estar na totalidade bem lavado, sobe-se o robot até à boca do poço e auxiliado pela grua coloca-o ao lado da plataforma onde poderá ser intervencionado. A partir daqui existe todo um processo de limpeza, que inclui desmontar ponteira, difusor e curva metálica para poder ser tudo lavado. Lavar todo o robot exteriormente e efetuar a limpeza dos domos das câmaras. Findo este trabalho voltar a lubrificar todos os pontos que carecem de tal e pulverizar com óleo descofrante.

Desta forma o robot fica pronto para a próxima projeção e será somente voltar a repetir todas as operações anteriormente descritas (Luís, 2018).

Como já foi referido, a projeção de betão pode ser efetuada ou por uma bomba de pistões ou por uma bomba de rotor. De uma forma simplificada, poderemos ver no esquema da Figura 40 o princípio básico de cada uma.

A mistura de betão utilizada pode ser via seca ou via húmida. Forçosamente se utilizar uma bomba de pistões deve-se recorrer somente à projeção por via húmida. Além do tipo de bomba ser uma condicionante à escolha, possíveis problemas relacionados com a aplicação (profundidade no caso dos poços), tempo de espera em obra e/ou transporte, poderá conduzir à escolha. Nas obras da EPOS SA, acompanhadas ao longo deste período a mistura utilizada foi sempre via húmida e a bomba selecionada foi uma bomba de rotor – ALIVA 257 Top.

A grande diferença entre as duas bombas é que a de rotor, para além de poder trabalhar com via seca ou húmida, transmite o betão pelo mangueirão por meio de ar comprimido. Na bomba de pistões o betão é bombeado pelo mangueirão e apenas o ar comprimido que flui pelo difusor provoca o spray na ponteira de projeção. Estas bombas são normalmente utilizadas para grandes quantidades de betão e são bem maiores comparativamente às bombas de rotor. Desta forma, para espaços confinados será sempre bom utilizar uma bomba de rotor (Hofler et al., 2011). Relembrando o que foi descrito anteriormente, acima dos 50 metros de profundidade o mais aconselhável é utilizar uma bomba de rotor.

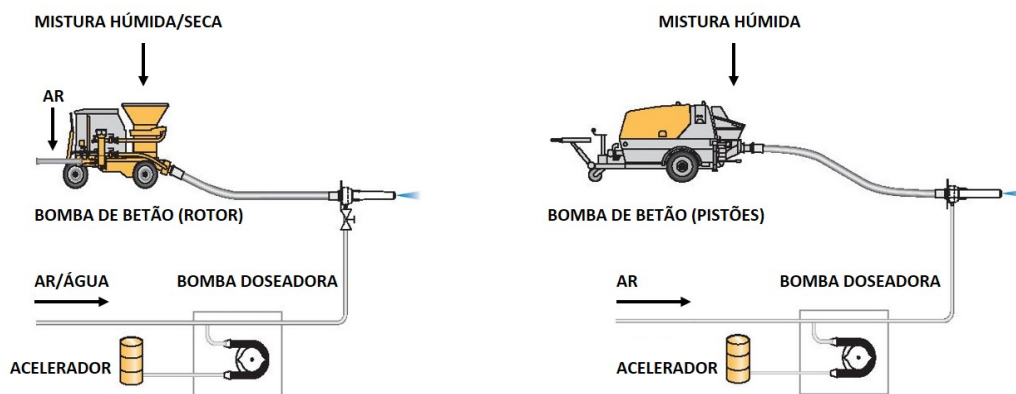


Figura 40. Tipos de bomba e betão (adaptado de Hofler et al., 2011).

A projeção de poços pode ser efetuada no sentido ascendente ou no sentido descendente. Na primeira opção ter-se-á de posicionar o robot 1 metro abaixo do início da projeção. Mal comece a projeção, já com adição de aditivo, inicia-se a subida do robot. Conforme este vai subindo as linhas técnicas também vão. Conforme estas passam na plataforma técnica são retirados segmentos de mangueirão, que são imediatamente lavados com água e arrumados em local designado para o efeito.

Se a opção for no sentido descendente o robot terá de ser posicionado 1 metro acima da última projeção. O mangueirão terá de já estar todo engatado e ao passar pela plataforma técnica, apenas será necessário fixar com as abraçadeiras técnicas as linhas e deixar que estas acompanhem a descida do robot de projeção conforme este vai projetando.

Em termos de projeção não faz diferença, mas vai-se refletir em termos de trabalho para os operários, porque as lavagens da linha de betão com ar e água, têm de ser efetuadas fora dos locais que foram recentemente projetados.

Sem dúvida alguma que para a projeção de poços o mais aconselhável é uma bomba de betão de rotor, com composição de betão via húmida, porque essencialmente o betão é transportado na tubagem por meio de ar comprimido.

4.4. Segurança – Cuidados/Riscos/Mitigação

A EPOS SA tem como preocupação principal as questões a nível de segurança, no sentido de proteger todos os seus trabalhadores. Desta forma o departamento de formação da empresa está sempre em acompanhamento constante, ministrando diversas formações aos trabalhadores.

Formações estas, que podendo conter as duas vertentes, sala e em contexto de trabalho, vão ter como finalidade instruir o formando para que o mesmo possa trabalhar em segurança. Sendo conhecedor dos riscos que corre ao efetuar determinadas tarefas, e sabendo como se proteger vai eventualmente eliminar alguns destes riscos. O objetivo é sempre “Zero Acidentes” e é com esta meta, em mente, que ter-se-á de trabalhar.

Pelo fato deste trabalho de projeção de poços ser um trabalho demasiadamente específico onde estão implícitos diferentes riscos, foi criado uma instrução de trabalho específica. Todas as pessoas envolvidas no trabalho do “Shaft Liner”, têm forçosamente de ter todas as instruções de trabalho adequadas, para além desta já mencionada.

Começa então pela formação dos trabalhadores, a aprendizagem relacionada com a projeção de poços com “Shaft Liner”. Posteriormente, existe um acompanhamento, por parte de um supervisor, em contexto de trabalho por forma a esclarecer alguns pontos sobre os quais ainda possam existir dúvidas.

Tarefas envolvendo vários riscos, que têm forçosamente de ser mitigados, para que não ocorram acidentes e se consiga atingir o objetivo de “Zero Acidentes”. Garantindo sempre, as condições de segurança e higiene no trabalho necessárias, ao bom desempenho de todas as funções e tarefas, dos trabalhadores afetos aos trabalhos.

4.4.1. Riscos associados

Quando se fala de riscos implícitos neste tipo de trabalho, teremos sempre de ter em conta as tarefas que se encontram associadas.

Ter-se-á como principais riscos desta atividade:

- Desprendimento e quedas de blocos;
- Soterramento de pessoas e máquinas;
- Queda de objetos e materiais;
- Choque com objetos;
- Atropelamento;
- Colisão entre veículos/equipamentos;
- Queda ao mesmo nível;
- Queda em altura (diferentes níveis);
- Eletrização/eletrocussão;
- Capotamento;
- Inalação de pó, fumos e gases;
- Incêndio;
- Perfuração;
- Corte;
- Entalamento/esmagamento;
- Projeção de componentes/betão/partículas;
- Contato com produtos e substâncias químicas;
- Queimaduras;
- Ruído;
- Lesões músculo-esqueléticas.

Como medidas de prevenção ter-se-á de garantir que:

- A operação deste tipo de equipamento só é permitida a trabalhadores habilitados para o efeito, com formação específica e autorização para o fazer;
- Os trabalhadores que realizam esta atividade, são responsáveis por assegurar o cumprimento de todas as regras de segurança transmitidas pela instrução de trabalho;
- Cabe à área da produção, manutenção mecânica/elétrica, qualidade, ambiente e segurança, a monitorização, controlo e correta implementação das mesmas, nas suas respetivas áreas;

-
- O supervisor responsável deverá estar apto para identificar os perigos e efetuar a avaliação de riscos, assim como aplicar os procedimentos de trabalho e instruções de trabalho para esta atividade,

Deve ainda analisar e considerar os seguintes riscos (EPOS SA, 2019):

- O trabalhador deve ter formação específica, e estar habilitado e autorizado para poder trabalhar, assim como poder avaliar os riscos, conhecer os procedimentos de trabalho para esta atividade;
 - Os equipamentos devem ser certificados, e estarem devidamente aprovados/autorizados para serem usados e estarem em bom estado de conservação;
 - Os documentos dos equipamentos, incluindo o manual de instruções deve estar disponível para consulta;
 - As ferramentas devem ser certificadas/aprovadas e adequadas para a função a realizar e devem encontrar-se em bom estado de conservação;
 - Os EPI's devem ser adequados, ajustados e estarem em bom estado de conservação/utilização. É obrigatório o uso permanente do equipamento de proteção individual adequados a esta atividade, principalmente fato de trabalho com propriedades refletoras no tronco e membros inferiores, capacete de proteção, óculos de proteção, luvas e botas de proteção. Nas zonas devidamente assinaladas, ainda será necessário o uso de arnês com linha de restrição, equipamento retrátil anti queda e capacete de proteção com jugular;
 - Materiais, produtos, acessórios e consumíveis devem estar disponíveis, calibrados (se aplicável), acessíveis e em bom estado de conservação/utilização;
 - Os produtos químicos devem estar devidamente armazenados, identificados e sinalizados, devendo estar disponíveis para consulta as fichas de segurança dos respetivos produtos;
 - Deve sempre confirmar-se a existência de condições adequadas para exercício da atividade no local de trabalho;
-
- É proibido operar o equipamento sob o efeito de álcool ou drogas;
 - A montagem do equipamento, operação e desmontagem devem ser efetuadas consoante o manual de instruções;
 - Não são permitidas alterações aos componentes de fábrica relativamente à segurança do equipamento que retire ou possa retirar a fiabilidade;
 - Não utilizar o equipamento se algum dispositivo de segurança se encontrar danificado ou estiver em mau estado de funcionamento. Desligar o equipamento sempre que seja detetada uma avaria. Todas as avarias devem ser reparadas de imediato. Qualquer falha ou anomalia deverá ser comunicada de imediato ao superior hierárquico;
 - É obrigatório efetuar e registar as verificações antes da utilização dos equipamentos de trabalho, na lista e verificação correspondente;
 - É obrigatório garantir a consignação da base do poço ou do local de trabalho no nível superior consoante as necessidades, antes do início dos trabalhos.

4.4.2. Cuidados a ter antes de projetar

Antes de se iniciar o trabalho com o equipamento de projeção deveremos:

- Planear adequadamente e antecipadamente com o supervisor do DO a execução dos trabalhos nos poços, garantindo a existência de uma autorização para iniciar os trabalhos que implicam riscos especiais;
- Realizar a verificação das condições de trabalho em obra,

Principalmente:

- Verificar se as consignações foram efetuadas;
 - Verificar todos os pontos de ancoragem e acessórios e fixação das estruturas;
 - Verificar o estado de conservação/manutenção de todas as estruturas;
 - Verificar todos os EPC's (guarda corpos, rodapés, linha de vida, plataformas de proteção, etc.);
 - Verificar todos os EPI's (sistemas retráteis anti queda, arneses, mosquetões, etc.);
 - Verificar o estado dos ganchos, manilhas, sensor de carga e cabo de aço;
-
- Preencher a lista de verificação de todos os equipamentos ("Shaft Liner", bomba de betão, compressor, multicarregadora),

Verificando:

- O estado geral do equipamento, peças danificadas ou desapertadas, o estado, aperto e estanquicidade das tubarias e juntas hidráulicas;
 - Estado dos pneus, sistema elétrico e/ou hidráulico;
 - Eventuais fugas (óleo, aditivo, entre outros);
 - Níveis de óleo lubrificante, entre outros;
 - A cabine de comando, em termos de mesa de controlo, extintores, estado e limpeza e arrumação;
-
- O operador antes de dar o equipamento como apto para desempenhar as suas funções, deverá experimentar todos os comandos e sistemas de segurança como por exemplo:
 - Testar a subida e descida do equipamento;
 - Verificar as câmaras de vídeo e o sistema de gravação de imagem;
 - Luzes e dispositivos de alarme (célula de carga);
 - Verificar os instrumentos indicadores (conta metros);
 - Identificar algum ruído anómalo;

-
- Caso detete alguma anomalia que possa colocar a segurança em causa, o operador deve parar imediatamente o equipamento. Deverá comunicar imediatamente ao seu superior hierárquico;

 - Proceder à montagem/instalação da unidade rotativa de projeção garantindo (EPOS SA, 2019):
 - Correta ligação das conexões elétricas e dos sistemas de instrumentação;
 - Correta montagem dos braços extensíveis e esquis;
 - Correta conexão da unidade de projeção ao cabo principal;
 - Adequada ligação e disposição do mangueirão de projeção, bomba de betão, bomba de aditivo, compressor e comunicações;
 - A funcionalidade e operacionalidade de todas as estruturas e equipamentos;
 - Limpeza geral do equipamento de projeção e aplicação de óleo descofrante;
 - Organização e sinalização de tubarias por forma a existir uma passagem livre e desobstruída;
 - Garantir a desativação, depressurização e consignação das fontes de energia antes de efetuar alguma desconexão, ou trabalhos de manutenção no sistema elétrico, ar comprimido e linhas de betão e aditivo;
 - Todas as uniões, ligações, ganchos, etc. devem ser estanques e dispor de dispositivos adequados para impedir libertação/projeção intempestiva de elementos em carga.

4.4.3. Cuidados durante a projeção de BP

Com o “Shaft Liner” pronto a trabalhar (EPOS SA, 2013, 2019):

- De acordo com o definido em obra, introduzir o robot dentro do poço;
- Descer o equipamento até à zona de projeção;
- Assegurar que as redes técnicas (mangueirão de betão, mangueira de aditivo e ar, cabo de comunicação) ficam bem fixas ao cabo de aço principal pelas abraçadeiras técnicas;
- Encontrando-se a unidade de projeção na cota superior do segmento a projetar:
 - Efetuar uma descida para observação remota da zona a ser projetada por intermédio das câmaras instaladas no robot;
 - Durante a descida é necessário acoplar mangueirão de betão e as mangueiras de ar e aditivo;
 - Subir o robot de projeção até à cota superior de projeção e iniciar uma nova descida bombeando apenas água ao longo de toda extensão a projetar com o objetivo de lavar a superfície a projetar;
 - Quando o robot chegar sensivelmente 1 metro abaixo da cota inferior de projeção dever-se-á efetuar a lubrificação da linha com calda de cimento;

-
- Após lubrificação da linha e começar a sair betão com aditivo na ponteira dever-se-á iniciar a subida do robot de projeção. Desta forma, fica a primeira camada de betão projetado, no sentido ascendente, no tramo escolhido e previamente lavado;
 - Se for necessário repetir o procedimento com outras camadas por forma a obter a espessura pretendida;
 - Sempre que forem detetadas anomalias na projeção de betão, dever-se-á parar de imediato o trabalho e comunicar ao superior hierárquico;
 - Não é permitido a presença de trabalhadores desnecessariamente junto as abraçadeiras que ligam os mangueirões, sem ter verificado o correto fecho do mesmo;
 - Assim, sempre que seja necessário, aceder à área destes elementos deve ser garantido um acesso restrito a todo pessoal, até que tenha sido garantido o estado de energia zero que para isso dever-se-á:
 - Parar a bomba de betão, fechar a tubaria de fornecimento de ar e aliviar a pressão residual;
 - Ainda na possibilidade de existir alguma pressão residual dentro do mangueirão, um único trabalhador deverá aproximar-se da abraçadeira a uma distância mínima de segurança e com um maço comprido ou outra ferramenta comprida abre a abraçadeira, por forma a que haja uma libertação de energia;
 - Seguidamente o trabalhador aplicará golpes de marreta no mangueirão para libertar possíveis bolsas de ar que ainda possam existir;
 - Sem que estas condições sejam garantidas não é permitida a presença de mais trabalhadores na zona de influência das abraçadeiras.

4.4.4. Obstrução da linha de betão

- Sempre que se detete alguma falha na chegada de betão á ponteira de projeção devem parar-se imediatamente os trabalhos em curso;
- Verificar se a falha de betão deve-se à falta de fornecimento por parte da bomba de betão;
- No caso de ter-se uma obstrução da linha de betão ter-se-á de a desconectar da bomba de betão, aliviando primeiramente a pressão (manobra de pré-abertura definida anteriormente);
- Somente após a despressurização será removida a linha de betão e se verifica a resistência da parede do mangueirão por forma a descobrir onde se encontra entupido;
- Localizado o local de encravamento, o mangueirão fica restrito a qualquer pessoa exceto ao trabalhador que vai proceder à abertura da abraçadeira;
- Este trabalhador além dos EPI's obrigatórios, terá de estar equipado com uma viseira para lhe proteger a cara;
- Somente depois poderá efetuar a abertura e continuar a desengatar o mangueirão (EPOS SA, 2019).

4.4.5. Cuidados após projeção de BP

Após a projeção de BP, ter-se-á de ter cuidado com (EPOS SA, 2019):

- A tubagem de betão e mangueira de aditivo que terá de ser passada por água e ar comprimido por forma a efetuar a limpeza de todo o circuito;
- O robot de projeção tem de ser retirado do interior do poço. Quando este estiver fora do poço as comportas do poço fecham-se como forma de consignaçoão.
- Colocar o robot de projeção sobre as comportas ou ao lado da plataforma técnica (segundo os equipamentos instalados em obra) e desacoplar o mangueirão de betão e mangueiras de aditivo e ar.
- Efetuar a limpeza geral da unidade de projeção bem como de todas as tubarias.

4.4.6. Riscos e medidas de mitigação

Em termos de identificação dos riscos relacionados com o local e equipamentos e suas medidas de mitigação poder-se-á referir o seguinte:

- **Requisitos para acesso à obra:**
 - **Existem vários riscos provocados por falta de formação/informação transmitida aos trabalhadores designados para a empreitada**

Medidas de mitigação:

- Garantir que os trabalhadores que já frequentaram a ação de formação "Indução de Segurança EPOS" ainda a tenham válida;
- Garantir que os trabalhadores frequentaram a ação de formação "Indução de Segurança EPOS", são conhecedores dos perigos/riscos inerentes às atividades a executar, estando também familiarizados com as medidas de mitigação a implementar durante a execução dos trabalhos;
- Garantir que os trabalhadores são conhecedores dos procedimentos instituídos para atuação em caso de emergência (acidente de trabalho, falha de energia elétrica no interior/exterior da mina, incêndio e explosão);
- Garantir que os trabalhadores são conhecedores dos contatos de emergência existentes, localização das ambulâncias e que dispõem de rádio portátil para comunicação com a supervisão direta;
- Garantir que os trabalhadores são conhecedores do procedimento instituído para circulação de equipamentos e veículos no interior do couro mineiro/obra;
- Garantir que os trabalhadores são conhecedores dos procedimentos instituídos para circulação pedonal no interior do couro mineiro/obra e em particular das regras instituídas para cruzamento com máquinas de produção;
- Garantir que os trabalhadores são conhecedores da política de consumo de álcool 0,00g/l instituída nas obras da empresa.

➤ **Preparação da frente de trabalho:**

- **Vários riscos provocados por desorganização, falta de planejamento e coordenação dos trabalhos**

Medidas de mitigação:

- Garantir que a sequência dos trabalhos seja efetuada de modo a evitar atividades sobrepostas e incompatíveis (por exemplo outras atividades inerentes ao ciclo de produção que não a atividade a desenvolver);
- Acesso/existência de autorização específica para realização do trabalho, ordem de serviço (por exemplo folha de pedido de betão projetado e/ou folha de autorização para a execução de trabalhos que envolvem riscos especiais);
- Garantir que o sinal rádio tem cobertura (verificar existência e integridade do cabo);
- Garantir a correta instalação de redes de alimentação;
- Garantir o adequado posicionamento, fixação, ligação, proteção e sinalização do quadro elétrico de frente;
- Garantir a fixação e proteção dos cabos elétricos contra agressões físicas e contatos com água.

- **Desprendimento e queda de blocos**

Medidas de mitigação:

- No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo (boca do poço), consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
- Formação e informação sobre o tema saneamento manual.

- **Soterramento de pessoas e máquinas**

Medidas de mitigação:

- Planear adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em poços/chaminés, garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
- No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo, consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
- Coordenar com o supervisor do DO, a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
- Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;

-
- Garantir através do supervisor do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos.

- **Choque/embate em objetos**

Medidas de mitigação:

- Eliminar/retirar possíveis obstáculos existentes na frente de trabalho;
- Sinalizar adequadamente os equipamentos de trabalho com os quatro piscas, luzes de intensidade mínima e rotativo intermitente ligado;
- Encaminhar os efluentes para o sistema de drenagem da área de trabalho;
- Organizar extensões, cabos elétricos e mangueiras de água;
- Primar pela organização, arrumação e limpeza.

- **Atropelamento**

Medidas de mitigação:

- Restringir a área a todos os trabalhadores que não estejam envolvidos nestes trabalhos;
- Cumprir o limite de velocidade estabelecidos (30km/h);
- Equipamentos de trabalho dotados de sinal acústico a preceder o arranque e sinal acústico de marcha atrás;
- Utilização permanente de dispositivo luminoso de sinalização (pirilampo), nas máquinas intervenientes;
- É expressamente proibido operar os comandos a partir do exterior do equipamento;
- Formação e informação sobre o tema condução defensiva.

- **Colisão entre veículos/equipamentos**

Medidas de mitigação:

- Eliminar/retirar possíveis obstáculos existentes na frente de trabalho e acessos;
- Encaminhar os efluentes para o sistema de drenagem da área de trabalho;
- Garantir a existência de caminhos de circulação em condições de segurança para os equipamentos de trabalho;
- A condução/manobra de equipamentos de trabalho deve ser feita de forma cuidada, respeitando as condições das vias de circulação de forma a não colocar em perigo a vida do condutor manobrador nem a de terceiros;
- Não estacionar o equipamento em local que possa diminuir a visibilidade de outros condutores manobradores;
- Respeitar e fazer respeitar a regra de prioridade dos equipamentos de produção face aos veículos ligeiros;

-
- Ao imobilizar/estacionar equipamentos de trabalho, calçar as rodas, engrenar uma mudança contrária à inclinação da estrada e desligar o motor;
 - Cumprir todas as regras de circulação impostas pelo código da estrada;
 - No cruzamento de equipamentos de trabalho com a estrada nacional é obrigatória a presença de dois trabalhadores a sinalizar o perigo de cruzamento de equipamentos de trabalho pela estrada, com a finalidade de sinalizar aos condutores de veículos que circulam pela mesma, o perigo de cruzamento de equipamentos de produção. Cada sinaleiro terá ao dispor uma raquete de sinalização, um lado terá a inscrição STOP para obrigar os condutores a cederem a prioridade aos equipamentos de produção e outra que estará pintada de verde cuja função será a de indicar a autorização de passagem;
 - Formação e informação sobre o tema condução defensiva;
 - Primar pela organização, arrumação e limpeza.
- **Queda ao mesmo nível**

Medidas de mitigação:

- Respeitar zonas de acesso e circulação;
 - Respeitar a regra dos três pontos de apoio ao subir e descer dos equipamentos de trabalho;
 - Verificar correta regularização da soleira;
 - Eliminar/retirar possíveis obstáculos existentes na frente de trabalho;
 - Encaminhar os efluentes para o sistema de drenagem da área de trabalho;
 - As quedas ao mesmo nível, de uma forma geral, são evitadas caminhando-se com precaução entre os obstáculos que representam as irregularidades naturais do terreno e caso a soleira esteja colmatada com água, arrastando-se os pés;
 - Primar pela organização, arrumação e limpeza.
- **Queda a diferente nível**

Medidas de mitigação:

- Planejar adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em chaminés garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
- Coordenar com o supervisor do DO a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
- Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;
- Colocar proteção coletiva em redor da abertura no solo por forma a evitar o acesso descontrolado de trabalhadores/outros animais selvagens à abertura no solo;

-
- Atender ao sentido de deslocação da massa de ar no interior do poço/chaminé. Sempre que os trabalhadores circulem em seu redor, têm de estar ancorados aos pontos fixos suportados no maciço de betão;
 - Garantir através do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos;
 - Durante a execução dos trabalhos e independentemente de as portas com abertura lateral da proteção coletiva estarem abertas ou fechadas, é obrigatório que todos os trabalhadores que estejam na envolvente do topo da abertura estejam equipados com arnês e aparelho anti queda auto retrátil devidamente ancorado a pontos fixos suportados no maciço de betão.

- **Eletrização/eletrocussão**

Medidas de mitigação:

- Respeitar a distância de segurança dos equipamentos de trabalho aos cabos elétricos e outras instalações elétricas;
- Caso seja necessário movimentar/proteger cabos elétricos/quadros, elétricos de frente, garantir a comunicação dessa necessidade ao supervisor do DO e aguardar a resolução da solicitação pelas equipas de trabalho competentes;
- Proceder à consignação das fontes de energia dos equipamentos de trabalho imediatamente antes de proceder à manutenção mecânica/elétrica de componentes do equipamento de trabalho.

- **Corte e perfuração**

Medidas de mitigação:

- Utilização de ferramentas ligeiras distribuídas pela empresa;
- Só é permitido utilizar e manusear ferramenta de corte (faca/navalha) em tarefas cuja utilização seja imprescindível e recomendável;
- Proteger objetos, ferramentas e acessórios pontiagudos. Estes deverão estar arrumados em locais próprios para o efeito;
- Formação e informação sobre o tema "Utilização de ferramentas ligeiras".

- **Incêndio**

Medidas de mitigação:

- Encaminhamento dos resíduos das frentes de trabalho para os locais específicos e designados pelo DO;
- Cumprir com o plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;

-
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento, nomeadamente estado de limpeza e ausência de materiais combustíveis depositados junto às partes quentes das máquinas;
 - Equipamentos de trabalho equipado com extintor de pó químico ABC de 6 kg.

➤ **Movimentação mecânica das cargas:**

- **Vários riscos provocados por desorganização, falta de planeamento e coordenação dos trabalhos**

Medidas de mitigação:

- Acesso/existência de autorização específica para realização do trabalho, ordem de serviço (é exemplo e aplicável: Folha de Pedido de Betão Projetado e/ou folha de autorização para a execução de trabalhos que envolvem riscos especiais);
 - Garantir que a sequência dos trabalhos seja efetuada de modo a evitar atividades sobrepostas e incompatíveis;
 - Garantir que o sinal rádio tem cobertura (verificar existência e integridade do cabo).
- **Desprendimento e queda de blocos**

Medidas de mitigação:

- No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo (boca do poço), consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
 - Formação e informação sobre o tema saneamento manual.
- **Soterramento de pessoas e máquinas**

Medidas de mitigação:

- Planear adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em poços/chaminés, garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
- No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo, consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
- Coordenar com o supervisor do DO, a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
- Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;

-
- Garantir através do supervisor do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos.

- **Choque/embate em objetos**

Medidas de mitigação:

- Eliminar/retirar possíveis obstáculos existentes na frente de trabalho;
- Sinalizar adequadamente os equipamentos de trabalho com os quatro piscas, luzes de intensidade mínima e rotativo intermitente ligado;
- Encaminhar os efluentes para o sistema de drenagem da área de trabalho;
- Organizar extensões, cabos elétricos e mangueiras de água;
- Primar pela organização, arrumação e limpeza.

- **Atropelamento**

Medidas de mitigação:

- Restringir a área a todos os trabalhadores que não estejam envolvidos nestes trabalhos;
- Cumprir o limite de velocidade estabelecidos (30km/h);
- Equipamentos de trabalho dotados de sinal acústico a preceder o arranque e sinal acústico de marcha atrás;
- Utilização permanente de dispositivo luminoso de sinalização (pirilampo), nas máquinas intervenientes;
- É expressamente proibido operar os comandos a partir do exterior do equipamento;
- Formação e informação sobre o tema condução defensiva.

- **Colisão entre veículos/equipamentos**

Medidas de mitigação:

- Eliminar/retirar possíveis obstáculos existentes na frente de trabalho e acessos;
- Encaminhar os efluentes para o sistema de drenagem da área de trabalho;
- Garantir a existência de caminhos de circulação em condições de segurança para os equipamentos de trabalho;
- A condução/manobra de equipamentos de trabalho deve ser feita de forma cuidada, respeitando as condições das vias de circulação de forma a não colocar em perigo a vida do condutor manobrador nem a de terceiros;
- Não estacionar o equipamento em local que possa diminuir a visibilidade de outros condutores manobreadores;

-
- Respeitar e fazer respeitar a regra de prioridade dos equipamentos de produção face aos veículos ligeiros;
 - Ao imobilizar/estacionar equipamentos de trabalho, calçar as rodas, engrenar uma mudança contrária à inclinação da estrada e desligar o motor;
 - Cumprir todas as regras de circulação impostas pelo código da estrada;
 - No cruzamento de equipamentos de trabalho com a estrada nacional é obrigatória a presença de dois trabalhadores a sinalizar o perigo de cruzamento de equipamentos de trabalho pela estrada, com a finalidade de sinalizar aos condutores de veículos que circulam pela mesma, o perigo de cruzamento de equipamentos de produção. Cada sinaleiro terá ao dispor uma raquete de sinalização, um lado terá a inscrição STOP para obrigar os condutores a cederem a prioridade aos equipamentos de produção e outra que estará pintada de verde cuja função será a de indicar a autorização de passagem;
 - Formação e informação sobre o tema condução defensiva;
 - Primar pela organização, arrumação e limpeza.

- **Queda ao mesmo nível**

Medidas de mitigação:

- Respeitar zonas de acesso e circulação;
- Respeitar a regra dos três pontos de apoio ao subir e descer dos equipamentos de trabalho;
- Os degraus de acesso à cabine devem estar limpos de areias, terras ou óleos, de forma a evitar riscos de queda;
- Primar pela organização, arrumação e limpeza.

- **Queda a diferente nível**

Medidas de mitigação:

- Planear adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em chaminés garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
- Coordenar com o supervisor do DO a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
- Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;
- Colocar proteção coletiva em redor da abertura no solo por forma a evitar o acesso descontrolado de trabalhadores/outros animais selvagens à abertura no solo;

-
- Atender ao sentido de deslocação da massa de ar no interior do poço/chaminé. Sempre que os trabalhadores circulem em seu redor, têm de estar ancorados aos pontos fixos suportados no maciço de betão;
 - Garantir através do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos;
 - Durante a execução dos trabalhos e independentemente de as portas com abertura lateral da proteção coletiva estarem abertas ou fechadas, é obrigatório que todos os trabalhadores que estejam na envolvente do topo da abertura estejam equipados com arnês e aparelho anti queda auto retrátil devidamente ancorado a pontos fixos suportados no maciço de betão.

- **Eletrização/eletrocussão**

Medidas de mitigação:

- Respeitar a distância de segurança dos equipamentos de trabalho aos cabos elétricos e outras instalações elétricas;
- Caso seja necessário movimentar/proteger cabos elétricos/quadros, elétricos de frente, garantir a comunicação dessa necessidade ao supervisor do DO e aguardar a resolução da solicitação pelas equipas de trabalho competentes;
- Proceder à consignação das fontes de energia dos equipamentos de trabalho imediatamente antes de proceder à manutenção mecânica/elétrica de componentes do equipamento de trabalho.

- **Corte e perfuração**

Medidas de mitigação:

- Utilização de ferramentas ligeiras distribuídas pela empresa;
- Só é permitido utilizar e manusear ferramenta de corte (faca/navalha) em tarefas cuja utilização seja imprescindível e recomendável;
- Proteger objetos, ferramentas e acessórios pontiagudos. Estes deverão estar arrumados em locais próprios para o efeito;
- Formação e informação sobre o tema "Utilização de ferramentas ligeiras".

- **Incêndio**

Medidas de mitigação:

- Encaminhamento dos resíduos das frentes de trabalho para os locais específicos e designados pelo DO;
- Cumprir com o plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;

-
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento, nomeadamente estado de limpeza e ausência de materiais combustíveis depositados junto às partes quentes das máquinas;
 - Equipamentos de trabalho equipado com extintor de pó químico ABC de 6 kg.

- **Capotamento**

Medidas de mitigação:

- Conhecer as advertências e sinalização existentes para os perigos e proteção das aberturas no solo;
- Observar as indicações do fabricante quanto à estabilidade do veículo em declive e limites de carga, tendo sempre em conta as condições específicas do local de trabalho;
- Deslocar o equipamento de trabalho com carga acoplada tão perto do solo quanto possível;
- Assegurar, antes da deslocação da multicarregadora, que os estabilizadores estão completamente levantados;
- É proibido operar a lança durante a deslocação;
- Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
- É proibido utilizar a sobreposição de emergência para tentar continuar a movimentação de uma carga excessivamente pesada, porque no modo de sobreposição a máquina não está protegida. Nunca ultrapassar os limites fixados pelo quadro de carga, marcadores de extensão ou indicador do ângulo;
- Não colocar a lança em ângulos ou extensões fora dos limites indicados no diagrama de cargas que está disponível na cabine do equipamento;
- Não pode exceder os limites de velocidade estabelecidos (20 km/h);
- Em manobras difíceis ou com falta de visibilidade utilizar sinaleiros de apoio;
- É obrigatório conhecer os locais de descarga e verificar se possuem batentes de proteção;
- Formação e informação sobre o tema condução defensiva;
- É obrigatório utilizar permanentemente cinto de segurança;
- Formação e informação sobre o tema "a importância da sinalização nas escavações (aberturas no solo)";
- No caso de auxiliar os trabalhos de projeção com betão pronto de topo de chaminé, garantir a coordenação dos trabalhos com DO, por forma a garantir a consignação da base da chaminé e, desta forma, eliminar o risco de queda de material sobre trabalhadores/equipamentos de trabalho que operem/circulem pela base da chaminé (é exemplo e aplicável: Autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pela DO);
- Garantir a existência de proteção coletiva no topo da chaminé para mitigar o risco de queda de diferente nível do equipamento de trabalho;

-
- Formação e informação sobre o tema execução de atividades em chaminés, “dumping bay” e desmontes.

- **Tombamento**

Medidas de mitigação:

- Conhecer as advertências e sinalização existentes para os perigos e proteção das aberturas no solo;
- Observar as indicações do fabricante quanto à estabilidade do veículo em declive e limites de carga, tendo sempre em conta as condições específicas do local de trabalho;
- Deslocar o equipamento de trabalho com carga acoplada tão perto do solo quanto possível;
- Assegurar, antes da deslocação da multicarregadora, que os estabilizadores estão completamente levantados;
- É proibido operar a lança durante a deslocação;
- Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
- É proibido utilizar a sobreposição de emergência para tentar continuar a movimentação de uma carga excessivamente pesada, porque no modo de sobreposição a máquina não está protegida. Nunca ultrapassar os limites fixados pelo quadro de carga, marcadores de extensão ou indicador do ângulo;
- Não colocar a lança em ângulos ou extensões fora dos limites indicados no diagrama de cargas que está disponível na cabine do equipamento;
- Não pode exceder os limites de velocidade estabelecidos (20 km/h);
- Em manobras difíceis ou com falta de visibilidade utilizar sinaleiros de apoio;
- É obrigatório conhecer os locais de descarga e verificar se possuem batentes de proteção;
- Formação e informação sobre o tema condução defensiva;
- É obrigatório utilizar permanentemente cinto de segurança;
- Formação e informação sobre o tema "a importância da sinalização nas escavações (aberturas no solo)";
- No caso de auxiliar os trabalhos de projeção com betão pronto de topo de chaminé, garantir a coordenação dos trabalhos com DO, por forma a garantir a consignação da base da chaminé e, desta forma, eliminar o risco de queda de material sobre trabalhadores/equipamentos de trabalho que operem/circulem pela base da chaminé (é exemplo e aplicável: Autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pela DO);
- Garantir a existência de proteção coletiva no topo da chaminé para mitigar o risco de queda de diferente nível do equipamento de trabalho;
- Formação e informação sobre o tema execução de atividades em chaminés, “dumping bay” e desmontes.

- **Entalamento/esmagamento**

Medidas de mitigação:

- É expressamente proibido operar os comandos a partir do exterior do equipamento;
- Proibir a permanência de pessoas sob cargas suspensas;
- Orientar a manobra recorrendo a outro trabalhador que conduzirá/indicará, a partir do exterior, a manobra a realizar recorrendo a sinalização gestual;
- Movimentar corretamente mecanicamente e manualmente as cargas, em caso de necessidade solicitar apoio a outro trabalhador;
- Caso a capacidade de extensão ou de inclinação da lança não permita posicionar corretamente a carga no local pretendido, conduzir a movimentação da carga com cordas de orientação.

- **Desequilíbrio sem rutura e queda dos elementos ou da carga**

Medidas de mitigação:

- Utilizar acessos adequados e sem obstáculos a dificultar a realização de manobras com cargas suspensas;
- Acesso ao local condicionado a trabalhadores não envolvidos na tarefa;
- Respeitar capacidade de segurança dos acessórios de elevação/contenção de cargas (correntes, cintas e cintas de aperto);
- Verificar periodicamente estado das correntes e cintas de aperto/esticadores;
- Os ganchos dos equipamentos de elevação e os dos acessórios utilizados devem estar equipados com patilha de segurança;
- Utilizar acessórios de elevação adequados e com marcação CE;
- Nomear um responsável para orientação das operações;
- Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
- Formação e informação sobre movimentação mecânica de cargas.

- **Queda da carga por rutura dos acessórios de elevação de cargas (cabos, lingas, estropos, ou outro elemento)**

Medidas de mitigação:

- Utilizar acessos adequados e sem obstáculos a dificultar a realização de manobras com cargas suspensas;
- Acesso ao local condicionado a trabalhadores não envolvidos na tarefa;

-
- Respeitar capacidade de segurança dos acessórios de elevação/contenção de cargas (correntes, cintas e cintas de aperto);
 - Verificar periodicamente estado das correntes e cintas de aperto/esticadores;
 - Os ganchos dos equipamentos de elevação e os dos acessórios utilizados devem estar equipados com patilha de segurança;
 - Utilizar acessórios de elevação adequados e com marcação CE;
 - Nomear um responsável para orientação das operações;
 - Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
 - Formação e informação sobre movimentação mecânica de cargas.

- **Lesões músculo-esqueléticas**

Medidas de mitigação:

- Recorrer a meios mecânicos para movimentação mecânica de cargas pesadas em detrimento de movimentações manuais;
- Formação e informação sobre o tema movimentação manual de cargas.

- **Ruído**

Medidas de mitigação:

- Cumprir plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento;
- Utilização de equipamento de proteção individual (protetores auriculares);
- Vigilância médica periódica.

- **Vibrações**

Medidas de mitigação:

- Regularização de acessos e vias de circulação;
- Cumprir com o plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento.

➤ **Projeção de betão com recurso a sistema de betonagem rotativo:**

- **Vários riscos provocados por desorganização, falta de planeamento e coordenação dos trabalhos**

Medidas de mitigação:

- Acesso/existência de autorização específica para realização do trabalho, ordem de serviço (é exemplo e aplicável: Folha de Pedido de Betão Projetado e/ou folha de autorização para a execução de trabalhos que envolvem riscos especiais);
 - Garantir que a sequência dos trabalhos seja efetuada de modo a evitar atividades sobrepostas e incompatíveis;
 - Garantir que o sinal rádio tem cobertura (verificar existência e integridade do cabo).
- **Desprendimento e queda de blocos**

Medidas de mitigação:

- No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo (boca do poço), consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
 - Formação e informação sobre o tema saneamento manual.
- **Soterramento de pessoas e máquinas**

Medidas de mitigação:

- Planear adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em poços/chaminés, garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
 - No decorrer dos trabalhos no topo de abertura no solo, consignar a base da abertura no solo, colocando para o efeito corrente e sinalização com a inscrição "Passagem proibida";
 - Coordenar com o supervisor do DO, a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
 - Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;
 - Garantir através do supervisor do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos.
- **Atropelamento**

Medidas de mitigação:

- Restringir a área a todos os trabalhadores que não estejam envolvidos nestes trabalhos;
- Cumprir o limite de velocidade estabelecidos (30km/h);

-
- Equipamentos de trabalho dotados de sinal acústico a preceder o arranque e sinal acústico de marcha atrás;
 - Utilização permanente de dispositivo luminoso de sinalização (pirilampo), nas máquinas intervenientes;
 - É expressamente proibido operar os comandos a partir do exterior do equipamento;
 - Formação e informação sobre o tema condução defensiva.

- **Queda ao mesmo nível**

Medidas de mitigação:

- Respeitar zonas de acesso e circulação;
- Respeitar a regra dos três pontos de apoio ao subir e descer dos equipamentos de trabalho;
- Os degraus de acesso à cabine devem estar limpos de areias, terras ou óleos, de forma a evitar riscos de queda;
- Primar pela organização, arrumação e limpeza.

- **Queda a diferente nível**

Medidas de mitigação:

- Planejar adequada e previamente com o supervisor do DO, a execução dos trabalhos em chaminés garantindo a existência de uma autorização para iniciar trabalhos que envolvem riscos especiais emitida pelo DO;
- Coordenar com o supervisor do DO a retirada de todos os trabalhadores, equipamentos de trabalho e/ou materiais que possam estar nas imediações da base/topo da abertura no solo;
- Colocar previamente a proteção coletiva no topo da abertura no solo, antes do início de qualquer tarefa, garantido que as portas com abertura lateral apenas são abertas para introdução do sistema de betonagem rotativo no interior da chaminé;
- Colocar proteção coletiva em redor da abertura no solo por forma a evitar o acesso descontrolado de trabalhadores/outros animais selvagens à abertura no solo;
- Atender ao sentido de deslocação da massa de ar no interior do poço/chaminé. Sempre que os trabalhadores circulem em seu redor, têm de estar ancorados aos pontos fixos suportados no maciço de betão;
- Garantir através do DO a inexistência de outras atividades na proximidade da base/topo de abertura no solo, durante a execução dos trabalhos;
- Durante a execução dos trabalhos e independentemente de as portas com abertura lateral da proteção coletiva estarem abertas ou fechadas, é obrigatório que todos os trabalhadores que estejam na envolvente do topo da abertura estejam equipados com arnês e aparelho anti queda auto retrátil devidamente ancorado a pontos fixos suportados no maciço de betão.

- **Eletrização/eletrocussão**

Medidas de mitigação:

- Respeitar as distâncias de segurança às linhas e cabos elétricos existentes;
- Verificar o bom estado do cabo elétrico do equipamento de trabalho (inexistência de cortes, cabos descarnados, entre outros);
- Proceder à consignação das fontes de energia dos equipamentos de trabalho imediatamente antes de proceder à manutenção mecânica/elétrica de componentes do equipamento de trabalho;
- Evitar a passagem do cabo elétrico por água e verificar se as fichas macho e fêmea de 250A estão limpas, sem resíduos de lama e vestígios de água;
- Apenas ligar o interruptor do quadro elétrico do equipamento de trabalho depois da instalação estar completa e de acordo com:
 - Após instalação do equipamento de trabalho, desenrolar cabo elétrico ordeiramente;
 - Engatar a ficha macho na ficha fêmea do quadro elétrico de frente;
 - Ligar o disjuntor do quadro elétrico de frente.

- **Corte e perfuração**

Medidas de mitigação:

- Utilização de ferramentas ligeiras distribuídas pela empresa;
- Só é permitido utilizar e manusear ferramenta de corte (faca/navalha) em tarefas cuja utilização seja imprescindível e recomendável;
- Proteger objetos, ferramentas e acessórios pontiagudos. Estes deverão estar arrumados em locais próprios para o efeito;
- Formação e informação sobre o tema "Utilização de ferramentas ligeiras".

- **Incêndio**

Medidas de mitigação:

- Encaminhamento dos resíduos das frentes de trabalho para os locais específicos e designados pelo DO;
- Cumprir com o plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento, nomeadamente estado de limpeza e ausência de materiais combustíveis depositados junto às partes quentes das máquinas;
- Equipamentos de trabalho equipado com extintor de pó químico ABC de 6 kg.

-
- Entalamento/esmagamento

Medidas de mitigação:

- Não são permitidos trabalhos de manutenção ou reparação das máquinas com o motor em funcionamento/movimento;
- Movimentar corretamente mecanicamente e manualmente as cargas, em caso de necessidade solicitar apoio a outro trabalhador;
- Durante a operação com o conjunto guincho/sistema de betonagem rotativo é proibida a presença de trabalhadores na envolvente da zona de trabalhos. Só é permitido aceder ao local quando o conjunto guincho/sistema de betonagem rotativo esteja devidamente imobilizado.

- **Desequilíbrio sem rutura e queda dos elementos ou da carga**

Medidas de mitigação:

- Utilizar acessos adequados e sem obstáculos a dificultar a realização de manobras com cargas suspensas;
- Acesso ao local condicionado a trabalhadores não envolvidos na tarefa;
- Respeitar capacidade de segurança dos acessórios de elevação/contenção de cargas (correntes, cintas e cintas de aperto);
- Verificar periodicamente estado das correntes e cintas de aperto/esticadores;
- Os ganchos dos equipamentos de elevação e os dos acessórios utilizados devem estar equipados com patilha de segurança;
- Utilizar acessórios de elevação adequados e com marcação CE;
- Nomear um responsável para orientação das operações;
- Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
- Formação e informação sobre movimentação mecânica de cargas.

- **Queda da carga por rutura dos acessórios de elevação de cargas (cabos, lingas, estropos, ou outro elemento)**

Medidas de mitigação:

- Utilizar acessos adequados e sem obstáculos a dificultar a realização de manobras com cargas suspensas;
- Acesso ao local condicionado a trabalhadores não envolvidos na tarefa;
- Respeitar capacidade de segurança dos acessórios de elevação/contenção de cargas (correntes, cintas e cintas de aperto);
- Verificar periodicamente estado das correntes e cintas de aperto/esticadores;

-
- Os ganchos dos equipamentos de elevação e os dos acessórios utilizados devem estar equipados com patilha de segurança;
 - Utilizar acessórios de elevação adequados e com marcação CE;
 - Nomear um responsável para orientação das operações;
 - Durante a operação com a lança do equipamento de trabalho é obrigatório apoiar no solo os estabilizadores da máquina e nivelá-la;
 - Formação e informação sobre movimentação mecânica de cargas.
- **Lesões músculo-esqueléticas**

Medidas de mitigação:

- Recorrer a meios mecânicos para movimentação mecânica de cargas pesadas em detrimento de movimentações manuais;
- Formação e informação sobre o tema movimentação manual de cargas.

▪ **Ruído**

Medidas de mitigação:

- Cumprir plano de manutenção de acordo com as indicações do fabricante;
- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento;
- Utilização de equipamento de proteção individual (protetores auriculares);
- Vigilância médica periódica.

▪ **Rebentamento/projeção de componentes do equipamento de trabalho**

Medidas de mitigação:

- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento, incluindo pontos união/ligação de tubagens de ar comprimido;
- Cumprir plano da pressão máxima de ar comprimido definido pelo fabricante;
- Unir convenientemente com recurso a abraçadeira metálica de fixação o conjunto de tubagens (ar comprimido, adução de betão pronto e cabo elétrico) ao braço inferior rotativo do sistema de betonagem rotativo;
- Proibir desentupir tubagens de adução de betão pronto utilizando ar comprimido;
- Só desligar a mangueira transportadora e todas as outras peças (difusor, etc.) que estiverem sob pressão, quando a pressão do sistema de transporte descer até 0 bar.

-
- **Queimaduras (contato com produtos e substâncias químicas)**

Medidas de mitigação:

- Verificações diárias antes do início dos trabalhos do estado do equipamento, incluindo pontos união/ligação de tubagens de aditivo;
- Efetuar bem as uniões entre mangueiras, ter o depósito de aditivo dentro de uma bacia de retenção adaptada aos garfos da multicarregadora para fácil movimentação;
- Todo o trabalhador que manusear o aditivo terá de ter os EPI's adequados para o efeito;
- Ter em obra um sistema de lava olhos;
- Formação e informação sobre o tema "Operar com produtos e substâncias químicas" (EPOS SA, 2013).

4.4.7. Segurança – acompanhamento SHST

Todos os trabalhos que envolvem este tipo de equipamento têm de ser acompanhados pelo um técnico SHST residente em obra. Irá acompanhar a montagem de todos os equipamentos em obra, verificar se os trabalhadores se encontram habilitados para operar com o "Shaft Liner" e cumprem todos os requisitos necessários.

Têm de verificar se os equipamentos cumprem as exigências e estão em conformidade com o DL n.º 50/2005 de 25 de fevereiro 2005, que regula as prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de trabalho.

Os documentos a reunir pelo técnico serão os seguintes (Luís, 2018):

- Última verificação referente ao DL n.º 50/2005 de todos os equipamentos necessários ao trabalho;
- Registo da entrada dos equipamentos em obra;
- Último registo de manutenção do guincho e verificação do cabo de aço, sistema rotativo de projeção, pórtico de apoio, passadiço rolante, compressor, bomba de betão e aditivo, grua, enroladores de mangueiras e do conjunto em geral;
- Registos CE dos diversos componentes que fazem parte deste conjunto (destorcedor, cabo de aço, correntes, lingas, guincho de 20 t, manilhas, motor elétrico, pórtico, sistema rotativo de projeção, roldanas, bomba de betão e aditivo);
- Os manuais de instruções do guincho, compressor, sistema rotativo de projeção e bomba de betão e aditivo;
- Instrução de trabalho;
- Procedimento de montagem, operação de desmontagem para o local de execução dos trabalhos;

-
- Após ministrada a formação reunir os registos de formação;
 - Após montagem reunir as verificações do DL n.º 50/2005 e o registo de manutenção do conjunto.

4.4.8. Segurança – evolução de culturas

O mundo, no qual faz parte integrante toda a Humanidade, encontra-se em constante e gradual evolução. A aprendizagem por vezes fruto de primeiras tentativas fracassadas implicam custos que por vezes, são bem altos. Por vezes esses custos derivam de acidentes e lesões. Estes, têm a todo o custo de ser evitados, tornando possível em qualquer atividade realizada, dizer-se que todos os acidentes podem ser evitados.

Poderemos analisar a curva de Bradley da DuPont para entender o desenvolvimento de uma cultura de segurança eficiente, desde os seus primeiros estágios até um estado já com maturidade. Desta forma consegue-se entender que as alterações de atitude e ação deverão dar-se ao longo do tempo por forma, a fomentar o desenvolvimento da cultura de segurança.

Na Figura 41 encontra-se a curva de Bradley, na qual se representa no eixo das abcissas o tempo e no eixo das ordenadas o índice de lesões. Ainda poder-se-á ver quatro estágios ao longo do tempo que têm o seguinte significado:

- **Estágio Reativo** – Neste estágio as pessoas não assumem qualquer responsabilidade. Acreditam que a segurança será uma questão de sorte e que os “acidentes acontecem”. Com o decorrer do tempo vão acabar por acontecer mesmo.
- **Estágio Dependente** – Neste estágio as pessoas encaram a segurança como algo elaborado por alguém que se tem de seguir. Aqui as taxas de acidentes diminuem e a equipa acredita que, se as pessoas seguirem todas as regras, consegue-se ter a segurança controlada.
- **Estágio Independente** – Neste estágio as pessoas assumem responsabilidades para si. Com as suas próprias ações tentam fazer a diferença e acreditam que a segurança é pessoal. Este fato reduz ainda mais os acidentes.
- **Estágio Interdependente** – Neste estágio em que as equipas de funcionários se sentem donos da segurança e assumem responsabilidades para eles próprios e outros. As pessoas passam a assumir riscos. Existe diálogo entre pessoas por forma a expor e entender o ponto de vista de cada um. Acreditam que a ausência de lesões é um objetivo atingível, mas só poderá ser alcançado como grupo. As pessoas têm consciência de que podem agir

conforme o necessário por forma a trabalhar sempre em segurança. Aqui a organização como um todo, vai obter bastante significado que se reflete em termos de qualidade, produtividade e lucro.

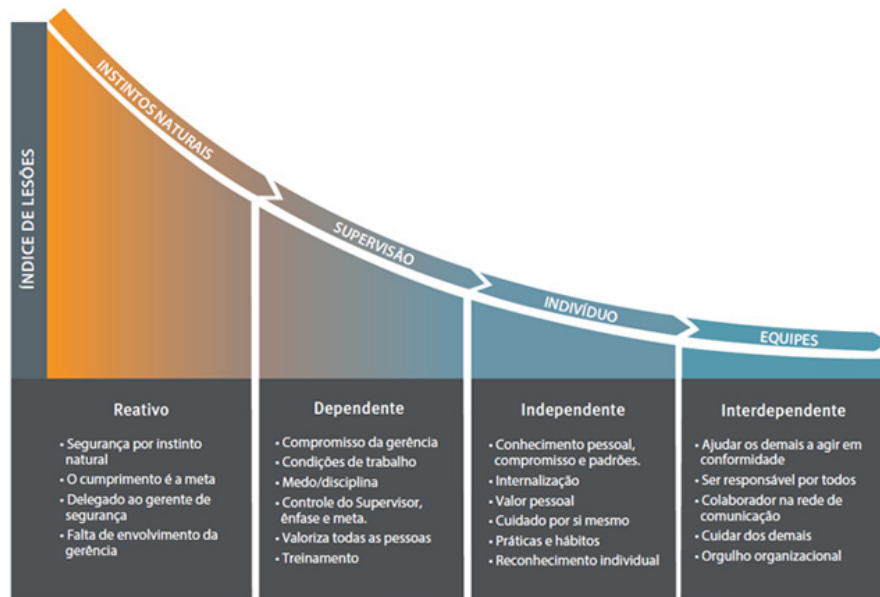


Figura 41. Curva de Bradley da DuPont (adaptado de DuPont, 2020).

Com o passar do tempo e subindo nos estágios consegue-se baixar o índice de lesões e chegar aos “Zero Acidentes” (DuPont, 2020).

Nas Figura 42, 43 e 44 podem ser visualizados alguns dos sistemas de segurança utilizados na projeção de poços com “Shaft Liner” – sistemas retráteis anti queda, linha de vida, extintor de incêndio, material com marcação CE, trabalhadores a usar arnês, guarda corpos, entre outros.



Figura 42. Da esquerda para a direita; material com marcação CE, guarda corpos e arnês, cavilha de segurança de uma abraçadeira de betão (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).



Figura 43. Da esquerda para a direita - cabo de aço anti chicoteamento, cavilha de segurança de abraçadeira técnica, botão de emergência e sensor de carga (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).



Figura 44. Extintor, linha de vida, dispositivo anti queda retrátil, guarda corpos, arrumação do material e sinalética (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

5. Obras – “Shaft Lining”

5.1. Casos de obra

Ao longo deste período, foram cinco os casos de obra que puderam ser acompanhados. Isto porque a projeção de poços, por se tratar de um trabalho mais específico nem sempre “está a acontecer”. São trabalhos que aparecem esporadicamente e depois passam-se alguns largos períodos de tempo sem serem solicitados.

Trata-se de intervenções que são bastante delicadas em termos de produção, para quem as solicita. Isto, pensando, se a obra se desenrola em ambiente mineiro, poderá condicionar a produção da própria mina. Os poços alvo de intervenção, poderão estar eventualmente a ser utilizados como chaminés de ventilação. Nestes casos a intervenção num destes poços vai certamente condicionar os trabalhos no interior da mina, porque o caudal de admissão ou exaustão de ar terá de ser reduzido por forma a se poder efetivar a intervenção no poço. Caso não se trate de ambiente mineiro, este tipo de trabalho vai condicionar sempre seja de que forma for os trabalhos que possam existir perto da base do poço. A base do poço terá de ser consignada. Se a deslocação de ar for no sentido descendente (considerando a base do poço como cota inferior e a boca do poço a cota superior), por causa da poeira que se espalha e fica em suspensão, causada pela própria projeção.

Não localizando pormenorizadamente as obras que foram alvo de acompanhamento, poder-se-á referir que uma delas concretizou-se em África, a segunda em Portugal, a terceira em Espanha. Todas elas envolveram projeção de poços independentemente da sua dimensão.

Mais tarde, devido aos bons resultados obtidos pela EPOS SA no poço que projetou em Espanha, e originado pela satisfação por parte do cliente – DO, teve a possibilidade de reabilitar um poço, na mesma obra, mas mais profundo. Desta vez, estava lançado o desafio de ultrapassar a barreira dos 300 metros.

Por questões de facilidade daqui em diante serão atribuídos nomes aos poços consoante as diferentes obras segundo este princípio:

- Obra de África – Poço 1;
- Obra de Portugal – Poço 2 e Poço 3;
- Obra de Espanha – Poço 4 e Poço 5.

Encontra-se seguidamente uma descrição das diversas obras. Obviamente que não poderão ser analisada pelos mesmos parâmetros, nem serão evidenciados os mesmos pontos na descrição.

Trata-se de obras que são geograficamente diferentes, possuem DO diferentes e cada uma têm, como é natural, características próprias. Resultando deste fato, alguma dificuldade em determinados pontos, como na obtenção de dados e mesmo por vezes interferindo com o próprio trabalho de projeção. Dificuldades estas que foram sendo ultrapassadas dentro do possível e como resultado foi a conclusão das projeções de todos os poços, com êxito, que a empresa se comprometeu a fazer.

5.2. Escavação – métodos utilizados em obra

5.2.1. Obra de África – Poço 1

Obra realizada no continente africano, com condições geográficas bastante difíceis, problemas intrínsecos naturais, que existem e aos quais teve-se de ter uma adaptação gradual ao longo do tempo de vivência de obra.

Esta empreitada consiste na execução de seis poços com uma média entre eles de 69 metros de profundidade e um diâmetro de 8 metros. Estes poços, já numa fase avançada da obra levarão no seu interior uma conduta que servirá para adução de água de uma barragem. Na Figura 45 tem-se uma visualização geral da localização dos poços. Um corte do poço encontra-se representado na Figura 46.

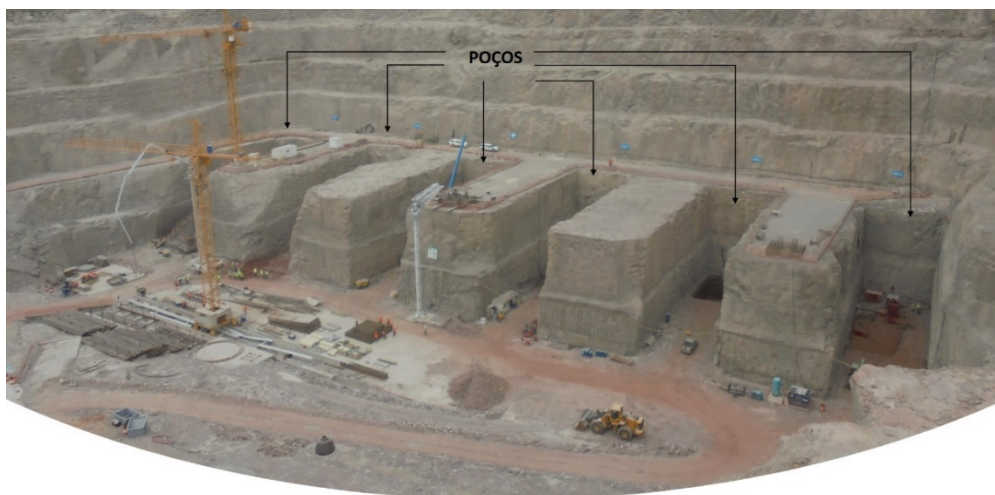


Figura 45. Localização dos poços de adução (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

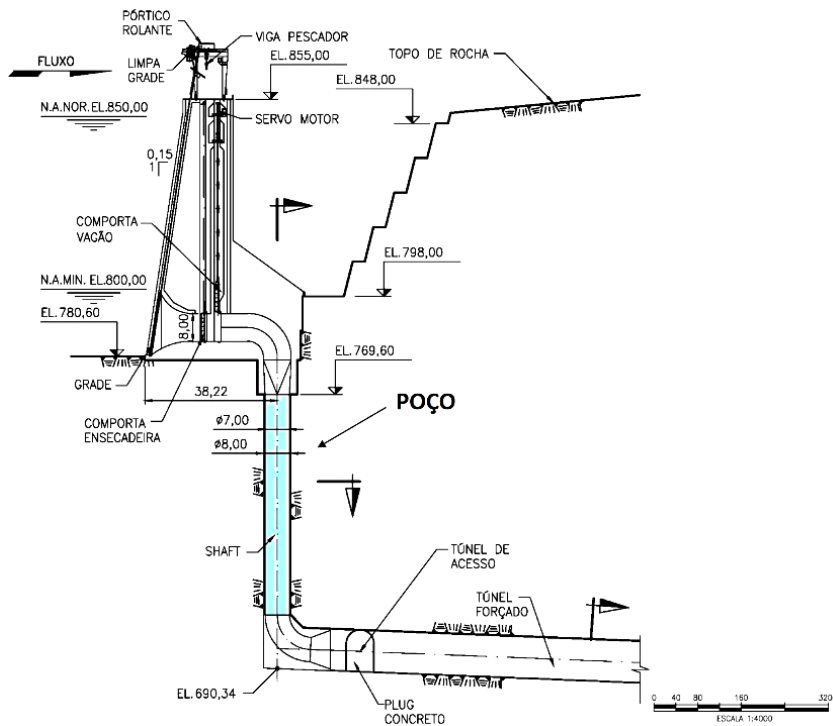
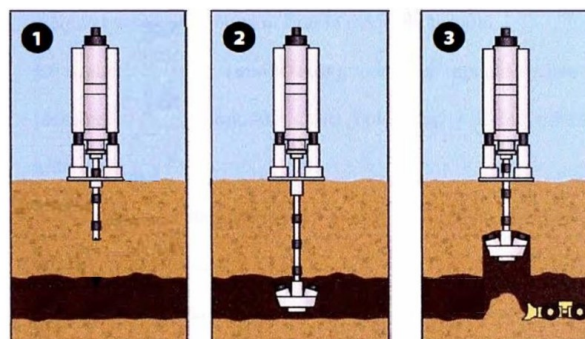


Figura 46. Vista em corte do poço de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).

O método de escavação foi misto. Utilizando inicialmente uma “raise boring” e posteriormente para o alargamento para as dimensões finais de diâmetro do poço recorreu-se a explosivos e/ou meios mecânicos.

A escavação com recurso a “raise boring” é um processo de escavação mecânico de um poço, vertical ou inclinado com recurso a um equipamento próprio. A escavação é efetuada entre dois níveis situados a cotas diferentes. Encontra-se representado na Figura 47 o faseamento de escavação com uma “raise boring”.



- 1 – Furo piloto
- 2 – Instalação da cabeça escarificadora
- 3 – Alargamento do furo piloto

Figura 47. Fases de escavação com “raise boring” (adaptado de Llanllaya-Huamani, 2019 e de Luís, 2019).

Toda a operação de escavação com recurso a “raise boring” pressupõe a realização de trabalhos preparatórios, como a montagem de redes de alimentação elétrica, água adequadas ao trabalho que vai ser realizado. Em função das características do terreno será projetada uma fundação em betão por forma a facilitar o emboquilhamento do furo com o primeiro estabilizador (vara guia). Desta forma, evitam-se desvios significativos na direção do furo a executar.

A fundação deverá ter no mínimo 3500 x 3000 mm de dimensão e uma espessura mínima de 350 mm. Deverá ter uma inclinação inferior a 3 mm/m e assentar em rocha firme e limpa para que tenhamos a garantia de que existe uma boa aderência entre o maciço rochoso e o betão aplicado.

Seguidamente, dever-se-á posicionar o chassi (estrutura metálica) que fica fixado ao maciço de betão por intermédio de ancoragens de 1,8 m e 25 mm de diâmetro (mínimo). A “raise boring” será posteriormente montada em cima deste chassi. De seguida, serão montados os restantes módulos do equipamento de acordo com o plano de montagem do equipamento – caixa redutora e hidráulicos, unidade eletro-hidráulica e painel de comandos. Terminada instalação ajusta-se o equipamento à posição de furação.

O procedimento de escavação com recurso a “raise boring” consiste na abertura prévia de um furo piloto entre a superfície e a base do poço. Esse furo é efetuado através da rotação de varas que constituem a coluna de perfuração e incorporam um bit na extremidade. O fluido de limpeza que auxilia a perfuração é água. Na Figura 48 captado o momento em que estava a ser efetuado o furo piloto.

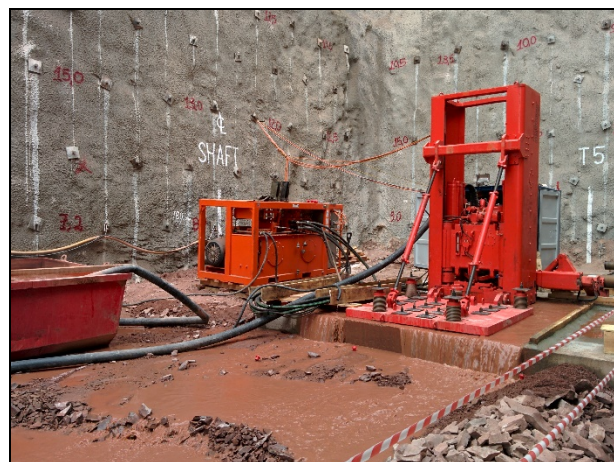


Figura 48. Execução do furo piloto (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Foi executado este processo para os seis poços. A perfuração iniciar-se-á a partir da superfície dirigida ao túnel previamente escavado, onde irá desembocar na base do futuro poço. Quando

estiver previsto varar a galeria ou a furação estiver próxima da galeria dever-se-á consignar toda aquela área para que se possa completar o furo em segurança.

Estando varado o furo piloto com a galeria inicia-se o processo inverso. Nas varas guias que serviram para fazer o furo piloto retira-se o bit e passa-se a montar uma cabeça escarificadora. Antes de efetuar esta troca, toda a zona de trabalho envolvente, tem de ser devidamente saneada por forma a fazer cair alguma pedra que se encontre instável. Na Figura 49 mostra cabeça escarificadora que tinha sido acabada de colocar.



Figura 49. Cabeça escarificadora (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Mal a cabeça escarificadora esteja solidária com as varas, a máquina que se encontra à superfície começa a trabalhar iniciando o alargamento do furo no sentido ascendente até à superfície. Todo o escomburo produzido pelo corte cai por gravidade na base do poço. Sempre que for necessário efetuar a limpeza da galeria ter-se-á de parar a cabeça escarificadora. Durante todo o período de escavação a base do poço terá de estar consignada. No caso desta obra em particular o furo piloto foi alargado para um diâmetro de 1,8 m.

Quando a cabeça escarificadora chegou à superfície terá de ser retirada e desmontado todo o equipamento. Ficamos com um poço com um diâmetro de 1,8 m.

Por questões de segurança é instalada uma plataforma que servirá de tampa ao furo existente. Esta tampa será constituída inferiormente por uma estrutura de apoio metálica posicionada sobre o furo da “raise boring” e com uma base constituída por alçapões amovíveis que abrem individualmente, de modo a permitir a passagem do escomburo resultante da escavação.

O controlo geológico/geotécnico da frente de escavação permite avaliar as condições geotécnicas do terreno, adequando o respetivo suporte primário ao terreno.

A geologia/geotecnia avaliará as características geotécnicas do maciço rochoso que se encontra por baixo da plataforma de alargamento. Quando a espessura deste maciço, desde a plataforma de alargamento até ao topo da galeria inferior, for menor do que 5 m, com o objetivo de definir a espessura mínima a partir da qual não poderão ser colocados equipamentos (mini escavadoras e outros).

Dependendo da classificação geotécnica do maciço rochoso, a escavação para o alargamento dos poços poderá esporadicamente ser realizada por meios mecânicos, nomeadamente zonas com falhas e onde não possa ser aplicada a escavação com recurso a explosivos. O avanço do alargamento será estabelecido mediante a capacidade autoportante do maciço de escavação. Na Figura 50 está representado a furação e o esquema de uma pega de fogo tipo, respetivamente. Na Figura 51 uma pega carregada e após rebentamento.



Figura 50. Furação e esquema tipo de uma pega de fogo (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização e adaptado de EPOS SA, 2014).



Figura 51. Pega de fogo carregada/rebentada (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

O dimensionamento da espessura do pilar residual entre o alargamento do poço e a galeria inferior, será realizado de acordo com as características geológico/geotécnicas do que se prevê desmontar. Este pilar residual irá ser furado na sequência do avanço. Esta furação será completada com furação ascendente a partir da galeria inferior com o equipamento colocado por forma a que a cabine fique fora da zona de influência do poço. Caso seja necessário, terá de ser efetuada uma plataforma de trabalho, para vencer a diferença de cota do piso da galeria até à abóboda da mesma.

Os terrenos atravessados na execução dos poços não foram maus e não se encontravam muito alterados. Poder-se-á ver na Figura 52 que a zona dos poços atravessou as rochas metassedimentares estratificadas, iniciando-se numa transição arenito - siltito, passando depois a siltito. Atravessa uma brecha conglomerática basal e entra depois no complexo gnaissico constituído por gnaisses, anfibolitos e intrusões graníticas.

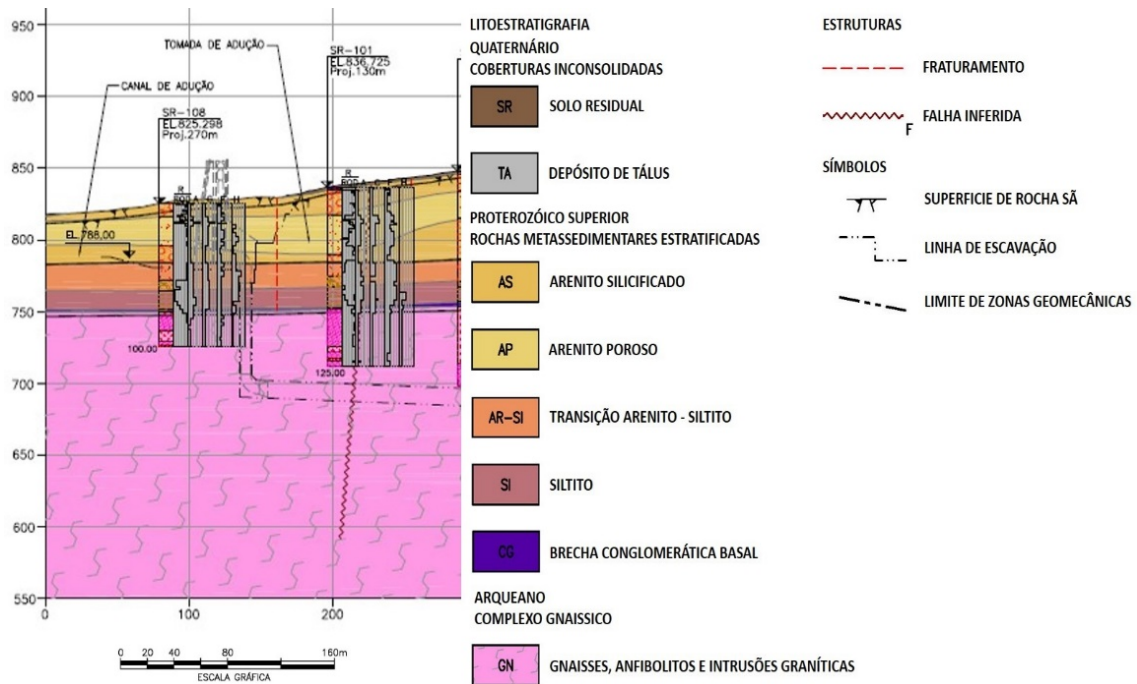


Figura 52. Litologia na zona dos poços de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).

O suporte primário preconizado para cada zona geotécnica é aplicado em cada avanço de escavação. O suporte a aplicar em cada avanço foi aferido em fase de obra dependendo das características do maciço encontrado durante a escavação. O suporte primário aconselhado era constituído por ancoragens passivas (parafusos), betão projetado e drenos.

Obviamente que no âmbito deste trabalho o foco irá ser no betão projetado (adaptado de EPOS SA (2014) – Procedimento de Trabalho - PT-7651-01, 2014).

5.2.2. Obra em Portugal – Poço 2 e Poço 3

Esta obra encontra-se integrada dentro das obras hidráulicas, consistiu apenas na projeção de dois poços com betão projetado. Trata-se de dois poços gémeos (lado a lado) que necessitam de sustimento. No seu interior ainda se vão desenrolar trabalhos na montagem de condutas de adução de água que irá abastecer uma central hidroelétrica.

A escavação dos poços esteve a cargo de outro subempreiteiro. Foi efetuada com “raise boring”. O processo de escavação com este equipamento é igual ao descrito anteriormente. Inicialmente foi efetuado um furo piloto e a cabeça escarificadora utilizada já foi de um diâmetro necessário, para que o poço ficasse logo com as medidas de projeto.

Destinados a ser projetados são então dois poços, com 270 m de profundidade e 4,7 m de diâmetro.

A informação existente acerca do maciço na envolvente aos poços onde estes foram escavados, indica que se trata de um terreno constituído por xistos e micaxistos com um grau de alteração W_{1-2} (são a pouco alterado) seguido de granito de duas micas de grão médio a grosseiro, com filões de quartzo, aplíticos, doleríticos e pegmatíticos também com grau de alteração W_{1-2} . Pode ser observado na Figura 53 o corte dos poços bem como a litologia que os mesmos atravessam.

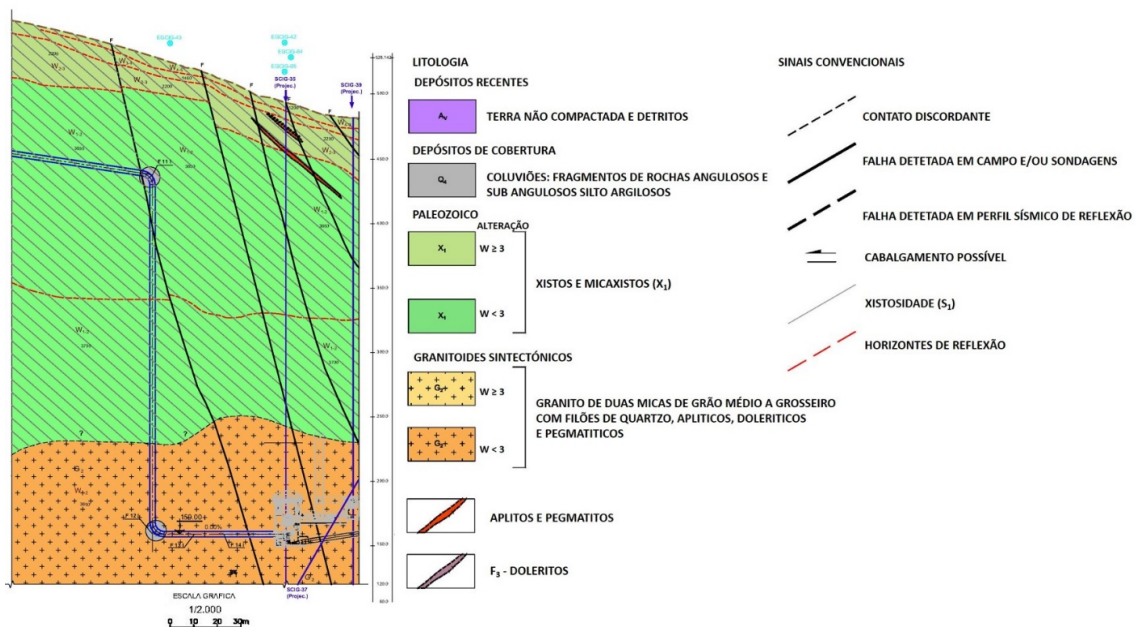


Figura 53. Litologia na zona dos poços de adução (adaptado do projeto de execução da obra; gentilmente cedido pela EPOS SA).

5.2.3. Obra de Espanha – Poço 4 e Poço 5

Segundo Varela (2006) *“As primeiras formas de arejamento das de arejamento dos níveis subterrâneos consistiam em fazer circular o ar de forma estritamente natural, através da abertura de poços especiais que se destinavam apenas à ventilação. Os poços de ventilação normalmente designados por chaminés eram escavados da superfície até atingir o teto do primeiro nível subterrâneo de extração; à medida que se iam construindo níveis de trabalho inferiores, abriam-se novas chaminés para ventilar e arrefecer o ar nas galerias e frentes de trabalho. A ventilação era natural, pois baseava-se no princípio físico da subida do ar quente, saturado, que obrigava à entrada de ar fresco. Uma forma de aumentar a eficácia deste método natural utilizada desde tempos medievos, consistia no emprego de ventoinhas colocadas em cima de cavaletes sobre os poços de ventilação.”* (Varela, 2006, p. 252).

Ao ler a citação acima depreende-se logo que estes dois poços estão dentro da atividade mineira. São poços que servem de ventilação a uma mina com admissão de ar fresco para o interior. Qualquer intervenção num poço deste tipo é sempre bastante delicada. Todos os trabalhos têm de ser coordenados com o supervisor do DO, porque toda a área de influência da basa do poço tem de estar consignada quando decorrem trabalhos na boca do poço.

O poço 4 tem um diâmetro de 4,1 m e uma profundidade de 479 m. Destes são somente para projetar os primeiros 250 m (a partir da superfície).

O poço 5 tem um diâmetro de 4,5 m e uma profundidade de 478 m. Este já requer uma intervenção mais complexa. Trata-se de uma reabilitação que engloba furação/colocação/injeção de ancoragens, furação/colocação de drenos, colocação de malha eletrosoldada e betão projetado. Este poço 5 sai do padrão dos outros, mas serviu para além de ter criado desafios, para saber se a barreira dos 300 m de projeção de poços com “Shaft Liner” seria ultrapassada ou não.

Ao nível de escavação estes dois poços foram feitos com “raise boring” e como o terreno tinha uma boa capacidade autoportante nunca foram projetados. Com o decorrer dos anos houve necessidade de efetuar a intervenção.

Estes poços, pela análise efetuada quando se realiza a inspeção visual com as câmaras, encontram-se em terrenos de xisto, apresentando algumas falhas. Por parte do DO que é detentor do estudo da litologia, estabeleceu com o departamento de geologia/geotecnia qual o tipo de sustimento a aplicar. Essa parte foi a que foi passada e realmente era o suficiente para efetuar os trabalhos.

5.3. Projeção de betão – métodos utilizados em obra

5.3.1. Obra de África – Poço 1

Após confirmação do correto saneamento das paredes do poço e antes de iniciar a aplicação de betão, as paredes do mesmo devem ser lavadas por forma a ficarem isentas de poeira e ao mesmo tempo garantindo que o betão adira melhor às paredes do poço.

Nesta obra, a aplicação de betão projetado foi utilizado o método tradicional, que neste caso devido às condições de confinamento teve de ser manualmente. O transporte de betão é efetuado por autobetoneira que descarrega junto à boca do poço. O betão é conduzido para a zona de alargamento do poço (zona a projetar), através de tubagem ancorada às paredes do poço. O betão é bombeado por intermédio de uma bomba de betão de pistões a partir da superfície. Os trabalhadores necessários a realizar esta tarefa encontram-se equipados com os EPI's necessários que incluem além dos habituais, viseira, óculos de proteção e proteção respiratória.

O betão é conduzido desde a bomba de betão, através de uma tubagem de transporte fixa. Na extremidade inferior desta é acoplado um mangueirão flexível e termina na ponteira de projeção. A ponteira de projeção vai ser amarrada adequadamente ao braço de uma miniescavadora, por forma a que esta direcione o betão contra a parede do poço a projetar. Na Figura 54 pode ser visualizado a preparar a projeção no interior do poço, e na Figura 55 a projeção.



Figura 54. Preparação da projeção no interior do poço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Com a ajuda da miniescavadora, além de se estar a minimizar a presença dos trabalhadores expostos a projeções, evitam-se esforços desnecessários de estar a projetar à mão, ou seja, com o trabalhador a pegar na ponteira de projeção. O manobrador passará apenas a orientar a ponteira dentro da miniescavadora, mexendo apenas a lança e efetuando rotação.



Figura 55. Projeção do poço com o manobrador no interior da miniescavadora (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

O acelerador de presa e o ar comprimido chegam em mangueiras técnicas, até ao difusor onde é misturado com o betão. O aditivo mistura-se com o betão e o ar provoca um jato de é projetado contra a parede do poço.

As camadas de betão projetado devem formar-se a partir de várias passagens até alcançarem a espessura desejada consoante a zona geotécnica em causa devendo sair da ponteira sem interrupções de fluxo. Como regra geral, a projeção deverá ter início nas zonas mais baixas e ir subindo para as mais altas. Desta forma, como não se tem um poço aberto evitamos que o desperdício fique incorporado na estrutura.

Nesta obra a adição de fibras é da responsabilidade do cliente, bem como o fornecimento de betão (EPOS SA, 2014).

5.3.2. Obra de Portugal – Poço 2 e Poço 3

Para a projeção destes dois poços foi necessário efetuar uma alteração à montagem da plataforma técnica. Tudo isto derivado ao confinamento da galeria, não em termos de altura, mas sim de largura e devido à proximidade dos poços. Motivado por este constrangimento, a plataforma não tinha grua, nem sequer a lança hidráulica. O guincho foi ancorado ao maciço de betão numa das laterais da galeria, estando logo atrás deste o posto de comando.

Uma vez que não estava montada a lança hidráulica, não havia forma de orientar o cabo de aço e as linhas técnicas. No sentido de resolver este problema, fizeram-se três ancoragens na abóbada da galeria por forma a suportar uma roldana. Para a projeção de um dos poços colocou-se a roldana diretamente à abóbada. No segundo poço devido a irregularidades do terreno teve-se de fixar a roldana por intermédio de três cabos de aço e estes por sua vez ancorados ao terreno.

Obviamente que este posicionamento das ancoragens e roldana foram com indicação topográfica, por forma a esta última ficar ao eixo do poço. Na Figura 56 encontra-se a roldana fixa à abóbada da galeria.



Figura 56. Fixação da roldana para o caço de aço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Na abertura do poço foram montadas umas plataformas corrediças. Quando não existe trabalho no mesmo, estas encontram-se fechadas por forma a tapar o poço. Acima das plataformas existe um cavalete corrediço com roldana guia, destinado às mangueiras e cabo de comunicações. Perante um momento de projeção, as plataformas são abertas para o robot entrar no poço e depois ficam semifechas permitindo apenas a passagem das linhas técnicas. É a partir desta plataforma que um trabalhador coloca as abraçadeiras técnicas – Figura 57. Por ele vai passar o cabo de aço e de comunicações, as mangueiras de aditivo e ar e o mangueirão de betão. Ao colocar as abraçadeiras espaçadas de 2 m entre si garante uma boa fixação de todas as linhas técnicas ao cabo de aço. Na Figura 58 encontra-se uma abraçadeira técnica e a forma como ficam aplicadas no cabo de aço.



Figura 57. Plataforma de onde podem ser colocadas as abraçadeiras técnicas (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

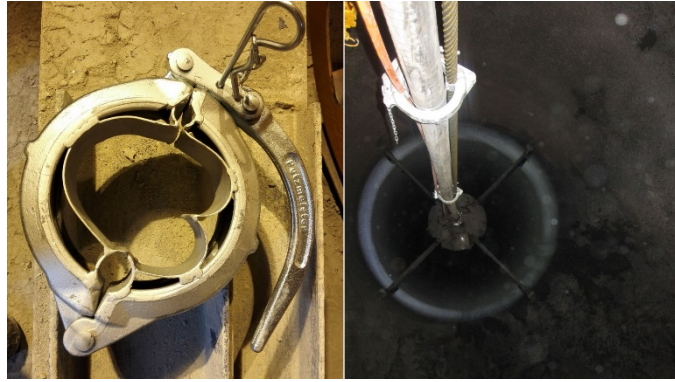


Figura 58. Abraçadeira técnica antes e depois de ser colocada no cabo de aço (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Tem de haver uma constante vigilância nestas abraçadeiras pois quando perdem a sua eficiência podem trazer complicações na subida do robot, porque na prática vai subir apenas o cabo de aço ficando todas as linhas técnicas para trás. Pode ser observado um exemplo disto na Figura 59.



Figura 59. Afrouxamento de uma abraçadeira técnica (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Optou-se por não efetuar a montagem dos enroladores de mangueiras. Estas eram puxadas do poço por intermédio do cabo de aço e após passarem o cavalete eram puxadas manualmente para a parte de trás da plataforma. Quando a profundidade do poço começa a ser significativa ter-se-á de enrolar em “oito” as mangueiras no chão por forma a facilitar o trabalho. Atrás deste equipamento todo ainda teremos de ter espaço para a bomba de betão, bidão de aditivo e local para a autobetoneira descarregar – Figura 60.



Figura 60. Local de descarga da autobetoneira (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

A projeção dos dois poços foi realizada no sentido inverso (de baixo para cima). Desta forma, devido às condicionantes intrínsecas à obra, ficou decidido projetar 3 autobetoneiras de 4 m³ de betão. Com isto por cada secção projetada estaríamos a fazer 27 metros lineares por turno. Com estes segmentos de 27 m para projetar coloca-se o robot um metro abaixo da cota inferior do mesmo. Após estar posicionado deve ser efetuada a lubrificação da linha com calda de cimento. Somente quando se iniciar a projeção de betão e este começar a sair na ponteira, poder-se-á ligar o aditivo. Começa-se a subir o robot por forma a ir projetando até à cota superior do referido segmento – Figura 61.

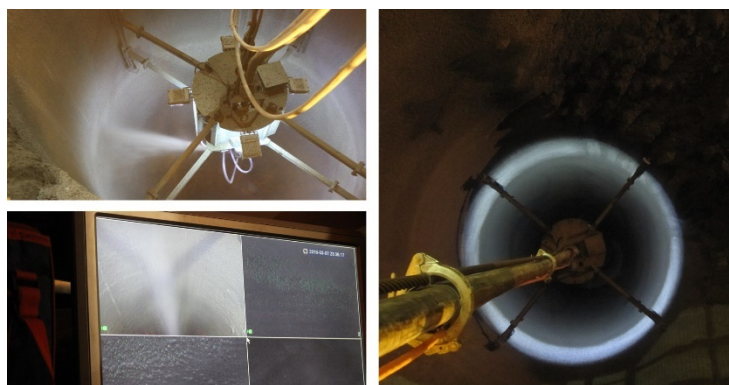


Figura 61. Projeção no interior do poço e visualização remota (arquivo de fotos EPOS S; com autorização).

Após a projeção ter-se-á de lavar toda a linha de betão e mangueira de aditivo com água em abundância e ar, desmontar o difusor. Poderemos utilizar uma bola de limpeza e uma recetáculo para apanhar a bola, caso a opção seja lavar o equipamento dentro do poço – Figura 62. Apenas ter-se-á de ter em atenção que se a linha for lavada para o interior do poço não pode ser em zonas que foram anteriormente projetadas.

Terminado este ciclo, que irá somente ficar concluído com a lubrificação e pulverização com óleo descofrante, o equipamento está pronto para voltar para a sua função de projeção.



Figura 62. Recipiente para reter a bola e bola de limpeza (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

No final da projeção total do poço, o mesmo foi submetido a uma inspeção. Primeiramente foi feita uma filmagem com as câmaras do robot para ter uma ideia de como ficou a projeção. Agora estas imagens poderiam ser comparadas com as que foram filmadas antes da projeção. Por decisão do DO, fez-se uma inspeção local, para o efeito desceu-se ao interior do poço em bailéu e foram efetuados pequenos carotes aleatoriamente para ver se tinha a espessura de betão pretendida, que neste caso eram 30 mm. Os resultados foram satisfatórios e o poço tinha aplicada a espessura de betão correta de projeto.

5.3.3. *Obra de Espanha – Poço 4 e Poço 5*

Para a projeção do poço 4, que se trata de uma chaminé de admissão de ar fresco a uma mina, após ter havido a necessidade de aumentar ao maciço e betão, instalou-se a plataforma técnica completa. Conseguiu-se criar uma boa área de trabalho sem estar confinado. Assim sendo, a plataforma técnica comportava uma plataforma extensível (gaveta), a grua, a lança hidráulica, os enroladores de mangueiras, cabo de comunicações e cabo de aço – Figura 63.



Figura 63. Plataforma técnica montada (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Aqui teve de se ter o cuidado se solicitar a redução do caudal de ar que passava pela chaminé. Caso contrário não seria possível projetar pois dificilmente o betão projetado chegava às paredes do poço. Ultrapassado este problema, deu-se início ao “Shaft Lining”, desta vez no sentido descendente. A projeção em si, é exatamente como a descrita no poço 3. A única diferença aqui é que não se vai retirando tubaria, mas acrescentando até à cota pretendida, onde terminará a projeção. A lavagem da linha será efetuada sempre no final da projeção com ar e água, sempre abaixo do local previamente projetado.

Um dos momentos da colocação do robot dentro do poço, traduzido pela Figura 64, e na Figura 65 a projeção de betão vista a partir das câmaras do robot e dois trabalhadores que se encontram na plataforma a colocar/retirar abraçadeiras técnicas.



Figura 64. Colocação do robot no interior do poço 4 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).



Figura 65. Decorrer da projeção de betão - poço 4 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

Ter-se-á sempre de ter cuidado quando se estiver perto do fim da projeção e consoante a profundidade a que se estiver de desligar a bomba de aditivo, antes propriamente de terminar a projeção. O último aditivo acaba por sair no difusor por gravidade e apenas o que se encontra na

mangueira. Caso contrário, de deixarmos a bomba ligada até mesmo ao fim da projeção todo o aditivo que se encontra na mangueira será perdido, com a lavagem de todo o circuito.

Neste poço foram apenas projetados os primeiros 250 m. A espessura a ser aplicada era de 60 mm. Aqui antes da projeção foi efetuado um laser “scanner” ao longo da extensão a ser alvo de intervenção. Quando se terminou a projeção voltou-se a fazer novamente uma nova passagem com o “scanner”. Desta forma consegue-se visualizar em 3D todo o poço com o betão projetado e as suas espessuras. Consegue-se detetar os locais onde o betão foi insuficiente ou em excesso, ou realmente se encontra dentro do pretendido. A Figura 66 mostra o momento em que se preparava a descida do laser “scanner” acoplado a uma estrutura por baixo do robot.



Figura 66. Laser “scanner” do poço 4 (adaptado do arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

No poço 5 teve de ser montada uma estrutura bem mais complexa com um maciço de betão bem maior, porque os objetivos dos trabalhos iam além da projeção – Figura 67.

No que respeita à projeção decorreu como o descrito para o poço anterior (poço 4). Aqui a “fasquia” estava bem mais alta pois o poço era para projetar na integra. Até aos 300 m sabia-se que se conseguia projetar, mas daqui em diante havia dúvidas devido a diversos fatores. De dia para dia, foi-se avançando com os trabalhos e no final conseguiu-se dizer que o trabalho foi concluído com sucesso.

Estava desta forma passada a barreira dos 300 m. Conseguiu-se alcançar o objetivo dos 478 m projetados.



Figura 67. Estrutura montada para o poço 5 (arquivo de fotos EPOS SA; com autorização).

5.4. Dificuldades/Soluções na projeção de betão

No início, mais concretamente no poço 2, durante as projeções, foram surgindo diversas dificuldades.

A primeira de todas é pelo fato de estarmos dependentes da central de betão. Centrais que têm composições específicas aprovadas para a obra. Criar receitas, testar e experimentar no decorrer da obra acaba por se tornar um obstáculo.

A tubagem encravada foi igualmente uma dificuldade. Quando estamos perante uma obra desta grandeza, existem receitas de betão projetado, que são perfeitamente compatíveis e adequam-se para trabalhar com um robot de projeção (por exemplo PM-500), com dosagens de fibras acima dos 15 kg/m^3 . Neste caso devido à especificidade do trabalho que é, tudo que ultrapassar essa dosagem vai acarretar problemas de entupimento de tubagem. Para trabalhar com o “Shaft Liner”, ter-se-á de optar por uma fibra (por exemplo Dramix 3D 65/35 BG) que permite dosagens mínimas iguais a 15 kg/m^3 .

Problemas com a dimensão do agregado, é outro fator crítico. O fato de se trabalhar com brita resultante da britagem de pedra, implica um subproduto mais anguloso. Teve de se proceder a uma alteração na composição do betão substituindo a brita 6/14 por uma brita 4/6 (bago de arroz). O ideal será trabalhar sempre que seja possível com agregados constituídos por material rolado.

Foi necessário também aumentar à quantidade de cimento, por forma a ter uma quantidade superior a 400 kg/m^3 .

Um dos problemas na projeção era o da segregação do betão. Isso acontecia quando existia insuficiência na lubrificação da linha, e não pela altura de queda. Limpar todo o circuito durante

um tempo com água e depois fazer circular uma boa quantidade de calda de cimento, na relação 1/5 é uma solução que minimiza este risco.

Um dos problemas mais comuns é o encravamento da ponteira de betão. Para que isto aconteça basta abrir o aditivo antes de chegar o betão à ponteira de projeção. Algum eventual retorno de aditivo pelo mangueirão de projeção, originado pelo ar que entra no difusor é suficiente para encravar a tubaria antes e na zona do difusor. Para evitar este tipo de problema será necessário primeiro deixar sair betão pela ponteira e somente depois adicionar o aditivo.

O mesmo se passa no intervalo das autobetoneiras. Ou existe uma alimentação continua ou se tiver de se fazer uma paragem, tem de ser efetuada uma lavagem de todo o circuito. Obviamente que depois implica fazer nova lubrificação do circuito. Contorna-se este problema, com a alimentação continua de betão na tremonha da bomba.

Por vezes quando se gasta um camião de betão até ao fim, surge um entupimento logo ao nível da bomba. Isto deve-se ao fato de pedras existentes na composição e que costumam amontoar-se na última lâmina da autobetoneira. Por forma a evitar esta questão, deve-se deixar de projetar a última lâmina do camião. Estas pedras podem surgir de lavagens das autobetoneiras por parte dos motoristas, ou de pedras que podem resultar de uma limpeza da misturadora da central de betão ou ainda que venham misturadas com os agregados.

A par destes problemas que ao longo do tempo foram sendo analisados e sempre questionados com sentido crítico, por forma a serem solucionados, existem outros que advém de avarias normais dos equipamentos. Uma forma de resolver e estar preparado para este tipo de situações será ter sempre um mecânico e eletricista em obra e em armazém algumas peças mais suscetíveis a avarias.

(página propositadamente em branco)

6. Breve Análise de Custos

Para esta análise comparativa de custos é importante realçar que será efetuada uma comparação somente entre a projeção via “Shaft Liner” e a mais vulgar que é a projeção manual.

De forma alguma poder-se-ia ter uma ideia do comparativo de custos dos diversos tipos de projetos. Nem sequer se consegue evidenciar as vantagens de um método relativamente ao outro motivado pelas grandes diferenças dos projetos entre si.

Cada projeto engloba uma multiplicidade de condições particulares e intrínsecas, tornando-os singulares.

Como exemplo disto, poder-se-á citar:

- Local geográfico onde se realiza o projeto;
- O tipo de projeto – características dimensionais, tipo de sustimento, para o fim a que se destina;
- Equipamentos disponíveis;
- Peças e materiais disponíveis;
- Custo de peças;
- Tipo de contrato entre executor e cliente;
- Condições específicas de mercado;
- Estado da economia nos países;
- Desempenho e custo da mão de obra local;
- Condições de trabalho.

Por vezes a projeção manual de poços poderá não ser tecnicamente viável face à obrigatoriedade de ter presença humana no local de trabalho. Desta forma, ter-se-á de optar logo “à priori” pela projeção com “Shaft Liner”.

Segundo a experiência da EPOS SA, para as mesmas condições gerais de trabalho, o valor de uma projeção manual em poço, poderá ser 2 a 5 vezes mais onerosa comparativamente com a projeção com “Shaft Liner”.

Mas para a empresa, a principal vantagem nem é em termos económicos, mas sim em termos de segurança, porque a vida humana não tem preço!

(página propositadamente em branco)

7. Conclusões

No fim deste acompanhamento dos trabalhos pelas obras da empresa, constata-se que a projeção de poços é de extrema importância dentro do projeto mineiro. Isto porque, há necessidade de reabilitar poços que eventualmente se encontram debilitados e é urgente intervir nos mesmos por forma a dar continuidade a outros trabalhos. Caso dos poços que são chaminés de ventilação das minas que são bastante solicitados à passagem de grandes quantidades de ar para o interior/exterior da mina. Com a projeção das paredes do poço estamos a impedir que o ar penetre no terreno, descomprimindo-o e provocando a sua degradação em pouco tempo. O betão projetado funciona ainda de proteção às escorrências de águas que são bastantes prejudiciais quando em contato com o terreno, levando à sua degradação num curto espaço de tempo. Ao aplicar o betão projetado, está-se a efetuar uma intervenção “preventiva/curativa” que evita a degradação contínua das paredes do poço, o que poderia conduzir ao seu colapso.

Nos poços destinados a obras hidráulicas, a projeção de betão é importante porque após a abertura deste, no seu interior ainda vão decorrer trabalhos. Até à finalização dos mesmos, os trabalhadores necessitam de estar em segurança. É de extrema importância que as paredes dos poços estejam bem sustentadas, com um sustimento primário de betão projetado. Agindo de forma pró-ativa, evitam-se os acidentes e desta forma está-se a evitar que algum bocado de terreno se desprenda e possa ir atingir um trabalhador.

O acompanhamento da projeção dos poços permite tirar as seguintes ilações:

- O sistema de projeção remota promove a segurança dos trabalhadores. É preferível projetar remotamente a ir para o interior de um poço e efetuar todo o trabalho manualmente. Os riscos são bem menores, salvaguardando a saúde e o bem estar do trabalhador;
- O método de projeção, com “Shaft Liner”, comparativamente ao método manual tem menos custos, sendo este último 2 a 5 vezes mais dispendioso para as mesmas condições gerais de trabalho;
- Trabalho efetuado com pessoal especializado, devidamente treinado e com elevado grau de responsabilidade;
- Ter sempre em obra, para efetuar o acompanhamento da mesma, um técnico de SHST, um mecânico e um eletricista;
- Garantir que existe em armazém material e peças suplentes suficientes para as condições específicas da obra;
- É necessária uma boa manutenção de todo o equipamento para se obter uma boa operação do mesmo;
- O equipamento tem de ser bem escolhido. Se o trabalho a executar for até aos 50 m de profundidade, pode ser usada uma bomba de pistões via húmida. Se for a uma

profundidade compreendida entre 50 e 100 m poder-se-á utilizar uma bomba de rotor via húmida e um compressor de 7 bar e 12 m³/min de caudal. Dos 100 m até sensivelmente 478 m ter-se-á de optar por um compressor de 12 bar e 23 m³/min de caudal e uma bomba de rotor;

- Na escolha da bomba de betão atender a outras características, como a sua distância vertical e horizontal máxima de bombagem que ela é capaz;
- Na montagem do robot ter atenção à distância da ponteira em relação à parede do poço. Deverá estar compreendida entre 1 e 1,5 m;
- Usar um betão de classe S5. É muito importante que este chegue à obra pronto a aplicar, com um “Slump” nunca inferior a 26 cm;
- O cimento utilizado na composição deverá ser do Tipo II – 42,5 ou Tipo I;
- Sempre que possível dever-se-á utilizar agregados rolados em substituição dos britados;
- Ter cuidado com a dimensão dos agregados. Deverá ter como dimensão máxima 12 mm. O ideal para trabalhar será 6 mm;
- Sempre que possível usar um super-plastificante na mistura de betão. É um forte redutor de água e assegura uma boa trabalhabilidade ao betão;
- Utilizar na composição de betão, uma quantidade de cimento superior a 400 kg/m³;
- Se o betão projetado incorporar na sua composição fibras metálicas, o seu consumo deverá ser na ordem dos 15 kg/m³ de betão e nunca superior;
- Antes de projetar dever-se-á efetuar uma boa lubrificação com água e posteriormente com calda de cimento;
- Ligar o aditivo somente quando o betão começar a sair pela ponteira. Deve-se desligar um pouco antes de terminar de projetar.

São estes, pontos chave, para condição de sucesso, na projeção de poços remotamente, com “Shaft Liner”.

Para um futuro trabalho, seria interessante abordar outras questões por forma a efetuar uma melhoria continua neste sistema de projeção. Para isso, seria ótimo ter a oportunidade de criar uma composição de betão específica para o “Shaft Liner”. Estudar as suas resistências e o seu comportamento quando aplicado.

Outro ponto interessante, seria efetuar um estudo que relacionasse, a velocidade angular de rotação da ponteira do robot, função da distância a projetar e relacionada ainda com a velocidade do ar que passa no interior do poço.

Seria, ainda, interessante equipar o robot de projeção com câmaras direcionais para dar a possibilidade ao operador de alterar o ângulo de visão das mesmas.

Certamente essas oportunidades irão aparecer com novos poços a serem projetados e vai haver a possibilidade de desenvolver e aperfeiçoar todo o sistema do “Shaft Liner” por forma a fazer dele um processo cada vez mais eficaz enquanto aliado da segurança.

8. Bibliografia

Agricola, G. (2014) De Re Metallica. Translated by Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover, reprint of the 1950 edition. Martino Fine Books, 674 p.

American Shotcrete Association – <https://shotcrete.org/> (consultado em Maio de 2019)

BASF – (2014). Sprayed Concrete for Ground Support. BASF - The Chemical Company.

Bernard S. [Editor] (2010). Shotcrete: elements of a system. CRC Press, London, 310 p. [<https://doi.org/10.1201/b10545>]

Dicionário Priberam da Língua Portuguesa (2008-2020). Dicionário Priberam da Língua Portuguesa – em linha [<https://dicionario.priberam.org>]

Dicionário Universal Milénio (2002). Dicionário Universal Milénio Língua Portuguesa. Texto Editora.

DuPont – DuPont Sustainable Solutions (2020). Curva de Bradley da DuPont. [<https://www.dsslearning.com.br/servicos/curva-de-bradley-da-dupont>] (consultado em Agosto de 2020).

EPOS SA (2013). EPOS_4700001872_Sistema betonagem rotativo_BP_CPV21_24092013. Sistema betonagem rotativo_BP_CPV21. Lisboa. (relatório inédito)

EPOS SA (2014). Procedimento de Trabalho - PT-7651-01, 2014. (relatório inédito)

EPOS SA (2014). Procedimento de Trabalho - PT-7651-01. Execução de escavações subterrâneas (poços - "raise boring" alargamento e sustimento). Procedimento de Trabalho - PT-7651-01, Lisboa. (relatório inédito)

EPOS SA (2019). Proyección de hormigón con equipo shaftliner. IET - Instrucción específica de trabajo. Huelva. (relatório inédito)

FFV-MML (2006). Modelos de Minas do Séc. XIX – Engenhos de Exploração Mineira. Lousal: Fundação Frédéric Velge e Museu Mineiro do Lousal. 394 pp.

Ford, K., Spence, L., McGarva, D., Calderwood, M. (2010). Robotic shotcrete shaft lining – a new approach. In: E.S. Bernard (ed.), Shotcrete: Elements of a System. CRC Press, London: pp. 105-110. doi:978-0-415-47589-1

Frade, F. (2017). EPOS Shaftliner. Neves Corvo: EPOS SA. (relatório inédito)

Gomes, L., Galiza, A.C., Vieira, A. (2010). Escavações Subterrâneas II. ISEP, Porto (Sebenta policopiada).

Hofler, J., Schlumpf, J., Jahn, M. (2011). <https://www.sika.com>. In: Sika Sprayed Concrete Handbook: <https://www.sika.com/content/dam/dms/corporate/s/glo-sika-sprayed-concrete-handbook.pdf> (consultado em Maio de 2019).

Hustrulid, W.A., Bullock, R.C. [Editors] (2001). Underground mining methods: engineering fundamentals and international case studies. Society for Mining Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado, 728 p.

Llanllaya-Huamani, J.L. (2019). Control de calidad y mantenimiento preventivo del sistema de perforación de la SBM 700. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Peru. (Tese)

Loevlie K. (2017). Lining raise-bore shafts. Shotcrete, 19(2):48-49.

Luís, R.F. (2018). Shafliner projeção de poços e chaminés. Lisboa: EPOS SA. (relatório inédito)

MARCOVIL SA (2012). Esquema de Montagem. Sistema de Elevação e Rotação de Braço Hidráulico Giratório (180° +180°) - EPOS SA. (relatório inédito)

MARCOVIL SA (2012). Manual de Instruções – Guincho Elétrico.

Rispin, M., Gause, C., Kurth, T. (2005). Robotic shotcrete applications for mining and tunnelling. Shotcrete 7(3):4–9.

Varela, T. (2006). Modelos de Minas do Séc. XIX – Engenhos de Exploração Mineira. Lousal: Fundação Frédéric Velge e Museu Mineiro do Lousal.