

Avaliação Técnica das condições de Integridade e de Gestão de Riscos do
Mineroduto do Sistema Minas-Rio – Etapa 2: Parecer Técnico Final

INTERESSADOS

Ministério Público do Estado de Minas Gerais
Anglo American – Minério de Ferro Brasil S.A.

UNIDADES RESPONSÁVEIS

Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente
Energia
Materiais Avançados
Tecnologias Regulatórias e Metrológicas

RESUMO

Apresenta-se o Parecer Técnico Final referente às atividades desenvolvidas durante a etapa 2 desta auditoria ambiental, cujo objetivo é a avaliação das condições gerais de integridade e de gestão de riscos ao longo dos 529 km do mineroduto do Sistema Minas-Rio da Anglo American - Minério de Ferro Brasil S.A., localizado entre os estados de MG e RJ, no escopo de atividades definido para a Etapa 2, em continuidade aos serviços de auditoria ambiental iniciados pelo IPT no ano de 2018. Os trabalhos foram realizados em atendimento ao Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta Preliminar e Parcial firmado em 11/05/2018 pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG) e a Anglo American - Minério de Ferro Brasil S.A, tendo o IPT como Interviente. Os resultados obtidos até o presente momento são subdivididos em quatro linhas de trabalho: avaliação das condições intrínsecas de integridade do mineroduto; avaliação dos aspectos hidráulicos operacionais do mineroduto; avaliação dos aspectos geológico-geotécnicos ao longo da faixa de domínio do mineroduto; e avaliação das atividades de gestão de riscos associados à operação do mineroduto. A análise de risco indicou que a empresa se encontra entre os níveis de riscos baixo e médio, atualmente. De modo geral, considerando-se as causas dos vazamentos ocorridos em março de 2018, a atuação da Anglo American durante os acidentes, as medidas corretivas e preventivas implantadas em relação às questões aqui apontadas nas diferentes linhas de trabalho avaliadas desde então e, caso as medidas previstas de serem implantadas futuramente ocorram, é esperado que o mineroduto do sistema Minas-Rio continue a operar de forma segura, consideradas as limitações citadas.

PALAVRAS-CHAVES: Integridade de dutos; Mineroduto Minas-Rio; Minério de Ferro; Riscos; Anglo American; Ministério Público.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	4
3.1	Integridade Mineroduto	4
3.1.1	Trincas e descontinuidades correlatas	7
3.1.2	Corrosão Interna e monitoramento	35
	Sondas de resistência elétrica	40
	Cupons de perda de massa	46
	FSM[®] Field Signature Method	52
	Análises físico-químicas	53
	Análises microbiológicas: em águas/polpas e em biocupons	62
3.1.3	Corrosão externa e Proteção catódica	82
3.1.4	Evolução das ações implantadas	92
3.2	Aspectos Hidráulico-Operacionais	93
3.2.1	Avaliar a implantação, pela empresa, das recomendações sugeridas no item “6.2 Avaliação dos Aspectos Hidráulico-operacionais do mineroduto” no Parecer IPT (2018).....	95
3.2.2	Análise do escoamento pulsátil das bombas e flutuação da pressão no mineroduto como fatores de influência à progressão de trincas na tubulação, sob o ponto de vista do escoamento polpa e polpa-água, e avaliação da atenuação das flutuações rápidas ao longo do duto	107
3.3	Aspectos Geológico-Geotécnicos	130
3.3.1	Análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos externos	132
3.3.2	Análise do estado das estruturas permanentes instaladas	139
3.3.3	Análise da gestão dos aspectos geológico-geotécnicos	176
3.4	Gestão de Riscos do Mineroduto.....	188

3.4.1	Avaliação da Gestão de Riscos do empreendimento e efetividade das medidas implementadas.....	189
3.4.2	Avaliação da Suscetibilidade.....	214
3.4.3	Avaliação das Vulnerabilidades, do Plano de Atendimento de Emergência e do relacionamento socioinstitucional.....	217
3.4.4	Comentários aos resultados do modelo de risco.....	223
3.4.5	Avaliação do atendimento as ameaças e oportunidades de melhorias apontadas pela equipe técnica do IPT.....	226
4	CONCLUSÕES.....	246
5	LIMITAÇÕES DAS ANÁLISES.....	255
6	RECOMENDAÇÕES.....	256
6.1	Linha 1 – Avaliação da Integridade.....	256
6.1.1	Trincas e descontinuidades correlatas.....	256
6.1.2	Corrosão interna e monitoramento.....	256
6.1.3	Corrosão externa e proteção catódica.....	257
6.2	Linha 2 – Avaliação dos Aspectos Hidráulico-Operacionais.....	258
6.3	Linha 3 – Avaliação dos Aspectos Geológico Geotécnicos.....	259
6.4	Linha 4 – Aspectos da Gestão de Riscos.....	260
6.4.1	A capacidade de gestão dos riscos:.....	260
6.4.2	Ao sistema Optasense:.....	261
6.4.3	À gestão das vulnerabilidades, ao PAE e ao relacionamento socioinstitucional:.....	261
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	263
	APÊNDICES.....	270

Apêndice A – Relatos de Campo (117 págs.)

Apêndice B – Faixa de Domínio (25 págs.)

Apêndice C – Túneis (30 págs.)

Apêndice D – Barragem EB2 (62 págs.)

Apêndice E – Estruturas EB1 (113 págs.)

Apêndice F – Estruturas EB2-EV-ET (237 págs.)

Apêndice G – Taludes EB1 (40 págs.)

Apêndice H – Vibrações (39 págs.)

Apêndice I – Corrosão Interna (14 págs.)

Apêndice J – Risco (69 págs.)

Apêndice K – Mapa de Risco e Vulnerabilidade (7 págs.)

Apêndice L – Relatórios e Pareceres Técnicos anteriores (1480 págs.)

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.1 – Aspecto típico de um diagrama FAD API 579 nível 2.	17
Figura 3.1.2 – Desenho esquemático de uma trinca de formato semielíptico.	17
Figura 3.1.3 – Reprodução da Figura 45 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 1 (trecho entre EB1 e EB2) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.	18
Figura 3.1.4 – Reprodução da Figura 46 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 2 (trecho entre EB2 e EV1) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.	19
Figura 3.1.5 – Reprodução da Figura 47 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 3 (trecho entre EV1 e ET1) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.	19
Figura 3.1.6 – Esquema mostrando como a amplitude da pressão varia ao longo do duto a partir do bombeamento.	29
Figura 3.1.7 – Rack de exposição de corpos de prova à água de processo.	38
Figura 3.1.8 – Locais de coleta de amostras de água e de polpa para análises físico-química, e de instalação de cupons de perda de massa e de biocupons.	40
Figura 3.1.9 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Início Mineroduto Jr”.	42
Figura 3.1.10 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Final Mineroduto Jr”.	42
Figura 3.1.11 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Sucção EB1”.	43
Figura 3.1.12 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Descarga EB1”.	43
Figura 3.1.13 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Sucção EB2”.	44
Figura 3.1.14 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Descarga EB2”.	44
Figura 3.1.15 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Estação de Válvulas”.	45
Figura 3.1.16 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Entrada Estação Terminal”.	45
Figura 3.1.17 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Saída Estação Terminal”.	46
Figura 3.1.18 – Aspecto visual de cupom de perda de massa após preparo de superfície, mas antes de ser ensaiado.	47
Figura 3.1.19 – Aspecto visual de cupons de perda de massa pré e pós decapagem. Nota-se a presença de produtos de corrosão, mesmo após a decapagem. Cabe salientar que a decapagem é aplicada exatamente para remoção dos produtos de corrosão, para cálculo da taxa de corrosão.	49
Figura 3.1.20 – Aspecto visual de cupons de perda de massa retirados da Exposição 5. Nota-se a presença de ranhuras profundas na superfície dos cupons.	50
Figura 3.1.21 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas do “Rio do Peixe”.	54
Figura 3.1.22 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Barragem EB1”.	54
Figura 3.1.23 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Água de Processo RU-417”.	55
Figura 3.1.24 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Tubulação do Reservatório de Água EB1”.	55
Figura 3.1.25 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB1”.	56
Figura 3.1.26 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Sucção EB1 – Pós-tratamento”.	56

Figura 3.1.27 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Tubulação Barragem EB2”. Cabe mencionar que nas amostragens 1 e 2 a coleta foi realizada na tubulação e nas amostragens 3 a 6 ela foi feita diretamente na Barragem de EB2.	57
Figura 3.1.28 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB2”. Na amostragem 6, ao invés de polpa foi coletada água.	57
Figura 3.1.29 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Estação Terminal”.....	58
Figura 3.1.30 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas do “Rio do Peixe”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.	65
Figura 3.1.31 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Barragem EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	65
Figura 3.1.32 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Água de Processo RU-417”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	65
Figura 3.1.33 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Tubulação do Reservatório de Água EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	66
Figura 3.1.34 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.	66
Figura 3.1.35 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Sucção EB1 – Pós-tratamento”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	66
Figura 3.1.36 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Tubulação Barragem EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	67
Figura 3.1.37 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.	67
Figura 3.1.38 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Estação Terminal”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.....	67
Figura 3.1.39 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Mineroduto Jr”, pela técnica de cultivo e qPCR.	73
Figura 3.1.40 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Descarga EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR.	74
Figura 3.1.41 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Descarga EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR.	74
Figura 3.1.42 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Estação de Válvulas”, pela técnica de cultivo e qPCR.	74
Figura 3.1.43 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Estação Terminal”, pela técnica de cultivo e qPCR.....	75
Figura 3.1.44 – Ilustração da medidas de potenciais ON-OFF em um PTE.....	89
Figura 3.1.45 - diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.	92
Figura 3.2.1 - Desenho das modificações implementadas nas bombas no projeto “SAFER”.....	99
Figura 3.2.2 - Pulsação da bomba esperada (figura ao alto) e pulsação esperada após as modificações “SAFER”.....	101

Figura 3.2.3 - Simulação mostrando a relação entre a pressão estática e a tensão mecânica no material do duto. A seta em vermelho indica o local dos vazamentos, e as amarelas indicam exemplos de pontos com níveis de tensão elevados. A tensão mecânica está plotada em unidades arbitrárias.....	109
Figura 3.2.4 - Variação da espessura da parede dos tubos ao longo do mineroduto.	109
Figura 3.2.5 - Efeito de sincronização no bombeamento: a) Bombas sincronizadas na mesma fase (superior à esquerda); b) Defasagem entre bombas otimizada para minimizar a pulsação (superior à direita); c) Defasagem aleatória 1 (inferior à esquerda); d) Defasagem aleatória 2 (inferior à direita).	111
Figura 3.2.6 - Sensor magnético triaxial posicionado no duto de descarga da EB1.	117
Figura 3.2.7 - Acima, o sensor magnético indutivo, e, abaixo, os sensores magnéticos.....	118
Figura 3.2.8 - Pulsações medidas com sensor magnético durante passagem de água.....	119
Figura 3.2.9 - Pulsações medidas com sensor magnético durante passagem de polpa.....	120
Figura 3.2.10 - Pressão de descarga na saída de EB2 no período de dezembro/2018 a junho/2019	122
Figura 3.2.11 - Pico máximo de pressão em 19/05/2019.....	123
Figura 3.2.12 - Histograma exibindo a densidade de ocorrências de tamanhos de <i>batches</i>	124
Figura 3.2.13 - Pressão de descarga em EB2 durante o mês de julho de 2020.....	125
Figura 3.2.14 - Pressão de saída em EV durante o mês de julho de 2020.....	126
Figura 3.2.15 - Densidade da polpa no período de julho de 2020.....	127
Figura 3.2.16 - Linha do tempo das melhorias evidenciadas na operação.....	129
Figura 3.3.1 - Divisão de trechos adotada pela Anglo American na operação do mineroduto.....	130
Figura 3.3.2 – Critérios e ações a serem tomadas pela empresa considerando eventos chuvosos.	179
Figura 3.3.3 – Fotografias enviadas pela empresa ilustrando o processo geológico-geotécnico deflagrado em função da chuva.....	181
Figura 3.3.4 – Capturas de tela indicando o aplicativo <i>My Survey</i> (Plataforma <i>Esri</i>) utilizado atualmente nas inspeções operacionais de faixa e geotécnicas.....	184
Figura 3.3.5 - mapa de processos do programa de gerenciamento de riscos geotécnicos.	185
Figura 3.3.6 - Cronograma de entregáveis da Equipe de Geotecnia do Mineroduto envolvendo os aspectos geológico-geotécnicos.	186
Figura 3.3.7 - diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.....	187
Figura 3.4.1 – Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir da passagem de veículo.	209
Figura 3.4.2 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema por simulações de diferentes tipos de escavações. Em a) sinal considerando escavação manual e, em b) escavação mecânica.	210
Figura 3.4.3 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir da passagem de PIG.	211
Figura 3.4.4 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir de simulações de quebra da fibra óptica.	212
Figura 3.4.5 - diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.....	213

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	6
Quadro 3.1.2 – Situação de algumas pendências anteriores e principais conclusões obtidas.	34
Quadro 3.1.3 - Plano de controle e monitoramento da corrosão interna do mineroduto.	36
Quadro 3.1.4 – Quantificação de grupos bacterianos em nove diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.	69
Quadro 3.1.5 – Quantificação de grupos bacterianos em cinco diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.	76
Quadro 3.2.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	94
Quadro 3.3.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	133
Quadro 3.3.2 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	141
Quadro 3.3.3 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	145
Quadro 3.3.4 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	148
Quadro 3.3.5 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às ameaças menores associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados nos túneis do Mineroduto Minas-Rio.	151
Quadro 3.3.6 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às oportunidades de melhoria associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados nos túneis do Mineroduto Minas-Rio.	152
Quadro 3.3.7 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	154
Quadro 3.3.8 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às oportunidades de melhoria associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados na barragem EB-2 do Mineroduto Minas-Rio.	156
Quadro 3.3.9 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	159
Quadro 3.3.10 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	160
Quadro 3.3.11 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	163
Quadro 3.3.12 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	166
Quadro 3.3.13 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	167
Quadro 3.3.14 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	171
Quadro 3.3.15 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	173
Quadro 3.3.16 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	174
Quadro 3.4.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	188
Quadro 3.4.2 – Auditorias de números 1 a 6, ocorridas em 2019.	190
Quadro 3.4.3 - Auditorias de números 7 a 13, ocorridas em 2019.	191
Quadro 3.4.4 - Auditorias de números 14 a 19, ocorridas em 2020.	192
Quadro 3.4.5 - Auditoria de número 20, ocorridas em 2021.	193
Quadro 3.4.6 – Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 1.	227
Quadro 3.4.7 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 1.	228
Quadro 3.4.8 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 1.	230
Quadro 3.4.9 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT nas Etapas 1 e 2 da auditoria na Linha 2.	232
Quadro 3.4.10 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 3.	234
Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.	237
Quadro 3.4.12 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 4.	245
Quadro 3.2.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	249
Quadro 3.1.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	251
Quadro 3.4.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.	254

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1.1 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2*.....	10
Tabela 3.1.2 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2	11
Tabela 3.1.3 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2	11
Tabela 3.1.4 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2.....	12
Tabela 3.1.5 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1.	12
Tabela 3.1.6 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1	13
Tabela 3.1.7 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB2 e EV1	13
Tabela 3.1.8 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1	14
Tabela 3.1.9 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1.....	14
Tabela 3.1.10 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1	15
Tabela 3.1.11 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1	15
Tabela 3.1.12 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1	16
Tabela 3.1.13 – Vida mínima a fadiga assumida para a avaliação de indicações com forma de trinca	20
Tabela 3.1.14 - Reprodução da Tabela 21 do relatório FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE.	22
Tabela 3.1.15 – Reprodução da Tabela 25 do relatório FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE.	24
Tabela 3.1.16 – Estimativa da vida útil baseada na inspeção por PIG	32
Tabela 3.1.17 – Taxas de corrosão calculadas com base em dados obtidos por sondas SRE.....	46
Tabela 3.1.18 – Taxas de corrosão dos cupons de perda de massa instalados em nove diferentes posições do Mineroduto.	51
Tabela 3.1.19 – Taxas de corrosão calculadas para sondas SRE e verificadas para cupons de perda de massa na Exposição 6.	52
Tabela 3.1.20 – Dureza de águas coletadas em diferentes pontos.....	60
Tabela 3.1.21 – Índices de saturação ou de Langelier calculados para águas coletadas em diferentes pontos, em diferentes momentos.	61
Tabela 3.1.22 – Potenciais ON e OFF nos cupons.	89
Tabela 3.3.1 - Quantidade de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada avaliadas no âmbito do <i>buffer</i> de 500 m e faixa de domínio, segundo o trecho do mineroduto.....	136
Tabela 3.3.2 - Documentos fornecidos pela Anglo American das inspeções realizadas nas Passagens Aéreas (<i>Pipe racks</i>).	145
Tabela 3.3.3 - Documentos fornecidos pela Anglo American das inspeções realizadas nas Estações de Monitoramento de Pressão (PMS).	161
Tabela 3.3.4 - Áreas de depósito de material excedente (ADMEs) vistoriadas ao longo do mineroduto	169
Tabela 3.3.5 - Pontos de cruzamento vistoriados ao longo do mineroduto.....	172
Tabela 3.4.1 – HCF e CRA.	216
Tabela 3.4.2 –suscetibilidade por tubo.....	216
Tabela 3.4.3 – Distribuição das categorias dos Riscos nos mapas gerados.	224

1 INTRODUÇÃO

Este Parecer Técnico foi elaborado no intuito de relatar as conclusões advindas do desenvolvimento das atividades de auditoria ambiental desenvolvidas pelo IPT durante a Etapa 2, na condição de terceira parte, sobre a avaliação técnica das condições de integridade do mineroduto do Sistema Minas-Rio, pertencente à empresa Anglo American, tendo em vista a ocorrência de vazamentos que afetaram cursos d'água e o abastecimento de comunidade em março de 2018.

De acordo com o Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta Preliminar e Parcial (TAC), firmado pelo MPMG e Anglo American, tendo o IPT como interveniente, em 11/5/2018, o objeto de auditoria ambiental independente versa sobre: (I) as causas dos rompimentos e a dinâmica dos processos e condições de operação e de manutenção dos equipamentos e dos sistemas de controle de poluição, com a avaliação das condições de integridade do Mineroduto do Sistema Minas - Rio, tanto internamente quanto externamente às estruturas instaladas, bem como em suas imediações, ao longo da faixa de domínio e em toda sua extensão de 529 km, desde a mina do Sapo em Conceição do Mato Dentro/MG até o terminal marítimo situado em Porto do Açu/RJ; e (II) avaliação de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência, bem como, quando necessário, recomendações para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores, conforme metodologia e cronogramas de atividades constantes da Proposta IPT 804.300/18, visando à prevenção de novos danos ambientais e a reparação de danos consumados, nos termos dos § 21 e 3º do art. 225 da CF/1988 e parágrafo 1º do art. 14 da Lei 6.938/1981.

Para atender a solicitação do MPMG, à lei estadual de Minas Gerais nº 10.627/16/01/1992¹, bem como o TAC firmado, o IPT conduziu avaliações durante a Etapa 1, que se estenderam desde maio de 2018 a março de 2019. Em 12 de novembro de 2018 o IPT emitiu o Parecer Técnico nº 21.079-301 (IPT, 2018) referente à Etapa 1, apresentando-o ao MPMG e à Anglo American. No fim de dezembro de 2018 o mineroduto do sistema Minas-Rio retomou sua operação normal. Conforme previsto no TAC e na Proposta Técnica IPT supramencionados, a atuação do IPT se dividiu em duas etapas.

A segunda etapa das avaliações técnicas das condições de integridade e gestão de riscos do mineroduto foi conduzida considerando principalmente as externalidades e vulnerabilidades socioambientais presentes ao longo de toda a extensão do empreendimento. Os objetivos da Etapa 2 foram estabelecidos de acordo com o TAC supracitado e indicados por meio da Proposta nº 866400/19. As atividades referentes aos seis primeiros meses da auditoria da Etapa 2 foram descritas no Parecer Técnico Parcial da Etapa 2 nº 21.150-301.

Houve necessidade de postergação da data de entrega do Parecer Técnico Final do IPT, previsto inicialmente para abril de 2020, para outubro de 2020 e, posteriormente, para março de 2021, por conta, principalmente, da pandemia causada pela Covid-19 que atingiu o país, paralisando parte das atividades dos envolvidos neste trabalho (IPT, Anglo American e seus terceiros). Para relatar o andamento das atividades o IPT elaborou e disponibilizou para o MPMG dois relatórios de andamento (Relatórios Técnicos nº 161195-205 e nº 159992-205).

Este Parecer Técnico tem por objetivo informar ao Ministério Público de Minas Gerais sobre as conclusões obtidas com a finalização dos serviços realizados pelos

¹ A lei 10.627/92 define auditoria ambiental como sendo a realização de avaliações e estudos destinados a determinar:

- I - os níveis efetivos ou potenciais de poluição ou de degradação ambiental provocados por atividades de pessoas físicas ou jurídicas;
- II - as condições de operação e de manutenção dos equipamentos e sistemas de controle de poluição;

técnicos do IPT durante a Etapa 2 da auditoria ambiental que aconteceu entre os meses de março de 2019 e março de 2021.

Os trabalhos de avaliação técnica estão sendo executados por equipes integrantes de diversos laboratórios e seções técnicas do IPT, envolvendo principalmente quatro Unidades de Negócio: Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente; Energia; Materiais Avançados e Tecnologias Regulatórias e Metrológicas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral dos trabalhos realizados pelo IPT, durante as Etapas 1 e 2, previsto no referido Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC) Preliminar e Parcial e nas Propostas IPT nº 804.300/18 e nº 866.400/19, é o de avaliar as condições gerais do mineroduto do Sistema Minas-Rio ao longo de seus 529 km de extensão, quanto às condições de integridade e gestão de riscos do empreendimento.

O objeto da auditoria ambiental de terceira parte indicado no TAC se refere a (i) realização de Auditoria Ambiental Independente sobre as causas dos rompimentos, condições de operação e de manutenção dos equipamentos do mineroduto do Sistema Minas-Rio; (ii) avaliação de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência do empreendimento, conforme metodologia e cronogramas constantes da Proposta IPT 804.300/18, visando à prevenção de novos danos ambientais e à reparação dos danos consumados.

Para atender ao TAC o IPT emitiu duas propostas, a de nº 804.300/18, correspondente a Etapa 1, cujo Parecer Técnico nº 21.079-301 foi emitido em 12 de novembro de 2018 e a de nº 866.400/19, correspondente a Etapa 2, cujos objetivos estão descritos a seguir:

- a) Avaliação da dinâmica dos processos e condições de operação e de manutenção dos equipamentos e dos sistemas de controle de poluição;
- b) Avaliação das condições de integridade do mineroduto do Sistema Minas -Rio, tanto internamente quanto externamente às estruturas instaladas, bem como em suas imediações, ao longo da faixa de domínio e em toda sua extensão de 529 Km, desde a mina do Sapo em Conceição do Mato Dentro/MG e o terminal

marítimo situado em Porto do Açu/RJ;

- c) Avaliação da gestão de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência; e
- d) Estudos para a elaboração de recomendações (se necessário) para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

3.1 Integridade Mineroduto

A Linha 1 está relacionada com aspectos de integridade do mineroduto e foram divididas em três atividades principais a saber: Trincas e descontinuidades correlatas; Corrosão interna e, Corrosão externa e proteção catódica, cujos objetivos principais estão apresentados a seguir:

- Fazer análises mais minuciosas dos relatórios de passagens de PIGs emitidos pela “Rosen”;
- Avaliar o plano de controle e monitoramento da corrosão interna adotado pela Anglo American para o mineroduto; e
- Avaliar a efetividade e o programa de monitoramento do sistema de proteção catódica do mineroduto, incluindo interferências elétricas em correntes contínuas e alternadas.

Na Etapa 1 deste trabalho de auditoria, foram identificadas anomalias classificadas de acordo com os critérios definidos pelo IPT como:

Ameaças críticas

- Trincas internas de corrosão-fadiga;
- Trincas externas, campos de trincas e defeitos geométricos;
- Corrosividade da água de captação.

Ameaças menores

- Monitoramento da corrosão interna.
- Efetividade do sistema de proteção catódica;
- Super proteção catódica (descolamento catódico);
- Proteção de juntas de campo;
- Interferência de correntes alternadas;
- Eventos de falhas nos retificadores;
- Interligação com outras estruturas existentes nas vizinhanças;

O **Quadro 3.1.1** indica os objetivos propostos para esse tema e as principais conclusões obtidas pela avaliação do IPT.

Quadro 3.1.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos das atividades da avaliação da Integridade	Principais conclusões
<p>Fazer análises minuciosas dos relatórios de passagens de PIGs emitidos pela "Rosen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Como base nos resultados das avaliações feitas pelos técnicos do Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT sobre o desenvolvimento desse tema, pode-se concluir que as ações implantadas pela Anglo American estão corretas e no sentido de manter a integridade do mineroduto. Diante do cenário apresentado, todas as ações corretivas realizadas e o monitoramento contínuo da integridade do mineroduto permitem observar quaisquer alterações nas condições de operação que possam nuclear trincas ou aumentar a velocidade de propagação, de modo que providências possam ser tomadas em tempo, possibilitando a prevenção de ocorrência de vazamentos.
<p>Avaliar o plano de controle e monitoramento da corrosão interna adotado pela Anglo American para o mineroduto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Com relação ao monitoramento da corrosão interna do Mineroduto Minas-Rio, observa-se uma tendência de melhoria nos procedimentos utilizados pela empresa contratada, mas algumas ações precisam ser aperfeiçoadas: na última substituição de cupons, alguns apresentaram danos mecânicos atribuídos à passagem de PIG. O PIG pode, de fato, promover este dano, mas somente se a instalação não foi feita corretamente. • As sondas de resistência elétrica também apresentaram problemas; das nove sondas instaladas, cinco não apresentaram valores de taxas de corrosão (sonda aberta). • Como as águas <i>in natura</i> são corrosivas ao aço-carbono, deve-se tomar cuidado para que elas não sejam introduzidas, inadvertidamente, no mineroduto, sem o devido tratamento, sob pena de desencadear o processo de corrosão. • Em alguns casos, foram encontradas concentrações elevadas de algumas cepas de bactérias. Em geral, teores de bactérias anaeróbias heterotróficas totais (BANHT) maiores que 10^7 e bactérias redutoras de sulfato (BRS) maiores que 10^5 nos biofilmes já exigem tratamentos complementares como passagem de PIG de limpeza.
<p>Avaliar a efetividade e o programa de monitoramento do sistema de proteção catódica do mineroduto, incluindo interferências elétricas em correntes contínuas e alternadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Com base nos resultados obtidos pelo IPT na visita de campo, em um trecho do mineroduto, o sistema de proteção catódica está operando, mas em três locais havia superproteção, mesmo após os ajustes dos retificadores. Não é possível extrapolar essa condição para os demais PTEs, mas convém avaliar mais cuidadosamente todo o trecho, para se certificar de quantos pontos estariam nessa condição. • Ao longo do mineroduto, há outras estruturas enterradas com proteção catódica que não estão interligadas ao mineroduto da Anglo American, mas de acordo com os relatórios da IEC, não há problemas de interferência entre elas. • De acordo com os relatórios da IEC, não havia interferências por corrente alternada, embora tenham sido identificados picos elevados. Os relatórios da IEC, também, concluíram que havia indicações de correntes telúricas em um trecho do mineroduto. • Sobre o revestimento externo, as inspeções apontaram sete falhas Categoria A e três como Categoria B. A IEC recomendou a abertura de valas nas falhas Categoria A para validar a existência dessas falhas. Outras falhas no revestimento foram identificadas em trechos do mineroduto que estavam embutidos em concreto.

A seguir serão apresentados e/ou reapresentados resultados das atividades desenvolvidas ao longo de todo o projeto, incluindo as Etapas 1 e 2.

3.1.1 Trincas e descontinuidades correlatas

Quando da emissão do Parecer Técnico nº 21.079-301, a Anglo American ainda não dispunha de todos os resultados das inspeções com PIG realizadas pela Rosen, mas já havia se comprometido a executar reparos em diversos trechos do mineroduto, que apresentaram anomalias consideradas críticas, conforme compromisso descrito na Nota Técnica de 25.10.2018 referente a “Tratativas das anomalias encontradas no relatório de inspeção por PIG”. Àquela altura, as decisões estavam sendo tomadas com base nas análises quanto à integridade estrutural realizadas pela empresa Elevara Partners. Naquela ocasião, os relatórios preliminares da Rosen, fornecidos ao IPT, asseguravam que todas as ameaças consideradas críticas já tinham sido reportadas nos seus relatórios de inspeção.

A versão final dos relatórios de inspeção por PIG só foi disponibilizada para o IPT em julho de 2019, juntamente com um relatório contendo a análise da integridade do mineroduto com base nos resultados obtidos na inspeção por PIG, emitida no relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE***, cuja abordagem e extensão foram muito mais amplas do que aquela realizada pela Elevara Partners. Nesses relatórios, a Rosen, apresentou uma quantidade de informações muito superior às versões simplificadas de 2018 contendo, inclusive, resultados de avanço da corrosão interna e externa que não tinham sido contemplados nos seus relatórios preliminares e, por isso, não foram consideradas no Parecer Técnico IPT nº 21.079-301 de 12 de novembro de 2018.

Os resultados das inspeções por PIG, fornecidos ao IPT, foram:

- **FINAL REPORT ILI – ROCOMBO INPECTION SERVICE XT/MFLA/UT-C/UTWM**, referente à inspeção realizada no trecho entre a EB1 em Conceição do Mato Dentro e a EB2 em Santo Antônio do Grama;
- **FINAL REPORT ILI – ROCOMBO INPECTION SERVICE XT/MFLA/UT-C/UTWM**, referente à inspeção realizada no trecho entre a EB2 em Santo Antônio do Grama e a EV em Tombos;
- **FINAL REPORT ILI – ROCOMBO INPECTION SERVICE XT/MFLA/UT-C/UTWM**, referente à inspeção realizada no trecho entre a EV em Tombos e a Estação Terminal em Barra do Açu.

Conforme já foi amplamente discutido no Parecer Técnico nº 21.079-301, os vazamentos dos dias 12 e 29/03/2018 na região de Santo Antonio do Grama tiveram início em trincas ocorridas em região com corrosão preferencial na superfície interna dos tubos, ao longo da zona afetada pelo calor da solda longitudinal, realizada por arco submerso no processo de fabricação. A causa das trincas foi decorrente de um processo de corrosão-fadiga, para as quais concorreram, as oscilações das pressões decorrente do bombeamento da polpa e a ação corrosiva do meio no interior do duto produzido pela polpa de minério.

Além da avaliação de integridade realizada pela Elevara Partners e da Nota Técnica emitida pela Anglo American, outros eventos realizados antes da retomada da operação do mineroduto foram relatados no relatório técnico **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE** emitido pela Rosen, do qual trechos constantes das páginas 18 e 19, foram traduzidos do inglês e estão reproduzidos a seguir:

...Um relatório de avaliação preliminar da integridade das indicações apresentadas em relatórios preliminares de inspeção por PIG foi emitido pela Rosen em novembro de 2018. A avaliação proporcionou a imediata e futura avaliação das indicações reportadas pelo PIG usando o modelo de crescimento de trinca sob fadiga, desenvolvido pela Elevara (ref.31). O resultado da avaliação da integridade concluiu que a vida-fadiga estimada muito pequenas, devido à combinação do ambiente corrosivo, pressão cíclica adversa e incertezas em torno da influência de parâmetros, tais como a corrosividade da polpa, efeitos de curvas realizadas em campo e áreas com falta de circularidade. Como resultados, foi recomendado não reiniciar o mineroduto.

Um workshop foi patrocinado pela Rosen UK em Newcastle upon Tyne, Reino Unido, em novembro para discutir a avaliação da integridade acima e para desenvolver um plano de ação para reiniciar o mineroduto. No workshop participaram pessoas da Anglo American, Ausenco, Petterson & Cooke e Phil Hopkins Ltd. Durante o workshop (notas de reunião ref. [32]), foi identificado que os dados da pressão operacional fornecidos para a análise de fadiga, providos pela Anglo American (ref. [32]), eram errôneos e solicitou-se a repetição de uma avaliação com os dados corretos.

A análise foi revisada em sequência da reunião com novos dados de pressão e a justificativa para o reinício da operação mineroduto foi desenvolvida nas 6 semanas seguintes. As condições e justificativa para reiniciar a operação do mineroduto estão sumarizadas pela Rosen antes do reinício (ref. [33, 34, 35, 36]). Este relatório de adequação ao uso apresenta uma análise detalhada para suportar as conclusões tiradas das notas técnicas.

Seguindo a reposição preventiva de 4 km de tubos PCK na saída da estação de bombeamento EB2 e do bem-sucedido teste hidrostático no trecho de 1 km do trecho abandonado, o mineroduto foi reiniciado no final do mês de dezembro de 2018. A linha foi reiniciada com restrição de pressão (ref. [36]) e a modificação dos batchings previu uma redução significativa na frequência do ciclo de pressão.

Os cálculos foram refeitos e serviram de base, inclusive, para os estudos de vida em fadiga, realizados pela UFMG. Constatou-se que o cálculo era conservador, pois utilizou-se um meio de ensaio (solução de cloreto de sódio) muito mais corrosivo do que a condição real (água mais polpa) e, portanto, a vida em fadiga seria maior.

a) Considerações sobre a inspeção por PIG e a análise realizada no relatório *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*

Os três relatórios de inspeção por PIG apresentavam dados relativos às anomalias detectadas nas inspeções por PIGs nas seções do mineroduto, entre EB1 e EB2, entre EB2 e EV e entre EV e ET. A avaliação na íntegra destas informações e o cruzamento das mesmas com as utilizadas na avaliação da integridade estrutural do mineroduto utilizadas no relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE***, está apresentada neste Parecer Técnico final.

Na avaliação da integridade estrutural realizada em 2018 pela Elevara, com os dados disponíveis na época, foram consideradas apenas as descontinuidades planares identificadas como trincas ou com formato de trinca. Na avaliação da integridade estrutural realizada pela Rosen, além das descontinuidades avaliadas pela Elevara, também foram consideradas as indicações de perda de material (por corrosão e não outros processos) e indicações geométricas (mossas e ovalizações). Além disso, o universo de indicações foi muito maior no caso da avaliação da Rosen, porque incluiu todas as indicações consideradas críticas, obtidas nas inspeções por PIG, enquanto que na análise feita pela Elevara os dados disponibilizados eram em número muito menor.

O item 4.7 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE** apresenta resultados obtidos na inspeção por PIG realizada na seção 1 do mineroduto, entre EB1 e EB2. As **Tabela 3.1.1** a **Tabela 3.3.4** apresentam as indicações obtidas na inspeção.

Tabela 3.1.1 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2*.

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m ^{**})	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede da indicação mais profunda	Quantidade
Campo de trincas	152.573,163	2,2	14	1
Anomalias com forma de trinca	102.053,853	3,14	15	132
Anomalias na costura longitudinal	238.808,082	2,54	13	11
Falta de homogeneidade na costura longitudinal (*)	146.200,051	4	25	9
Indicação tipo entalhe	1428,710	4	17	14
Número total de indicações planares				167

(*) Resultados de duas inspeções por PIG

(**) Distância medida em metros a partir da saída da EB1

Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE**.

Tabela 3.1.2 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede mais profunda	Quantidade
Corrosão interna	7.825,953		17	1733
Corrosão externa	-	-	-	-
Esmerilhamento	179.457,660		34	565
Anomalias decorrentes da fabricação	104.589,500 e 205.890,429		19	72
Anomalias na solda longitudinal	133.540,242		17	69
Anomalias na solda circunferencial	191.838,599		45	19
Outras anomalias			Não mensuradas	9
Número total de indicações volumétricas				2467

(*) Distância em metros a partir da saída da EB1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**.

Tabela 3.1.3 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Altura máxima (mm)	% diâmetro da indicação mais profunda	Quantidade
Mossas complexas	140.933,626		1,7	2
Mossas comuns	160.200,010		3,2	33
Ovalizações	248.838,623		0,4	1
Número total de indicações geométricas				36

(*) Distância medida em metros a partir da saída da EB1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**.

Tabela 3.1.4 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB1 e EB2.

Indicação	Localização da deformação mais acentuada (m*)	Altura máxima (mm)	% de deformação	Quantidade
Áreas com deformação por flexão	Entre 97.409 a 97.442	N.A.	0,27	28
Número total de indicações de deformação por flexão				28

(*) *Distância em metros a partir da saída da EB1.* Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

O item 4.8 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE** apresenta os resultados obtidos na inspeção por PIG realizada na seção 2 no mineroduto, entre EB2 e EV1. As **Tabela 3.1.5** a **Tabela 3.1.8** apresentam as indicações obtidas na inspeção.

Tabela 3.1.5 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1.

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede da indicação mais profunda	Quantidade
Campo de trincas	603,778 e 603,784	0,1	<1	2
Anomalias com forma de trinca	88.149,411	3,9	33	28
Anomalias na costura longitudinal	80.271,994	5,8	45	13
Falta de homogeneidade na costura longitudinal (*)	81.886,185	0,6	4	1
anomalia de fabricação (<i>lamination</i>)	106.455,021	Não mensurada	Não mensurada	1
Número total de indicações planares				45

(*) *Distância em metros a partir da saída da EB2.* Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

Tabela 3.1.6 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede da indicação mais profunda	Quantidade
Corrosão interna	92.923,635		36	5116
Corrosão externa	-	-	-	-
Esmerilhamento	84.654,065		55	384
Anomalias decorrentes da fabricação	88.015,434		30	50
Perda de metal em moossa	93.283,135		10	1
Anomalias na solda longitudinal (*)	38.124		23	174
Anomalias na solda circunferencial	80.197,324		14	2
	93.674,175		10	
Outras anomalias			Não mensuradas	22
Número total de indicações volumétricas				5749

(*) distância em metros a partir da saída da EB2. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

Tabela 3.1.7 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 1 – entre EB2 e EV1

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Altura máxima (mm)	% diâmetro da indicação mais profunda	Quantidade
Mossas complexas	62.269,887		1,6	4
Mossas comuns	59.560,015		1,9	41
Ovalizações	85.093,047		1,6	25
Número total de indicações geométricas				70

(*) Distância em metros a partir da saída da EB2. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

Tabela 3.1.8 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 2 – entre EB2 e EV1

Indicação	Localização da deformação mais acentuada (m*)	Altura máxima (mm)	% de deformação	Quantidade
Áreas com deformação por flexão	Entre 88.310 a 88.321,5	N.A.	0,49	24
Número total de indicações de deformação por flexão				24

(*) Distância em metros a partir da saída da EB2. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE**.

O item 4.9 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE** apresenta os resultados obtidos na inspeção por PIG realizada na seção 3 no mineroduto, entre EV1 e ET1. As **Tabela 3.1.9** a **Tabela 3.1.12** apresentam as indicações obtidas na inspeção.

Tabela 3.1.9 - Indicações planares obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede da indicação mais profunda	Quantidade
Anomalias com forma de trinca	6.517,500	1,4	9	4
Anomalias na costura longitudinal	Associada a 5 indicações	4,0	33	162 4 removidas
Falta de homogeneidade na costura longitudinal (*)	27.349,620	4,0	29	3
anomalia de fabricação <i>lamination</i>	Indicadas na fig. 27, p. 60			2
Número total de indicações planares excluindo as removidas				167

(*) Distância em metros a partir da saída da EV1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE**.

Tabela 3.1.10 - Indicações volumétricas obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Profundidade máxima (mm)	% espessura de parede da indicação mais profunda	Quantidade
Corrosão interna	119.129,224		23	1895
Corrosão externa	93.924,806	-	14	2
	93.927,760		10	
Esmerilhamento	151.014,847		44	252
Anomalias decorrentes da fabricação	87.437,241		24	148
Perda de metal em moessa	83.120,193		14	4
	83.120,641		12	
	83.120,781		13	
	95.728,236		17	
Anomalias na solda longitudinal (*)	63.702,673		14	28
	115.741,161			
Outras anomalias			Não mensuradas	43
Número total de indicações volumétricas				2372

(*) Distância em metros a partir da saída da EV1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

Tabela 3.1.11 - Indicações geométricas obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1

Indicação	Localização da indicação mais profunda (m*)	Altura máxima (mm)	% diâmetro da indicação mais acentuada	Quantidade
Mossas complexas	13.643,025		1,2	46
	28.221,296			
	47.131,759			
Mossas comuns	96.312,937		2,7	243
Ovalizações	103.810,152		2	62
	172.132,453			
Número total de indicações geométricas				351

(*) distância em metros a partir da saída da EV1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE.**

Tabela 3.1.12 - Indicações de deformação por flexão (curvamento a frio de tubos) obtidas na inspeção por PIG na seção 3 – entre EV1 e ET1

Indicação	Localização da deformação mais acentuada (m*)	Altura máxima (mm)	% de deformação	Quantidade
Áreas com deformação por flexão	Entre 132.393 a 132.410	N.A.	0,38	118
Número total de indicações de deformação por dobramento				118

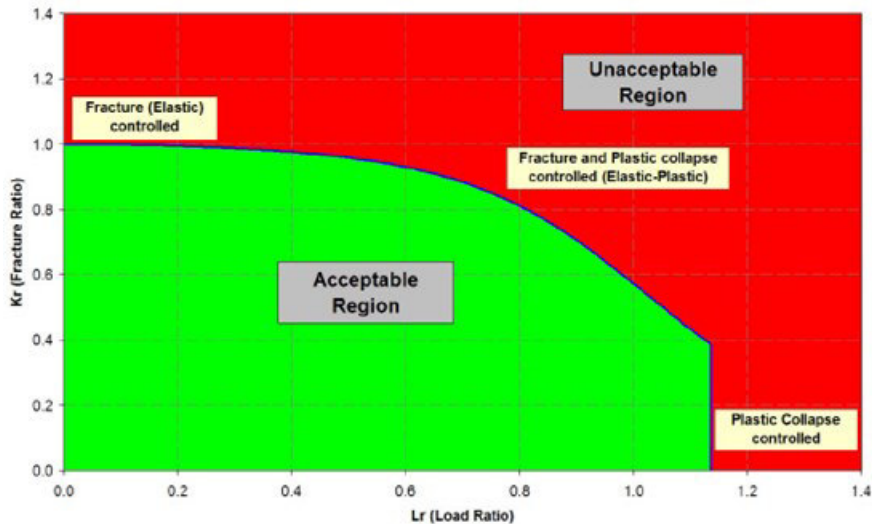
(*) distância em metros a partir da saída da EV1. Fonte: do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE.***

b) Considerações sobre a avaliação da integridade apresentada no item 5 do relatório *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE*, emitido pela Rosen.

Este item do relatório tratou da avaliação da integridade estrutural de indicações planares na condição pós inspeção com PIG realizada em 2018. A metodologia utilizada nesta avaliação foi a recomendada pela norma API 579 (2016) Part 9 ‘Assessment of Crack-like flaws’. As discontinuidades foram avaliadas em função das suas dimensões, da pressão de trabalho e da espessura dos tubos ao longo de todo o mineroduto.

Neste tipo de avaliação são utilizados diagramas FAD (*Failure Assessment Diagram*) construídos em função de dois parâmetros, Lr (Load Ratio) e Kr (Fracture Ratio). Estes parâmetros, calculados em função das propriedades do material e do carregamento capaz de levar o material à falha, em função das dimensões das discontinuidades, permitem a geração de diagramas do tipo do apresentado na **Figura 3.1.1**, extraída do Apêndice A do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE***, emitido pela Rosen.

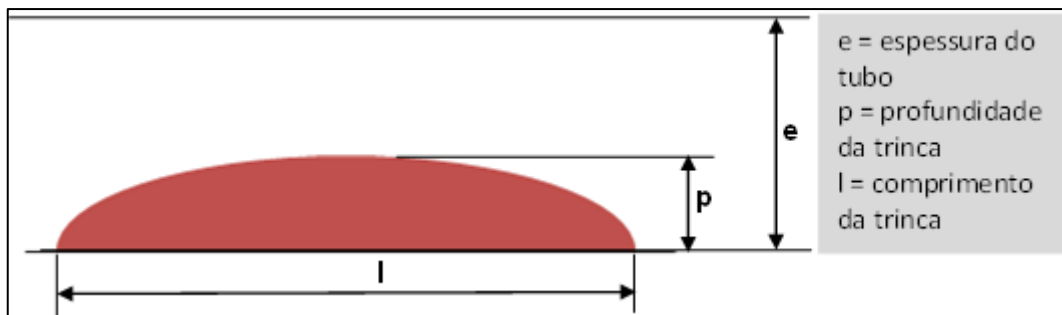
Figura 3.1.1 – Aspecto típico de um diagrama FAD API 579 nível 2.



Fonte: *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE*

Para fins de cálculo, todas as descontinuidades planares foram consideradas de forma semielíptica (Figura 3.1.2), em que o eixo maior é adotado para definir o comprimento da trinca e o semieixo menor (metade do eixo menor da elipse) é o adotado como profundidade da trinca.

Figura 3.1.2 – Desenho esquemático de uma trinca de formato semielíptico.



Combinando-se as dimensões das trincas obtidas na inspeção por PIG, ou nos ensaio por ultrassom realizado em campo, com as propriedades mecânicas do material (limite de resistência e limite de escoamento), com a tenacidade à fratura do material e com as tensões decorrentes da pressão interna, somadas a eventuais tensões residuais, calculam-se os parâmetros Kr e Fr para cada descontinuidade considerada na avaliação de integridade.

Os pares (Fr,Kr) assim calculados são lançados no diagrama, e todas as descontinuidades correspondentes àquelas que se situarem na região verde da **Figura 3.1.1** não estarão sob risco de sofrer propagação súbita, ou seja, fratura.

Os resultados desta etapa da avaliação de integridade, para as três seções do mineroduto, estão apresentados nas **Figuras 45 a 48** do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**, emitido pela Rosen, reproduzidas a seguir, nas **Figura 3.1.3 a Figura 3.1.5**.

Figura 3.1.3 – Reprodução da Figura 45 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 1 (trecho entre EB1 e EB2) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.

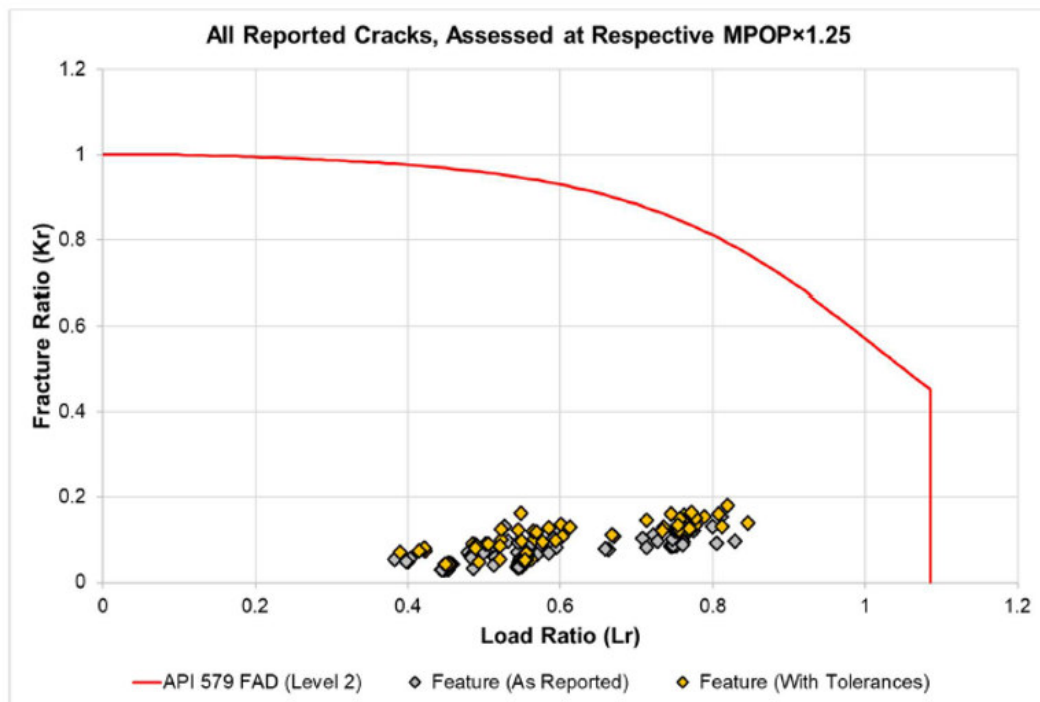
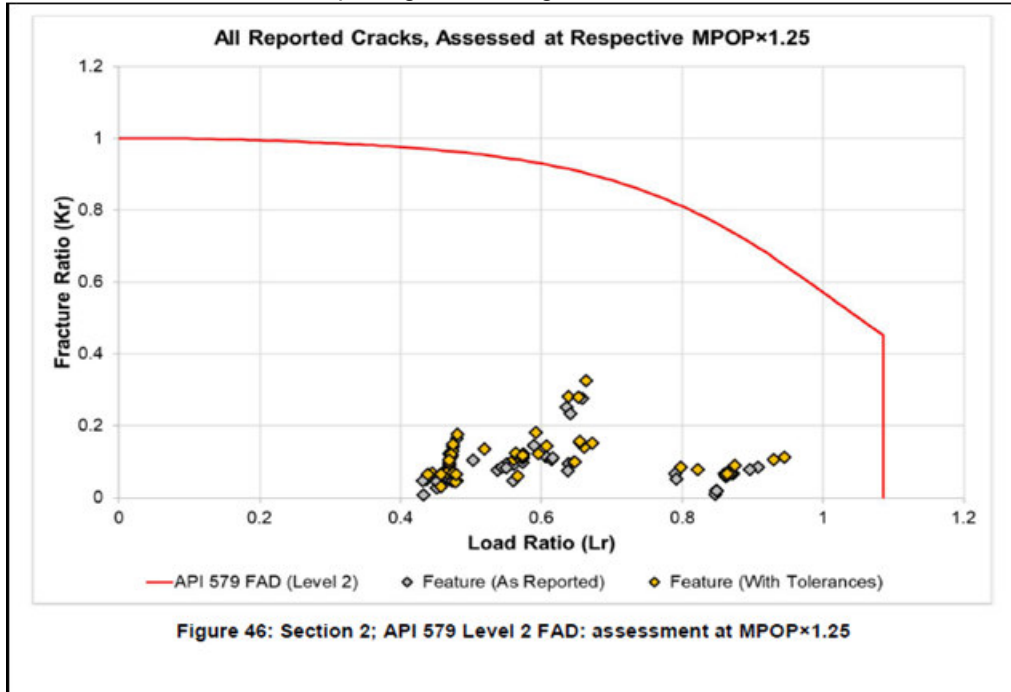


Figure 45: Section 1; API 579 Level 2 FAD: assessment at MPOP×1.25

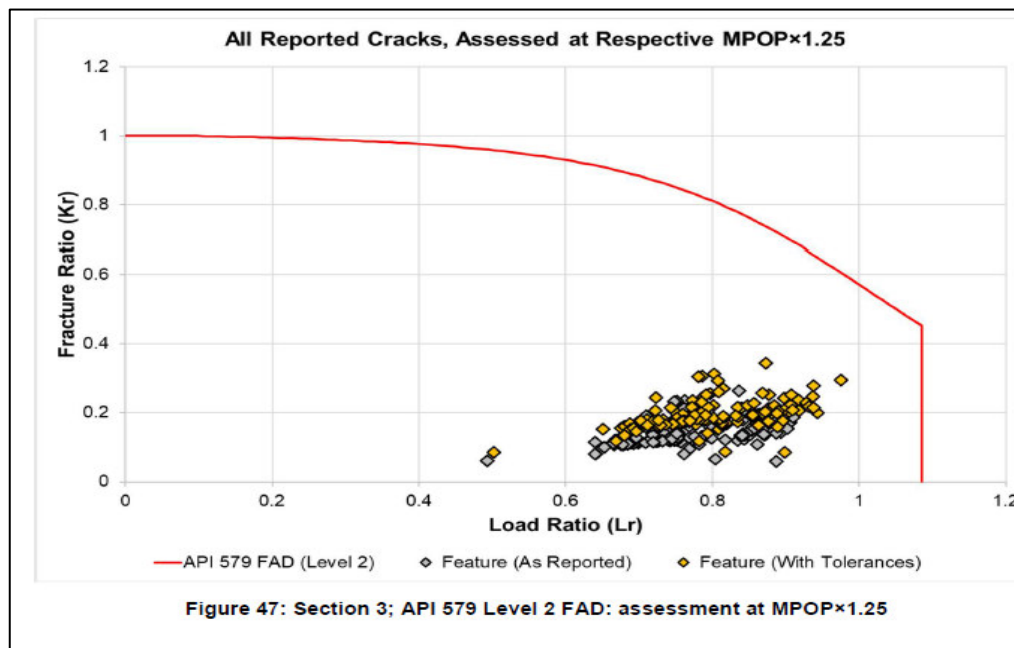
Fonte: **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**

Figura 3.1.4 – Reprodução da Figura 46 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 2 (trecho entre EB2 e EV1) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.



Fonte: *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*

Figura 3.1.5 – Reprodução da Figura 47 do relatório da Rosen mostrando que todas as descontinuidades em forma de trinca da seção 3 (trecho entre EV1 e ET1) se encontravam dentro do campo seguro do Diagrama FAD.



Fonte: *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*

Os resultados obtidos nesta etapa da avaliação mostraram que todas as descontinuidades, quando avaliadas admitindo uma pressão de 1,25 vezes a pressão máxima possível de operação (MPOP_{x1,25}), foram consideradas aceitáveis. Entretanto convém lembrar que as falhas ocorreram por corrosão-fadiga e que a avaliação acima está sendo feita assumindo uma condição estática, ou seja, a condição encontrada durante as inspeções por PIG realizadas no ano de 2018.

A avaliação quanto à fadiga está apresentada no item 6 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**, emitido pela Rosen, que faz uma estimativa do possível crescimento das descontinuidades, avaliadas por FAD, ou seja, aquelas trincas poderiam crescer em função do tempo e das condições impostas pelo trabalho após a reinício das operações.

A avaliação do crescimento das trincas foi realizada por meio da equação de Paris adotada pela API 579, usando os mesmos parâmetros **C** e **m** desenvolvidos pela Elevara e adotados na avaliação já apresentada pela mesma, e considerada no Parecer Técnico IPT nº 21.079-30 de 12 de novembro de 2018. O resultado resumido da avaliação da vida a fadiga nas três seções do mineroduto realizado pela Rosen está apresentado na tabela 20 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**, emitido pela Rosen, reproduzida na Tabela 3.1.13, a seguir.

Tabela 3.1.13 – Vida mínima a fadiga assumida para a avaliação de indicações com forma de trinca

Seção	Vida mínima a fadiga (anos)	
	Descontinuidade interna	Descontinuidade externa
1	1,18	6,92
2	6,43	30,86
3	15,94	75,14

Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**.

Em função dos dados da Tabela 3.1.13, foi programada e já foi realizada uma nova inspeção por PIG, cujos dados estão em fase de processamento. De acordo com a Anglo American, os relatórios preliminares não indicaram anomalias críticas.

Adicionalmente à avaliação das descontinuidades planares, o relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE***, emitido pela Rosen também abordou o efeito combinado de indicações geométricas, como ovalização e mossas (neste caso do tipo denominado *roof-topping*) sobre a propagação de descontinuidades planares (crack-like features). O item 6.3 do referido relatório apresenta uma análise incluindo o efeito adicional de concentração de tensões de flexão provocadas por tais problemas geométricos que somados à pressão aplicada podem reduzir a vida a fadiga. No relatório, foram citados alguns exemplos, indicando a influência de tais indicações geométricas, mas não apresentou nenhum dado condenando nenhuma das áreas em que estas ocorrem juntamente com indicações planares. Uma vez que tal efeito foi apontado e que já foram mapeadas as regiões em que ocorreram mossas e ovalizações, presume-se que tais regiões serão monitoradas em inspeções futuras. Este tipo de descontinuidade é o que geralmente pode estar sujeito à propagação por fadiga.

O item 7 do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*** se refere à avaliação da integridade estrutural quanto a indicações de perda de metal provocadas por corrosão, ou não. Na análise realizada se concluiu que todas as indicações de corrosão reportadas nos relatórios de inspeção por PIG realizada em 2018 foram consideradas aceitáveis para a operação, em termos das dimensões axial, circunferencial e de profundidade, para as pressões nos locais onde foram detectadas.

As indicações de perdas de material metálico devido a outros efeitos que não corrosão, como marcas de esmerilhamento reportadas nos relatórios de inspeção por PIG realizada em 2018 também foram consideradas aceitáveis para a operação, em termos das suas dimensões axial, circunferencial e de profundidade, para as pressões nos locais onde foram detectadas.

A integridade estrutural de áreas em que houve coincidência de perda significativa de metal (por corrosão ou não corrosão) com áreas apresentando deformação decorrente de flexão, foi avaliada e cinco delas foram consideradas inaceitáveis e listadas na tabela 21 do relatório. A **Tabela 3.1.14** reproduz as informações

da tabela 21 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**.

Tabela 3.1.14 - Reprodução da Tabela 21 do relatório *FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*.

Seção N°	Distância (m*)	Evento	Profundidade em % espessura	Deformação por flexão N°	Deformação máxima (%)	Deformação local (%)
1	163.378,318	Esmerilhamento	24	22	0,23	0,20
2	88.320,862	Esmerilhamento	27	12	0,49	0,39
3	93.924,806	Corrosão externa	14	94	0,20	0,20
3	93027,760	Corrosão externa	10	94	0,20	0,19
3	164.749,326	Corrosão interna	10	116	0,23	0,17

(*) Distância a partir do ponto de partida do PIG. Na seção 1 da EB1, na seção 2 da EB2 e na seção 3 da EV1. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**.

No relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE** emitido pela Rosen, no entanto, considera-se que apesar dos resultados obtidos, as indicações de esmerilhamento da superfície interna, próximo à solda circunferencial, não foram consideradas uma preocupação quanto à integridade. Neste mesmo relatório é citado que as regiões que não passaram na avaliação quanto à corrosão em áreas com deformação por flexão também não eram uma preocupação imediata e deveriam ser monitoradas em futuras inspeções. A fundamentação destas considerações, conforme citado no relatório está em relatórios de avaliação citados como referências nos relatório (refs. [58, 59, 60]).

Pelos critérios utilizados pela Rosen, foram apontados valores que merecem destaques, tanto com relação à corrosão interna, quanto externa, a saber:

- Sobre corrosão interna - a taxa de corrosão foi calculada com base no ataque de maior profundidade, em cada seção, desde o comissionamento até a data de inspeção, e que cresceu uniformemente durante os 3,86 anos de operação. Com base nessas considerações, concluiu-se que:

- Na seção 1, a taxa de corrosão foi de 0,90 mm/ano;
- Na seção 2, a taxa de corrosão foi de 1,25 mm/ano.
- Na seção 3, a taxa de corrosão foi de 0,70 mm/ano.
- Sobre corrosão externa - as estimativas da taxa de corrosão foram feitas considerando-se que o revestimento estivesse íntegro no início e que a corrosão iniciou, decorrido metade do tempo desde a construção. Com base nessa aproximação:
 - As seções 1 e 2 não apresentaram nenhuma corrosão externa.
 - Na seção 3, a taxa de corrosão reportada foi de 0,85 mm/ano.

Com base nas taxas de corrosão identificadas na inspeção de 2018, uma estimativa de propagação foi modelada para um período de 5 anos. As que excederam as dimensões críticas dentro deste período foram submetidas a análises adicionais usando o “RSTRENG” detalhado para refinar os resultados sempre que possível. Apenas as que excediam as dimensões críticas dentro de 5 anos, a partir da inspeção de 2018 foram consideradas. A síntese deste estudo está apresentada a seguir, para os próximos 5 anos desde a inspeção feita pela Rosen em 2018:

- Na seção 1, não deverá haver corrosão que exceda as dimensões toleráveis.
- Na seção 2, estimam-se 37 locais, cujas dimensões afetadas por corrosão podem exceder as dimensões toleráveis.
- Na seção 3, estimam-se 38 locais, cujas dimensões afetadas por corrosão podem exceder as dimensões toleráveis.

O item 9 do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE*** emitido pela Rosen se refere à avaliação quanto à integridade das indicações geométricas detectadas na inspeção por PIG em 2018. As conclusões e recomendações sobre as indicações localizadas em regiões com deformação por flexão não foram apresentadas no relatório, mas foi mencionado que se encontram em relatórios citados como referências (ref. [58,59,60]).

No item 10 do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE*** emitido pela Rosen é feita uma avaliação da integridade de como as mochas detectadas irão influir na integridade do mineroduto quando

associadas a descontinuidades em forma de trinca sujeitas à fadiga. O resultado desta avaliação está apresentado na tabela 25 do relatório, reproduzida na **Tabela 3.1.15**.

Tabela 3.1.15 – Reprodução da Tabela 25 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE**

Seção Nº	Número reportado de mossas (*)	Vida a fadiga mínima a partir do reinício de operação anos	Número de mossas com vida residual <1 a partir do reinício anos
1	25	5,52	0
2	42	5,00	0
3	261	4,66	0

(*) Estes números não incluem as mossas que foram avaliadas usando o nível 2 de avaliação ou reparadas após a verificação em campo. Fonte: do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE**.

No item 11 do relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24”/26” MINAS-RIO PIPELINE** emitido pela Rosen é feita a justificativa para retomada da operação com base na avaliação de integridade estrutural do mineroduto, com recomendações para a verificação em campo por meio de escavações e inspeções *in loco*, após o reinício das operações. Neste item foram levadas em consideração todas as indicações planares, efeitos de desvios de circularidade, perda metálica por corrosão e não corrosão e mossas.

No item 12 foi apresentado um plano de gerenciamento de integridade envolvendo ações de curto prazo (até 6 meses a partir do reinício de operação), um plano para ações de médio e longo prazo (realização dentro de um ano após o reinício de operação) e a definição de intervalos para reinspeção e no item 13 são apresentadas as conclusões

A fim de evitar perda de informação bastante provável de acontecer do conteúdo do item 12, será feita a reprodução e tradução dos assuntos tratados neste item, a saber:

...12.1 Ações de curto prazo após o reinício (conclusão menos que 6 meses do reinício)

Completar as investigações em campo prioritizadas e eventuais reparos conforme recomendado por este relatório que estão sumarizados nas fichas do Sumário de Verificação em Campo (ref. [1]). A verificação de locais com falta de circularidade (ovalização e mossas do tipo roof topping) que possam agir como concentradores de tensão na costura longitudinal e reduzir a vida a fadiga de indicações planares em

tais locais também está pendente – particularmente em tubos PCK. Também está pendente a verificação de um número de indicações em forma de trinca no corpo de tubos detectadas na Seção 1. Estas indicações não são consideradas uma preocupação imediata para a integridade, mas a sua verificação é importante para a compreensão de toda a gama de ameaças a integridade no mineroduto.

Confrontar e rever todos os dados de verificação em campo quando completos a fim de validar as conclusões discutidas neste relatório.

Continuar a fornecer o feedback das verificações em campo nos dados do processo de avaliação para permitir a potencial atualização das listas de anomalias. Isto permitirá a reclassificação formal das indicações em ordem de prover uma reflexão mais precisa das verdadeiras ameaças à integridade do mineroduto à frente.

Complementar mensalmente os cálculos de fadiga usando os dados registrados de pressão para rastrear a vida a fadiga, devido ao uso e a vida remanescente à fadiga de defeitos assumidos na solda da costura.

Incorporar os resultados dos ensaios de material em andamento e do trabalho de verificação de campo para desenvolver um modelo menos conservador do crescimento de trincas de fadiga para o mineroduto. Isto é para contrabalançar a consideração de incorporar os efeitos de falta de circularidade como mossa tipo roof-topping e ovalizações na avaliação quando as investigações se completarem. Ensaios de fadiga em laboratório nos tubos de corridas com ovalização ou roof-topping, usando defeitos artificialmente criados, também podem ser utilizados para ajudar a quantificar o conservadorismo presente nos modelos de avaliação.

12.2 Desenvolvimento de ações de médio e longo prazo (conclusão menos que 1 ano após o reinício)

Construir uma estratégia de gerenciamento da integridade de médio e longo prazo levando em consideração o seguinte:

Desenvolver previsões para os ciclos de pressão operacional futuros, baseadas nas medidas de controle e monitoramento implementadas. Estas medidas provavelmente estenderão a vida tanto das descontinuidades planares conhecidas, como das assumidas bem como das anomalias geométricas.

Desenvolver, modelar e então implementar as medidas apropriadas para reduzir, monitorar e controlar o ambiente corrosivo presente no mineroduto – particularmente nas estações de bombeamento onde água é injetada. Estas medidas provavelmente estenderão a vida de anomalias planares, geométricas e de corrosão.

Considerar o desenvolvimento de um modelo de segurança de fluxo (Flow Assurance) para avaliar a erosão e deposição de sólidos no mineroduto para dar suporte à estratégia de gerenciamento da corrosão-erosão.

Considerar avaliações do sistema de proteção catódica (por exemplo CIPS/DCVG) para monitoramento da performance do sistema de proteção catódica para controle da corrosão externa.

Demonstrar por meio de monitoramento online e repetir a inspeção por PIG e a avaliação de integridade que as medidas acima têm sido efetivas.

Para refletir as incertezas e a faixa de parâmetros de input associados à avaliação que sempre estarão presentes, considere o modelo probabilístico de crescimento de trincas de fadiga para prover uma compreensão mais abrangente da probabilidade de falha (PoF) ao longo do mineroduto.

12.3 Intervalo de reinspeção

No presente momento é recomendável que o mineroduto inteiro seja reinspecionado dentro de 2 anos (por exemplo em julho de 2020) usando as tecnologias UT-C, UTWM, MFL e XT. Isto é principalmente baseado nas vidas a fadiga previstas para as descontinuidades admitidas e discussões com a Anglo American. Isto se sustenta na conclusão bem-sucedida das ações de curto prazo apresentadas na seção 12.1 para justificar novos intervalos de inspeção.

A detecção de trincas na reinspeção da seção 1 (26EB1EB2) resultou em uma redução significativa no número de juntas afetadas pela redução de qualidade dos dados (de 25 % de tubos para 4,6 %). Infelizmente a vida a fadiga na seção 1 está ainda limitada às áreas afetadas cujas trincas são assumidas como tendo 4 mm de profundidade. Como resultado, foram determinados 1,18 anos (~14 meses) como menor vida remanescente a fadiga após o reinício. Por isto, a menos que a vida a fadiga possa aumentar pela demonstração de melhor regime de ciclos de pressão ou pelo refinamento nos parâmetros de fadiga o intervalo de reinspeção na seção 1 deve ser dirigido por este valor.

Adicionalmente é recomendado que a tecnologia MFL-C também seja aplicada na seção 1 para aumentar a probabilidade de detecção de valas orientadas ao longo da costura que parecem ser um precursor direto do desenvolvimento de trincas de fadiga com base na morfologia da falha e outros tipos de tubo.

O item 13 apresenta as conclusões do relatório, que enfatizam aspectos já apresentados quanto aos diferentes tipos de anomalias. É importante salientar que as indicações em forma de trinca reportadas à época da inspeção por PIG foram avaliadas utilizando a máxima pressão operacional possível com um fator de 1,25 (MPOP x 1,25). A avaliação das indicações resultou em vidas a fadiga para as indicações planares internas nas seções 1, 2 e 3 de 7,62; 19,34 e 8,72 anos respectivamente. Para as indicações externas a vida a fadiga estimada foi de 69,92, 50,02 e 42,66 anos respectivamente.

O item 14 do relatório ***FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE*** emitido pela Rosen trata da retomada de operação do mineroduto e das recomendações associadas a mesma. As recomendações apontam para o desenvolvimento de um plano de médio e longo prazo para o gerenciamento da integridade no qual é imperativo que se utilize as novas condições operacionais para avaliar a ameaça de trincamento por corrosão fadiga.

A retomada em curto prazo foi justificada tomando como base informações sobre a construção do mineroduto providas pela Anglo American, resultados das análises realizadas pela UFMG, IPT e Elevara, resultados das inspeções por PIG realizadas pela Rosen e na avaliação da integridade estrutural realizada pela Rosen.

Aspectos importantes com relação a modificações nas condições de operação nas estações de bombeamento foram apontados. Na seção 2, na saída da EB2, a pressão na retomada foi reduzida para 185 kgf/cm² em relação à anterior de 210 kgf/cm², equivalente a 11,9 % de redução. Também se recomendou que a frequência dos *batches* na retomada ocorresse com períodos de 26 horas que imporia menor carregamento à fadiga sobre o mineroduto do que a anterior às falhas. Também se

recomendou que a operação fosse monitorada após o reinício a fim de assegurar que não houvesse pulsos significativos de pressão e que os ciclos de pressão devido aos batches estivessem dentro de limites aceitáveis.

c) Análise da situação do mineroduto pós reinício das operações com base na avaliação da integridade estrutural realizada pela Rosen

O fenômeno de fadiga consiste na iniciação e propagação de uma trinca em um material sujeito a tensões cíclicas. A ação corrosiva do ambiente pode acelerar tanto a iniciação como a propagação da trinca de fadiga, que no caso do duto, contribuiu para a redução do tempo para a ocorrência das falhas. Convém lembrar que no projeto original a primeira inspeção com PIG ocorreria após cinco anos de operação e as falhas ocorreram após três anos e meio. No caso específico das falhas ocorridas no mineroduto, o processo culminou com as trincas ultrapassando a parede do tubo e acarretando o vazamento de polpa, inicialmente pequeno, mas que cresceu exponencialmente à medida que a fenda gerada pela trinca teve sua abertura aumentada pela erosão causada pela passagem da polpa.

Uma vez determinado que a falha ocorreu por corrosão-fadiga, é importante lembrar que dois parâmetros mecânicos que influenciam este fenômeno são a pressão na saída das bombas e suas oscilações.

As propriedades mecânicas que regem o fenômeno são a tenacidade à fratura do material definida pelo K_{Ic} (definido como K_{mat} em normas de avaliação de integridade) e a velocidade de propagação da trinca (da/dN), que depende do parâmetro ΔK , que por sua vez é função das oscilações de pressão no duto. Com relação à tenacidade à fratura, as análises dos materiais demonstraram, que tanto os materiais PCK, como CONFAB, com costura obtida por meio da soldagem por arco submerso em duplo V, e MISI e SIAT, com costura obtida por meio de soldagem por resistência elétrica, utilizados na construção do mineroduto, apresentaram valores elevados, compatíveis com a especificação para o aço API 5L grau 70. Por outro lado, a pressão de saída das bombas e suas oscilações decorrentes do processo de bombeamento influenciam diretamente na tensão média e nas oscilações de tensão aplicadas na parede do tubo.

Contudo, ações importantes a favor da segurança do mineroduto foram consideradas. A primeira é que quatro quilômetros do trecho onde ocorreram as duas falhas, cujo diâmetro era de 26 polegadas e a espessura era de 20,63 mm, foram substituídos por tubos novos com o mesmo diâmetro e espessura de 23,01 mm. Isto implica num aumento de 11 % da seção resistente do tubo, que resulta numa redução de 10 % na tensão da parede do tubo, admitindo a mesma pressão interna. As demais estão relacionadas com as mudanças na operação de bombeamento, aumentando os volumes dos *batches*, substituindo o armazenamento da polpa na EB2 seguida de novo bombeamento por um fluxo contínuo. Ou seja, conforme informações da Anglo American, a polpa recebida na EB2 é direcionada diretamente ao bombeamento sem interrupção do fluxo, com melhor controle das bombas evitando o sincronismo responsável por picos de pressão e com o melhor amortecimento do bombeamento com a introdução de um novo *dumper*. Tais ações reduziram não apenas a pressão média, como as oscilações de pressão responsáveis pela fadiga e conseqüentemente agiram no sentido de reduzir a velocidade de propagação de trincas, ou até mesmo de evitar a propagação de trincas menores.

As indicações planares detectadas na inspeção por PIG, confirmadas ou não pela inspeção externa por meio de ultrassom podem ser tratadas como trincas na análise de integridade estrutural realizada por meio da mecânica da fratura.

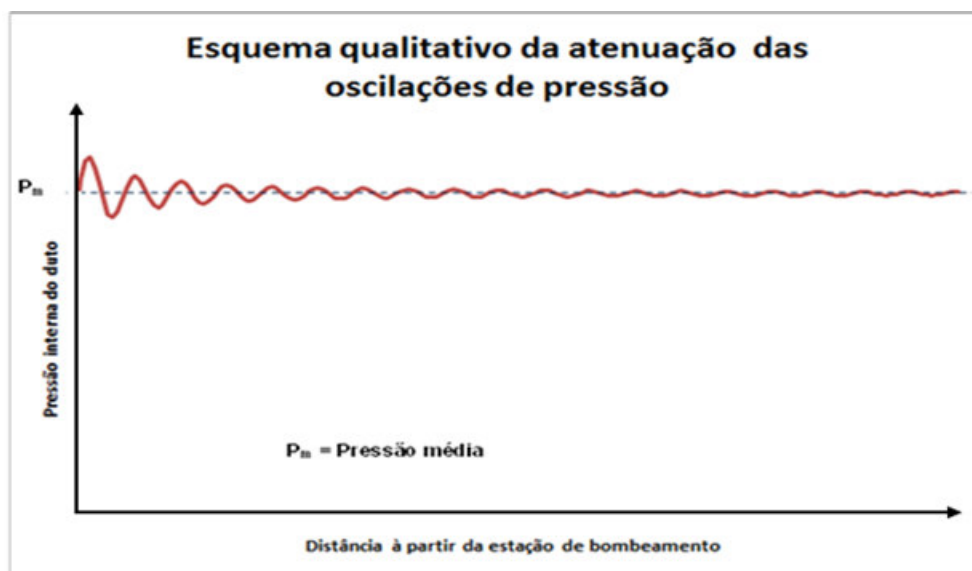
O que a inspeção por PIG e a inspeção por ultrassom fornecem é um retrato da condição em que o duto se encontra por ocasião da inspeção. Com os valores obtidos das dimensões em forma de trinca, valor da espessura do tubo no local de detecção, pressão interna do duto e com o valor da tenacidade à fratura do material (K_{mat}), calcula-se se o tubo com uma trinca com dimensões iguais às medidas pode operar de maneira segura ou se o trecho trincado deve ser descartado e substituído por um novo.

Com base em retratos desta natureza, diversos trechos com descontinuidades com dimensões próximas das dimensões críticas foram removidos do mineroduto e substituídos. Outros trechos foram programados e avaliados ainda dentro dos primeiros seis meses após a retomada da operação e reparados quando necessário.

A recomendação de uma inspeção dentro de um prazo de dois anos foi compatível com a maioria das indicações analisadas no relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE** emitido pela Rosen.

Um aspecto que irá requerer atenção no futuro é a avaliação da atenuação da pressão ao longo do mineroduto a partir da saída das estações de bombeamento. Do ponto de vista qualitativo, a oscilação de pressão, responsável pela possível ocorrência de fadiga, sofre uma atenuação que do ponto de vista qualitativo pode ser representada pela **Figura 3.1.6**.

Figura 3.1.6 – Esquema mostrando como a amplitude da pressão varia ao longo do duto a partir do bombeamento.



Em tese, é importante que a redução da amplitude mostrada qualitativamente na **Figura 3.1.6** seja determinada, uma vez que o mineroduto é construído com tubos de diversas espessuras, e o que importa para se fazer a avaliação da integridade é a tensão (média e oscilante) na parede do tubo que é função da pressão interna e da espessura de parede.

Como as medições de pulsações através de extensometria na saída das estações de bombeamento, mostraram a resultados de pulsação muito baixos que não influenciam nos cálculos de fadiga, todos os demais pontos ao longo do mineroduto, devido a atenuação mostrada, terão por consequência uma amplitude de pulsação ainda menor, sendo irrelevantes nos cálculos de fadiga.

A avaliação de integridade estrutural apresentada no relatório **FITNESS-FOR-PURPOSE ASSESSMENT 24"/26" MINAS-RIO PIPELINE**, emitido pela Rosen, foi realizada com base nas pressões de saída das estações de bombeamento de novembro de 2017, e a operação atual está sendo realizada com pressões médias, cerca de 10 % inferiores.

d) Considerações finais sobre trincas e descontinuidades correlatas

O mineroduto reiniciou a operação em janeiro de 2019, e continua operando regularmente até a presente data. Em setembro de 2020, ou seja, dentro do prazo previsto de dois anos após o reinício da operação, foi realizada uma nova inspeção por PIG, cujos dados obtidos ainda estão sendo tratados pela Rosen. Mas, de acordo com a Anglo American, nos relatórios preliminares, não há indicações de anomalias críticas. Cabe ressaltar que a análise dos relatórios provenientes dessa inspeção não fizeram parte do escopo da Etapa 2 da auditoria.

Desde o reinício das operações, a Anglo American tem realizado escavações em locais onde as inspeções por PIG de 2018 indicavam descontinuidades em forma de trinca, associadas ou não a anomalias geométricas como amassamentos (mossas) e ovalizações. Estes locais foram submetidos à inspeção de campo, e quando pertinente, foram realizados reparos por meio da colocação de camisas soldadas sobre as áreas com dano, ou do corte e substituição de trechos danificados do duto por tubos novos.

Nas versões finais dos relatórios de passagem por PIG (em 2018), entregues ao IPT em meados de 2019, também foram acrescentadas informações sobre os resultados das inspeções de campo realizadas, até a data de emissão de tais relatórios, em locais apontados como apresentando possíveis ameaças à integridade nos relatórios de PIG. Nestas versões finais, há tabelas contendo os detalhes das indicações encontradas na inspeção por PIG (ILI FEATURE DETAIS) e o correspondente resultado das inspeções de campo nos locais (FIELD VERIFICATION RESULTS) dessas indicações após a escavação de valas.

Nos casos em que a indicação de anomalias críticas foi confirmada, foram realizadas ações corretivas como o corte e substituição de trechos do duto, ou a colocação de camisas do tipo “dupla calha”, nos locais com problema.

No último relatório do IPT, foram apontadas pendências na verificação de campo de alguns locais recomendados, particularmente em locais com campo de trincas (*crack fields*) e amassamentos (*dents*). Tais pendências já foram resolvidas, por meio de escavações e inspeções locais e, onde se fez necessário, foram tomadas ações corretivas, com a colocação de camisas sobre as áreas afetadas, ou a substituição de trechos considerados comprometidos.

Os trechos do duto com suspeita de apresentarem defeitos de fabricação, particularmente os referentes aos tubos fabricados utilizando solda por resistência elétrica (ERW), foram analisados no Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG. Os resultados das análises revelaram descontinuidades como falta de fusão, ou pequenos desníveis remanescentes do processo de rebarbação, inerente a este processo de fabricação. Em nenhum dos casos se observou propagação de fadiga a partir de tais descontinuidades providas do processo de fabricação dos tubos.

No início de dezembro de 2019, em uma inspeção local realizada para avaliar a perda de espessura por corrosão, um pequeno trecho na saída da EB2, de fabricação UNIWEL, que não havia sido substituído nos reparos realizados em 2018, apresentou trincas em regiões de curvas a quente. Questionado sobre porque tais descontinuidades não haviam sido detectadas na inspeção por PIG, a Rosen, empresa responsável pela passagem do PIG, argumentou que o problema decorreu destas descontinuidades estarem localizadas em regiões de curvas a quente, com anomalias geométricas denominadas como *roof topping*. Tais anomalias correspondem à perda de circularidade, que pode ocorrer durante a operação de conformação a quente do tubo. Tal perda de circularidade provoca um aumento da distância entre os sensores do PIG e o local das descontinuidades, prejudicando, ou até mesmo impossibilitando a detecção de descontinuidades do tipo trinca.

Diante deste novo fato, reparos imediatos como a colocação emergencial de camisas nos locais onde as descontinuidades foram encontradas na saída da EB2, foram realizados. Posteriormente as regiões de curvas a quente, localizadas na saída de EB2, foram substituídas por curvas novas.

Diante desta nova situação ocorrida na saída da EB2, foram programadas e realizadas escavações nos outros locais com curvas a quente, a fim de confirmar a presença *roof topping*, bem como, verificar a presença de trincas associadas a tais anomalias geométricas. Com exceção das curvas da saída da EB2, já mencionadas, não foram encontradas trincas nas outras regiões, com *roof topping*, inspecionadas.

Um dado importante sobre as condições de operação estabelecidas após o reinício da operação em 2019 é que a Anglo American mantém, com a Rosen, um contrato de avaliação da integridade estrutural do mineroduto.

Dentro deste contrato foi feita a estimativa de vida útil das três seções do mineroduto, EB1-EB2, EB2-EV e EV-ET. Tal estimativa é feita a partir dos resultados obtidos nas inspeções por PIG (localização e dimensões das descontinuidades) e a pressão de operação, nos locais das descontinuidades, monitorada pela Anglo American. O IPT recebeu os resultados provenientes do monitoramento mês a mês desta avaliação. Para o período analisado foi possível observar que a operação se manteve estável, com pressões muito inferiores àquelas praticadas antes das falhas ocorridas em março de 2018. Os resultados para descontinuidades internas e externas das estimativas realizadas para janeiro de 2020 encontram-se na **Tabela 3.1.16**, abaixo transcrita do relatório fornecido pela Anglo American.

Tabela 3.1.16 – Estimativa da vida útil baseada na inspeção por PIG

Section	Minimum Life (years) - January 2020 Data	
	TTF* based on Max (Nov19, Dec19, Jan20) cycling	
	Internal	External
Section 1	1,42	12,90
Section 2	6,88	39,26
Section 3	9,74	54,59

A Tabela mostra que a menor vida a fadiga estimada para janeiro de 2020, que ocorre na seção 1 do mineroduto é de 1,42 anos, ou seja, um ano e cinco meses. É importante salientar que estes cálculos são feitos continuamente, ou seja, que qualquer indicação de redução significativa da vida estimada irá permitir ações corretivas

imediatas, caso seja necessário. Nesse contexto, observa-se que ocorreu uma nova passagem de PIG em setembro de 2020, dentro do prazo do cálculo da estimativa.

No item 6 do relatório *Fitness-For Purpose Assessment*, elaborado pela Rosen, em que se discutiu a integridade estrutural futura do mineroduto, levando em consideração descontinuidades planares, ou seja em forma de trinca, foi utilizada equação de Paris, recomendada pela norma API 579, a seguir:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

O primeiro termo da equação corresponde à velocidade de propagação de uma trinca, ΔK é um parâmetro calculado das variações de pressão e das dimensões atualizadas da trinca e as constantes **C** e **m** são provenientes de dados experimentais. Na época em que avaliação foi feita, os valores de **C** e **m** adotados foram os mesmos da Elevara que considerou o meio interno, uma solução salina com 3 % NaCl e o meio externo o ar, recomendados pela norma BS 7910.

A UFMG realizou ensaios para determinar as curvas da equação de Paris para os materiais dos tubos PCK e CONFAB, utilizando como meio interno a própria água usada na produção da polpa de minério, com a correção do pH e adição de sequestrante de oxigênio, e como meio externo o ar. Os resultados obtidos pela UFMG foram emitidos em abril de 2020 no relatório denominado: "Resultados dos Ensaios de Propagação de Trinca por Fadiga (da/dN), em tubos PCK e Confab no Meio de Operação do Mineroduto".

Os resultados obtidos pela UFMG mostraram que as condições reais de operação do mineroduto são bem menos agressivas que as de um ambiente constituído de água com 3 % NaCl e, portanto, a inclusão dos parâmetros obtidos pela UFMG irão resultar em estimativas de vida maiores do que as calculadas até agora.

Segundo informação da Anglo American, os parâmetros obtidos pela UFMG, serão aplicados aos resultados da última inspeção por PIG, realizada em setembro de 2020.

Recuperando o Parecer Técnico IPT N° 21.079-301, no item 6.1.2 do emitido pelo IPT em 12 de novembro de 2018, referente a trincas e descontinuidades correlatas foram apresentadas as seguintes conclusões:

- *A remoção ou encapsulamento de regiões com descontinuidades a ser realizada de acordo com as normas ASME 31.4 e ASME B31G manterá a integridade estrutural dos trechos do mineroduto.*
- *A propagação das descontinuidades menores pelo processo de corrosão-fadiga não submetidas a reparos é improvável, uma vez que se situam em regiões onde as oscilações de tensão na parede do duto provenientes do bombeamento já foram atenuadas.*
- *O prazo de dois anos para a próxima inspeção com PIG após a retomada da operação do mineroduto é favorável à segurança. O resultado desta inspeção permitirá não apenas avaliar a eventual propagação de alguma das descontinuidades consideradas como não críticas, mas também aumentar o prazo de inspeção no caso de não se observar nenhuma propagação.*

O **Quadro 3.1.2** consolida os resultados de algumas pendências nos estudos com esse tema e as principais conclusões correspondentes do IPT.

Quadro 3.1.2 – Situação de algumas pendências anteriores e principais conclusões obtidas.

Sobre trincas e descontinuidades correlatas	Principais conclusões
Avaliar estudos dos trincamentos externos nos tubos da “Confab” e acompanhamento do monitoramento e a sua possível relação com processos de fabricação	Foi constatado nas análises realizadas pela UFMG que as indicações da inspeção por PIG, eram de fato, defeitos de fabricação dos tubos, resultantes do processo de rebarbação da solda longitudinal.
Análises detalhadas dos relatórios de PIGs emitidos pela “Rosen” com relação aos trincamentos interno e externo, em associação com dados geotécnicos e geofísicos. Busca-se avaliar eventuais influências externas na velocidade de propagação de trincas externas	A velocidade de propagação de trincas está ligada diretamente à pressão interna e suas oscilações e ao tamanho das trincas. Na parte enterrada do mineroduto, movimentações do solo capazes de causar recalque diferencial podem causar flexão do duto e influir na propagação de trincas transversais. Contudo, é conveniente lembrar que o efeito da pressão interna nas trincas ou descontinuidades em forma de trinca longitudinais é o dobro do que sobre trincas transversais.
Avaliar relatórios dos carregamentos em trechos próximos às estações de bomba 1 e 2 feitos pela Anglo American	Houve uma redução considerável nos níveis de pressão máxima de operação a partir o reinício da operação em janeiro de 2019.

Fonte: IPT

É importante destacar que a passagem de PIG instrumentado, utilizada pela Anglo American, é a tecnologia mais apropriada para inspeção de sistemas dutoviários. Inspeções complementares com outras técnicas são realizadas, mas somente quando o PIG identifica algum problema. Assim, diante das evidências apresentadas, pode-se afirmar que a Anglo está implantando um programa consistente de monitoramento capaz de identificar alterações nos níveis de pressão e na corrosividade da água que possam aumentar a velocidade de propagação de trincas, de modo que providências possam ser tomadas em tempo, para prevenir a ocorrência de vazamentos.

3.1.2 Corrosão Interna e monitoramento

Os processos de corrosão pelas águas naturais estão associados à presença de contaminantes e de gases dissolvidos. E, dentre os gases dissolvidos o oxigênio é provavelmente o de maior interesse por ser o mais importante despolarizador das reações catódicas.

O meio corrosivo que está em contato permanente com a superfície interna do mineroduto é fundamentalmente a água que é captada no rio do Peixe e que, de acordo com os estudos realizados pelo IPT na Etapa 1, tem características muito corrosiva. Essas informações foram transmitidas à Anglo American que ensejou a contratação de empresas especializadas para desenvolver estudos específicos das formas de mitigação desses fenômenos. Este item do Parecer versará sobre o acompanhamento destes estudos e se os resultados produzidos por estas empresas estão em bom acordo com as necessidades da Anglo American para mitigação dos riscos operacionais.

As atividades contratadas pela Anglo American contemplavam fornecer subsídios para controle do pH, do teor de oxigênio dissolvido, de sequestrante de oxigênio e, para instalação de cupons de perda de massa, de cupons para análises de biofilme (biocupons) e sondas de resistência elétrica. Um resumo das atividades principais está apresentado no **Quadro 3.1.3**, a seguir:

Quadro 3.1.3 - Plano de controle e monitoramento da corrosão interna do mineroduto.

Itens	Atividades
1	Estudos da otimização da dosagem de reagentes para ajuste do pH entre 10,5 e 11,5.
2	Controle do pH da água de preparação da polpa entre 10,5 e 11,5.
3	Controle do teor de oxigênio dissolvido na polpa que circula no mineroduto.
4	Estudo e controle da eficiência de sequestrante de oxigênio (bissulfito de sódio catalisado).
5	Instalação de biocupons para monitoramento da corrosão induzida por microrganismos.
6	Instalação de cupons de perda de massa para monitoramento da taxa de corrosão.
7	Instalação de sondas de resistência elétrica, com acompanhamento e tratamento dos dados obtidos.
8	Aplicação da técnica de mapeamento automatizado C-Scan, para avaliação do perfil interno da tubulação.
9	Contratação de empresa para coleta e troca de cupons, de biocupons, leitura de sondas de Resistência Elétrica e ensaios em laboratório para análises das taxas de corrosão.
10	Análises físico-químicas de água e da polpa periodicamente coletadas.
11	Avaliação do uso de técnicas não intrusivas para avaliação da corrosão interna.

Fonte: IPT

Apresentam-se, a seguir, detalhamentos das atividades que estão resumidas no

Quadro 3.1.3.

- As atividades referentes aos itens 1; 2 e 3 são realizadas no próprio laboratório da Anglo American pela sua equipe técnica. Pesquisadores do Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT acompanharam as análises na EB 1 e tomaram ciência dos procedimentos adotados. O ajuste do pH entre 10,5 e 11,5 é feito com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio e o controle dos níveis de oxigênio dissolvido é feito pela adição de bissulfito de sódio catalisado (sequestrante de oxigênio);
- As atividade do item 4, estudo e controle da eficiência de sequestrante de oxigênio foram realizadas pelo Laboratório de Corrosão da Coppe - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro;

- As atividades referentes aos itens 5, 6 e 7 envolvem a instalação e substituição dos cupons de perda de massa, dos biocupons e instalação das sondas de resistência elétrica. Os cupons de perda de massa e a sonda de resistência elétrica são técnicas tradicionais de monitoramento da corrosão interna. Os cupons de perda de massa fornecem dados mais precisos de taxas de corrosão ao longo de um determinado período, enquanto que as sondas de resistência elétrica, embora menos precisas, possibilita monitorar as taxa de corrosão *on line*;
- Atividade 8 é de responsabilidade da Anglo American, como parte dos procedimentos atuais da empresa;
- As atividades do item 9, contratação de empresa para coleta e troca de cupons, de biocupons, leitura de sondas de Resistência Elétrica e ensaios em laboratório para análises das taxas corrosão foi implantada e a empresa está realizando os trabalhos regularmente. Periodicamente, a empresa contratada faz a substituição dos cupons e dos biocupons e analisa nos seus laboratórios as taxas de corrosão. Após a determinação da perda de massa, os cupons de corrosão são encaminhados para o Laboratório de Corrosão da Coppe para análises adicionais usando microscopia óptica, microscopia confocal a laser e microscopia eletrônica de varredura e análises por dispersão de energia (EDS). A análise dos biocupons é realizada pelo Laboratório de Biocorrosão e Biodegradação do INT Instituto Nacional de Tecnologia, e tem por objetivo quantificar os microrganismos, relacionados com a ocorrência de corrosão microbiológica. Os microrganismos monitorados são bactérias aeróbias, bactérias produtora de ácidos, ferrobactérias, bactérias anaeróbias e bactérias sulfato redutoras;
- Atividades do item 10, análises físico-químicas em amostras de água e de polpa, coletadas a cada dois meses, visam caracterizar sua corrosividade e, assim, antecipar ações para mitigar eventuais processos corrosivos. Os parâmetros analisados são pH, temperatura, oxigênio dissolvido, alcalinidade total, cloretos, sulfatos, nitratos, metais dissolvidos, sólidos em suspensão (apenas na água), potencial redox e condutividade elétrica;

- As atividades do item 11 estão sendo realizadas com apoio da empresa Emerson *Automation Solutions* e visam a instalação de um equipamento não intrusivo de monitoramento da corrosão interna, *FSM Monitoring Equipment*. Esta técnica tem a vantagem de ser instalada do lado externo do duto, enquanto os cupons de corrosão e as sondas de resistência elétrica são instalados internamente aos dutos. No entanto, por ser externa, fica limitada a locais que não sejam vulneráveis.

Figura 3.1.7 – Rack de exposição de corpos de prova à água de processo.



Fonte: Anglo American

O controle de pH e do teor de oxigênio dissolvido no fluido transportado tem por objetivo reduzir a corrosividade do meio frente ao aço-carbono, material usado na fabricação dos dutos.

O controle do pH é realizado por meio da adição de hidróxido de sódio, na água, e hidróxido de cálcio na polpa, e o teor de O₂ por meio da adição de sequestrante de oxigênio (bissulfito de sódio catalisado). Está em execução o projeto de transferência do local de dosagem de bissulfito de sódio catalisado para próximo à barragem. O projeto básico foi concluído e está em fase de execução (empresa projetista AUSENCO).

O monitoramento da corrosão interna é realizado pelo acompanhamento da perda de espessura de parede do duto e pela avaliação da corrosividade dos fluidos transportados.

Para o acompanhamento da perda de espessura, são usadas técnicas intrusivas, com instalação de sondas de resistência elétrica (SRE) e de cupons de perda de massa. Está previsto o monitoramento contínuo da espessura também pela técnica não intrusiva FSM[®] *Field Signature Method*. Para o controle da corrosividade da polpa e da água, são realizadas análises de parâmetros físico-químicos e, também, análises microbiológicas dos principais microrganismos influenciadores dos processos de biocorrosão.

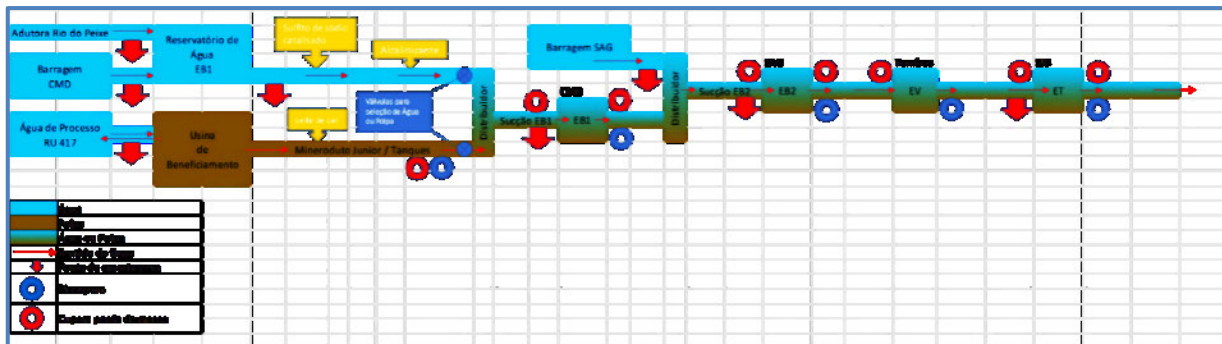
Em linhas gerais, as ações propostas e/ou implantadas são tecnicamente corretas e têm potencial para manter os processos de corrosão controlados. A seguir serão avaliados os resultados gerados pela Anglo American e/ou pelas empresas contratadas para se conhecer a efetividade do monitoramento da corrosão interna do mineroduto Minas-Rio.

a) Monitoramento da corrosão interna: resultados e discussão

A **Figura 3.1.8** apresenta os locais onde são feitas as coletas de amostras de água e de polpa para análises dos parâmetros físico-químicos e, os locais de instalação de cupons de perda de massa e biocupons.

Neste item do relatório, serão apresentados e discutidos os resultados de todas as técnicas.

Figura 3.1.8 – Locais de coleta de amostras de água e de polpa para análises físico-química, e de instalação de cupons de perda de massa e de biocupons.



Fonte: Anglo American.

Sondas de resistência elétrica

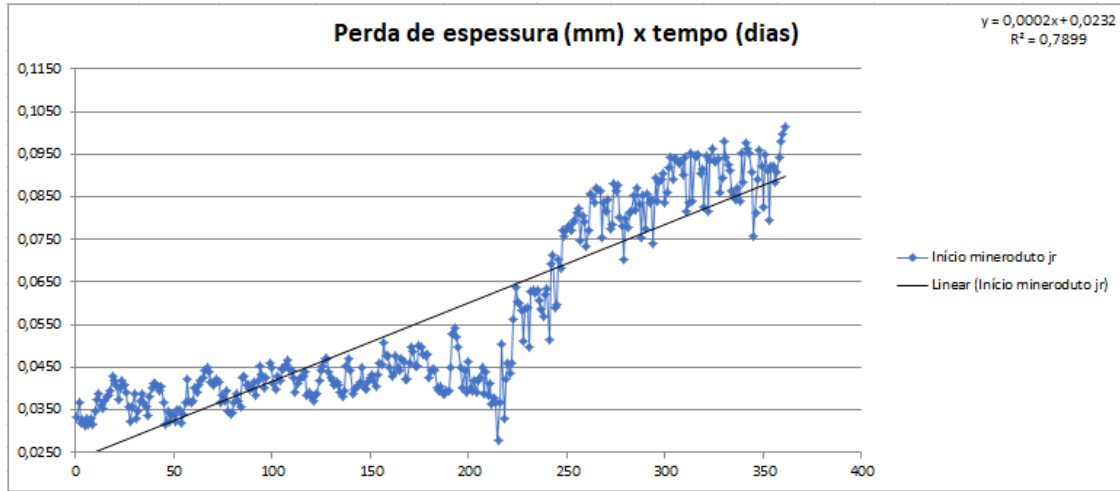
Uma das técnicas convencionalmente utilizadas para o monitoramento da corrosão interna de sistemas que não permitem inspeção visual é a instalação de sondas de resistência elétrica (SRE). Trata-se de uma técnica intrusiva, que geralmente é usada em conjunto com cupons de perda de massa. As sondas funcionam como corpos de prova *online*, uma vez que um elemento metálico é exposto ao meio e, em intervalos regulares de tempo, é imposta uma corrente de valor fixo a esse elemento e registrada sua resistência à passagem de corrente. Conforme o elemento metálico perde massa, a seção transversal diminui e, conseqüentemente, a resistência à passagem de corrente aumenta. Essa variação da resistência é convertida em redução da seção transversal, ocasionada por corrosão. Assim, é possível inferir a perda de massa ou de espessura e a taxa de corrosão. A grande vantagem da sonda de resistência elétrica em relação aos cupons de perda de massa é a possibilidade de acompanhamento da evolução das taxas de corrosão em tempo real, correlacionando-as com rotinas operacionais. É importante citar que esta técnica apresenta uma tendência das taxas de corrosão e não devem ser compreendidas como valores efetivos.

As **Figura 3.1.9** a **Figura 3.1.17** ilustram a perda de espessura em função do tempo e as taxas de corrosão calculadas para os nove locais de instalação, com base nos dados registrados pelas SRE. Dessas Figuras, verifica-se que:

- As sondas instaladas no “início e final” do mineroduto júnior; descarga EB2 e entrada da estação terminal apresentaram comportamentos que pode ser aproximado para linear, com derivada positiva e com taxa de corrosão aproximadamente constante ao longo do tempo. O fator de correção linear (R^2) dessas curvas variou de 78 % a 99 %. O melhor fator de correlação foi apresentado pelos dados da Entrada da estação terminal (99 %), e o pior, no Início do mineroduto júnior (78 %). Destas, duas apresentaram ruído significativo (“Início Mineroduto Jr” e “Descarga EB2”).
- Para os demais locais, as sondas aparentemente não realizaram nenhuma medida durante esse período. O comportamento era característico de “sonda aberta”. Utilizando como exemplo o comportamento observado na sonda instalada na Descarga EB1, que foi similar ao das demais, observa-se que no início, a sonda manteve-se em zero, durante cerca de 100 dias. Depois houve um salto para um outro patamar e se manteve ali inalterado por cerca de 450 dias, até o final da tomada de dados. Pelo exposto, recomenda-se avaliar cuidadosamente a aplicabilidade desta técnica para este propósito. Se a decisão foi por mantê-la, que sejam avaliadas em intervalos de tempos menores outras eventuais tecnologias.

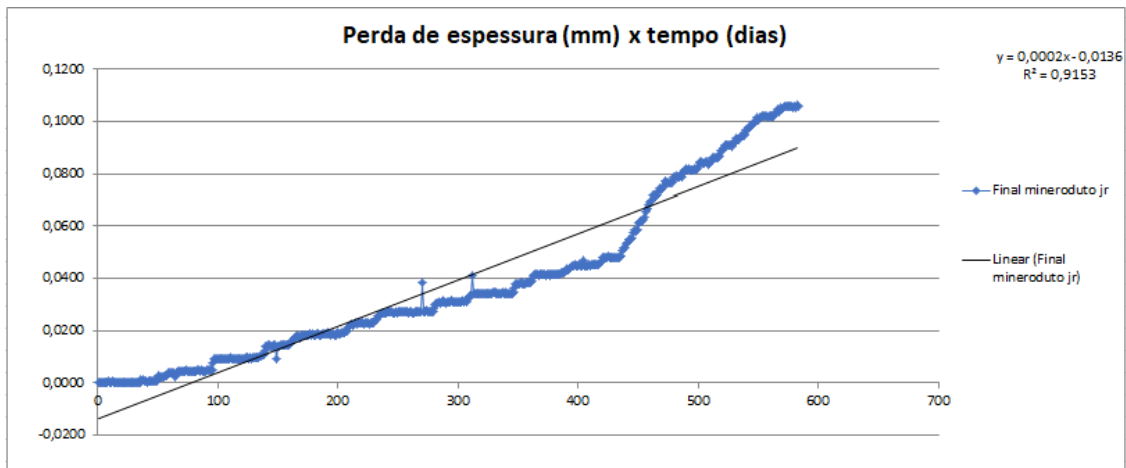
Para facilitar a comparação entre as taxas de corrosão calculadas com base em dados de sondas SRE foi montada a **Tabela 3.1.17**. Nesta, verifica-se que, mesmo quando as taxas de corrosão eram mensuráveis, os valores apresentavam grandes dispersão.

Figura 3.1.9 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Início Mineroduto Jr”.



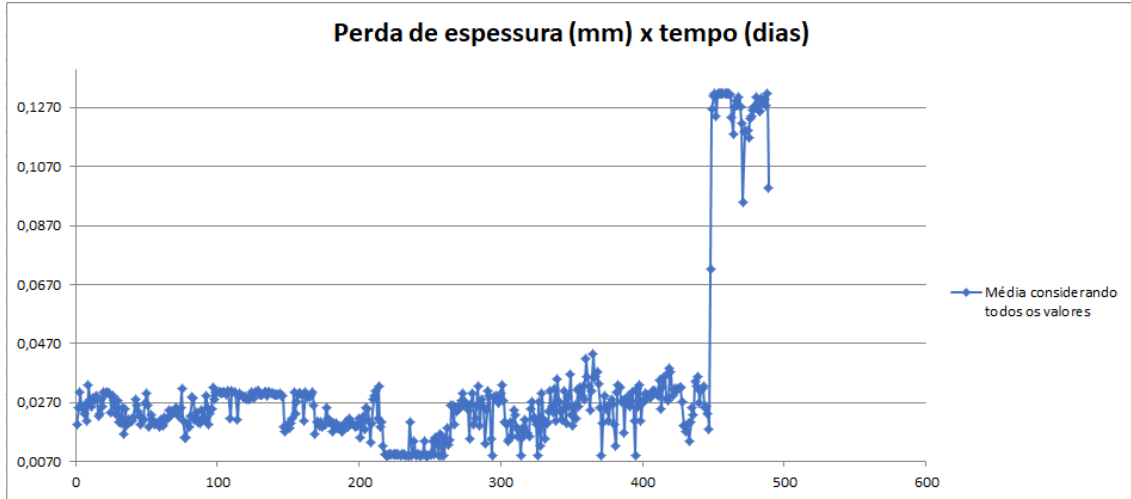
Taxa de corrosão para o período de 13.02.20 a 07.02.21 = 0,1026 mm/ano. Fonte: IPT

Figura 3.1.10 – Evolução da perda de espessura do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Final Mineroduto Jr”.



Taxa de corrosão para o período de 06.07.19 a 07.02.21 = 0,0664 mm/ano Fonte: IPT

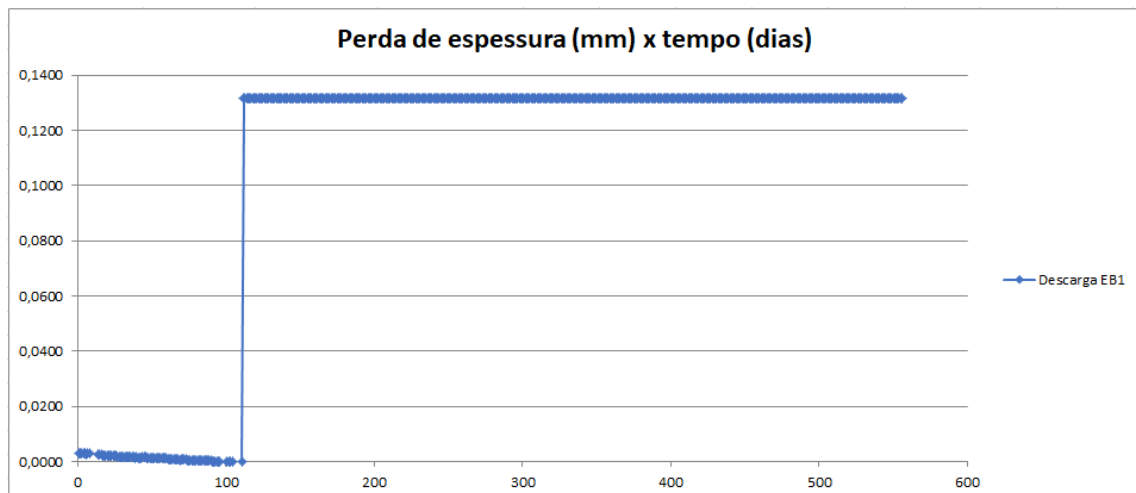
Figura 3.1.11 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Sucção EB1”.



Taxa de corrosão para o período de 08.10.19 a 07.02.21 = Não detectada pela sonda.

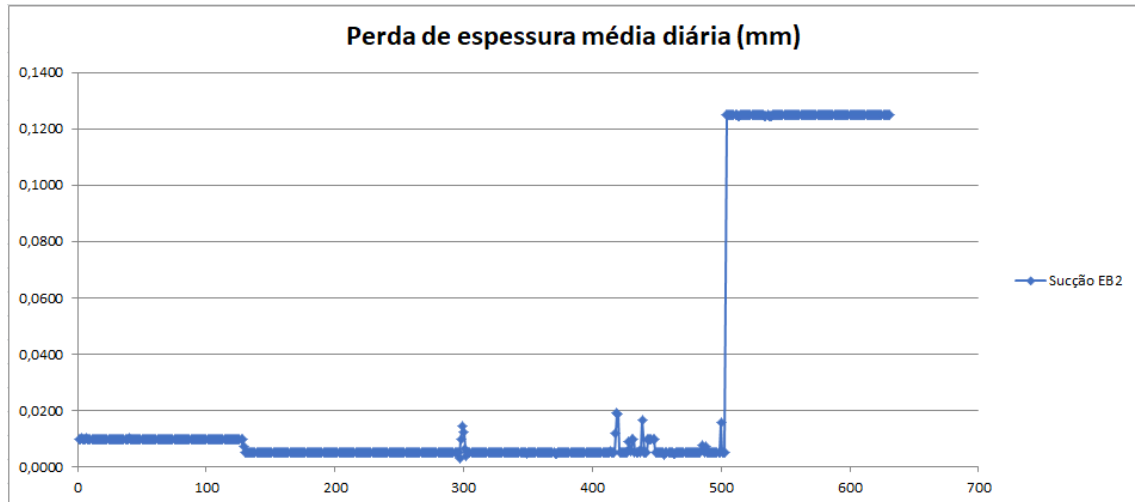
Fonte: IPT

Figura 3.1.12 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Descarga EB1”.



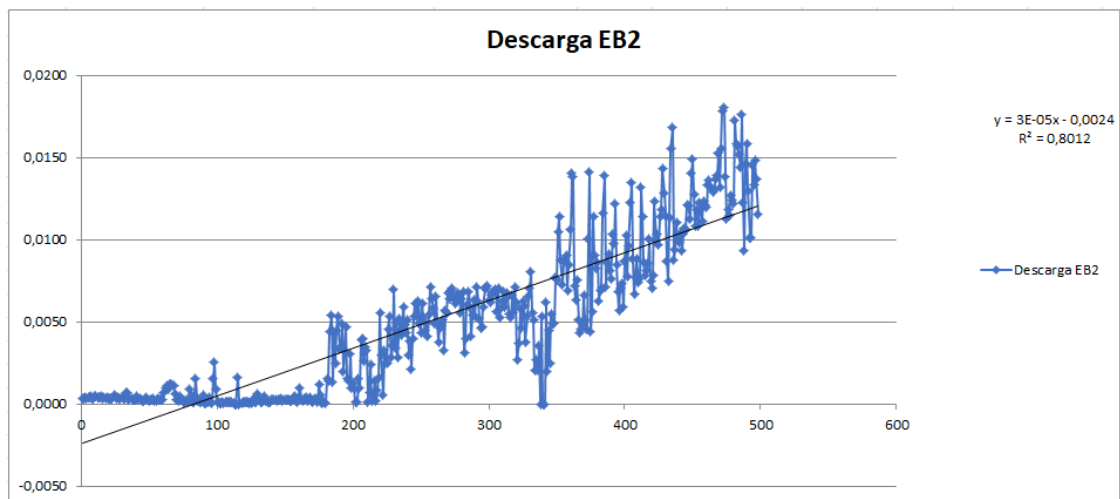
Taxa de corrosão para o período de 02.08.19 a 07.02.21, não detectada pela sonda. Fonte: IPT

Figura 3.1.13 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Sucção EB2”.



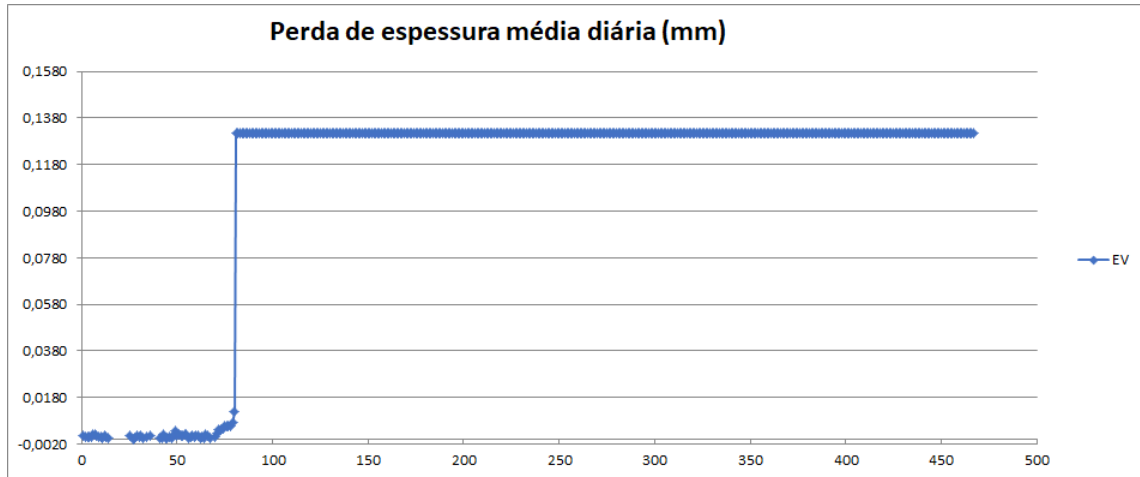
Taxa de corrosão para o período de 19.05.19 a 07.02.21 não detectada pela sonda. Fonte: IPT

Figura 3.1.14 – Evolução da perda de **espessura** do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Descarga EB2”.



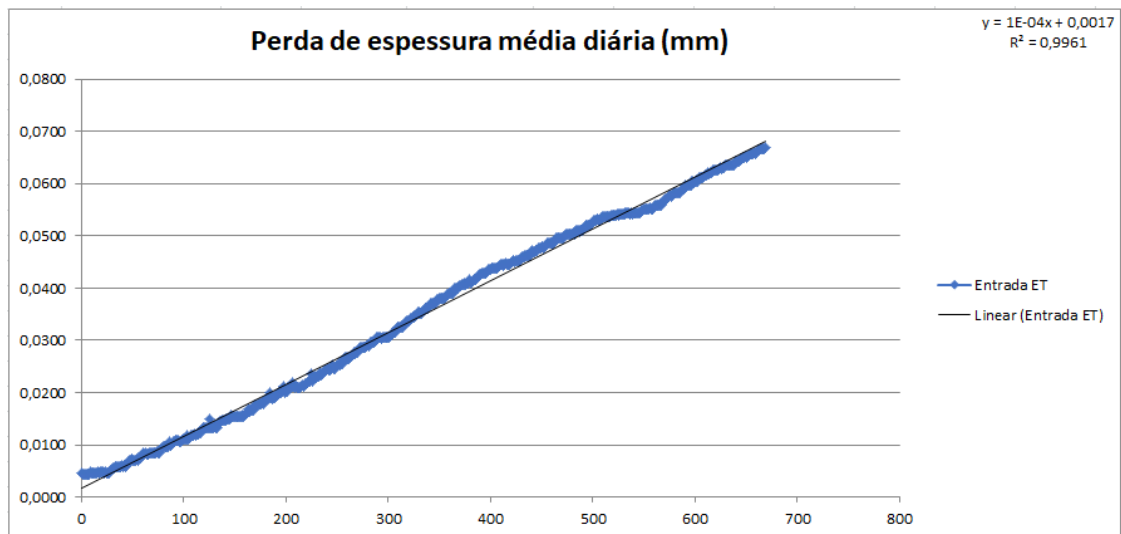
Taxa de corrosão para o período de 08.05.19 a 07.02.21 = 0,0084 mm/ano Fonte: IPT

Figura 3.1.15 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Estação de Válvulas”.



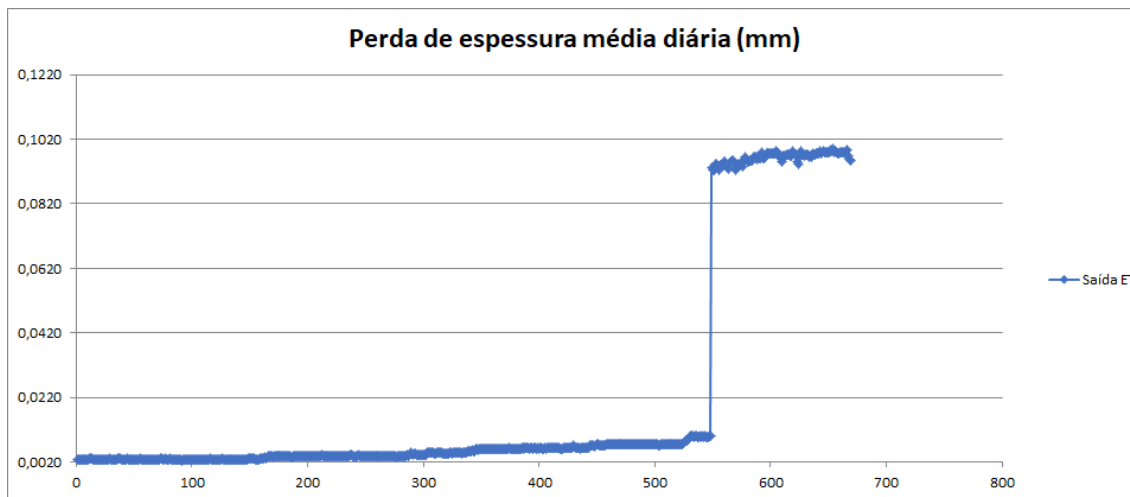
Taxa de corrosão para o período de 30.10.19 a 07.02.21 não detectada pela sonda. Fonte: IPT

Figura 3.1.16 – Evolução da perda de **espessura** do duto, em função do tempo, determinada por SRE instalada no ponto “Entrada Estação Terminal”.



Taxa de corrosão para o período de 11.04.19 a 07.02.21 = 0,0365 mm/ano Fonte: IPT

Figura 3.1.17 – Comportamento errático da sonda RE instalada no ponto “Saída Estação Terminal”.



Taxa de corrosão para o período de 11.04.19 a 07.02.21 não detectada pela sonda. Fonte: IPT

Tabela 3.1.17 – Taxas de corrosão calculadas com base em dados obtidos por sondas SRE.

Local de instalação da sonda de resistência elétrica									
Taxa de corrosão (mm/ano)	Início Mineroduto Jr	Final Mineroduto Jr	Sucção EB1	Descarga EB1	Sucção EB2	Descarga EB2	EV	Entrada ET	Saída ET
	0,1026	0,0664	-	-	-	0,0084	-	0,0365	-

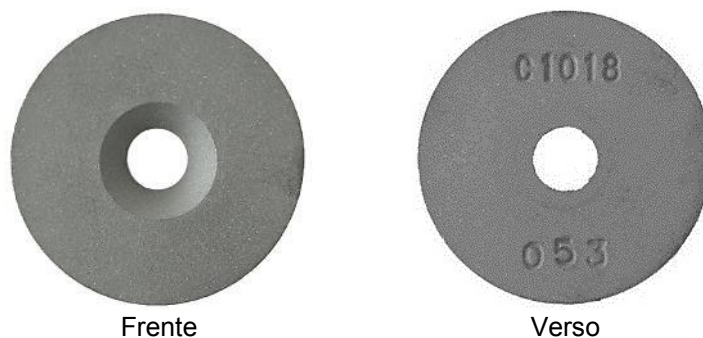
Fonte: IPT.

Cupons de perda de massa

Outra técnica convencionalmente utilizada para o monitoramento da corrosão interna são os cupons de perda de massa. É, também, uma técnica intrusiva e consiste, basicamente, na avaliação da taxa de corrosão por meio da determinação da perda de massa apresentada por cupons inseridos nos ambientes de interesse. Normalmente, os cupons são confeccionados com o mesmo material metálico usado na confecção da estrutura de interesse e, por gravimetria, determina-se a perda de massa (massa final menos inicial) após um determinado período de exposição. Dividindo-se a perda de massa pela área e pelo tempo de exposição tem-se a taxa de corrosão.

A **Figura 3.1.18** ilustra o aspecto de um cupom após preparo de superfície, mas antes de ser ensaiado. Esta técnica apresenta, como vantagem, além da precisão das taxas de corrosão, a possibilidade de identificar se a corrosão é generalizada ou localizada e também, informações valiosas sobre a natureza dos produtos de corrosão que se formam. Pode-se considerar uma desvantagem relativa, os intervalos para obtenção dos dados que em geral são da ordem de 90 dias. No caso de tubulações, é importante que o cupom seja instalado de maneira a permanecer tangencial ao fluxo. Assim, estará exposto às mesmas condições de exposição que o interior do duto.

Figura 3.1.18 – Aspecto visual de cupom de perda de massa após preparo de superfície, mas antes de ser ensaiado.



Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

A **Tabela 3.1.18** apresenta os valores de taxa de corrosão verificados em cada um dos nove locais de instalação, para todas as exposições realizadas. No entanto, antes da avaliação dos valores constantes da **Tabela 3.1.18**, é preciso levar em consideração as informações que seguem:

- No início dos trabalhos, nem todos os cupons expostos foram decapados até remoção completa dos produtos de corrosão, o que influencia diretamente nos valores de perda de massa e taxa de corrosão calculados. Alguns exemplos podem ser verificados na **Figura 3.1.19**. A partir da quarta troca de cupons, a remoção dos produtos de corrosão por decapagem passou a ser realizada corretamente;

- Na quarta troca de cupons, a operação de retirada/instalação foi acompanhada por técnicos do IPT nas localidades de Estação EB2, Estação de Válvulas e Estação Terminal. Neste momento, foram realizadas medições para determinar se os cupons estavam sendo inseridos na posição ideal: tangencial ao fluxo. No entanto, em nenhum dos pontos verificados o cupom retirado havia sido instalado da maneira correta. Desta vez, garantiu-se que o posicionamento dos novos cupons, nas estações mencionadas, fosse realizado conforme o procedimento correto;
- Segundo informações relatadas no documento PEMM 22254 RT7, emitido pelo Labcorr da COPPE/UFRJ, os cupons da Exposição 5 que estavam instalados nos pontos Descarga EB1, Descarga EB2 e Estação de Válvulas apresentaram, no exame visual após exposição, aspecto superficial diverso do apresentado pelos demais cupons, qual seja: ranhuras semelhantes às observadas em processos de corte. Nesse mesmo documento, foi ainda relatado que em reunião de acompanhamento técnico realizada com representantes da Anglo American, foi informada a passagem de *PIG* antes da retirada dos cupons, o que pode ter afetado a superfície de alguns deles. Os cupons mencionados estão apresentados na **Figura 3.1.20**.

Pelo exposto, é conveniente desconsiderar as taxas de corrosão correspondentes às Exposições 1 a 4 na avaliação da corrosão interna do duto. Quanto à Exposição 5, seus dados devem ser avaliados com cuidado, uma vez que o acompanhamento da operação de instalação foi parcial e a **Figura 3.1.20** mostra que a passagem de *PIG*, realizada antes da retirada dos cupons, pode ter ocasionado perda de material metálico.

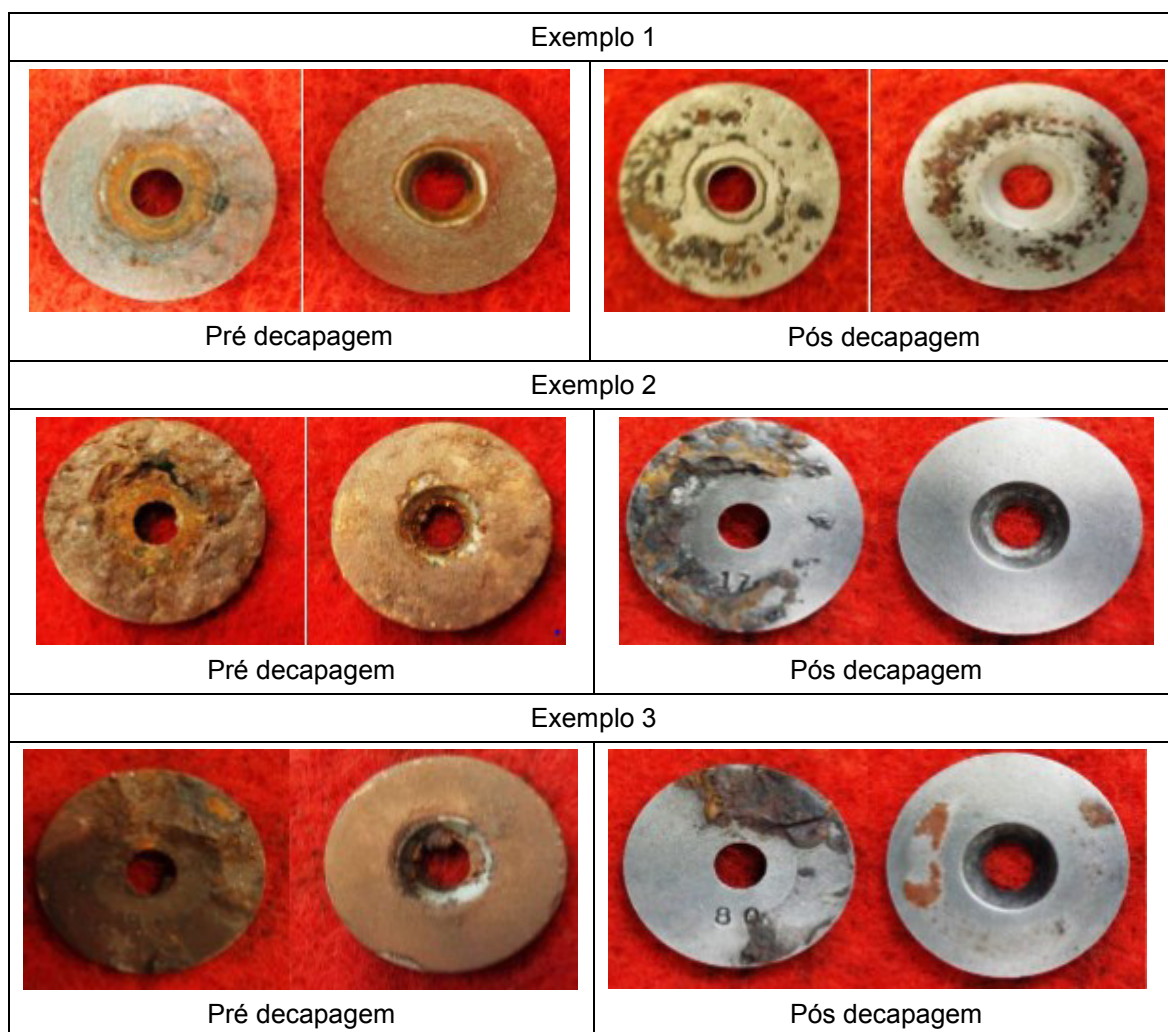
Apenas com base nas taxas de corrosão verificadas para a Exposição 6 tem-se:

- Valores de mesma ordem de grandeza para quase a totalidade dos pontos;
- A taxa de corrosão 10x maior, verificada para o ponto “Início Mineroduto Jr”, deve estar relacionada ao posicionamento deste ponto de maneira próxima ao local de adição do sequestrante de oxigênio. Assim, o bissulfito pode não ter tido tempo de

reagir em sua totalidade e, como consequência, ter-se-ia o oxigênio presente no fluido promovendo a elevação na taxa de corrosão.

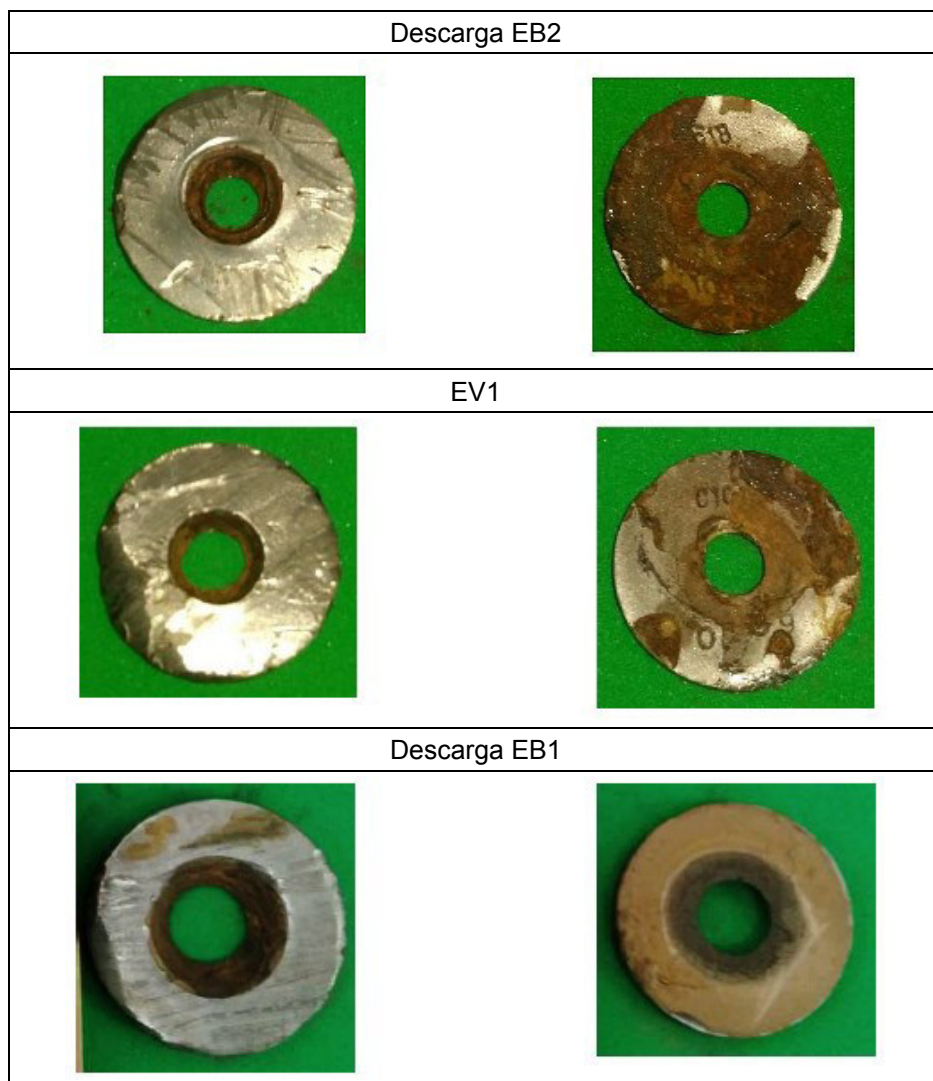
Pelo exposto, acredita-se que os resultados da Exposição 6 indicam melhorias nos procedimentos. No entanto, considera-se importante o acompanhamento de dados de exposições futuras para avaliar com mais precisão se eles representam as condições reais de exposição do interior do duto.

Figura 3.1.19 – Aspecto visual de cupons de perda de massa pré e pós decapagem. Nota-se a presença de produtos de corrosão, mesmo após a decapagem. Cabe salientar que a decapagem é aplicada exatamente para remoção dos produtos de corrosão, para cálculo da taxa de corrosão.



Fonte: Relatórios emitidos pela empresa IEC – Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda., contratada pelo Cliente para efetuar atividades de instalação e retirada de cupons de corrosão, e compartilhados pelo Cliente.

Figura 3.1.20 – Aspecto visual de cupons de perda de massa retirados da Exposição 5. Nota-se a presença de ranhuras profundas na superfície dos cupons.



Fonte: Relatório Técnico PEMM 22254 RT7, emitido pelo Labcorr *Corrosion Laboratory* COPPE/UFRJ e compartilhado pelo Cliente.

Tabela 3.1.18 – Taxas de corrosão dos cupons de perda de massa instalados em nove diferentes posições do Mineroduto.

Exposição	Instalação	Retirada	Taxa de corrosão (mm/ano)								
			Início Mineroduto Jr	Final Mineroduto Jr	Sucção EB1	Descarga EB1	Sucção EB2	Descarga EB2	EV	Entrada ET	Saída ET
1	Dez/18	Abr/19	0,028	---	0,068	0,050	0,041	0,105	0,008	0,003	0,027
2	Abr/19	Jul/19	0,075	---	0,025	0,008	0,008	0,034	0,004	0,005	0,058
3	Jul/19	Out/19	0,087	---	---	0,072	0,002	0,015	0,001	0,0004	0,044
4	Out/19	Fev/20	0,057	0,095	0,018	0,017	0,001	0,044	0,005	0	0,072
5	Fev/20	Set 20	0,1107	0,0536	0,0048	0,0604	0,0057	0,0805	0,1397	0,0130	0,0115
6	Set/20	Jan 21	0,1705	0,098	0,0155	0,0567	0,0183	0,0712	0,0308	0,0117	0,0375

Nota 1: As taxas de corrosão marcadas em amarelo correspondem aos cupons em que foram verificadas ranhuras, provavelmente originadas na passagem do *PIG*. Fonte: IPT

A **Tabela 3.1.19** apresenta as taxas de corrosão calculadas com base em dados de sondas de resistência elétrica, para o Mineroduto Jr. início e final, Descarga EB2 e Entrada ET e as taxas de corrosão obtidas nos cupons de perda de massa da Exposição 6. Comparando-se os dados, verifica-se uma discrepância relativa entre os dados dos cupons de perda de massa e os dados das SER. Como já foi citado anteriormente, os dados das SRE apontam tendências e não devem ser considerados como indicativos precisos de taxas de corrosão.

Tabela 3.1.19 – Taxas de corrosão calculadas para sondas SRE e verificadas para cupons de perda de massa na Exposição 6.

Local de instalação	Taxa de corrosão (mm/ano)	
	Sondas RE	Cupons de perda de massa
Início Mineroduto Jr	0,1026	0,1705
Final Mineroduto Jr	0,0664	0,098
Sucção EB1	-	0,0155
Descarga EB1	-	0,0567
Sucção EB2	-	0,0183
Descarga EB2	0,0084	0,0712
Estação de Válvulas (EV1)	-	0,0308
Entrada Estação Terminal	0,0365	0,0117
Saída Estação Terminal	-	0,0375

Fonte: IPT.

FSM[®] Field Signature Method

O monitoramento da corrosão interna do mineroduto estava programado para também ser realizado usando-se a técnica não intrusiva FSM[®]. No entanto, por motivos diversos, essa técnica ainda não foi instalada. Em fevereiro de 2021, obteve-se a informação de que a passagem da alimentação do equipamento para banco de baterias resultou em bom desempenho. Assim, essa mudança será estendida às demais unidades de FSM do Cliente. Dessa forma, não há dados para a avaliação do monitoramento da corrosão interna pela técnica não intrusiva.

Análises físico-químicas

Para a caracterização de amostras de água e de polpa estão sendo realizadas análises físico-químicas. Os parâmetros acompanhados são: pH; oxigênio dissolvido; alcalinidade total; teor de íons cloreto, sulfato e nitrato; metais dissolvidos (Fe, Al, Mn, Cr, Ca, Zn, K, Na, Cu, Mg e B); sólidos suspensos; potencial redox; condutividade elétrica; nitrogênio total e dureza. Para a amostragem 6, algumas modificações foram realizadas, o teor de oxigênio total passou a não ser analisado e foram introduzidas as quantificações de íons sulfeto e nitrito. As **Figura 3.1.21 a Figura 3.1.29** apresentam os resultados obtidos nos nove pontos de coleta, para as seis amostragens realizadas. Alguns desses parâmetros são importantes para avaliar a corrosividade de água, como o pH, alcalinidade, temperatura e sólidos totais. Já o potencial redox, por sua vez, pode indicar se o meio é aerado ou não e, portanto, se favorece o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios; mas não é, necessariamente, um indicativo de processos de biocorrosão. Como nem todas as amostragens têm sido realizadas nos nove pontos, se o objetivo dessas análises for avaliar a corrosividade da água, considera-se mais apropriado selecionar os **principais parâmetros de interesse**, bem como os **pontos de coleta mais estratégicos** e monitorá-los com uma periodicidade que pode ser estabelecida com base no histórico. Sugere-se reavaliar a necessidade de se analisar todos esses parâmetros para avaliar a corrosividade da água.

Figura 3.1.21 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas do “Rio do Peixe”.

Parâmetros físicos e químicos	Rio do peixe (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH	7,19			7,53	8,58	
T (°C)	25			25	25	
O ₂ dissolvido (mg/L)	8,4					
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	16,8			40	15	
Cloretos (mg/L)	< 8			< 8	< 8	
Sulfatos (mg/L)	< 1			36,38	< 1,0	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	3,12		6,29	2,77	
	Al	1,19		10,10	0,44	
	Mn	0,56		< 0,001	0,14	
	Cr	0,13		< 0,001	0,01	
	Ca	12,50		1,85	1,97	
	Zn	0,92		< 0,001	0,18	
	K	8,13		5,31	1,95	
	Na	273,20		3,21	2,41	
	Cu	1,53		< 0,001	0,02	
	Mg	18,30		1,08	0,86	
B	0,29		< 0,001	< 0,005		
Sólidos suspensos (mg/L)	< 1			31	17	
Potencial redox (mV)	-45,7			4,3	-30	
Condutividade elétrica (µS/cm)	37			332	32	
N (mg nitrato/L)	< 0,1			1,31	0,11	
Nitrogênio total (mg/L)						
Dureza (mg CaCO ₃ /L)				9	9	
Sulfeto (mg/L)						
Nitrito (mg/L)						

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.22 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Barragem EB1”.

Parâmetros físicos e químicos	Barragem EB1 (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH	7,76	8,12	7,72	8,37	7,83	
T (°C)	25	25	25	25	25	
O ₂ dissolvido (mg/L)	8,7	281,4				
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	208	12	260	252	200	
Cloretos (mg/L)	< 8	2,49	9,99	10,00	< 8	
Sulfatos (mg/L)	3,85	20,30	29,30	102,97	12,1	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	4,13	3,86	10,54	60,00	4,65
	Al	2,12	0,81	2,56	6,70	1,12
	Mn	1,08	0,64	0,50	4,13	0,23
	Cr	0,23	0,06	< 0,001	< 0,001	0,01
	Ca	16,30	19,81	5,73	21,60	10,30
	Zn	1,12	0,10	0,11	0,14	0,09
	K	9,16	9,55	14,15	18,30	7,01
	Na	185,30	78,77	42,27	162,00	52,20
	Cu	1,92	0,01	< 0,001	< 0,001	0,02
	Mg	20,13	0,23	0,33	0,32	0,33
B	1,00	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Sólidos suspensos (mg/L)	2	0,1	113	150	40	
Potencial redox (mV)	-100,5	-62,3	-40,7	-65,5	-64,7	
Condutividade elétrica (µS/cm)	429	1181	545	609	463	
N (mg nitrato/L)	0,67	2,49	0,75	0,97	< 0,1	
Nitrogênio total (mg/L)						
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)			16	54	27	
Sulfeto (mg/L)						
Nitrito (mg/L)						

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.23 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Água de Processo RU-417”.

Parâmetros físicos e químicos		Água do Processo RU-417 (água)					
		Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH		10,70	8,42	10,05	10,62		8,34
T (°C)		25	25	25	25		
O ₂ dissolvido (mg/L)		9,2	10,2				
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)		183	402	225	143		218
Cloretos (mg/L)		9,92	19,85	19,90	9,99		15,88
Sulfatos (mg/L)		3,86	22,79	56,16	48,19		6,10
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	8,80	171,80	2,57	4,61		0,67
	Al	6,16	10,73	4,09	6,04		0,36
	Mn	3,44	4,05	0,13	< 0,001		0,17
	Cr	1,56	0,83	0,32	< 0,001		0,02
	Ca	21,20	16,20	5,61	2,65		5,35
	Zn	2,12	0,20	< 0,001	< 0,001		0,24
	K	14,56	11,70	11,89	15,50		4,77
	Na	312,20	108,00	41,71	86,00		34,30
	Cu	3,53	0,10	< 0,001	< 0,001		0,04
Mg	29,50	0,48	< 0,001	< 0,001		0,22	
B	1,03	0,18	< 0,005	< 0,005		0,44	
Sólidos suspensos (mg/L)		2	5	126	160		38
Potencial redox (mV)		-156,0	-193,9	-162,6	-203,6		-52,0
Condutividade elétrica (µS/cm)		415	638	638	540		477
N (mg nitrato/L)		0,18	0,40	5,81	0,64		< 1
Nitrogênio total (mg/L)							
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)				14	7		15
Sulfeto (mg/L)							2,40
Nitrito (mg/L)							0,25

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.24 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Tubulação do Reservatório de Água EB1”.

Parâmetros físicos e químicos		Tubulação Reservatório de Água EB1 (água)					
		Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH		6,90	8,42	7,70	7,10	8,00	
T (°C)		25	25	25	25	25	
O ₂ dissolvido (mg/L)		8,6	10,2				
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)		2	402	265	29	20	
Cloretos (mg/L)		< 8	19,85	9,99	19,99	< 8	
Sulfatos (mg/L)		< 1	17,80	18,80	12,08	< 1	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	3,01	2,16	2,22	2,76	2,88	
	Al	1,05	0,17	0,63	0,43	0,40	
	Mn	0,73	1,25	0,51	0,14	0,06	
	Cr	0,92	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,02	
	Ca	12,10	12,81	6,32	5,63	1,91	
	Zn	0,33	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,08	
	K	16,20	6,95	11,74	3,19	1,48	
	Na	193,10	68,71	43,02	5,88	2,51	
	Cu	0,36	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,02	
Mg	13,50	0,25	0,72	0,79	0,88		
B	0,15	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01		
Sólidos suspensos (mg/L)		< 1	< 0,05	102	136	8	
Potencial redox (mV)		-23,0	-75,6	-40,8	-12,5	-42,5	
Condutividade elétrica (µS/cm)		36	638	531	71	28	
N (mg nitrato/L)		0,72	0,40	0,55	8,80	0,44	
Nitrogênio total (mg/L)							
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)				16	17	8	
Sulfeto (mg/L)							
Nitrito (mg/L)							

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.25 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB1”.

Parâmetros físicos e químicos	Sucção EB1 (polpa)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH	11,14	12,39	11,35	11,94		
T (°C)	25	25	25	25		
O ₂ dissolvido (mg/L)	6,2	10,6	6,7	7,3		
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	17	302	275	285		
Cloretos (mg/L)	< 2	15,99	< 8	59,96		
Sulfatos (mg/L)	9,34	< 0,003	28,80	26,30		
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	194,710	8,369	7,597	122,671	
	Al	104,605	263,81	312,34	8,532	
	Mn	40,615	158,34	248,64	11,185	
	Cr	15,765	16,98	10,51	401,07	
	Ca	85,260	211,74	123,71	5,756	
	Zn	40,775	2,00	1,58	48,87	
	K	105,265	22,96	12,88	678,18	
	Na	104,660	45,44	54,81	1,927	
	Cu	19,710	1,12	0,18	29,07	
Mg	1,603	6,37	2,62	145,03		
B	102,3	7,74	< 0,25	54,21		
Sólidos suspensos (mg/L)	ND					
Potencial redox (mV)	-180,0	-280	-231	-191,2		
Condutividade elétrica (µS/cm)	230	1,483	1,040	1,360		
N (mg nitrato/L)	26,98	3,41	3,19	88,9		
Nitrogênio total (mg/L)						
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)			318	14,970		
Sulfeto (mg/L)						
Nitrito (mg/L)						

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.26 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Sucção EB1 – Pós-tratamento”.

Parâmetros físicos e químicos	Sucção EB1 – Pós Tratamento (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
pH	9,85	8,25		11,76	11,79	11,22
T (°C)	25	25		25	25	
O ₂ dissolvido (mg/L)	8,8	11,7				
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	89	202		33	630	264
Cloretos (mg/L)	< 8	15,99		19,99	< 8	9,99
Sulfatos (mg/L)	22,41	12,33		9,59	21,42	23,78
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	0,65	3,41		< 0,1	4,03
	Al	< 0,001	0,83		0,10	0,51
	Mn	0,12	1,77		< 0,001	0,07
	Cr	< 0,001	0,02		< 0,001	0,02
	Ca	16,10	37,45		4,10	2,23
	Zn	< 0,001	< 0,001		< 0,001	0,03
	K	6,12	10,09		4,96	2,31
	Na	156,20	90,42		53,07	105,00
	Cu	0,07	0,02		< 0,001	0,05
Mg	10,10	8,84		0,17	0,90	
B	< 0,005	< 0,005		< 0,005	< 0,005	
Sólidos suspensos (mg/L)	< 1	1,2		63	65	25
Potencial redox (mV)	-49,0	-273		-272,4	-282,7	-258,5
Condutividade elétrica (µS/cm)	273	1684		1234	3020	1031
N (mg nitrato/L)	1,82	0,40		0,57	0,18	< 0,1
Nitrogênio total (mg/L)						
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)				11	9	13
Sulfeto (mg/L)						3,20
Nitrito (mg/L)						0,36

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.27 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de água coletadas da “Tubulação Barragem EB2”. Cabe mencionar que nas amostragens 1 e 2 a coleta foi realizada na tubulação e nas amostragens 3 a 6 ela foi feita diretamente na Barragem de EB2.

Parâmetros físicos e químicos	Tubulação Barragem EB2 (água)						
	Amostragem 1 (tubulação)	Amostragem 2 (tubulação)	Amostragem 3 (Barragem)	Amostragem 4 (Barragem)	Amostragem 5	Amostragem 6	
pH	10,50	11,33	9,70	10,11	10,43	10,93	
T (°C)	25	25	25	25	25		
O ₂ dissolvido (mg/L)	9,2	9,7					
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	164	348	356	202	170	240	
Cloretos (mg/L)	19,80	19,99	9,99	9,99	< 8	< 8	
Sulfatos (mg/L)	15,70	20,79	33,24	25,77	50,68	36,48	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	0,34	1,02	0,91	9,17	7,57	3,47
	Al	< 0,001	< 0,001	0,56	5,43	1,90	0,36
	Mn	0,09	0,04	< 0,005	0,09	0,14	0,03
	Cr	0,04	0,02	< 0,001	< 0,001	0,02	0,02
	Ca	5,16	3,57	2,57	2,92	3,64	1,55
	Zn	< 0,001	0,10	0,20	< 0,001	0,10	0,03
	K	9,12	8,55	8,16	10,95	3,26	2,00
	Na	173,20	111,53	41,71	111,80	57,90	53,09
	Cu	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,03	0,06
	Mg	7,12	0,32	0,48	0,81	0,61	0,14
B	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01	0,35	
Sólidos suspensos (mg/L)	< 1	0,2	21	128	36	10	
Potencial redox (mV)	-112,3	-225,8	-143,7	-180,6	-216,7	-241,6	
Condutividade elétrica (µS/cm)	332	617	725	420	436	837	
N (mg nitrato/L)	1,14	0,78	1,29	0,53	< 0,1	< 0,1	
Nitrogênio total (mg/L)							
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)			9	11	12	4	
Sulfeto (mg/L)						4,00	
Nitrito (mg/L)						0,50	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.28 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB2”. Na amostragem 6, ao invés de polpa foi coletada água.

Parâmetros físicos e químicos	Sucção EB2 (polpa)						
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6 - água	
pH	11,65	12,23	11,87	11,69	11,36	10,87	
T (°C)	25	25	25	25	25		
O ₂ dissolvido (mg/L)	6,8	6,5	7,1	5,7	7,0		
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	260	290	305	320	200	256	
Cloretos (mg/L)	< 2	12,00	< 8	39,98	< 8	< 8	
Sulfatos (mg/L)	179,65	< 0,003	23,50	25,80	126,63	22,41	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	91522	7532	3515	93541	2824	3,14
	Al	60215	305,63	150,07	6,798	152,00	0,51
	Mn	35629	373,04	299,23	13,092	225,00	0,09
	Cr	10475	29,02	3,79	414,96	8,29	0,03
	Ca	95160	230,58	123,43	5,730	492,00	3,62
	Zn	31645	2,77	1,73	48,87	1,65	0,06
	K	80115	31,53	10,89	571,65	11,40	4,68
	Na	95515	60,38	25,32	2441,7	30,10	92,72
	Cu	10195	1,64	0,37	22,47	1,20	0,12
	Mg	75160	10,95	2,05	170,37	5,89	0,38
B	5160	9,19	< 0,25	28,8	< 0,25	0,11	
Sólidos suspensos (mg/L)	ND					40	
Potencial redox (mV)	-89,7	-272,3	-256,4	-210,5	-240,7	-239	
Condutividade elétrica (µS/cm)	118	1189	1568	601	778	871	
N (mg nitrato/L)	75,50	0,07	5,12	25,60	2,72	< 0,1	
Nitrogênio total (mg/L)					21,67		
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)			215	15,006	1,253	2	
Sulfeto (mg/L)						3	
Nitrito (mg/L)						1	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.29 – Resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de polpa coletadas da “Estação Terminal”.

Parâmetros físicos e químicos	Estação Terminal (polpa)						
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6	
pH	11,11	12,4	11,77	11,5	11,47	11,32	
T (°C)	25	25	25	25	25		
O ₂ dissolvido (mg/L)	6,8	8,1	7,1	3,6	7,1		
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	357	420	360	304	220	220	
Cloretos (mg/L)	< 2	15,99	< 6	39,98	< 8	< 8	
Sulfatos (mg/L)	425,60	< 0,003	24,30	23,90	67,49	10,21	
Metais dissolvidos (mg/L)	Fe	92.660	13686	6528	192174	3955	10870
	Al	54.705	623,48	282,32	9.558	157,00	299,11
	Mn	30.915	510,71	211,70	12.519	147,00	151,98
	Cr	10.510	20,38	10,35	455,81	7,67	15,89
	Ca	90.150	231,96	124,78	5.734	355,00	254,61
	Zn	32.560	5,88	1,28	72,03	1,16	6,00
	K	85.155	34,61	8,65	712,02	69,80	53,69
	Na	99.210	63,91	42,44	3.520	47,10	145,55
	Cu	150,75	1,25	0,19	16,35	0,58	1,93
	Mg	70.160	8,75	2,14	184,98	4,84	6,47
B	4910	21,49	< 0,25	167,01	< 0,25	16,61	
Sólidos suspensos (mg/L)	ND					1561	
Potencial redox (mV)	-35	-281	-251	-167	-252	-270	
Condutividade elétrica (µS/cm)	30	1397	1363	700	869	1088	
N (mg nitrato/L)	285,00	0,08	2,59	41,90	1,45	0,26	
Nitrogênio total (mg/L)					11,67		
Dureza carbonato (mg CaCO ₃ /L)			320	15.078	906	636	
Sulfeto (mg/L)						< 0,05	
Nitrito (mg/L)						11,16	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

A análise das **Figura 3.1.21 a Figura 3.1.29** permite as seguintes observações:

- À exceção do Rio do Peixe, que apresentou as alcalinidades mais baixas, as demais amostras coletadas apresentaram valores equivalentes, independentemente de serem de polpa ou de água;
- Em relação ao teor de íons cloreto, cuja presença aumenta a agressividade de um meio, verificou-se, para o Rio do Peixe e Barragem EB1 os menores teores detectados. Para os demais pontos, foram verificados teores mais baixos em algumas amostragens e mais altos em outras, no entanto, não superiores a 60 ppm. Quando se compara os teores de íons cloreto verificados em amostras de água com as de polpa, não há diferença significativa. A única exceção é para a amostragem 4, na qual foram verificados teores mais elevados para as polpas;
- Em relação aos metais dissolvidos (sólidos dissolvidos), os menores teores foram encontrados no Rio do Peixe. Comparando-se somente os resultados das amostras de água têm-se valores equivalentes, independentemente do ponto de coleta. O mesmo ocorre, quando são comparados os resultados das amostras de polpa. No entanto, comparando-se os teores verificados nas polpas com os encontrados nas águas, as polpas apresentam teores de metais dissolvidos significativamente superiores aos das águas, o que é de se esperar quando se compara suas origens;
- Com relação à condutividade elétrica, quanto mais alta ela for, maior é a mobilidade dos íons no meio e, assim, potencialmente mais propício é esse meio para a ocorrência de corrosão. De maneira geral, a condutividade elétrica das polpas apresentam valores, na maioria das vezes, significativamente superiores aos verificados para as águas. As condutividades das águas coletadas no Rio do Peixe foram as que apresentaram os menores valores.

Com base nos resultados fornecidos pelo Cliente de oxímetros posicionados em EB1 e EB2, de maneira geral, os teores de oxigênio dissolvido detectados nesses locais são baixos e que os verificados em EB2 são significativamente menores do que os verificados em EB1.

Analisando-se somente as águas, existem algumas maneiras de classificá-las quanto a sua corrosividade. A primeira delas leva em consideração a concentração de sais de cálcio e magnésio. Quando a concentração destes é alta diz-se que a água é dura e quando é baixa, a água classificada como mole:

- Águas moles: < 50 ppm de CaCO₃;
- Águas moderadamente moles: (50 – 100) ppm de CaCO₃;
- Águas levemente duras: (100 – 150) ppm de CaCO₃;
- Águas moderadamente duras: (150 – 250) ppm de CaCO₃;
- Águas duras: (250 – 350) ppm de CaCO₃;
- Águas muito duras: > 350 ppm de CaCO₃.

Águas moles são mais corrosivas e águas duras são menos corrosivas. A Tabela 3.1.20 apresenta as durezas das águas coletadas nos pontos de amostragem, a partir do momento que este parâmetro passou a ser analisado. Verifica-se que todas as águas coletadas podem ser classificadas como moles e, portanto, consideradas corrosivas.

Tabela 3.1.20 – Dureza de águas coletadas em diferentes pontos.

Local de coleta	Dureza das amostras de água (mg CaCO ₃ /L (ppm))					
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6
Rio do Peixe	---	---	---	9	8,5	---
Barragem EB1	---	---	16	54	27	---
Água Processo RU-417	---	---	14	7	---	15
Tubulação Reservatório EB1	---	---	16	17	8,4	---
Sucção EB1 – Pós-tratamento	---	---	---	11	9,3	13
Tubulação Barragem EB2	---	---	9	11	11,5	4

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Outra maneira de classificar uma água quanto a sua corrosividade leva em consideração o pH, a temperatura e o teor de sólidos dissolvidos. A literatura (Panossian, 1993) divide as águas naturais em duas categorias: as supersaturadas em carbonato de cálcio (águas duras) e as subsaturadas em carbonato de cálcio (águas moles).

As águas do primeiro grupo são aquelas nas quais ocorre a deposição de uma camada de carbonato de cálcio, na superfície do metal que está em contato com essa água. Camada que quando presente na superfície do aço-carbono constitui-se em uma barreira muito mais efetiva do que a camada naturalmente formada em um processo corrosivo. A verificação da supersaturação ou subsaturação em carbonato de cálcio é feita por meio do cálculo do índice de saturação ou de Langelier de uma água:

- Se o índice de saturação for positivo (supersaturada em CaCO_3), a água é considerada não-corrosiva;
- Se o índice de saturação for nulo (zero), a água está em equilíbrio;
- Se o índice de saturação for negativo (subsaturada em CaCO_3), a água é considerada corrosiva.

A Tabela 3.1.21 apresenta os índices de Langelier calculados para as águas coletadas de diferentes pontos do mineroduto, em diferentes momentos.

Tabela 3.1.21 – Índices de saturação ou de Langelier calculados para águas coletadas em diferentes pontos, em diferentes momentos.

Local de coleta	Índice de saturação					
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6
Rio do Peixe	---	---	---	- 3,09	- 2,23	
Barragem EB1	---	---	- 2,37	- 1,36	- 1,73	
Água Processo RU-417	---	---	- 0,24	- 0,07	---	- 1,40
Tubulação Reservatório EB1	---	---	- 2,37	- 4,02	- 2,34	
Sucção EB1 – Pós-tratamento	---	---	---	+ 0,84	+ 8,4	+ 1,66
Tubulação Barragem EB2	---	---	+ 0,17	- 0,34	+ 0,48	+ 1,21

Fonte: IPT

Das Tabela 3.1.20 e Tabela 3.1.21 verifica-se que a grande maioria das águas *in natura* pode ser classificada como corrosiva pelos dois métodos (dureza e índice de saturação).

Apesar de sabido que a tendência é a eliminação da intercalação de lotes de água passando pelo mineroduto, quando o processo entrar em operação contínua tem-se, de qualquer maneira, certa quantidade de água sendo adicionada ao minério para viabilizar seu transporte. É importante que essa água seja tratada antes de ser introduzida no mineroduto sob risco de desencadear um processo de corrosão. No caso das polpas, esforços devem ser dispendidos para identificar a origem dos íons cloreto, já que não é a água do Rio do Peixe e nem da Barragem EB1.

Análises microbiológicas: em águas/polpas e em biocupons

A corrosão induzida por microrganismos (CIM) frequentemente agrava a corrosão metálica e, ao longo dos anos, resulta em prejuízos para diferentes setores industriais, em particular para os setores que se utilizam do modal dutoviário para transporte dos seus produtos.

O objetivo dessa atividade foi conhecer as formas como a Anglo American está gerenciando este fenômeno e avaliar a eficácia das ações implementadas para o controle desses eventuais processos de corrosão.

A Anglo American tem um contrato com o Instituto Nacional de Tecnologia para identificar a população microbiana e determinar as concentrações presentes na água utilizada para a preparação da polpa, na própria polpa e nos biofilmes formados nos biocupons. Essas informações são repassadas à Anglo American por meio de relatórios contendo todas as cepas identificadas e as respectivas concentrações, mas não se identificou como a Anglo American se apropria desses dados; ou seja, o que a Anglo American tem feito com essas informações; por exemplo, se as espécies identificadas e as concentrações e/ou parte delas podem causar algum tipo de problema, quem faz essa avaliação e, em caso positivo, quais têm sido as ações mitigadoras, etc.

Águas e polpas

As **Figura 3.1.30** a **Figura 3.1.38** apresentam a quantificação pela técnica do Número Mais Provável (NMP), de seis grupos bacterianos submetidos à técnica de cultivo: bactérias aeróbias, BPA aeróbias, bactérias anaeróbias, BPA anaeróbias, ferrobactérias e bactérias sulfato-redutoras (BRS).

Para o grupo das BRS, a quantificação foi também realizada pela técnica qPCR, que utiliza a molécula de DNA para extração do material genético. Esta técnica quantifica células vivas e mortas, enquanto no método de cultivo, somente os organismos viáveis e cultiváveis são quantificados. É importante salientar que as análises realizadas através do DNA, vêm se fortalecendo como uma poderosa ferramenta para o aprofundamento e a complementação dos resultados fornecidos pela microbiologia clássica, como o isolamento e o NMP. Em muitos casos, as técnicas de cultivo e qPCR trabalham auxiliando uma a outra, já que cada uma possui suas lacunas e limites de detecção. Enquanto o cultivo de microrganismos em laboratório não reflete as condições ambientais, tendo em vista que só (0,1 a 10) % das bactérias são cultiváveis in vitro, quando se trabalha com DNA não é necessário cultivar a amostra em meios de cultura e a extração do material genético é feita diretamente na amostra recebida, fornecendo assim uma fotografia mais fiel da diversidade e riqueza dos microrganismos presentes no local de estudo, porém não dá para saber se estes estavam ativos ou já mortos quando a coleta foi realizada.

Dos grupos bacterianos escolhidos para a quantificação é importante salientar que:

- **Bactérias aeróbias** são importantes no processo de biocorrosão porque formam o biofilme inicial. Posteriormente, o filme funciona como uma barreira para a difusão de O₂, favorecendo o crescimento de bactérias anaeróbias, importantes para o processo de biocorrosão. As bactérias aeróbias são mais comumente encontradas em meio com pH em torno de sete;

- PA aeróbias podem acelerar o processo de corrosão através da dissolução de óxidos metálicos e, ainda, gerar compostos orgânicos ácidos que além da ação corrosiva, podem servir como fonte de carbono para as BRS, potencializando a corrosão induzida por microrganismos (CIM). Convém salientar, que o crescimento das BRS não está somente limitado à presença de compostos orgânicos gerados pela ação das BPA aeróbias. Estas são mais comumente encontradas em meio com pH entre seis e oito;
- Bactérias anaeróbias têm grande contribuição nos processos de biocorrosão. Sua ação promove, entre outros, a liberação de grande quantidade de gás sulfídrico (H_2S) como agente reativo, tóxico e corrosivo (Albuquerque, 2014). A baixa concentração de O_2 na base do biofilme, região próxima ao substrato, ocasionado pela ação de bactérias aeróbias formadoras de biofilme, favorece o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, além de facilitar a formação de células de corrosão por aeração diferencial;
- BPA anaeróbias são heterotróficas (não produzem o próprio alimento), metabolizam o carbono orgânico para gerar ácidos orgânicos que, embora não apresentem um caráter corrosivo acentuado, podem favorecer o desenvolvimento de outros grupos por redução do pH, contribuindo para que haja a colonização de diferentes espécies de microrganismos envolvidos em processos de biocorrosão;
- ferrobactérias são importantes no processo de biocorrosão porque participam de reações de precipitação do ferro e formam tubérculos, acelerando o processo corrosivo através do mecanismo de aeração diferencial;
- BRS são bactérias anaeróbias conhecidas como aceleradoras dos processos corrosivos através de seu metabolismo. Sua ação promove, entre outros, a liberação de grande quantidade de H_2S como agente reativo, tóxico e corrosivo. A presença de sulfato é fundamental para o desenvolvimento das BRS.

Figura 3.1.30 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas do “Rio do Peixe”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Rio do peixe (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	2,30E+01	Não houve coleta	Não houve coleta	1,10E+07	3,60E+08	Não houve coleta
BPA aeróbias	9,00E+00			2,80E+04	7,00E+04	
Ferrobactérias	9,30E+03			2,30E+04	4,30E+03	
Bactérias anaeróbias	2,80E+03			9,30E+03	2,30E+03	
BPA anaeróbias	4,30E+02			7,50E+04	4,30E+03	
BRS (NMP/mL)	9,00E+00			2,30E+02	4,30E+01	
BRS (qPCR)	ND			1,79E+02	8,02E+00	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.31 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Barragem EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Barragem EB1 (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	1,10E+07	9,30E+04	9,30E+05	2,90E+09	7,50E+06	Não houve coleta
BPA aeróbias	4,30E+04	4,30E+01	2,30E+02	2,30E+05	2,70E+02	
Ferrobactérias	9,30E+04	2,10E+08	3,40E+08	1,40E+07	2,30E+04	
Bactérias anaeróbias	2,00E+05	4,30E+05	4,30E+04	1,10E+06	2,70E+06	
BPA anaeróbias	4,60E+09	1,20E+05	7,00E+05	9,30E+04	4,30E+04	
BRS (NMP/mL)	4,30E+04	9,30E+02	7,50E+04	9,30E+04	4,30E+03	
BRS (qPCR)	3,48E+03	2,28E+02	7,60E+03	1,82E+04	6,77E+04	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.32 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Água de Processo RU-417”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Água de Processo RU-417 (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	9,00E+00	1,50E+07	1,50E+01	1,10E+03	Não houve coleta	1,50E+09
BPA aeróbias	ND	4,00E+00	9,00E+00	9,00E+00		2,30E+03
Ferrobactérias	1,40E+01	> 2,40E+10	9,00E+00	1,50E+03		7,00E+04
Bactérias anaeróbias	4,00E+00	2,00E+05	9,30E+05	9,00E+00		7,50E+03
BPA anaeróbias	2,30E+01	1,50E+02	9,30E+01	7,50E+01		9,30E+04
BRS (NMP/mL)	ND	ND	9,30E+04	ND		9,30E+02
BRS (qPCR)	1,30E+02	1,05E+03	3,13E+03	2,78E+03		1,06E+04

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.33 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Tubulação do Reservatório de Água EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Tubulação Reservatório de Água EB1 (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	1,50E+03	2,40E+09	> 2,4E+10	1,60E+05	4,30E+03	Não houve coleta
BPA aeróbias	1,50E+02	9,00E+00	3,90E+01	4,30E+01	4,30E+02	
Ferrobactérias	1,50E+02	1,20E+06	2,00E+07	2,00E+04	2,30E+03	
Bactérias anaeróbias	9,30E+03	9,30E+05	4,30E+04	2,30E+02	4,30E+03	
BPA anaeróbias	2,30E+02	4,30E+04	6,00E+07	2,00E+03	2,30E+03	
BRS (NMP/mL)	1,50E+01	7,50E+03	3,90E+04	4,00E+00	4,30E+01	
BRS (qPCR)	ND	5,92E+02	4,38E+03	8,52E+01	8,66E+00	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.34 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Sucção EB1 (polpa)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	1,50E+02	2,30E+02	4,30E+02	9,30E+04	Não houve coleta	9,30E+01
BPA aeróbias	7,00E+01	1,50E+02	9,30E+01	1,50E+03		4,00E+00
Ferrobactérias	9,00E+00	7,00E+00	9,00E+00	9,00E+00		4,00E+00
Bactérias anaeróbias	2,30E+01	3,90E+03	2,10E+03	7,00E+02		4,30E+01
BPA anaeróbias	2,30E+02	1,50E+02	9,30E+02	4,30E+02		2,30E+01
BRS (NMP/mL)	ND	4,30E+01	ND	ND		ND
BRS (qPCR)	1,59E+00	7,23E+01	ND	6,18E+00		2,88E+03

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.35 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Sucção EB1 – Pós-tratamento”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Sucção EB1 - Pós Tratamento (água)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	2,30E+02	2,30E+01	Não houve coleta	9,30E+01	9,30E+01	Não houve coleta
BPA aeróbias	2,30E+01	ND		7,50E+01	4,30E+01	
Ferrobactérias	ND	ND		7,00E+00	4,00E+00	
Bactérias anaeróbias	7,00E+03	2,30E+01		4,30E+01	9,30E+01	
BPA anaeróbias	1,40E+02	4,30E+02		1,10E+05	7,50E+01	
BRS (NMP/mL)	ND	ND		ND	ND	
BRS (qPCR)	7,55E+00	1,94E+02		3,17E+01	4,57E+02	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.36 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de água coletadas da “Tubulação Barragem EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Tubulação Barragem EB2 (água)					
	Amostragem 1 (tubulação)	Amostragem 2 (tubulação)	Amostragem 3 (Barragem)	Amostragem 4 (Barragem)	Amostragem 5 (Barragem)	Amostragem 6 (Barragem)
Bactérias aeróbias	2,30E+01	7,00E+00	> 2,4E+10	7,00E+04	2,80E+03	1,10E+02
BPA aeróbias	4,00E+00	ND	4,30E+01	2,30E+03	2,30E+02	4,00E+00
Ferrobactérias	2,30E+01	7,00E+01	2,90E+09	9,30E+04	7,50E+05	ND
Bactérias anaeróbias	1,50E+02	4,30E+01	2,00E+03	9,30E+02	9,30E+01	4,30E+01
BPA anaeróbias	2,10E+02	4,30E+02	4,30E+02	7,50E+03	2,30E+03	1,20E+02
BRS (NMP/mL)	ND	1,50E+01	ND	ND	ND	ND
BRS (qPCR)	1,09E+00	4,84E+00	1,71E+01	2,28E+01	1,02E+02	3,64E+02

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.37 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Sucção EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Sucção EB2 (polpa)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6 (água)
Bactérias aeróbias	1,50E+03	2,30E+03	9,30E+02	9,30E+02	2,30E+02	>2,40E+10
BPA aeróbias	7,50E+01	9,30E+01	1,50E+03	2,30E+02	1,50E+02	9,00E+00
Ferrobactérias	ND	4,00E+00	2,10E+01	4,00E+00	4,30E+01	1,10E+03
Bactérias anaeróbias	2,30E+03	4,30E+05	9,30E+01	2,30E+02	4,30E+02	9,30E+01
BPA anaeróbias	2,30E+02	7,50E+04	9,30E+01	1,50E+02	7,50E+01	1,50E+02
BRS (NMP/mL)	4,00E+00	9,30E+02	ND	ND	ND	ND
BRS (qPCR)	ND	1,04E+01	ND	6,57E+01	2,36E+01	7,55E+03

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.38 – Quantificação de grupos bacterianos em amostras de polpa coletadas da “Estação Terminal”, pela técnica de cultivo e qPCR. Os teores em negrito/marcados em cinza são os que apresentaram os maiores valores, para aquele grupo bacteriano, dentre todos os pontos de coleta.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/mL)	Estação Terminal (polpa)					
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3	Amostragem 4	Amostragem 5	Amostragem 6
Bactérias aeróbias	9,30E+02	3,90E+02	4,30E+02	2,30E+03	1,50E+02	2,00E+08
BPA aeróbias	9,30E+01	4,30E+01	9,30E+01	9,30E+02	9,30E+01	7,00E+01
Ferrobactérias	9,00E+00	9,00E+00	ND	9,00E+00	4,00E+00	7,00E+03
Bactérias anaeróbias	7,50E+02	2,30E+02	7,50E+02	9,30E+02	9,30E+01	4,30E+02
BPA anaeróbias	1,50E+02	9,30E+01	7,00E+03	2,30E+03	7,50E+01	1,10E+03
BRS (NMP/mL)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BRS (qPCR)	ND	7,64E+02	ND	1,03E+01	5,90E+00	1,03E+01

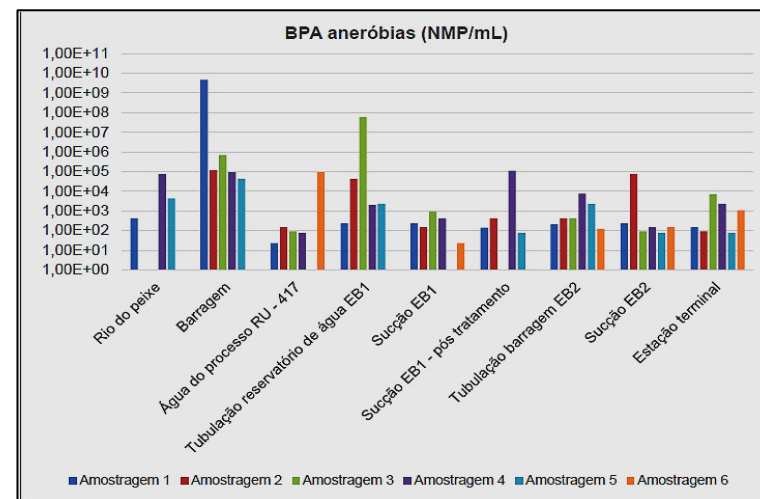
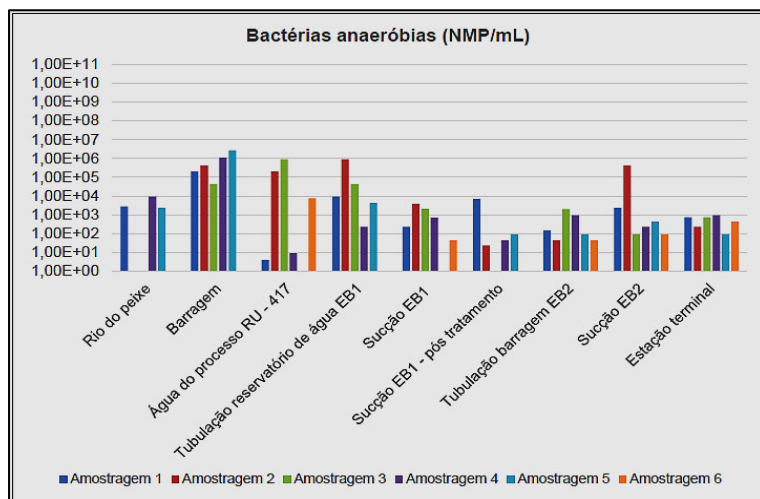
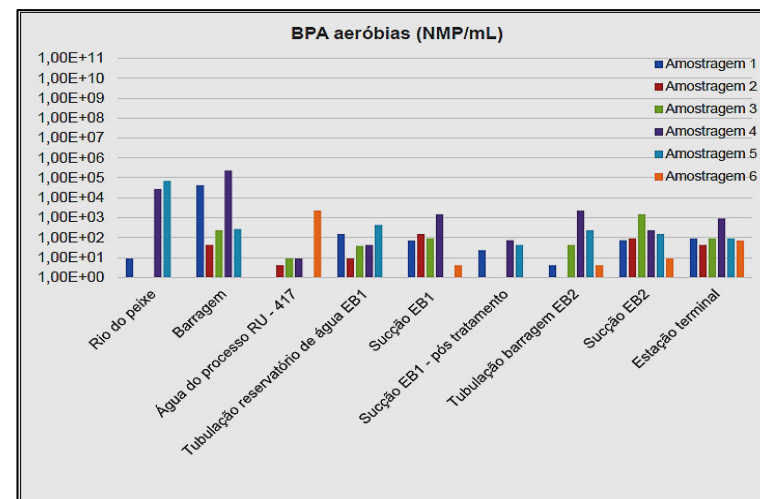
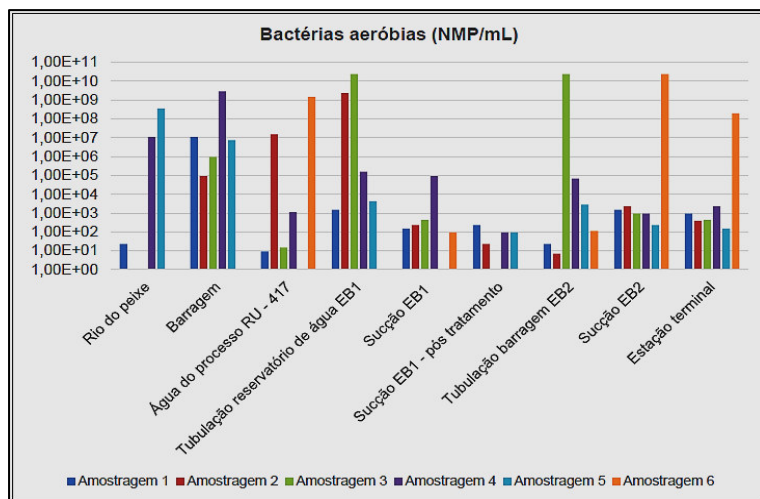
Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

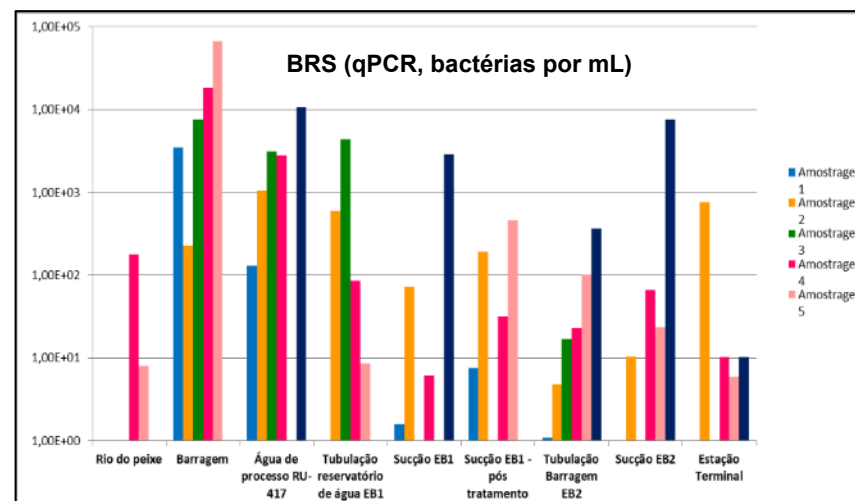
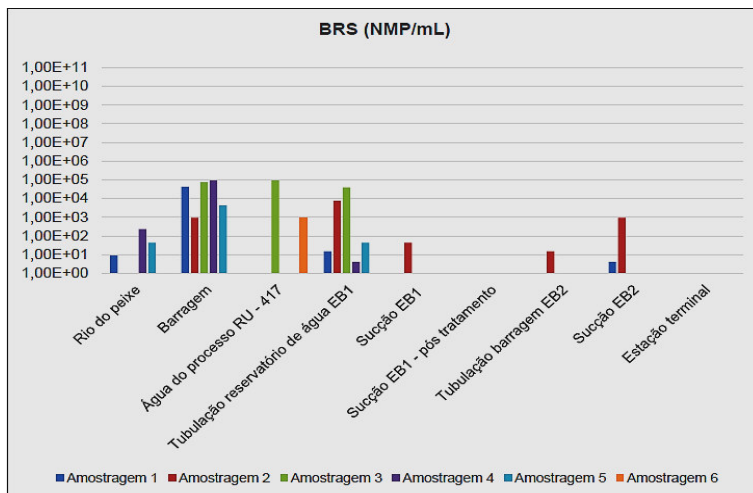
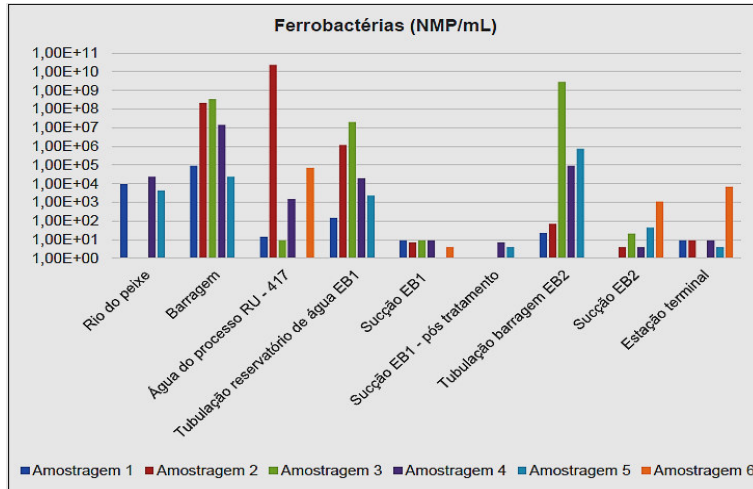
Da **Figura 3.1.30** a **Figura 3.1.38** tem-se:

- Bactérias anaeróbias - as maiores concentrações ($1E+09$, $> 2,4E+10$) foram verificadas na “Barragem EB1”, na “Água de Processo RU-417”, na “Tubulação Reservatório de Água EB1”, na “Tubulação Barragem EB2” e na “Sucção EB2”;
- BPA aeróbias - as maiores concentrações ($1E+04$, $1E+05$) foram detectadas no “Rio do Peixe” e na “Barragem EB1”;
- Bactérias anaeróbias – as maiores concentrações ($1E+05$, $1E+06$) foram encontradas na “Barragem EB1”, na “Água de Processo RU-417”, na “Tubulação Reservatório de Água EB1” e na “Sucção EB2”;
- BPA anaeróbias – as maiores concentrações foram encontradas na “Barragem EB1” ($1E+09$);
- Ferrobactérias – as maiores concentrações ($1E+09$, $1E+10$) foram encontradas na “Água de Processo RU-417” e na “Tubulação Barragem EB2”;
- BRS – as maiores concentrações ($1E+03$, $1E+04$) foram encontradas na “Barragem EB1”, na “Água de Processo RU-417”, na “Tubulação Reservatório de Água EB1”, na “Sucção EB1” e na “Sucção EB2”.

Com os dados da **Figura 3.1.30** a **Figura 3.1.38** foi montado o **Quadro 3.1.4** que mostra o perfil de cada um dos grupos bacterianos para os diferentes locais de amostragem, o que permite verificar onde a presença é maior ou menor.

Quadro 3.1.4 – Quantificação de grupos bacterianos em nove diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.

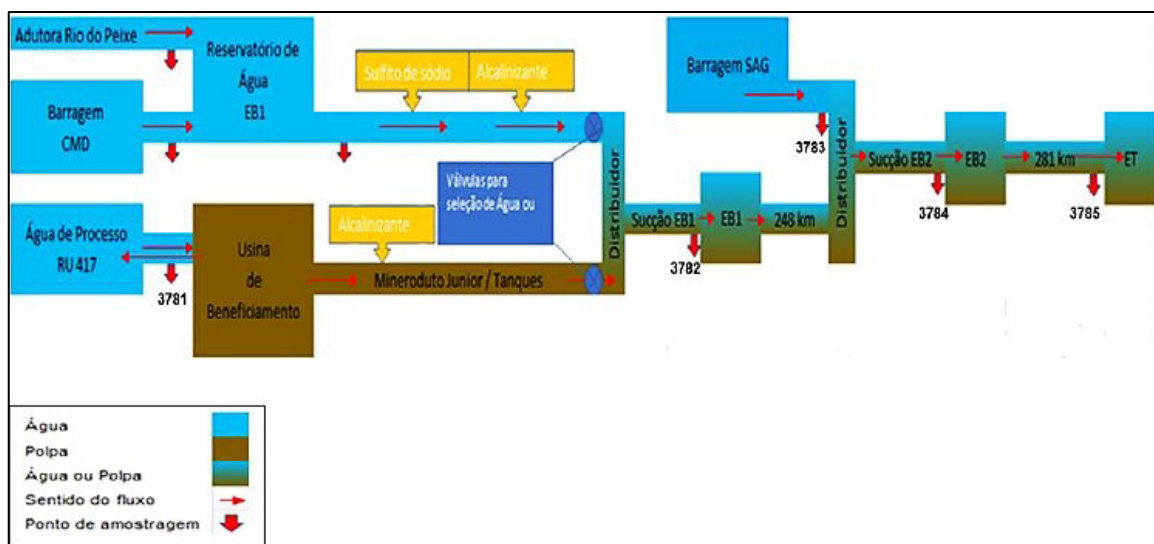




Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Do Quadro 3.1.4 verifica-se, de maneira geral, que:

- Para os seis grupos bacterianos de interesse, a Barragem EB1 sempre esteve dentre os locais que apresentaram as maiores concentrações. Isto, muito provavelmente, deve-se ao fato de que barragens recebem água com parte dos materiais presentes em Rio, apresentando assim um teor de nutrientes elevado, além de outras substâncias que permitem a oferta contínua de nutrientes inorgânicos e oxigênio para os microrganismos presentes. Além disso, geralmente o efeito da estagnação do fluido, mais pronunciado em barragens, possibilita uma maior concentração bacteriana. Outro ponto que apresentou repetidamente concentrações elevadas foi a “Água de Processo RU-417”. Este é o local de armazenamento da água utilizada na usina de beneficiamento do minério, sendo que o fluxo é feito nos dois sentidos: Água de Processo RU-417 para Usina de Beneficiamento e vice-versa. Assim, merece destaque que, quando a água retorna do processo de beneficiamento do minério ela pode conter nutrientes inorgânicos, oxigênio e substrato, o que favorece o crescimento microbiano. Essa talvez seja a causa das altas concentrações de bactérias verificadas nesse ponto;



Fonte: Anglo.

- Em “Sucção EB1”, local que recebe o fluido já tratado com bissulfito de sódio e alcalinizante, a concentração dos grupos bacterianos analisados tendeu a diminuir. A adição de bissulfito de sódio, junto com a adição de alcalinizante, provavelmente propiciou um ambiente menos favorável para o crescimento dos grupos de microrganismos avaliados;
- Entre os seis grupos bacterianos, as maiores concentrações foram verificadas para o grupo das bactérias aeróbias. Em segundo lugar, o grupo das ferrobactérias;
- O fato das bactérias aeróbias estarem presentes mesmo após a adição de sequestrante de oxigênio merece ser destacado, uma vez que sem O₂ no meio este grupo morre ou fica inativo (maioria das amostragens apresentando teores de 1,0E+03, mas verificou-se teor de 1,0E+10). Assim, recomenda-se verificar se houve um eventual uso de água da Barragem de EB2, antes da amostragem. Se a utilização ocasional de água da Barragem EB2 for continuar, deve-se pensar na inserção de sequestrante de oxigênio também nesse ponto, antes desta adentrar o duto;
- O grupo das BPA aeróbias foi o que apresentou a grande maioria dos valores dentro de uma faixa mais estreita (1E+02 a 1E+03), e concentrações mais constantes;
- Para os grupos das bactérias aeróbias e anaeróbias, a adição de sequestrante de O₂ e de alcalinizante parece ter inibido o crescimento destes microrganismos. As BPA aeróbias e BPA anaeróbias parecem não ser afetadas pelo tratamento, pois após a queda sofrida pela adição de produtos químicos, as concentrações retornaram a valores similares aos verificados antes do tratamento. As ferrobactérias e as BRS parecem ter sido mais sensíveis ao tratamento;
- Dos gráficos de quantificação do grupo BRS por diferentes técnicas, verifica-se que por qPCR a quantificação produz resultados mais significativos, já que não depende das bactérias serem cultiváveis. Assim, recomenda-se que os resultados sejam usados com cuidado, uma vez que o fato de não haver crescimento (técnica NMP), não significa que aquele grupo não está presente no local de análise, e o fato de ter sido detectado um valor elevado (qPCR), não

necessariamente deve-se exclusivamente a bactérias vivas, ou seja, em atividade;

É importante ressaltar que os principais grupos bacterianos de interesse estão presentes, em maior ou menor concentração, em todos os locais amostrados. Reforça-se, portanto a necessidade de se fazer um acompanhamento mais seletivo desses principais microrganismos, para então estabelecer uma estratégia de controle.

Informações complementares extraídas dos relatórios do INT podem ser encontradas no **Apêndice I**.

Biocupons

As **Figura 3.1.39** a **Figura 3.1.43** apresentam a quantificação pela técnica de contagem do Número Mais Provável (NMP), de seis grupos bacterianos submetidos à técnica de cultivo. Para o grupo das BRS, a quantificação foi também realizada pela técnica qPCR. Com esses dados foi montado o

Quadro 3.1.5, que mostra o perfil de cada um dos grupos bacterianos para os diferentes locais de amostragem.

Figura 3.1.39 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Mineroduto Jr”, pela técnica de cultivo e qPCR.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/cm ²)	Mineroduto Jr		
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3
Bactérias aeróbias	8,81E+11	4,41E+05	Não houve coleta
BPA aeróbias	7,35E+07	2,57E+02	
Ferrobactérias	5,88E+09	1,43E+05	
Bactérias anaeróbias	5,51E+06	5,51E+05	
BPA anaeróbias	1,57E+05	1,58E+04	
BRS (NMP/mL)	ND	2,57E+02	
BRS (qPCR, bactérias/cm ²)		3,86E+01	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.40 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Descarga EB1”, pela técnica de cultivo e qPCR.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/cm ²)	Descarga EB1		
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3
Bactérias aeróbias	ND	3,31E+02	3,42E+05
BPA aeróbias	ND	ND	1,03E+04
Ferrobactérias	ND	ND	7,71E+05
Bactérias anaeróbias	7,71E+02	3,31E+03	1,03E+04
BPA anaeróbias	3,30E+02	1,47E+02	1,47E+02
BRS (NMP/mL)	ND	ND	ND
BRS (qPCR, bactérias/cm ²)		3,18E+02	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.41 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Descarga EB2”, pela técnica de cultivo e qPCR.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/cm ²)	Descarga EB2		
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3
Bactérias aeróbias	ND	1,10E+02	2,76E+04
BPA aeróbias	ND	ND	0,00E+00
Ferrobactérias	ND	ND	3,42E+03
Bactérias anaeróbias	ND	3,31E+02	8,45E+04
BPA anaeróbias	ND	1,47E+02	5,51E+02
BRS (NMP/mL)	ND	ND	ND
BRS (qPCR, bactérias/cm ²)		1,16E+02	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.42 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Estação de Válvulas”, pela técnica de cultivo e qPCR.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/cm ²)	EV		
	Amostragem 1 (tubulação)	Amostragem 2 (tubulação)	Amostragem 3 (Barragem)
Bactérias aeróbias	5,51E+03	8,45E+02	1,58E+03
BPA aeróbias	2,57E+02	1,47E+02	3,31E+02
Ferrobactérias	1,58E+03	1,58E+04	8,45E+02
Bactérias anaeróbias	3,42E+03	1,03E+03	1,58E+03
BPA anaeróbias	1,46E+02	5,51E+02	0,00E+00
BRS (NMP/mL)	ND	ND	ND
BRS (qPCR, bactérias/cm ²)		2,24E+02	

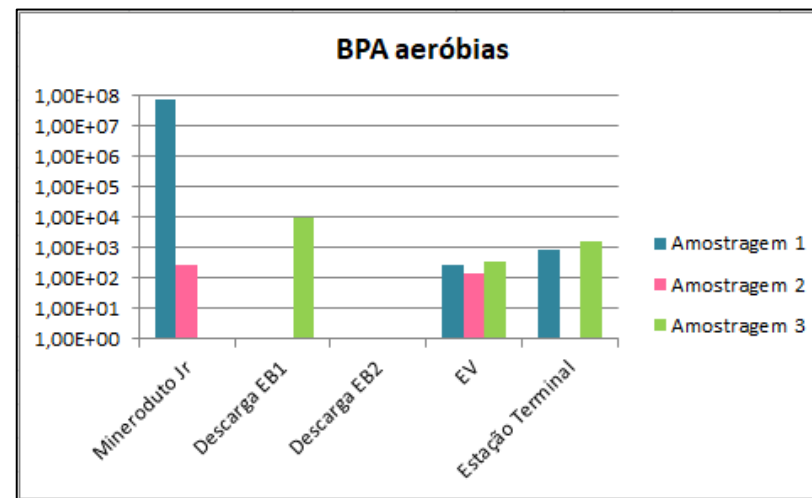
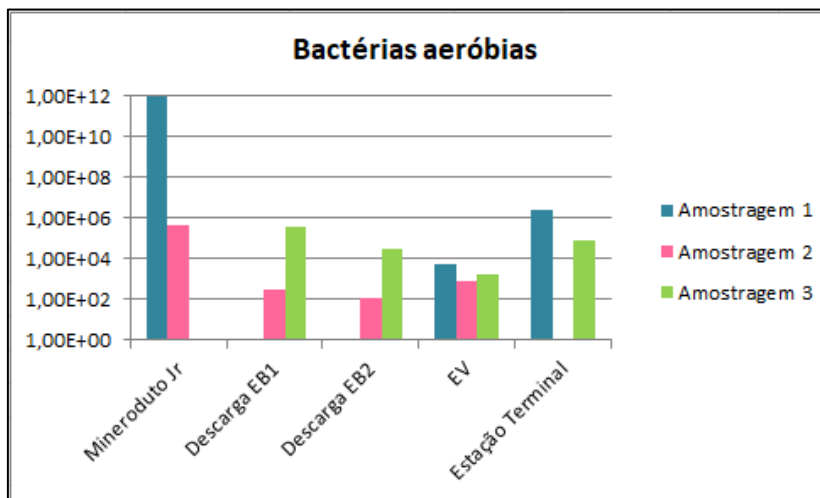
Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Figura 3.1.43 – Quantificação de grupos bacterianos em biocupom que permaneceu instalado em “Estação Terminal”, pela técnica de cultivo e qPCR.

Quantificação dos grupos bacterianos pela técnica tradicional de cultivo (NMP/cm ²)	Estação Terminal		
	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3
Bactérias aeróbias	2,57E+06	ND	8,45E+04
BPA aeróbias	8,44E+02	ND	1,58E+03
Ferrobactérias	1,40E+03	ND	2,76E+04
Bactérias anaeróbias	1,50E+05	4,04E+02	7,35E+03
BPA anaeróbias	ND	1,47E+02	5,51E+02
BRS (NMP/mL)	ND	ND	ND
BRS (qPCR, bactérias/cm ²)		1,72E+02	

Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

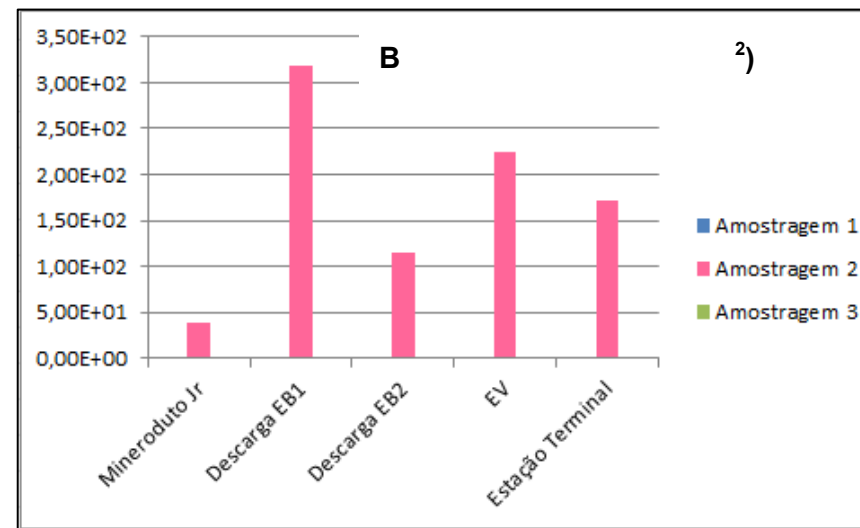
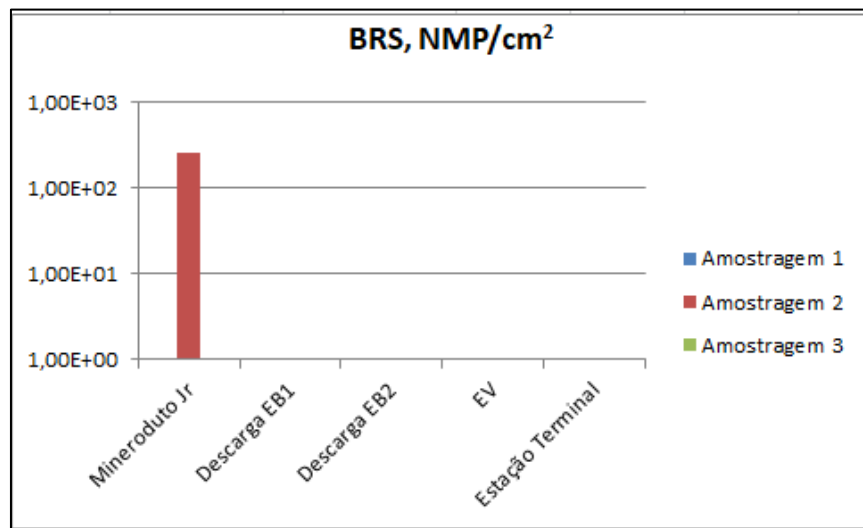
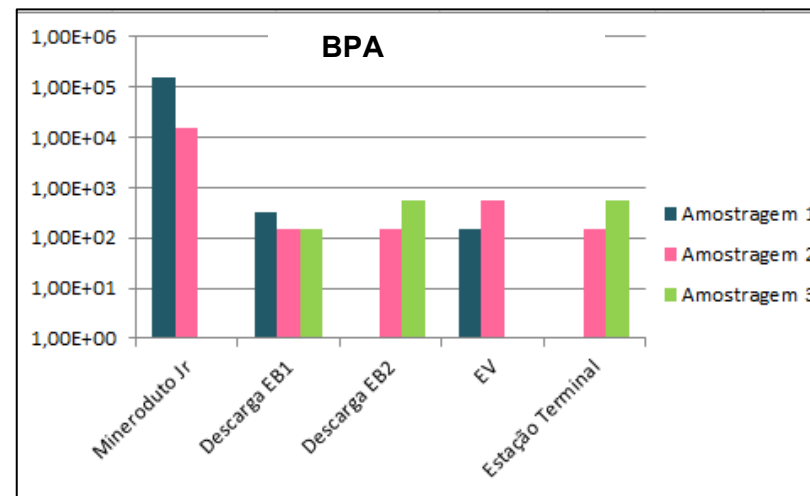
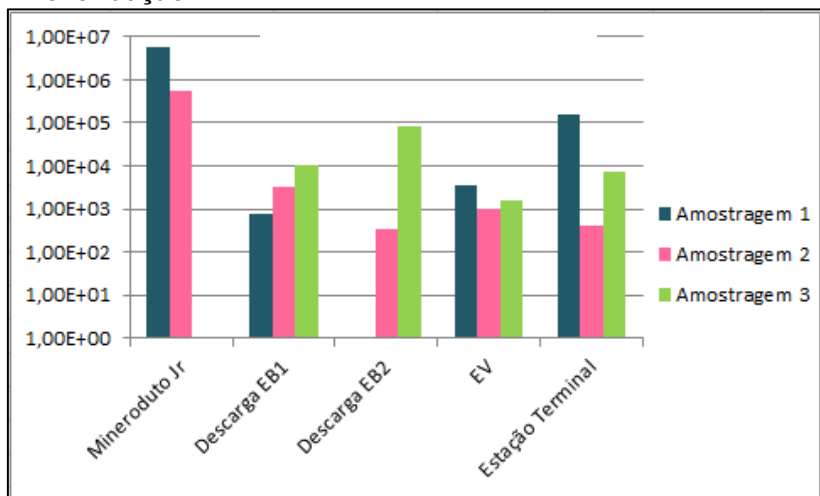
Quadro 3.1.5 – Quantificação de grupos bacterianos em cinco diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.



Continua...

Quadro 3.1.5 – Quantificação de grupos bacterianos em cinco diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.

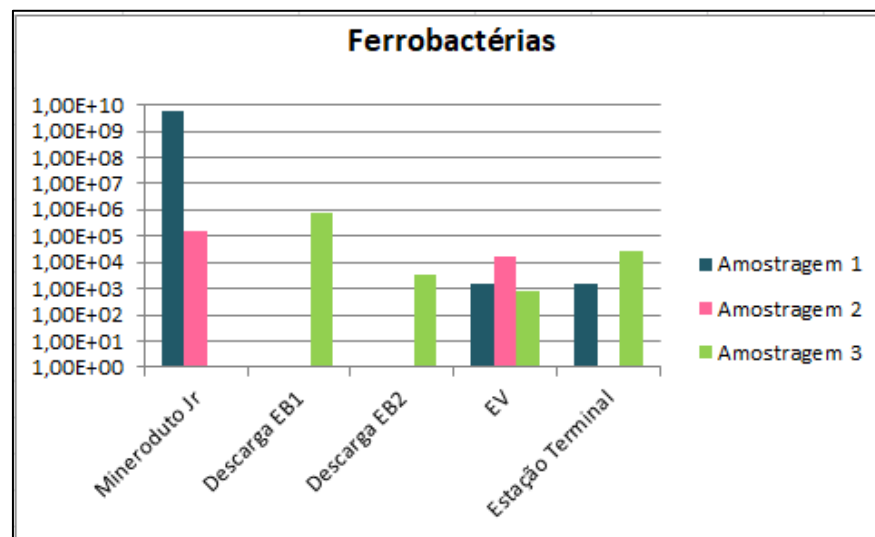
...Continuação



Continua...

Quadro 3.1.5 – Quantificação de grupos bacterianos em cinco diferentes locais de amostragem. Para BRS são apresentados resultados verificados por NMP e qPCR.

...Continuação



Fonte: Laboratório de Corrosão e Proteção – IPT.

Do **Quadro 3.1.5** verifica-se, de uma maneira geral, que:

- Entre os seis grupos bacterianos, as maiores concentrações foram verificadas para o grupo das bactérias aeróbias. Em segundo lugar, o grupo das bactérias anaeróbias;
- Assim como citado para a análise de polpas e águas (**Quadro 3.1.4**), o fato das bactérias aeróbias e BPA aeróbias estarem presentes, mesmo após a adição de sequestrante de oxigênio, merece ser investigado. Recomenda-se verificar se a água da Barragem EB2 foi utilizada antes da realização da coleta e, em caso negativo, investigar a origem do oxigênio;
- Dos gráficos de quantificação do grupo BRS por diferentes técnicas, verifica-se que por qPCR a quantificação produz resultados mais significativos, já que não depende das bactérias serem cultiváveis. Assim, recomenda-se que os resultados sejam usados com cuidado, uma vez que o fato de não haver crescimento (técnica NMP), não significa que aquele grupo não está presente no local de análise, e o fato de ter sido detectado um valor elevado (qPCR), não necessariamente deve-se exclusivamente a bactérias vivas;
- Os grupos bacterianos de interesse estão presentes, em maior ou menor quantidade, em todos os locais amostrados.

Informações complementares extraídas dos relatório do INT podem ser encontradas no **Apêndice I**.

b) Considerações gerais sobre corrosão interna e monitoramento

Em relação ao monitoramento da corrosão interna do Mineroduto Minas-Rio, com base nos resultados dos cupons de perda de massa da última exposição realizada (Exposição 6, set/20 a jan/21), observa-se uma tendência de melhoria nos procedimentos utilizados pela empresa contratada. No entanto, somente o acompanhamento de campanhas futuras (de pelo menos mais duas) permitirá validá-los como representativos, ou não, das condições reais de exposição do interior do duto.

Comparando-se esses resultados com as perdas de espessura calculadas com base em dados de sondas de resistência elétrica (SRE), sem considerar os dados cujas sondas “estavam abertas”, não se notou uma grande correspondência das taxas de corrosão verificadas pelos diferentes métodos. Isto é esperado, visto que os dados de sonda devem ser visto como uma tendência e nunca como um dado representativo do processo de corrosão, como acontece com os cupons de perda de massa. Como cinco locais de instalação das SRE apresentaram problemas, deve-se avaliar este tipo de tecnologia para que se garanta resultados confiáveis.

Quanto ao monitoramento da perda de espessura pela técnica não intrusiva, ainda não há dados para sua avaliação. Por todo exposto, o monitoramento da corrosão interna do Mineroduto Minas-Rio ainda necessita de ações complementares para ajustes das técnicas aplicáveis e eventualmente, proceder uma seleção mais assertiva daquelas que apresentem resultados mais representativos.

Com relação ao acompanhamento dos parâmetros físico-químicos da água e da polpa, merece ser mencionado que nem todas as amostragens foram realizadas para os nove pontos pré-estabelecidos, assim como nem todos os parâmetros foram analisados para todos os pontos em todas as amostragens. Isso precisa ser revisto, já que os principais parâmetros físico-químicos precisam ser analisados com regularidade e nos nove pontos determinados. Segundo as durezas e os índices de Langelier calculados, a grande maioria das amostras de água pode ser classificada como corrosiva ao aço-carbono.

Por isto, apesar de sabido que a tendência é a eliminação da intercalação de lotes de água passando pelo mineroduto quando o processo entrar em operação contínua, certa quantidade de água é sempre adicionada ao minério para viabilizar seu transporte. É importante que não seja utilizada água sem tratamento no interior do mineroduto, sob pena de desencadear o processo de corrosão.

Para as polpas, esforços devem ser dispendidos para identificar a fonte de íons cloreto, já que este não vem nem da água do Rio do Peixe e nem da Barragem EB1. E, se ele vir a crescer pode passar a ser um fator importante para a corrosividade do meio.

Com relação aos seis grupos bacterianos monitorados, constatou-se que a “Barragem EB1” e a “Água de Processo RU-417” apresentam, com relativa frequência, as maiores concentrações.

Para a “Barragem EB1”, isto se deve, muito provavelmente, ao fato de que barragem recebe água com parte dos materiais presentes em Rio, apresentando assim substâncias que permitem a oferta contínua, nutrientes inorgânicos e oxigênio para os microrganismos presentes. A alta carga microbiana pode vir a impactar nos processos de biocorrosão de todo o sistema. Assim, acredita-se que por serem pontos críticos no que tange à proliferação e crescimento de microrganismos, suas águas devem ser monitoradas e utilizadas com cuidado.

Para a “Água de Processo RU-417”, local de armazenamento da água utilizada na usina de beneficiamento do minério, tem-se o fluxo nos dois sentidos: Água de Processo RU-417 para Usina de Beneficiamento e vice-versa, permite o retorno da água do processo de beneficiamento do minério contendo nutrientes inorgânicos, oxigênio, o que favorece o crescimento microbiano. O efeito da estagnação do fluido, pronunciado em barragens e em tanques de armazenamento, possibilita uma maior concentração bacteriana.

Na “Sucção EB1”, local que recebe o fluido já tratado com bissulfito de sódio (agente sequestrante de oxigênio) e alcalinizante, a concentração dos grupos bacterianos analisados tendeu a diminuir. Parece sugerir que o ambiente tornou-se menos favorável para o crescimento dos grupos de microrganismos avaliados. No entanto, nos pontos sequenciais de amostragem verificou-se, para a maioria dos grupos bacterianos de interesse, um crescimento de suas concentrações, ora a valores próximos aos anteriores à adição de produtos e ora a valores inferiores. As ferrobactérias e as BRS foram as que aparentemente demonstraram ser mais sensíveis à adição dos produtos mencionados.

O fato das bactérias aeróbias estarem presentes mesmo após a adição de sequestrante de oxigênio merece ser destacado, uma vez que sem O₂ este grupo pode morrer ou ficar inativo. Recomenda-se verificar se houve um eventual uso de água da Barragem de EB2, antes das amostragens de água/polpa. Em caso negativo, a origem do oxigênio merece ser investigada. Se a utilização ocasional de água da Barragem EB2 for continuar, deve-se avaliar formas de mitigar esse problema.

Uma vez que foram isoladas e identificadas, em todas as amostragens, espécies bacterianas conhecidamente contribuidoras da biocorrosão, acredita-se ser interessante manter um monitoramento microbiológico contínuo do sistema de escoamento da produção de minério, para minimizar seus efeitos nos processos de corrosão microbiológica no mineroduto. Nem todos os grupos de bactérias analisados precisariam ser analisados, mas os grupos conhecidamente influenciadores dos processos de corrosão, precisam ser definidos e monitorados.

3.1.3 Corrosão externa e Proteção catódica

Nesse tópico foi avaliado o monitoramento da corrosão externa e da proteção catódica que é efetuado pela Anglo American. Dessa forma, algumas atividades são executadas pela equipe da própria empresa (possui programa de inspeções de campo) e outras são executadas por terceiros.

De forma semelhante à corrosão interna, a contratação de serviços de terceiros tem por objetivo o fornecimento de dados e informações que são utilizados para o monitoramento da corrosão externa e proteção catódica (incluindo a tomada de decisão).

Nesse contexto, seguem descritas as atividades relacionadas ao escopo de uma dessas terceiras:

A empresa IEC - Instalações e Engenharia de Corrosão foi contratada pela Anglo American para avaliar o sistema de proteção catódica e do revestimento externo do mineroduto, cujas atividades incluíam:

1. Realizar inspeção do sistema de proteção catódica ao longo do mineroduto pelo método passo a passo (CIPS), com obtenção do perfil de potencial ON e OFF;
2. Realizar inspeção do revestimento pelo método de gradiente de potencial (DCVG) para a obtenção de informações sobre os defeitos no revestimento;
3. Realizar medição de potenciais de corrente alternada (CA);
4. Avaliar a efetividade e integridade do sistema de proteção catódica, indicando necessidades de adequações;
5. Avaliar a possível ocorrência de superproteção catódica em algum ponto do sistema;
6. Avaliar interferências do sistema de proteção catódica de outras estruturas e se estas estão ou não interligadas; e
7. Avaliar a efetividade das juntas de campo.

Estas atividades foram concluídas pela empresa contratada e avaliadas, por amostragem, pela equipe do IPT.

A seguir será apresentado um resumo das atividades desenvolvidas para validação dos trabalhos realizados pelos terceiros e também para as demais atividades desenvolvidas pela equipe do IPT.

c) Acompanhamento das inspeções no sistema de proteção catódica e no revestimento externo

Foi realizada uma primeira visita para acompanhar os trabalhos da empresa contratada para inspeção do sistema de proteção catódica e do revestimento externo. Inicialmente, foi feita uma reunião com as equipes da IEC e da Anglo American que apresentaram um relato da aplicação das técnicas CIPS-DCVG para avaliação da revestimento externo e do sistema de proteção catódica. Posteriormente, foi acompanhada uma demonstração das técnicas CIPS-DCVG pela equipe contratada, nas proximidades do ponto de teste 16 (PTE 16).

Neste local, foi identificada uma falha **Categoria A** no revestimento e medidos valores de potencial OFF muito negativos (em torno de -2000 mV em relação do eletrodo de cobre-sulfato de cobre).

Valores semelhantes, também foram encontrados no PTE 17. De acordo com os técnicos da IEC, esse problema era, provavelmente, decorrente de perda do sincronismo dos chaveadores dos retificadores 1 ou 2. O retificador 2 foi inspecionado e o chaveamento estava operando normalmente. Nesta ocasião, foi inspecionado também o leito de anodos junto ao Retificador 2. Inspeções em outros retificadores seriam realizadas para confirmar se de fato, houve perda de sincronismo de alguns dos chaveadores. Nesta visita, não foi possível validar os resultados apresentados pela empresa contratada. Foi realizada uma segunda visita e, também, não foi possível validar os resultados. Uma nova visita precisou ser agendada, acontecendo em fevereiro de 2021.

Antes da visita foi feita uma análise do relatório final emitido pela IEC (IEC-ANG03.01-RT-008) que mostrava que o sistema de proteção catódica estava em condições adequadas de operação. Porém, foi necessário fazer ajustes das correntes de proteção nos retificadores para manter os potenciais OFF (potencial livre de queda ôhmica) dentro da faixa recomendada tecnicamente que é entre (-0,85 e -1,20) [VCu|CuSO₄].

Os ajustes de corrente nos retificadores foram feitos porque haviam trechos ao longo do mineroduto, cujos valores de potenciais OFF indicavam subproteção do sistema de proteção catódica. Após o ajuste, segundo a IEC, os valores de potencial OFF ficaram enquadrados na faixa de proteção, exceto nos seguintes kms: 131; 185 e 247.

O relatório final IEC apontou que no km 131, o duto estava envelopado com concreto e que, nesta região, foi identificada uma falha no revestimento externo (km 131+227). Comentou-se ainda a possibilidade da deficiência de proteção ter alguma relação com a presença dessa falha, o que consideramos ser bastante improvável.

No km 185, comentou-se sobre uma possível influência, nos valores obtidos, de um bloco de ancoragem e sobre um eventual contato indireto da malha de aterramento da PMS-04 com o mineroduto. No km 247 também se comentou sobre influência de bloco de ancoragem.

Os relatórios da IEC apresentam apenas uma série de resultados de medições de potenciais OFF nos PTEs. Após as correções dos potenciais não foram repetidas as medidas nos PTEs.

Salienta-se a importância de verificar se os valores medidos nos PTEs correspondem aos valores apontados nos relatórios da IEC. Isto pode ser feito por meio da técnica de cupons de corrosão externa, o que dispensaria o procedimento de chaveamento dos retificadores.

A análise do relatório Final da IEC (IEC-ANG03.01-RT-008) também mostrou as medições de potenciais em corrente alternada (CA) na grande maioria dos PTEs. A maioria dos valores obtidos nos PTEs se situava abaixo de 15 V (Cu/CuSO₄). De acordo com a NBR ISSO 16563-1, para estes níveis de potencial em CA, não é necessário adotar nenhuma medida mitigadora. Entretanto, observa-se que haviam registros de picos de potencial bem superiores aos valores médios.

A avaliação da atuação de correntes de interferência, alternada e contínua, no sistema de proteção catódica foi prevista pela Anglo American, devendo ser realizada com o apoio de profissionais especializados.

De acordo com o relatório Final da IEC as juntas de campo estão isoladas. Entretanto, recomendou-se o isolamento de trecho de contato do mineroduto júnior com uma coluna de concreto armado localizada um pouco antes da junta JI-01B. Os relatórios adicionais emitidos pela IEC (RL-1010-70) indicaram que nas terminações 0708 a 0710, 0713, 0718 a 0720 e 0724 existe a efetividade da proteção catódica nos HDDs. No HDD Piedade-Ponte Nova (KM 225+510 até km 225+829) o potencial OFF era -1,3 (V/Cu/CuSO₄) em ambos os lados da travessia, ligeiramente mais negativo do que o limite mínimo recomendado. Esses mesmos relatórios indicaram que o revestimento no trecho dos HDDs não apresentaram falhas de acordo com a NACE Standard TM0102:2002.

d) Inspeção do revestimento externo da tubulação enterrada

No relatório Final (IEC-ANG03.01-RT-008), constam resultados da avaliação do revestimento externo de polietileno tripla camada pela técnica de CIPS-DCVG. Os resultados obtidos apontaram sete falhas classificadas como **Categoria A** e três como **Categoria B**. A IEC recomendou a abertura de valas nas falhas **Categoria A** para validar a existência dessas falhas.

No entanto, o IPT recomendou que fosse feita uma correlação entre os resultados de PIG e a localização da falhas para então decidir pela abertura das valas. De acordo com a Anglo American, as falhas de **Categoria A** não coincidiam com áreas onde foi detectada corrosão externa, na inspeção com PIG. Assim, entende-se que, nesse momento, não se justificaria abrir valas para verificar se o revestimento estava de fato danificado. Mesmo que estivesse, a proteção catódica estaria atuando. No entanto, é importante manter o registro desses pontos e nas próximas campanhas de

PIG fazer uma nova correlação para verificar eventual ocorrência de processo de corrosão.

Outras falhas no revestimento foram identificadas em trechos do mineroduto que estavam embutidos em concreto. Havia alguma incerteza com relação a essa avaliação por não se conhecer com detalhes a influência do concreto nas medidas realizadas por essa técnica. De qualquer maneira, mesmo que haja falhas no revestimento, nestes locais, certamente o duto estará totalmente protegido.

e) Inspeção do revestimento externo nas passagens aéreas

Foi realizada visita de campo para o estado do revestimento em alguns trechos aéreos. Constatou-se que, de modo geral, o revestimento estava íntegro, exceto por alguns pequenos danos superficiais localizados. Alguns defeitos observados eram de coloração e aspecto distintos do revestimento original, indicativos de atividades de manutenção da pintura. Essas pinturas não representam danos à integridade do duto, visto que o ambiente externo é pouco corrosivo, entretanto é importante manter um plano de recuperação dessas áreas.

Havia algumas áreas sem revestimento, onde eram realizadas as medidas de espessura da parede do tubo. Essas áreas são mantidas protegidas por meio da aplicação de graxas.

Com relação aos trechos dos revestimentos em pontos de afloramento do mineroduto, a inspeção de alguns deles na visita da equipe IPT em setembro de 2019, mostrou que haviam pequenos danos no revestimento, com exposição do substrato metálico que apresentava oxidação muito leve. Os valores de espessura do revestimento eram compatíveis com as condições de agressividade dos locais. Consultas aos relatórios de inspeção produzidos por equipe técnica da Anglo mostraram que os trechos de afloramento têm sido inspecionados e feitas as manutenções necessárias.

f) Visita técnica de medições de potenciais ON-OFF do sistema de proteção catódica

Devido às restrições de mobilidade impostas pela pandemia, esta atividade de campo sofreu um atraso considerável e só foi possível realizá-la entre os dias 22 e 24 de fevereiro de 2021.

Para este estudo exploratório em campo, foi definido um trecho de cerca de 100 km entre os retificadores quatro (RE-04) e cinco (RE-05) do sistema de proteção catódica do mineroduto.

Nesse trecho, cinco pontos de testes (PTE-89, PTE-96, PTE-105, PTE-115 e PTE-121) foram selecionados estrategicamente para a instalação provisória de cupons de corrosão externa. É importante ressaltar que esta instalação de cupons não seguiu os procedimentos metodológicos recomendados, porque o objetivo era o de validar qualitativamente os valores de potenciais OFF, informados nos relatórios da IEC.

Para a instalação do cupom, foi feita uma perfuração no solo com profundidade de cerca de 1 m, nas proximidades do duto. O cupom foi posicionado de forma que a sua maior área ficasse paralela ao plano do solo e perpendicular ao duto. Previamente à instalação, o cupom foi envolvido com solo umedecido e finalmente coberto com uma camada de solo de cerca de 20 cm, sendo posteriormente compactado. Os cupons foram previamente montados em laboratório, sendo em campo conectados ao duto nos PTEs, utilizando-se um dispositivo liga-desliga.

Após um tempo mínimo de polarização de 18 horas, foram realizadas medidas dos potenciais ON-OFF nos cupons. Para isso, o solo em contato com o cupom foi levemente umedecido e, em seguida, foi posicionado um eletrodo de referência de Cu/CuSO₄. Para o chaveamento do cupom, utilizou-se o equipamento *Minilog* e uma programação de 12 s **ON** e 4 s **OFF**. A Figura 3.1.44 ilustra um dos registros dos potenciais em um PTE.

Figura 3.1.44 – Ilustração da medidas de potenciais ON-OFF em um PTE.



Fonte: IPT

Os valores de potenciais ON-OFF, após a polarização dos cupons, estão apresentados na Tabela 3.1.22.

Tabela 3.1.22 – Potenciais ON e OFF nos cupons.

Ponto de Teste (PTE)	Localização (km)	Potencial ON (V(Cu CuSO ₄))	Potencial OFF (V(Cu CuSO ₄))
89	254 + 948	- 8,48	- 2,91
96	274 + 612	- 2,91	- 1,52
105	301 + 860	- 2,21	- 1,24
115	332 + 144	- 1,80	- 1,01
121	349 + 084	- 9,97	- 3,40

Pela **Tabela 3.1.22**, nota-se que nos PTEs 89; 96 e 121, os valores de potenciais OFF estão mais negativos do que $-1,2 \text{ V}(\text{Cu}/\text{CuSO}_4)$, o que significa estado de superproteção.

Salienta-se a importância de manter os potenciais OFF entre $(- 0,85 \text{ e } - 1,20) \text{ V}$, para evitar, respectivamente, falta de proteção e danos no revestimento por descolamento catódico. A Anglo American deverá manter um programa regular de inspeção do sistema de proteção catódica, por meio de medições de potenciais nos pontos de teste e eventuais ajustes nos retificadores quando necessário, procurando-se manter os potenciais dentro da faixa recomendada.

É importante comentar que os potencial OFF medidos nos cupons (**Tabela 3.1.22**) podem apresentar valores diferentes daqueles apresentados no relatório final da IEC. A IEC não realizou novas medidas após ajustes nos retificadores.

g) Considerações finais sobre proteção catódica e revestimento

Dentre as atividades previstas no Plano de Trabalho sobre este tema, constava o acompanhamento do monitoramento do sistema de proteção catódica, em execução pela empresa IEC, contratada pela Anglo American. As duas primeiras visitas não permitiram validar os resultados por problemas distintos, como: falta de sincronismos dos chaveadores e ligações invertidas dos chaveadores etc. Após discussões envolvendo a Anglo American, a IEC e o IPT foram feitos os ajustes necessários nos equipamentos e os técnicos do IPT puderam avaliar os resultados. Para isso, foram selecionados os retificados RE 04 e RE 05, e neste trecho com cerca de 100 km, foram instalados 5 cupons de corrosão externa, para medidas de potenciais OFF. Os valores apresentados na **Tabela 3.1.22** indicam que este trecho está protegido catodicamente. Em três deles, no entanto, havia superproteção, especialmente nos PTEs 89 e 121, embora tenham sido feitos ajustes nos retificadores. Não é possível extrapolar essa condição para os demais PTEs, mas convém avaliar mais cuidadosamente todo trecho, para se certificar de quantos pontos estariam nessa condição.

É importante ressaltar que potenciais muito negativos podem descolar o revestimento devido à grande produção de hidrogênio. A curto prazo, isto causa empolamento do revestimento que pode resultar em falta localizada de proteção catódica (*PC Shield*), que não é percebida pelo monitoramento dos potenciais. A muito longo prazo, o hidrogênio pode ainda penetrar no material do tubo e causar empolamento na parede do tubo. Face a essas considerações, é importante manter os potenciais dentro da faixa de proteção recomendada.

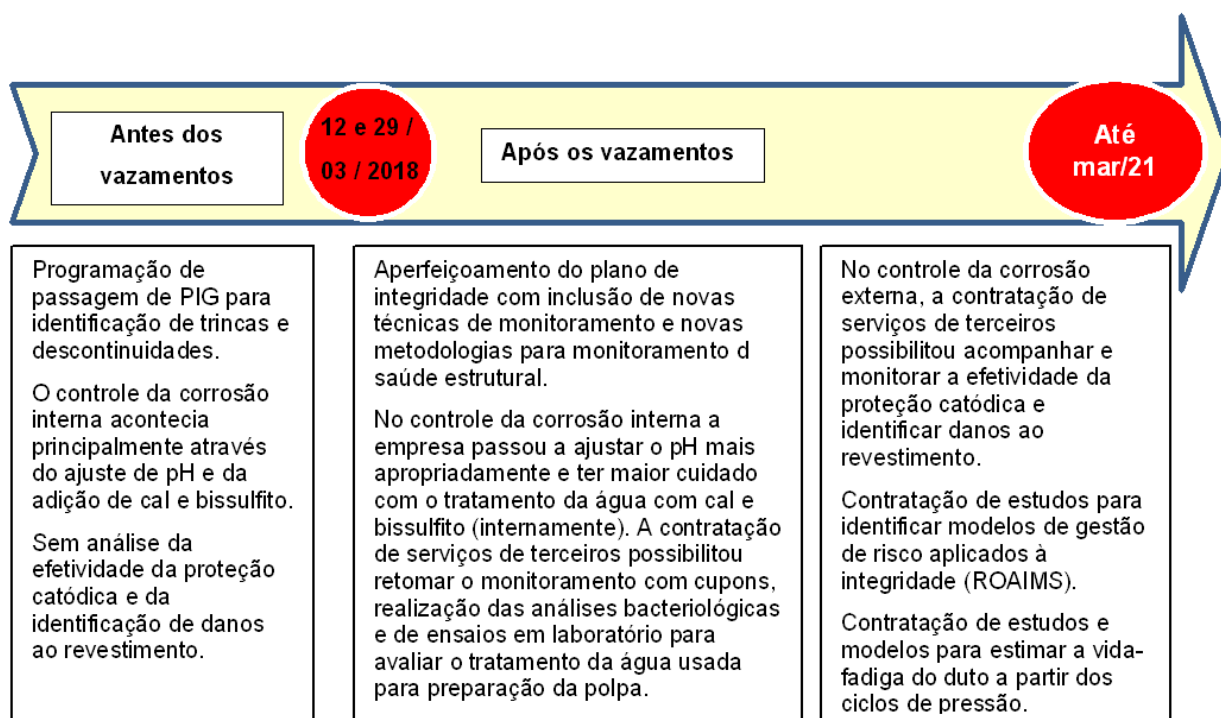
Ao longo do mineroduto, há outras estruturas enterradas com proteção catódica como o gasoduto Gascav da NTS (PTE-168), o gasoduto da GASMIG (PTE-50) e os minerodutos da empresa Samarco (PTE-85). Estas estruturas não estão interligadas ao mineroduto da Anglo American. De acordo com os relatórios da IEC, não há problemas de interferência entre elas. Entretanto, é importante manter registros frequentes dos potenciais nesses locais, pois os eventos de interferências elétricas podem ocorrer a qualquer momento por qualquer desbalanceamento de qualquer um dos sistemas de proteção catódica. O ideal é que essas estruturas estejam interligadas.

Nos relatórios da IEC, foram apresentados valores relativamente baixos de interferências por corrente alternada, mas havia áreas com picos elevados. É importante manter um monitoramento desses pontos, pois corrosão por corrente alternada é especialmente crítico em revestimentos de alto desempenho como o polietileno tripla camada. Os relatórios da IEC, também, concluíram que havia indicações de correntes telúricas em um trecho do mineroduto.

3.1.4 Evolução das ações implantadas

O diagrama a seguir (**Figura 3.1.45**) ilustra a evolução da empresa nos tópicos envolvendo a Linha 1 de trabalho dessa auditoria. Salienta-se que no esquema não estão citadas todas as melhorias implementadas, sendo apenas representativo da evolução da empresa no referido tema.

Figura 3.1.45 - diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.



3.2 Aspectos Hidráulico-Operacionais

As atividades desenvolvidas durante todo o período sobre a Avaliação Técnica das Condições de Integridade e de Gestão de Riscos do Mineroduto do Sistema Minas-Rio - Etapa 2 sob o ponto de vista da avaliação dos aspectos hidráulicos operacionais do mineroduto são apresentados a seguir, seguindo os itens discriminados na proposta entre o IPT e a Anglo American para o desenvolvimento dessa Etapa 2. Cada item a seguir conterá informação cronológica em função das visitas técnicas realizadas em diferentes etapas. O texto contém também análises sobre informações obtidas sobre a documentação enviada pela Anglo American.

A Linha 2 dessa auditoria corresponde aos trabalhos envolvendo os aspectos hidráulico-operacionais do mineroduto. Nessa linha de trabalho, foi avaliado pelos técnicos do IPT se os procedimentos adotados pela empresa durante a operação do mineroduto podem garantir uma operação segura e uso adequado do seu sistema operacional.

O **Quadro 3.2.1** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.2.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação dos aspectos hidráulico-operacionais	Principais conclusões
<p>Aprimoramento do modelo hidráulico do Mineroduto desenvolvido pelo IPT para investigação e possível identificação de pontos críticos do escoamento e os efeitos das recomendações sugeridas no Parecer Técnico da Etapa 1;</p>	<p>O conhecimento adquirido para a preparação do modelo desenvolvido pelo IPT foi fundamental para a comparação com o projeto original do Mineroduto. Os pontos críticos foram identificados e são semelhantes aos previstos em projeto da Anglo American. As recomendações sugeridas pelo IPT foram validadas pela Anglo American, que apresentou as propostas e as implementações adotadas. As recomendações implementadas apresentaram efeitos no sentido de reduzir os problemas detectados na Etapa 1. Comentários e observações estão descritos nos Pareceres Técnicos anteriores.</p>
<p>Análise do escoamento pulsátil das bombas e flutuação da pressão no mineroduto como fatores de influência à progressão de trincas na tubulação, sob o ponto de vista do escoamento da polpa e polpa-água. Avaliação da atenuação das flutuações rápidas ao longo do duto e modelagem matemática deste aspecto do escoamento. Avaliação dos parâmetros de operação no comportamento dinâmico do escoamento.</p>	<p>A análise do escoamento pulsátil gerou um estudo pelo IPT para a aplicação inédita de sistema de medição das flutuações rápidas de pressão com sensores magnéticos baseado na relação entre pressão do escoamento e as tensões mecânicas na tubulação. Embora experimentais, os resultados obtidos dessas medições indicaram qualitativamente uma redução nas flutuações rápidas de pressão, resultado este corroborado pelos ensaios de extensometria realizados pela Anglo American.</p>
<p>Acompanhamento da operação do mineroduto, realizando ao menos uma visita técnica na EB2 ou EB1 a cada 2 (dois) meses ou em situações especiais Ex: flushing);</p>	<p>Embora o período da pandemia tenha impedido mais visitas aos locais relativos ao interesse da equipe da Linha 2 (locais fechados e com mais pessoas como salas de controle), as visitas técnicas associadas à documentação, obtenção de dados e reuniões foram suficientes para o presente relatório</p>
<p>Propor, se necessário, novas recomendações na operação das bombas e na filosofia de operação e controle.</p>	<p>Com as recomendações sugeridas no Parecer Técnico na Etapa 1, a Anglo American conseguiu propor e implementar modificações nos projetos das bombas, acrescentar acompanhamento de sua operação, alterar procedimentos de operação e alterações na filosofia de medição. Entendemos que ao fim da auditoria e análise técnica, não há mais o que propor de nossa parte. Isto não impede que a Anglo American aprimore as modificações atuais ou que faça outras ao longo do período de produção ou durante a vida útil do Mineroduto.</p>

Fonte: IPT

3.2.1 Avaliar a implantação, pela empresa, das recomendações sugeridas no item “6.2 Avaliação dos Aspectos Hidráulico-operacionais do mineroduto” no Parecer IPT (2018)

As atividades da equipe do IPT para analisar e avaliar a implantação das recomendações sugeridas no item 6.2 do Parecer Técnico 21.079-301/18 são descritas conforme os tópicos a seguir.

a) Vistoria de inspeção técnica à Estação de Bombeamento EB2 de 10 a 12/06/2019

O principal objetivo da vistoria de inspeção técnica às instalações da EB2 em Santo Antônio do Grama/MG para verificação e levantamento de evidências a respeito das recomendações do IPT que estão sendo implementadas, assim como acompanhar a execução das ações propostas pela Anglo American.

A inspeção técnica pela equipe do IPT iniciou-se pela vistoria à estação de medição de pressão PMS5. Em seguida, já na estação de bombas EB2, ocorreu a vistoria à sala de controle, onde no momento havia a passagem de polpa de minério de ferro em um longo *batch*. As bombas foram inspecionadas, quanto ao aspecto das mudanças físicas que estão sendo implementadas. O terceiro *dumper* em cada bomba já tinha sido instalado, compondo o projeto “SAFER” para a redução das rápidas flutuações de pressão no escoamento da polpa e também a constatação da execução do projeto “ROBUST” que consiste em mudanças incrementais em partes das bombas para a redução de vibrações e evitar o rompimento dos estojos e aumento da segurança da operação.

Observou-se que melhorias estão sendo implementadas na operação das bombas e na operação do mineroduto, produzindo *batches* (bateladas) mais prolongadas de polpa e evitando grandes picos e de grandes variações de pressão que ocorriam com o escoamento alterando entre *batches* de polpa e de água que eram executados antes. Assim, a passagem de polpa e de água pela EB2 tem acontecido sem passar pelo tanque de armazenamento.

A pressão de operação não ultrapassava 16,2 MPa (165 kgf/cm²) durante o período da inspeção técnica, confirmando o que havia sido proposto pela Anglo American.

Para as ameaças críticas, foi constatada as alterações que foram finalizadas dentro do projeto “SAFER” e que estão sendo instalados no escopo do projeto “ROBUST”, então com previsão até janeiro de 2020. Foi informado pela equipe de operação e manutenção da Anglo American que foram realizados por empresa contratada pela Anglo American, em dezembro de 2018 e janeiro de 2019, ensaios de extensometria nas tubulações do Mineroduto, em locais próximos à saída nas estações EB-1 e EB-2, com *strain gages* com o objetivo avaliar as tensões circunferenciais atuantes no duto devido à pressão interna e verificar as condições de pulsações impostas no duto. Estes dados estavam sendo analisados pela Engenharia da Anglo American e o relatório final teria como primeira previsão ser emitido até o final de julho de 2019. Uma breve apresentação sobre o trabalho realizado foi exibida e disponibilizada à equipe do IPT.

A vistoria à estação de medição PMS5 teve como objetivo a verificação das condições dos instrumentos de medição de pressão, acompanhamento da leitura e comparação com o comportamento apresentado dos valores de pressão exibidos na sala de controle.

Após a vista técnica foram solicitados documentos referentes a:

- Os certificados de calibração dos instrumentos de pressão que fazem parte do controle da operação do mineroduto, incluídos as EB's, a EV e todos os PMS.;
- Evidências das mudanças realizadas, devendo ser enviados ao IPT todos os procedimentos atualizados da operação de escoamento de polpa e água do mineroduto mostrando as mudanças e os limites de pressão de operação. Enviar também documentos com projeto, avaliações teóricas ou estudos de impacto das mudanças na operação;

- Os dados da operação (pressão, vazão, densidade e outros), de segundo em segundo, desde o dia de retorno das operações em dezembro de 2018 até o mês em que ocorreu a vista técnica para verificação detalhada do comportamento do escoamento;
- Toda a documentação relativa às mudanças das bombas incluindo os projetos “SAFER” e “ROBUST”. A documentação incluindo projeto, avaliações ou estudos de impacto nas bombas;
- O relatório com os resultados da extensometria.

b) Vistoria técnica à Estação de Bombeamento EB1 de 20 a 23/08/2019

No período de 20 a 23/08/2019 (Relato de Campo nº 6), a equipe do IPT realizou a vista técnica na EB-1 para continuar a verificação e levantamento de evidências a respeito das recomendações do IPT que estão sendo implementadas pela Anglo American e também para acompanhar a operação do mineroduto sob o ponto de vista do escoamento da polpa de minério de ferro. Nesta vistoria, além da verificação da operação, verificação dos dados do escoamento de polpa e água e da inspeção de estação de medição PMS1, o objetivo principal era a obtenção dos resultados dos ensaios de extensometria.

Foi realizada a vistoria à EB-1 com equipe IPT para vistoriar as bombas da EB-1 (uma bomba estava em manutenção). Foram apresentadas pelos funcionários da Anglo American as modificações que serão realizadas nas bombas com relação ao amortecimento (pacotes “SAFER” e “ROBUST”) e monitoramento por sensores (GE Predix).

Nesta oportunidade foi disponibilizado à equipe do IPT o Relatório Técnico Extensometria da Anglo American e número ENG-MANUT-2019-MD-01 de 09/08/2019.

Foi possível avaliar o relatório de extensometria. Este relatório apresenta os resultados de medições via extensometria das tensões mecânicas atuantes em alguns pontos do mineroduto.

O principal objetivo foi avaliar as tensões circunferenciais atuantes no duto devido à pressão interna e verificar as condições de pulsações impostas no duto, devido às bombas de deslocamento positivo. Para realização destas medições foi contratada a empresa Kot Engenharia, especialista em extensometria e avaliações de engenharia, com objetivo de coletar dados de 30 dias de operação após o reinício da operação do mineroduto. Os extensômetros foram instalados em 05 localizações distintas, denominados estação de coleta de dados (ECD), sendo duas próximas a estação de bombas 01 (EB-1) e três próximas a estação de bombas 02 (EB-2). Foi possível observar a implantação de medidas de engenharia e de processos, na operação do mineroduto. Também foi observado o desenvolvimento de estudos por terceiros.

É possível citar as seguintes medidas implementadas: instalação de *dumpers* adicionais nas saídas das bombas, instalação dos pacotes “SAFER” e “ROBUST” para reforço estrutural das bombas e atenuação da pulsação na linha de saída, operação interligada da EB-2 com passagem direta da polpa, tentativa de operação com *batches* de polpa maiores, aproximando da operação ideal de projeto, com bombeamento contínuo de polpa, evitando a geração de transientes hidráulicos relevantes com potencial redução da vida útil do mineroduto por fadiga.

Os resultados da análise de extensometria indicaram que as medidas adotadas foram efetivas, reduzindo as pulsações a níveis aceitáveis.

Outro resultado da extensometria foi o fato da avaliação de esforços baseadas nas medidas de pressão do fluido se mostrar aderente com o resultado obtido por meio da medição de deformação da parede externa do duto, validando assim a metodologia de cálculo de fadiga. A extensometria não permitiu avaliar o fenômeno da atenuação da pulsação imposta pelo sistema de bombeamento ao longo do duto.

A equipe do IPT solicitou os dados operacionais de vazão, pressão, densidade e posições das válvulas, cronograma das modificações realizadas, desde a reativação do mineroduto até o mês de agosto de 2019.

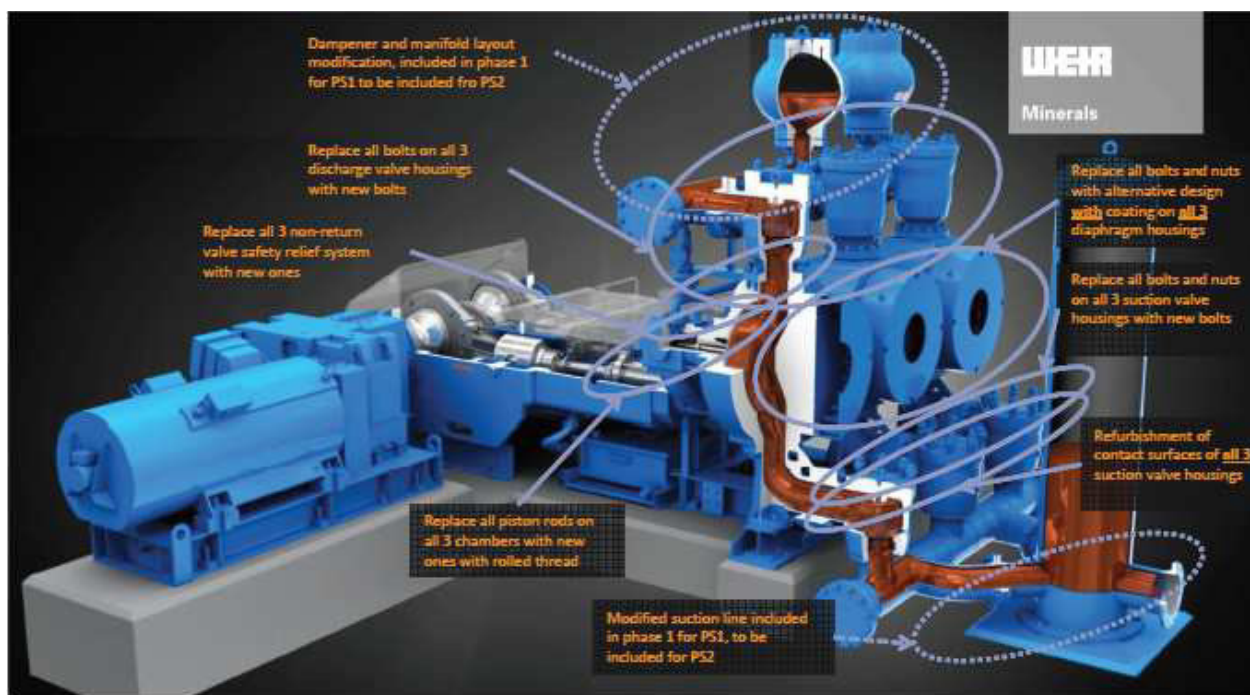
Além disso, foram solicitadas as documentações completas dos projetos “SAFER” e “ROBUST”, além do cronograma de implantação do GE Predix e os parâmetros monitorados durante o funcionamento de cada bomba.

c) Análise da documentação obtida durante o período de avaliação dos aspectos hidráulicos operacionais do mineroduto

O presente item descreve a avaliação da documentação enviada após a primeira vistoria técnica.

Segue informação levantada da documentação sobre a atualização “SAFER”, indicando as seguintes modificações:

Figura 3.2.1 - Desenho das modificações implementadas nas bombas no projeto “SAFER”

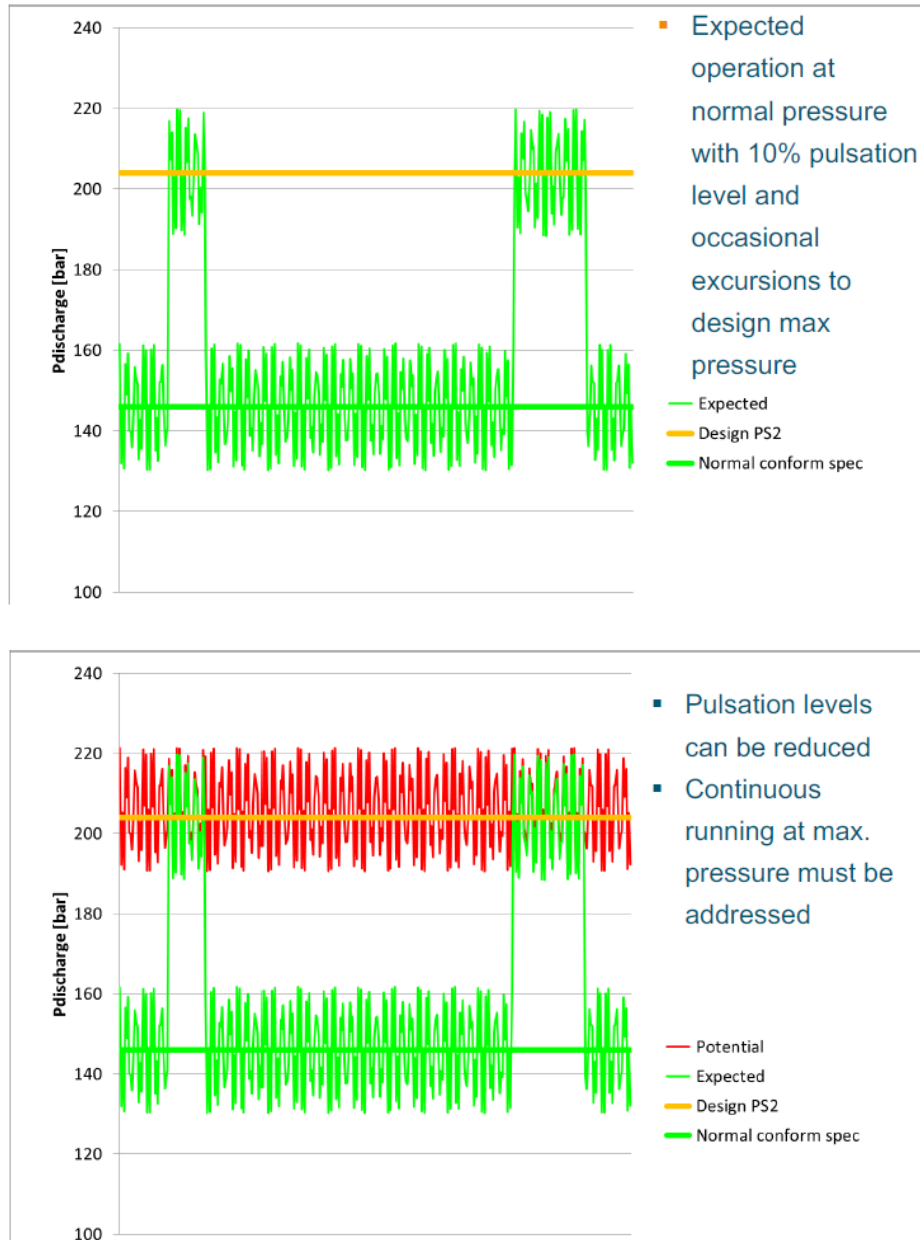


Fonte: Enviado pela Anglo American

Substituição dos estojos verticais do bloco de válvula de descarga; substituição dos estojos horizontais do bloco de válvula de descarga; instalação dos novos estojos da tampa do alojamento do diafragma nas 3 posições; instalação dos novos blocos de válvula de sucção; substituição das hastes dos pistões; instalação das novas válvulas de retenção (NRV); instalação de mais um *dumper* na linha descarga; instalação da dupla sucção; re-usinagem das tampas e blocos de sucção; usinagem no coletor de descarga para instalação do novo *dumper* e preparação para instalação do sistema de condicionamento de sinais (para o “GE Predix”).

Conforme o documento enviado pela empresa, denominado **Relatório Projetos “SAFER” e “ROBUST” - Bombas Geho**, de 18/06/2019, foi mostrado, conforme a figura a seguir, que as bombas operaram durante um período de 2017 em condições de sobrecarga, chegando a indicar até 235 bar e permitindo amplitudes de 70 bar em pulsações acima e abaixo da pressão média de 204 bar.

Figura 3.2.2 - Pulsação da bomba esperada (figura ao alto) e pulsação esperada após as modificações “SAFER”



Do ponto de vista teórico e de projeto, as modificações sugeridas devem ter efeito na redução das pulsações das bombas e procurando proporcionar uma operação mais segura.

O projeto “ROBUST”, em implantação no período da vista técnica, consiste em mudanças estruturais para reforço nas partes das bombas com histórico de problemas (estojos).

Quanto à documentação sobre os certificados de calibração, foi observado que os instrumentos foram calibrados dentro do intervalo anual estabelecido pela Anglo American.

Foram apresentados vários documentos relativos às mudanças operacionais no escoamento da polpa e da água, especialmente na manutenção de pressão de operação de 16,2 MPa (165 kgf/cm²) na saída de EB-2. Ainda há o procedimento para operação de movimentação na estação de válvulas (EV Tombos) onde a pressão máxima de descarga em EB-2 não deve ultrapassar 18,1 MPa (185 kgf/cm²) (procedimento AA PRO.MRJ.OPP.019). Deve ser lembrado aqui que a pressão na linha do mineroduto é importante para evitar o desgaste na tubulação, principalmente nas regiões no alto da serra. O desgaste seria causado pelo *slack flow*, onde haveria a separação do escoamento, criando uma região na tubulação com pressão muito baixa, decorrendo em grande aceleração do escoamento.

Outra alteração significativa na operação observada na documentação foi a operação interligada do mineroduto entre as seções 1 (EB-1 a EB-2) e 2 (EB-2 a EV), com o bombeamento em EB-1 e EB-2, reduzindo assim as maiores variações de pressão (picos). O processo é descrito no procedimento PRO.MRJ.OPP.015.

Os certificados de calibração dos instrumentos de pressão, conforme documento enviado pela empresa (documento Anglo American RL-1401-80-30000) mostraram que as calibrações estavam dentro do período de validade anual proposto pela própria empresa.

d) Vistoria técnica à Estação de Bombeamento EB1 e de PMS1 de 27/01/2021 a 31/01/2021

A equipe da Linha 2 do IPT sugeriu a instalação de transdutores magnéticos em alguns pontos do mineroduto para realizar testes com o objetivo de medir os transientes de pressão. Por isso, na auditoria de campo em janeiro de 2020 (Relato de Campo nº 17), na semana entre 27 e 31 do referido mês, foram realizados testes com os transdutores magnéticos desenvolvidos pelo IPT. A montagem dos três transdutores magnéticos foi executada na tubulação de saída da EB1, próxima aos transdutores de pressão. Foram executados testes expeditos com os instrumentos de medição para averiguar a recepção dos sinais dos transdutores magnéticos. Todos os testes foram acompanhados pela equipe da Anglo American. Terminados os ensaios na saída da EB1, os aparatos foram desmontados para execução do mesmo teste na PMS1, no dia 30/01/2020. No dia 31/01/2020, em reunião realizada com o coordenador de manutenção na EB1, foram apresentados alguns resultados. Os resultados obtidos, embora iniciais de caráter experimental, mostraram a atenuação das flutuações de pressão após as alterações nas bombas e na operação.

Os pacotes “SAFER” e “ROBUST” foram 100 % implantados até fevereiro de 2020. O pacote “SAFER” resume a instalação do terceiro *dumper* em cada bomba, consistiu em alterações na operação para redução das oscilações de pressão na linha do Mineroduto e a redução de vibração nas bombas para uma operação mais segura. O pacote ROBUST consistiu em mudanças estruturais nas bombas para evitar as quebras e lançamento dos estojos, contribuindo para uma operação mais segura.

O projeto “GE Predix” está sendo implantado progressivamente em cada bomba de EB1 e EB2, consistindo na instalação de mais de 60 sensores em cada bomba para monitorar as vibrações, aumento da oscilação de pressão e condições estruturais. A análise, pelo IPT, da implantação e atuação desse pacote foi pausada dada a impossibilidade de realização das viagens de campo devido à pandemia de COVID-19.

As demais alterações foram realizadas na operação do mineroduto, onde o escoamento de água e de polpa foram alterados para evitar picos de pressão, especialmente evitando o uso dos tanques em EB2, cujo uso resultava em picos de pressão. Assim, a passagem dos batches por EB2 está sendo feita, na maioria das vezes, diretamente, reduzindo as variações de pressão que existiam anteriormente.

As atividades de instalação das novas bombas estão em andamento, com a previsão de instalação de cinco novas unidades, sendo três na Estação de Bombas 1 e duas na Estação de Bombas 2. O objetivo da instalação de novas bombas é aumentar a durabilidade e reduzir os esforços, na medida em que cada bomba trabalharia com no máximo 65 % de sua capacidade.

Durante a Etapa 2 do projeto, notou-se que, pelo fato da operação ser semiautomatizada, a garantia de uma operação adequada é proporcionada pelo operador. Sugeriu-se que os desvios de procedimento sejam monitorados e registrados para análise e discussão, e, caso necessário, as equipes de operadores sejam treinadas preventivamente.

e) Análise da documentação obtida até o final do período de avaliação dos aspectos hidráulicos operacionais do mineroduto

A análise da documentação foi feita por meio de respostas aos questionários enviados pela equipe do IPT e respostas por meio de documentos.

Lembrando que os fenômenos encontrados e que poderiam afetar a integridade do mineroduto, sob o ponto de vista da operação e dos parâmetros hidráulicos foram: esforços cíclicos ligados ao “on-off” da operação e devido à passagem de batches (água-polpa); esforços cíclicos da operação de bombeamento que promoveram os danos nos estojos das bombas; com os dados enviados (segundo a segundo), evidência de transientes de pressão além do previsto em projeto (não pode ser descartada por ser crítica no que se refere à fadiga); picos de pressão operacional - pontos EB1, EB2, entrada de EV e fundos de vale e transientes hidráulicos durante a operação normal e de flushing.

As ações a seguir foram propostas pela Anglo American e submetidas ao acompanhamento da equipe do IPT. Após o acompanhamento presencial (até 31.01.2020) e com os reflexos da pandemia de Covid 19, que dificultaram muito as visitas técnicas em especial as visitas presenciais aos locais fechados como salas de controle e galpão de bombeamento, perguntas foram feitas às equipes da Anglo American sobre o andamento e finalização da implementação dos pacotes SAFER e ROBUST e das novas bombas adicionais em EB1 e EB2, onde várias etapas de implementação puderam ser acompanhadas pela equipe do IPT:

- Estação EB1: Pacote SAFER foi finalizado em dezembro de 2018;
- Estação EB1: Pacote ROBUST foi finalizado em janeiro de 2020;
- Estação EB1: Duas bombas (TAG: 1130-BP-09 e 1130-BP-10) estão em fase de instalação com previsão de finalização em março/abril/2021. A terceira bomba (TAG: 1130-BP-12) está com previsão para ser entregue em março/2022;
- Estação EB1: Pacote GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em dezembro de 2020;
- Estação EB2: Pacote SAFER foi finalizado em fevereiro de 2019;
- Estação EB2: Pacote ROBUST foi finalizado em fevereiro de 2020;
- Estação EB2: As duas bombas estão em período de instalação e estão com previsão de serem entregues em março de 2022;
- Estação EB2: GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em novembro de 2020.

Deve-se lembrar aqui que a finalização da instalação das cinco novas bombas inclui a implementação do pacote GE Predix.

As ações acima em conjunto com as mudanças de faixa de pressão de operação e do não uso dos tanques em EB2 já estão demonstrando bons efeitos na mitigação dos problemas relatados, mesmo sem a utilização das novas bombas em instalação.

Outra sugestão feita pela equipe do IPT se referiu ao treinamento das equipes da operação. Para comprovação, a Anglo American enviou a lista de presença no treinamento interno da Anglo American nos procedimentos chave PRO.MRJ.OPP.068, 023, 118, 119, 122 e 129 realizados em julho, setembro e outubro de 2020, além da lista de presença do treinamento ministrado pela empresa de projetos Ausenco em agosto de 2020. Não foram apresentados documentos sobre ações de desvios graves na operação porque até o momento atual não houve ocorrência neste sentido.

A última questão sobre documentação enviada pela Anglo American e resposta ao questionário do IPT referiu-se ao uso da extensometria para acompanhamento constante das flutuações rápidas de pressão na linha, ao menos nos pontos mais críticos. Conforme informado pela Anglo American, um sistema de medição foi encomendado para o fornecedor tomando por base os ensaios realizados pela Anglo American.

A situação atual deste processo é descrita a seguir:

- O hardware do sistema de aquisição de extensometria já chegou;
- O processo de contratação da empresa que irá instalar e realizar a integração deste sistema está sendo iniciado. Prazo para funcionamento do sistema 30 de junho de 202.

3.2.2 Análise do escoamento pulsátil das bombas e flutuação da pressão no mineroduto como fatores de influência à progressão de trincas na tubulação, sob o ponto de vista do escoamento polpa e polpa-água, e avaliação da atenuação das flutuações rápidas ao longo do duto

a) Introdução

Na primeira fase do projeto diversas evidências, já discutidas no Parecer Técnico IPT 21.079/18 e relatórios enviados pela Anglo American, indicaram processos de deterioração por fadiga nos dutos, que resultaram na ocorrência de falhas materializadas na forma de trincas, que provocaram os eventos da perda parcial de contenção ou vazamento da polpa transportada no mineroduto, em março de 2018.

Como estas falhas ocorreram mais de uma vez, o processo de fadiga deve ser analisado em maior detalhe para tentar estimar o nível de comprometimento do duto, ou sua vida útil restante.

No processo de fadiga do material é essencial a determinação do nível médio de tensão mecânica e as flutuações ou oscilações cíclicas de carregamento, bem como esforços mecânicos momentâneos, sem considerar questões como: peso próprio, ancoramentos e suportes, esforços residuais de montagem ou cargas externas acidentais.

Basicamente, os esforços mecânicos estão diretamente relacionados ao carregamento provocado pelo escoamento do fluido. Os esforços devido a este tipo de carregamento podem ser divididos em: estáticos, cíclicos e transitórios.

Idealmente, o mineroduto foi projetado para operar em regime permanente, mantendo uma pressão constante e evitando ao máximo esforços cíclicos e transitórios, que são os responsáveis pelos esforços de fadiga.

b) Tensões mecânicas estáticas

O nível médio de tensão mecânica está sendo estimado pela Anglo American através da pressão média do fluido escoado pelo duto. Esta é uma estimativa que considera a tensão mecânica constante ao longo da espessura da parede do duto. Esta aproximação é válida desde que a espessura seja muito menor do que o diâmetro do duto.

Os pontos de medição de pressão estão presentes nas estações de bombeamento (EB), na estação de válvulas (EV) e nas estações de monitoramento de pressão (PMS).

As PMS estão situadas apenas nos pontos altos do percurso (cristas topográficas) para orientar os controladores do sistema nos procedimentos que visam manter a operação em condições adequadas (Ex.: Evitar a “quebra” da coluna do escoamento ou formação de trechos sem líquido; garantir velocidades mínimas para evitar a decantação; minimizar o desgaste por erosão, mantendo velocidades de escoamento compatíveis; etc.).

Nos trechos intermediários como baixios ou vales, não há pontos de medição, e a pressão média deve ser estimada através do perfil topográfico, ou pela cota do ponto de interesse. Naturalmente, deve ser considerada a natureza do fluido (água, polpa, e sua composição) para atribuir os valores adequados aos parâmetros (densidade, viscosidade).

A **Figura 3.2.3** mostra o trecho mais crítico do mineroduto em relação às pressões estáticas. Nota-se que as tensões mecânicas não são exatamente proporcionais às pressões estáticas, devido ao emprego de tubos com diversas espessuras ao longo do percurso, como mostrado na **Figura 3.2.4**.

Figura 3.2.3 - Simulação mostrando a relação entre a pressão estática e a tensão mecânica no material do duto. A seta em vermelho indica o local dos vazamentos, e as amarelas indicam exemplos de pontos com níveis de tensão elevados. A tensão mecânica está plotada em unidades arbitrárias.

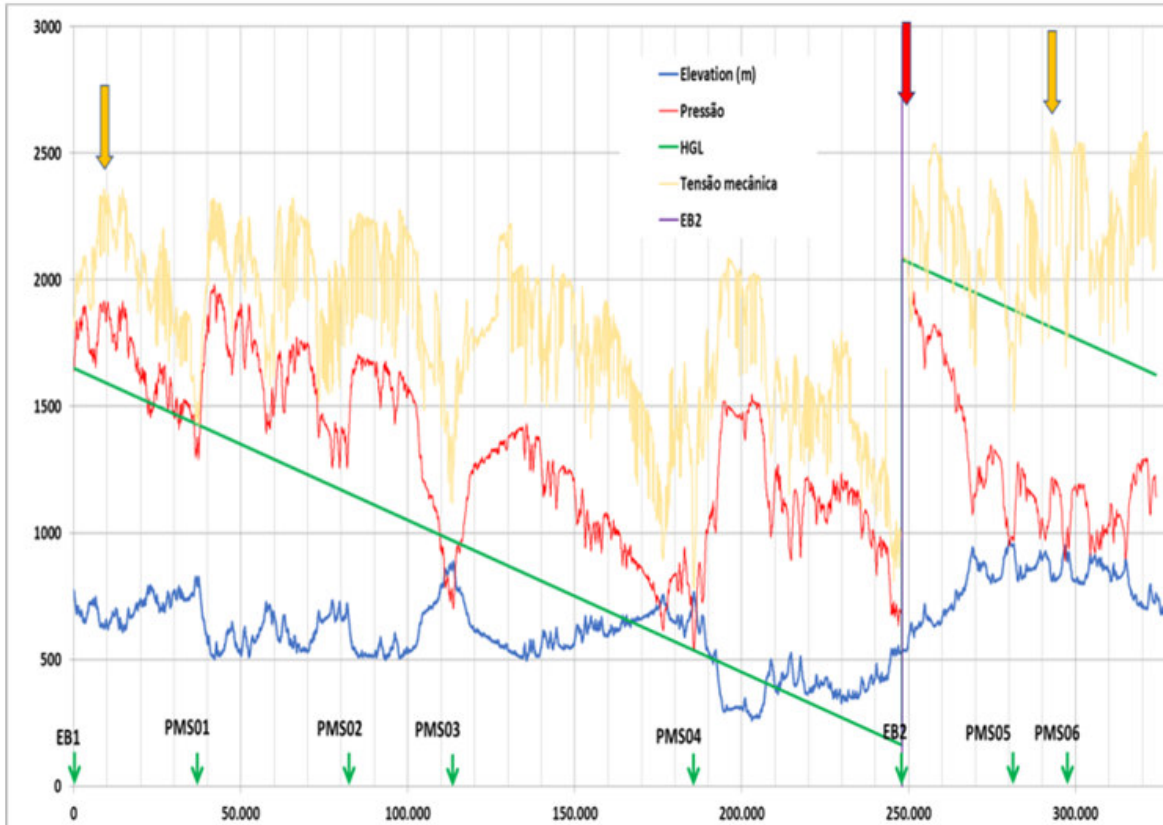
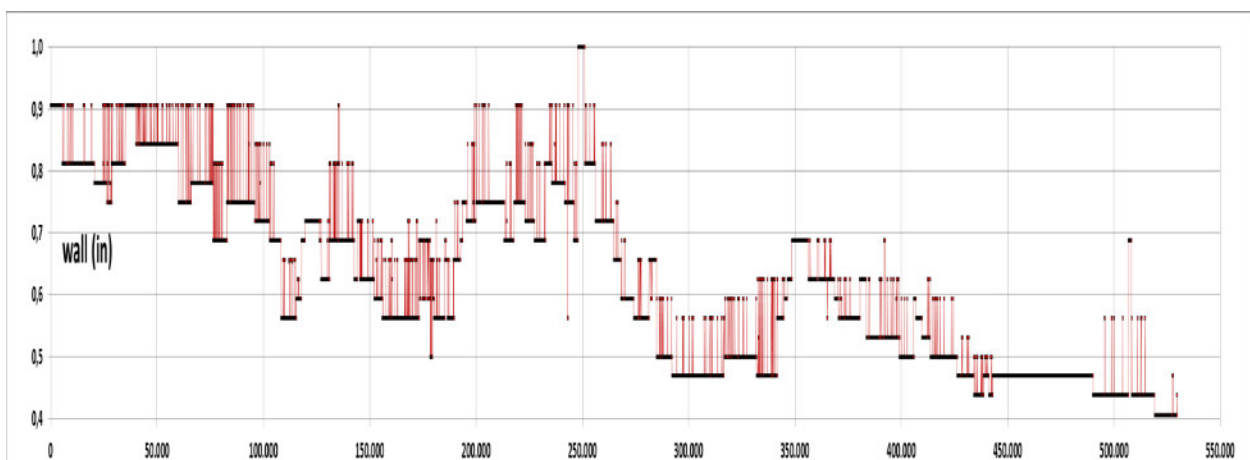


Figura 3.2.4 - Variação da espessura da parede dos tubos ao longo do mineroduto.



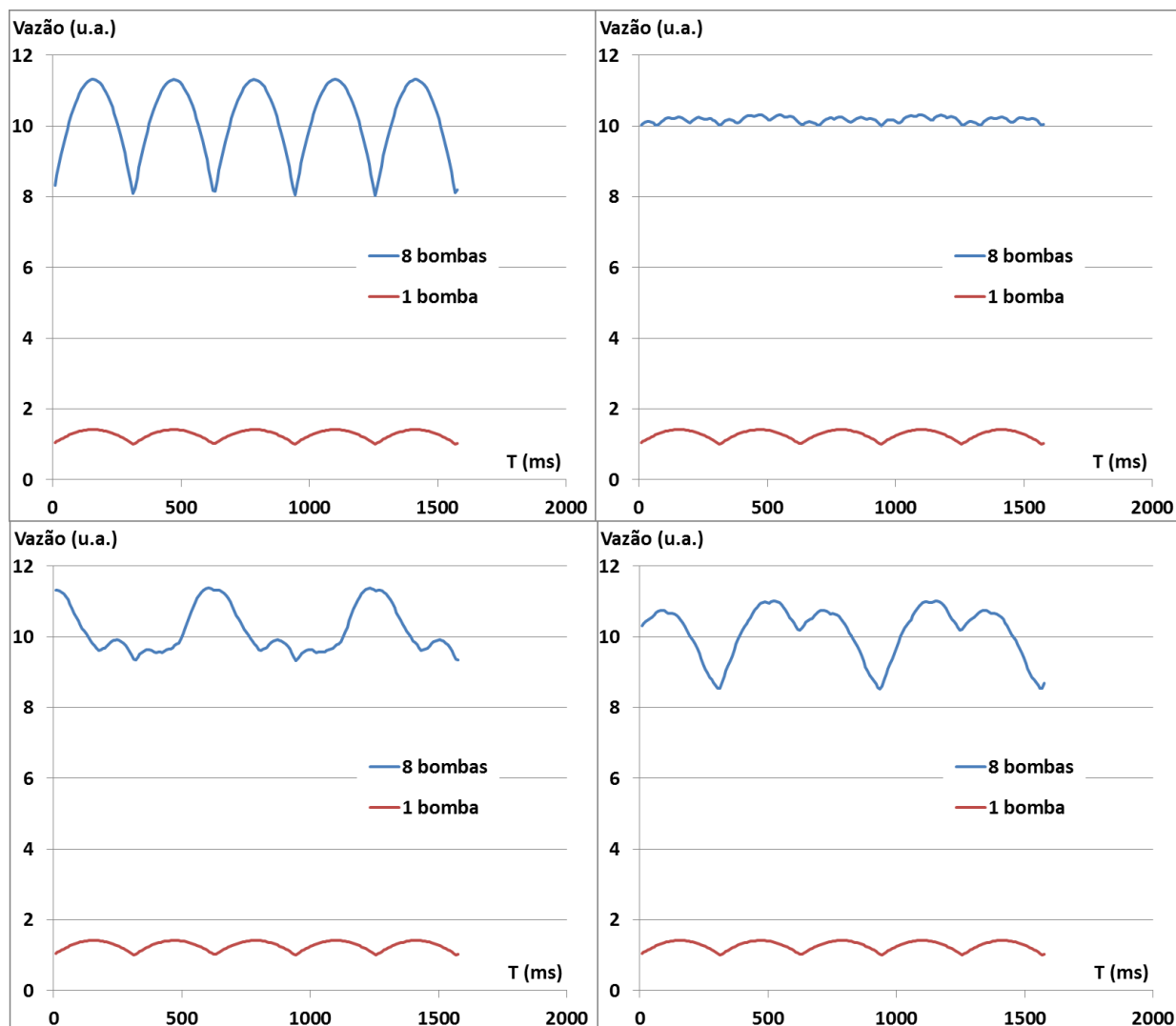
c) Tensões mecânicas cíclicas

As bombas tríplex das EB geram três *strokes* por rotação e, portanto, a pulsação de pressão resultante na descarga da bomba é o triplo da frequência associada à rotação. Ex.: Para rotação de 1 rps ou $f = 1$ Hz, a pulsação terá $f = 3$ Hz. Esta pulsação origina-se do deslocamento da membrana e da ação das válvulas que geram picos transitórios de pressão repetitivos. Vários *dumpers* ou amortecedores (vasos pressurizados) são colocados nas linhas de admissão e descarga das bombas para atenuar estes transitórios cíclicos. A pressurização destes vasos tem que ser feita em função da densidade do fluido, e como a relação entre a densidade da água e da polpa é muito diferente, a operação por bateladas é prejudicial ao desempenho destes dispositivos.

Outra forma de minimizar a amplitude das pulsações de pressão é atuando na interferência destrutiva existente quando da combinação entre os ciclos de pressão do bombeamento. Isto é possível através da defasagem dos *strokes* entre as diversas bombas em operação. Se o controle de rotação e fase for feito corretamente, quanto maior for o número de bombas, mais efetivo será o cancelamento das pulsações cíclicas. Atualmente a pulsação resultante nas descargas das EBs está em torno de 2 Hz.

A **Figura 3.2.5** mostra alguns exemplos de simulação deste efeito com oito bombas em operação. O resultado é dado em termos de vazão, mas mantendo a impedância da linha de descarga constante, a pressão será proporcional à vazão. O pior caso seria com as oito bombas em operação sincronizada, resultando em pulsações oito vezes maiores do que a pulsação de uma única bomba (**Figura 3.2.5 a**) e frequência de 3 Hz. No caso de defasagem otimizada (**Figura 3.2.5 b**) as pulsações são minimizadas e a amplitude da resultante é da ordem da pulsação de uma única bomba. Outros dois exemplos são dados com defasagens aleatórias entre bombas (**Figura 3.2.5 c** e **Figura 3.2.5 d**). Nas defasagens aleatórias são frequentes pulsações de 2 Hz. Estes resultados indicam que provavelmente a defasagem entre as bombas ainda não está totalmente otimizada.

Figura 3.2.5 - Efeito de sincronização no bombeamento: a) Bombas sincronizadas na mesma fase (superior à esquerda); b) Defasagem entre bombas otimizada para minimizar a pulsação (superior à direita); c) Defasagem aleatória 1 (inferior à esquerda); d) Defasagem aleatória 2 (inferior à direita).



Fonte: IPT

Estas pulsações propagam-se e tendem a ser atenuadas à medida que avançam pelo duto. Modelos matemáticos para predição da taxa de decaimento das pulsações ao longo da linha são interessantes, pois da **Figura 3.2.2** nota-se que há pontos críticos próximos às EB, com níveis de tensões mecânicas estáticas da mesma ordem de grandeza dos pontos em que ocorreram as falhas. Na **Figura 3.2.3** são mostradas tensões mecânicas relativamente baixas nos pontos de ruptura, pois os dutos originais foram substituídos por dutos com paredes bem mais espessas. Nestes pontos críticos não há estimativas da amplitude das oscilações de pressão.

Para realizar a modelagem matemática do efeito de atenuação das pulsações são necessários dados experimentais ou medidas realizadas no próprio duto que, como será visto adiante, não foram possíveis obter nos testes de extensometria até então realizados.

d) Tensões mecânicas transitórias

Tensões mecânicas momentâneas ocorrem quando há transientes hidráulicos nos dutos. Estes transientes ocorrem entre regimes distintos de escoamento, como na transição entre bombeamento de bateladas de polpa e de água. Também podem ocorrer devido a operações indevidas como obstruções repentinas ou fechamento rápido de válvulas. Dependendo da compressibilidade do fluido no comprimento considerado do duto e da elasticidade de suas paredes, os transientes hidráulicos podem submeter estes componentes a esforços superiores às condições de projeto, podendo inclusive levar a ruptura em regiões já fragilizadas pela presença prévia de trincas. A repetição destes transientes também compromete a integridade estrutural do duto ao longo do tempo pela progressão do efeito de fadiga do material.

A metodologia adotada na estimativa do dano cumulativo, que deve definir a vida útil do mineroduto, tem sido feita pela Anglo American no estudo das tensões mecânicas deduzidas a partir das medidas de pressão. Como os medidores de pressão utilizados não tem a resposta dinâmica adequada, então transientes rápidos acabam não sendo computados nas estimativas de fadiga.

Os transientes hidráulicos propagam-se na forma de ondas na velocidade do som ao longo das paredes da tubulação e através do próprio fluido. A elaboração de um modelo para prever, por exemplo, o efeito do acionamento de uma restrição de fluxo num determinado intervalo de tempo, ou o efeito da passagem de uma interface (polpa/água) pode ser feita através de um sistema de equações diferenciais, que incluem a equação de conservação de massa, a equação de conservação do momento e efeitos da tensão de cisalhamento nas paredes do duto (além de elasticidade do material das paredes, compressibilidade, pressões externas em dutos enterrados, dentre outros fatores). O processamento é bastante complexo e soluções aproximadas são possíveis apenas através de elaborados cálculos numéricos.

Outros efeitos dinâmicos incluem possíveis ressonâncias no caso de baixos coeficientes de atenuação em condições especiais de propagação. No caso do mineroduto, esta possibilidade é remota em vista da natureza altamente dissipativa da polpa.

Como os transientes dependem de eventos nem sempre previsíveis, e seus efeitos podem ser altamente prejudiciais à saúde estrutural dos dutos, então a melhor opção é o seu monitoramento em tempo real nos pontos mais críticos e ao longo de toda a vida útil do duto.

e) Medidas de remediação de falhas no bombeamento

Foram acompanhadas algumas fases da instalação dos pacotes de atualização das bombas adquiridos pela empresa: “SAFER” e “ROBUST”.

Estes pacotes, vendidos pelo próprio fabricante das bombas, visam sanar alguns problemas de projeto deste mesmo fabricante, que podem resultar em falhas no funcionamento destes equipamentos. Exemplos de falhas incluem: rompimento dos estojos dos cabeçotes de válvulas com projeção de peças, trincas nas linhas de admissão, travamento de *dumpers*.

As alterações incluem a adoção de dupla injeção e adição de *dumper* extra na descarga, que permite diminuir as pulsações de pressão.

Outro sistema em fase de implantação e testes é o PREDIX da GE, que consiste na instalação de diversos sensores para a monitoração em tempo real de dezenas de parâmetros de cada bomba. Os sinais adquiridos passam por um processamento local e são enviados para análise no exterior, resultando em relatórios e reuniões virtuais semanais entre técnicos da GE e da Anglo American e com o fabricante das bombas, para avaliar o seu funcionamento e programar as manutenções necessárias.

Outro pacote adquirido pela empresa refere-se à aquisição de mais duas bombas para as EB. Desta forma, haverá a diminuição da carga de cada bomba (vazão individual menor), resultando numa maior flexibilidade na programação de manutenções e na própria operação do bombeamento. É esperado que estas aquisições permitam aumentar os intervalos entre estas manutenções.

Outra medida adotada atualmente para garantir a segurança e confiabilidade da operação é a redução da pressão máxima de 210 kgf/cm² para 185 kgf/cm² nas descargas das bombas quando são feitas as manobras na estação de válvulas. Durante a maior parte da operação optou-se pela operação em no máximo 165 kgf/cm².

f) Instrumentação para flutuações de pressão

A análise dos relatórios de extensometria executados pela Kot Engenharia mostrou os resultados obtidos com o uso de *strain gages* colados diretamente nas paredes do duto, em diversos pontos próximos às estações de bombeamento.

A primeira conclusão apresentada neste relatório indica que a metodologia adotada para estimar as tensões mecânicas a partir das medidas de pressão é válida nas faixas de incerteza possíveis com a instrumentação utilizada. Os sinais dos extensômetros apresentam uma relação direta com as pressões medidas para transitórios de pressão numa escala de tempo de minutos a dezenas de segundos. No extremo das pressões estáticas, a estabilidade da linha de base dos sinais dos *strain gages* não é adequada, pois apresenta problemas de *offset*. No outro extremo, na ordem de segundos a décimos de segundos, os sensores de pressão não respondem de forma suficientemente rápida.

Atualmente, os medidores de pressão instalados não são suficientemente rápidos para medir estas pulsações (amplitude, frequência e conteúdo harmônico ou forma de onda). Como a polpa é abrasiva, é necessária uma câmara com um fluido intermediário para transmitir a pressão até o sensor de pressão, o que aumenta a inércia do sistema de medição.

A segunda conclusão do relatório mostra que as pulsações resultantes do sistema de bombeamento apresentam uma fundamental em torno de 2 Hz, com amplitudes relativamente pequenas em relação à pressão estática (2 % - 3 %), indicando que as medidas para a redução de pulsações (pacote “SAFER”, defasagem entre bombas, *batch* prolongado de polpa, redução de pressões máximas e suavidade na operação do sistema) estão sendo efetivas.

Estas medições ocorreram por pouco mais de um mês, mas deveriam ser mantidas durante todo o tempo de funcionamento do mineroduto. Isto seria importante para registrar eventos transitórios e cíclicos de alta velocidade e complementar a contabilização dos danos cumulativos de fadiga e picos extremos de pressão. A empresa relatou que há previsão para a instalação de um sistema de extensometria para medição em caráter permanente nas Estações de Bombeamento.

Outra questão verificada no relatório da Kot Engenharia foi a de que, mesmo pontos de medições distantes 1400 m entre si não indicaram atenuação perceptível da pulsação de 2 Hz. Há a possibilidade de que o nível de ruído dos sinais medidos seja excessivo para notar o nível de atenuação.

Esta é uma informação relevante, pois pode fornecer elementos para atribuir valores aos parâmetros nos modelos de simulação da propagação de transientes e oscilações de pressão ao longo do duto, ou mesmo estabelecer empiricamente este nível de atenuação para definir a amplitude das oscilações nos cálculos de fadiga.

Uma sugestão proposta pelos técnicos do IPT para verificar a consistência e para a complementação dos dados do relatório da Kot Engenharia consiste num ensaio com transdutores magnéticos para medir as flutuações rápidas das tensões mecânicas,

com o objetivo de se obter os valores de pressão.

O princípio deste tipo de transdutor é a variação de propriedades magnéticas, como a permeabilidade magnética relativa - μ_r - quando o material é sujeito à deformação elástica ou esforço mecânico moderado. Como o aço é um material com características magnetostrictivas é possível usar o “Efeito Villari” na construção deste tipo de sensor.

Estão sendo realizados testes no IPT com várias configurações possíveis para avaliar seu desempenho e viabilidade de aplicação nos dutos da Anglo American. Uma versão de campo está sendo desenvolvida para permitir o agendamento de testes iniciais no duto de descarga da EB-1.

A calibração do sensor magnético deverá ser feita em relação às medidas de flutuações lentas de pressão obtidas em pontos próximos de medição. Esta calibração em frequências relativamente baixas (transitórios com variações da ordem de minutos) deverá ser estendida para as frequências mais altas das pulsações do bombeamento (períodos da ordem de décimos de segundo).

Caso os resultados deste teste mostrem-se satisfatórios, então um novo teste deverá ser realizado na PMS1.

Foi realizada uma vistoria de inspeção na PMS1 em que se verificou a possibilidade de instalação do sistema magnético próximo ao ponto de medição de pressão no duto exposto. Como a PMS1 está distante da EB1 (37 km), deverá ser possível observar a atenuação na pulsação do bombeamento.

Estes testes buscam obter valores para parâmetros em possíveis simulações numéricas do comportamento da propagação de ondas de pressão ao longo da linha.

g) Comentários a respeito das medições de flutuações rápidas de pressão com sensores magnéticas

Conforme descrito anteriormente, entre os dias 27 e 31.01.2021, foi realizado um ensaio de medição com sensores magnéticos em caráter experimental. A **Figura 3.2.6** e a **Figura 3.2.7**, a seguir, mostram os dispositivos instalados na tubulação de saída de EB1.

Figura 3.2.6 - Sensor magnético triaxial posicionado no duto de descarga da EB1.



Fonte: IPT

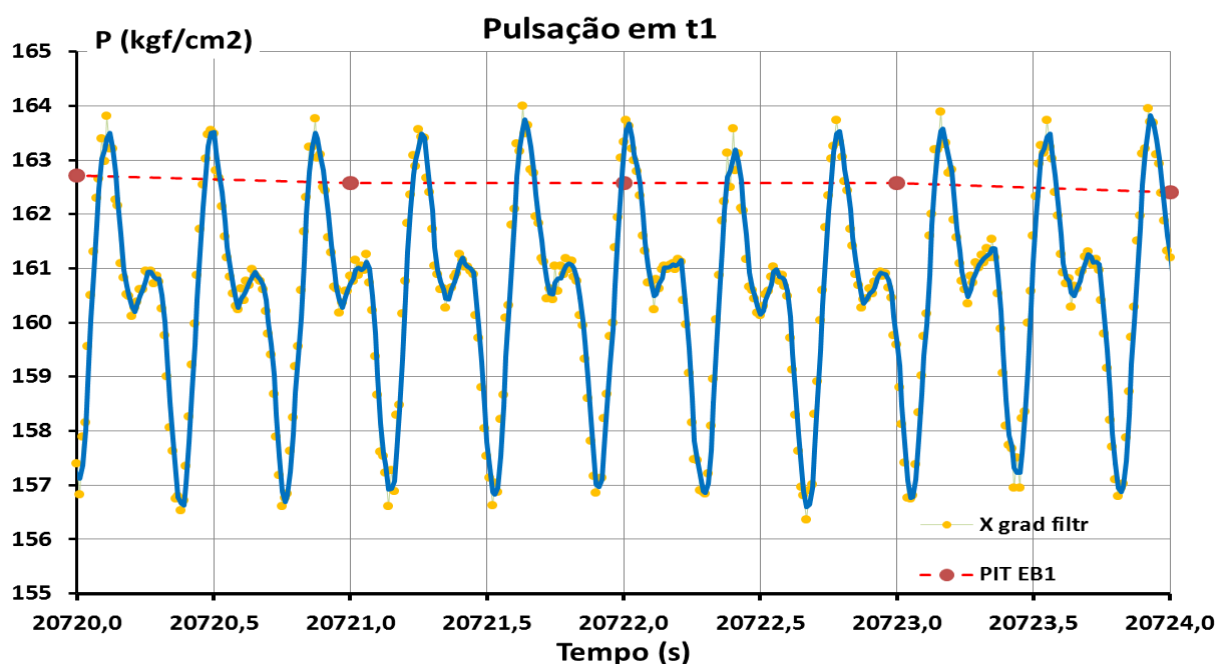
Figura 3.2.7 - Acima, o sensor magnético indutivo e abaixo, os sensores magnéticos



Fonte: IPT

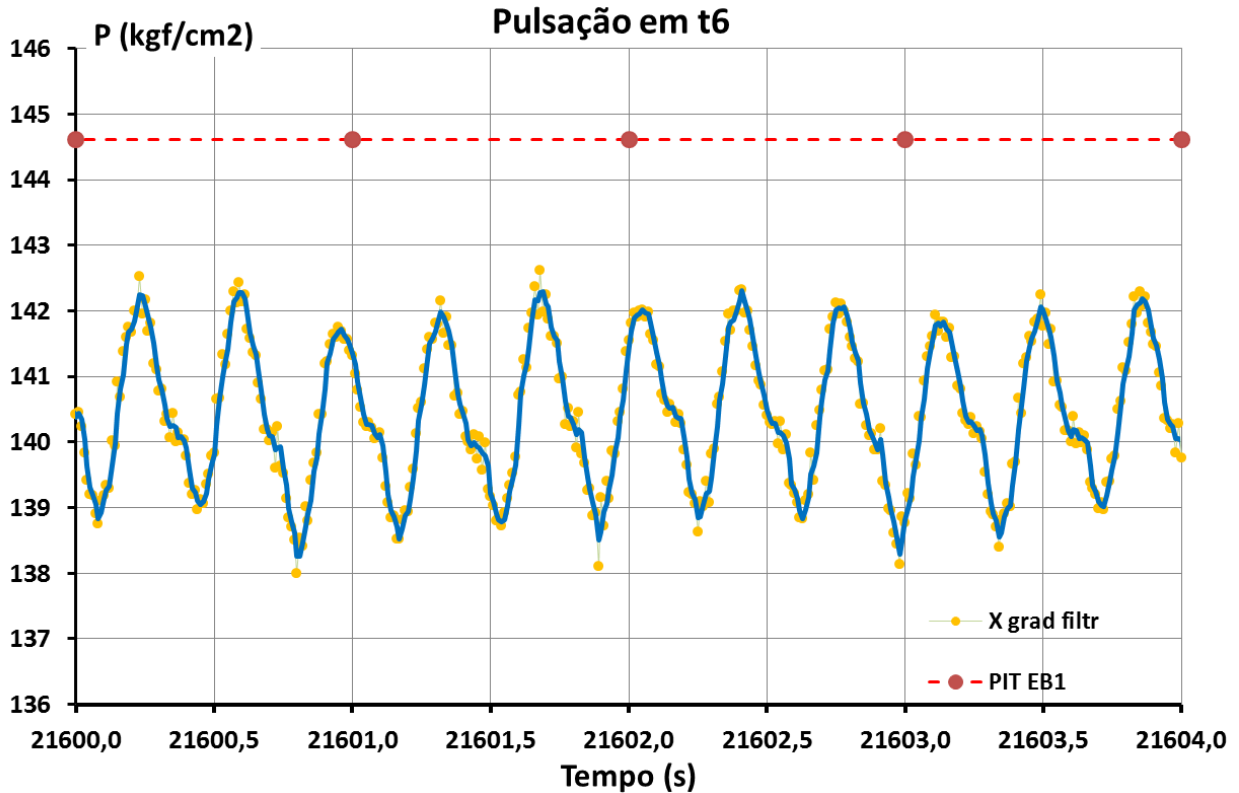
A **Figura 3.2.8** mostra as indicações de pulsações pelo sistema de medição experimental com sensores magnéticos enquanto havia passagem somente de água por EB1.

Figura 3.2.8 - Pulsações medidas com sensor magnético durante passagem de água



A **Figura 3.2.9**, a seguir, mostra os resultados das pulsações de pressão durante a passagem de polpa por EB1.

Figura 3.2.9 - Pulsações medidas com sensor magnético durante passagem de polpa



Fonte: IPT

Pode observar pela **Figura 3.2.9** que o ajuste realizado nos *dumpers* das bombas fornece uma pulsação da ordem de 3 kgf/cm² (aproximadamente 2% da pressão de operação). Este resultado demonstra que a instalação do terceiro *dumper* em cada bomba teve atuação na redução nas flutuações rápidas de pressão. Com a passagem de água, as pulsações de pressão apresentaram valores de pico a pico da ordem de 7 kgf/cm² em uma pressão de operação de 163 kgf/cm². Sendo assim, a decisão de aumentar a quantidade e o tamanho dos batches de polpa se mostrou adequada até que o Mineroduto opere com 100% de polpa.

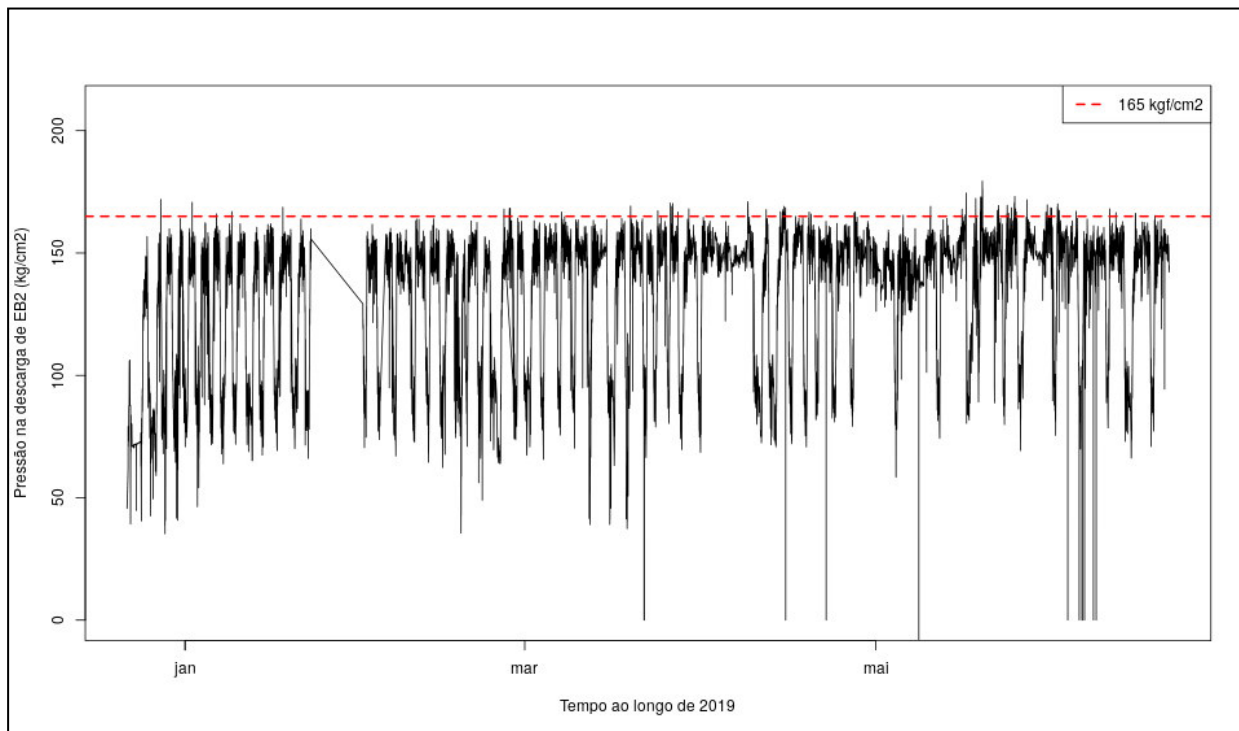
h) Análise da operação por meio dos dados operacionais hidráulico do escoamento de água e polpa.

Nesta atividade, pesquisadores do IPT desenvolveram um modelo de simulação próprio do escoamento da polpa e água, além do envio dos dados operacionais pela Anglo American. A breve descrição abaixo está relacionada às respostas a respeito de ameaças críticas e menores. Optou-se, em um primeiro momento, por analisar os dados de operação de dezembro de 2018 a junho de 2019.

A operação do mineroduto após o reinício da operação em dezembro de 2018, adotou parâmetros operacionais distintos aos que foram empregados antes de fevereiro de 2018. Um primeiro aspecto foi a redução das pressões operacionais. Se, por um lado, as pressões frequentemente atingiam valores superiores a 200 kg/cm² na saída da EB-2 (onde ocorreram os incidentes), antes de fevereiro de 2018, as pressões medidas atualmente são significativamente menores, atingindo um pico máximo de 179 kg/cm².

Atualmente, valores superiores a 165 kg/cm² são observados apenas em 0,65% do tempo, mostrando que a decisão da empresa em seguir a sugestão apresentada no Parecer Técnico IPT (2018) e de seus consultores, de escoar a polpa de minério de ferro com pressão reduzida após o reinício da operação, está sendo executada. A pressão na descarga das bombas da estação EB-2 pode ser vista na **Figura 3.2.10** a seguir. A linha vermelha representa a pressão de operação esperada de 165 kgf/cm².

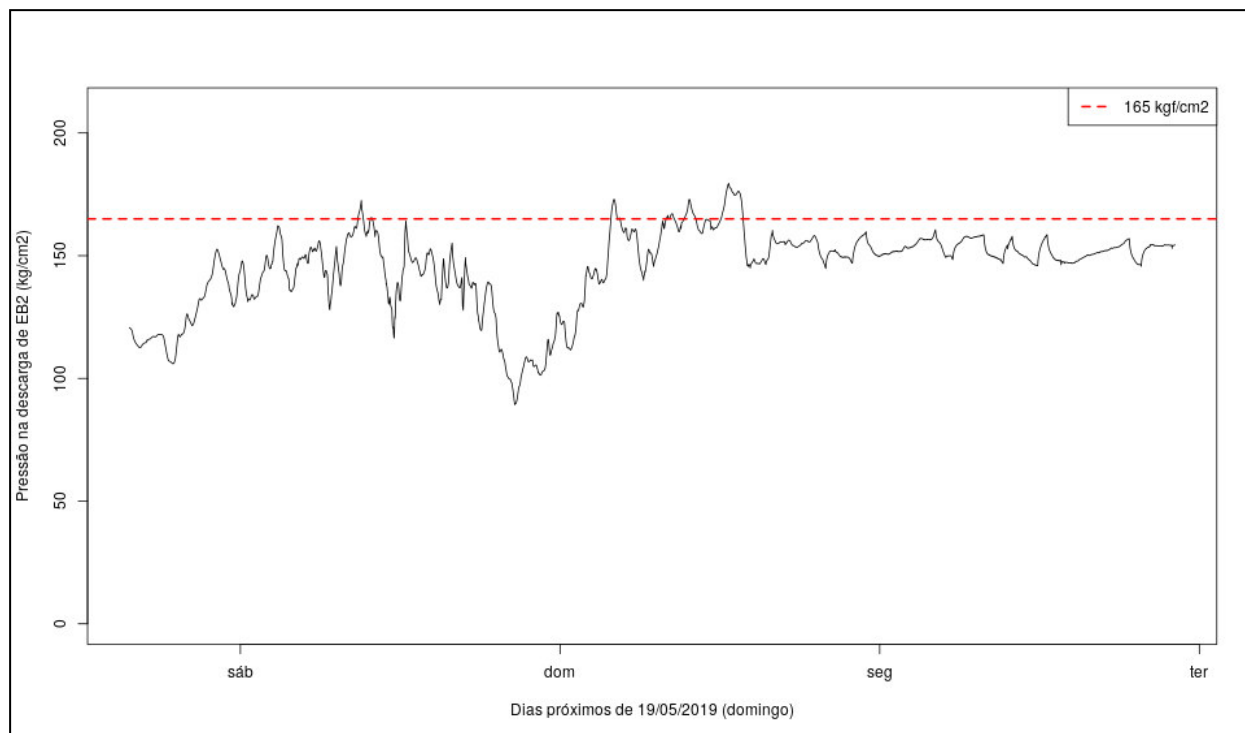
Figura 3.2.10 - Pressão de descarga na saída de EB2 no período de dezembro/2018 a junho/2019



Fonte: IPT

Com o intuito de se deixar claro o que foi discutido no parágrafo anterior, a **Figura 3.2.11** a seguir mostra que o pico máximo de pressão foi atingido 19 de maio de 2019:

Figura 3.2.11 - Pico máximo de pressão em 19/05/2019



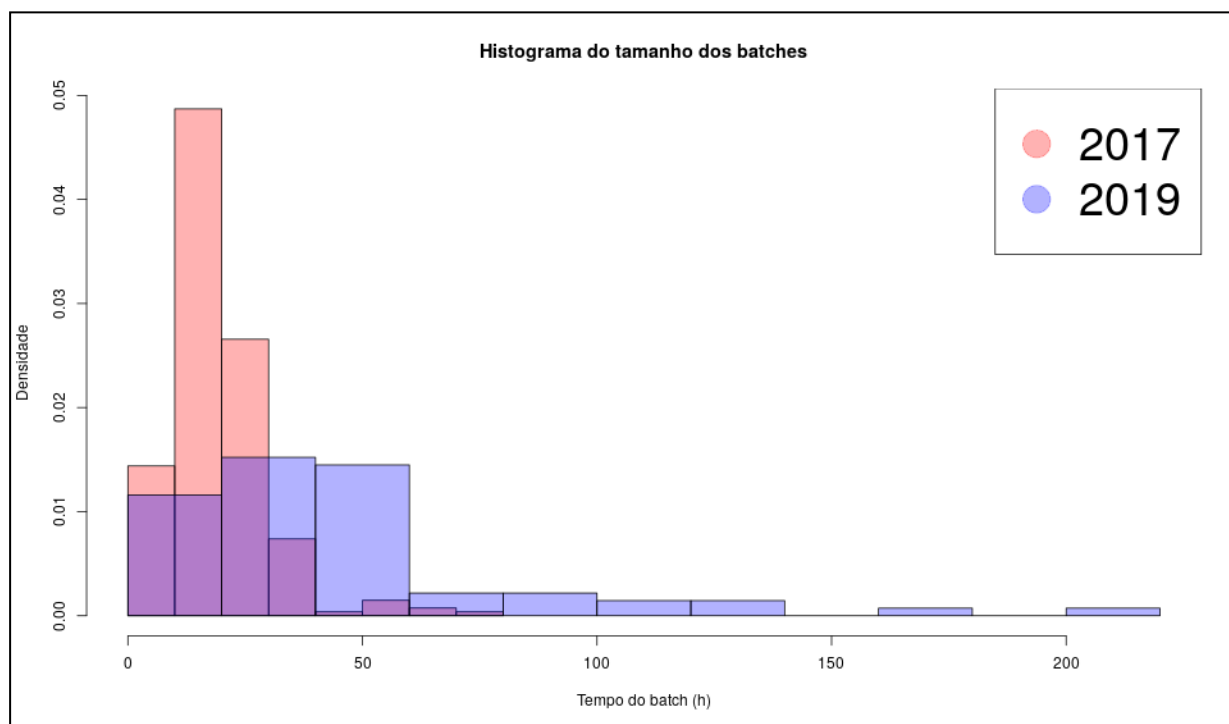
Fonte: IPT

Deve-se observar aqui que durante as operações de movimentação na Estação de Válvulas, uma pressão de 185 kgf/cm² é permitida na saída de EB2.

Outra mudança operacional significativa foi o aumento do tamanho dos *batches* (bateladas) de polpa. Em 2017, o tamanho (sendo representado pelo tempo que leva para o *batch* passar) mediano dos *batches* era de 17 horas com média de 18 horas. Já, entre janeiro de junho de 2019 o tamanho mediano dos *batches* foi de 35 horas com média de 44 horas. Assim, o comprimento médio dos *batches* mais que dobrou.

O maior *batch* observado no período analisado desde o reinício da operação do mineroduto foi de 218 horas, enquanto durante o ano de 2017, o maior *batch* foi de 62 horas. O histograma mostrado na figura a seguir compara os tamanhos dos *batches* do primeiro semestre de 2019 com os de 2017.

Figura 3.2.12 - Histograma exibindo a densidade de ocorrências de tamanhos de *batches*



Fonte: IPT

As barras em rosa indicam a densidade das ocorrências dos *batches* menores em 2017. É visível o aumento do tamanho dos *batches* em relação a 2017 como se observa a densidade de ocorrências de *batches* maiores no ano de 2019. Não apenas a média e mediana foram superiores, mas observa-se um número crescente de *batches* longos, o que é favorável à operação do mineroduto, com redução de grandes variações de pressão que ocorriam antes, denominadas aqui como ciclagens.

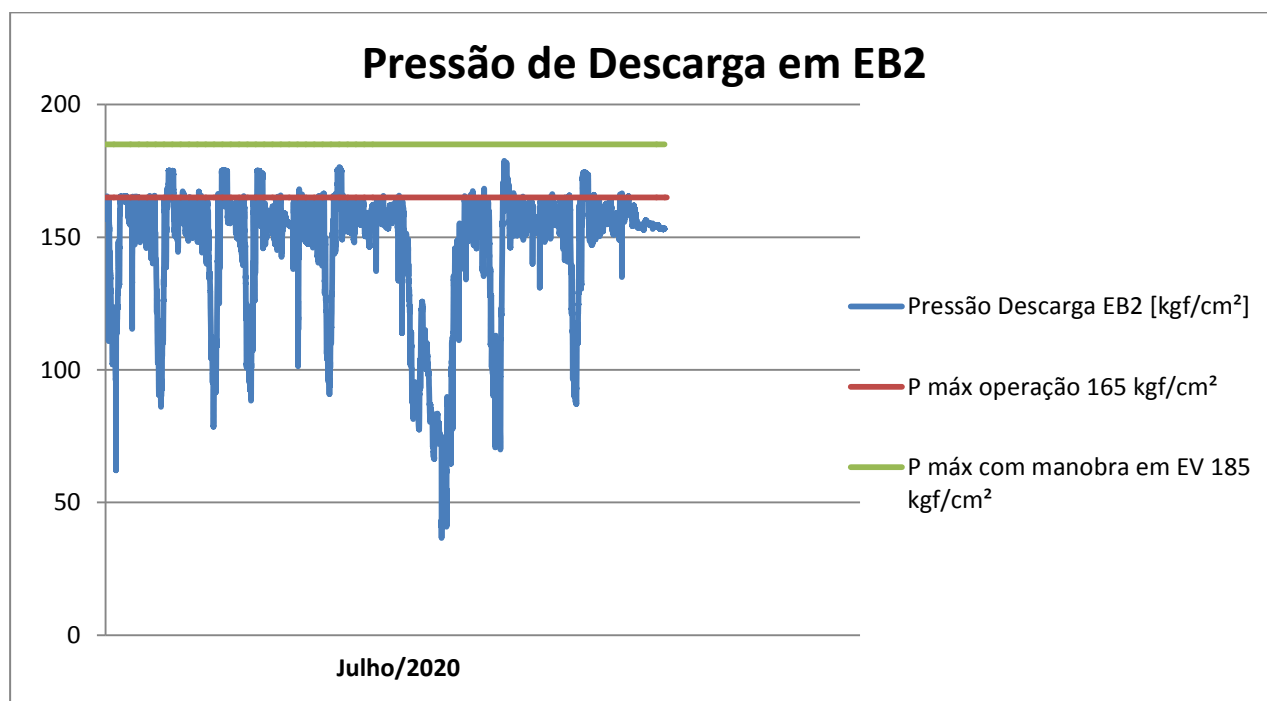
Quanto maiores os *batches*, mais estável é a operação dos dutos: existe menos ciclagens entre alta e baixa pressão. Assim, no primeiro semestre de 2019, foram observadas aproximadamente 0,38 ciclagens de pressão por dia. Este valor para o ano de 2017 foi de 0,75 ciclagens por dia. A ciclagem entre alta e baixa pressão caiu pela metade, contribuindo para menos esforços na tubulação, podendo contribuir para a redução da fadiga nos dutos.

Outro aspecto operacional que mudou significativamente em relação ao passado foi a operação interligada entre os dutos que vem da EB1 e chegam na EB-2 e os que saem da EB-2 em direção ao Terminal no Porto de Açú.

Enquanto até 2018, em geral, a polpa que chegava na EB-2 era desviada para tanques antes de ser bombeada, agora ela é bombeada diretamente por meio do novo procedimento adotado, reduzindo os impactos das grandes variações de pressão e reduzindo a exposição da polpa (ou água) ao oxigênio, atuando como preventivo à oxidação.

Continuando a análise, foram solicitados dados operacionais de julho/2020 e enviados pela Anglo American. Como se pode observar na **Figura 3.2.13**, a pressão de operação na descarga de EB2 foi mantida em longos períodos de tempo a 165 kgf/cm². Com as manobras na Estação de Válvulas, observa-se que a pressão de descarga em EB2 não ultrapassou 185 kgf/cm²

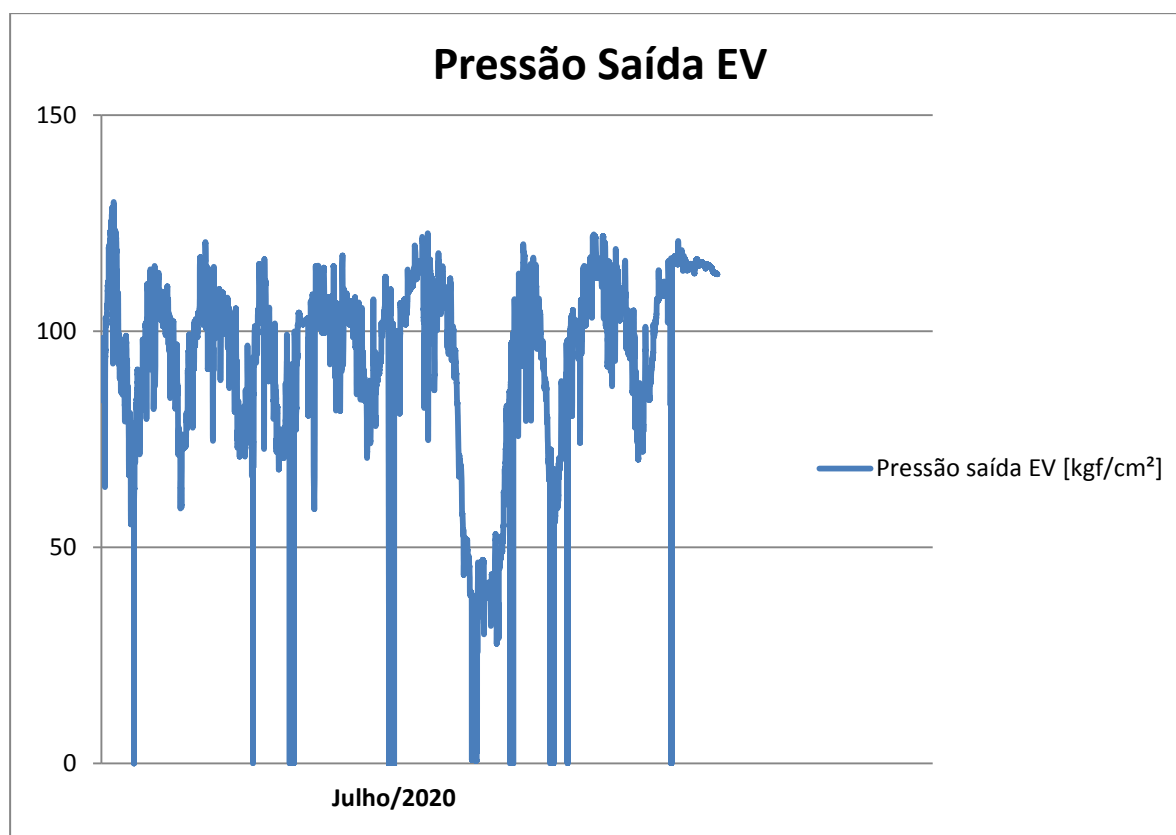
Figura 3.2.13 - Pressão de descarga em EB2 durante o mês de julho de 2020



Fonte: IPT

A figura a seguir indica a pressão de saída de EV. Pode-se observar as manobras pelas variações maiores de pressão e que ocorrem em períodos semelhantes aos picos de pressão observados na figura anterior.

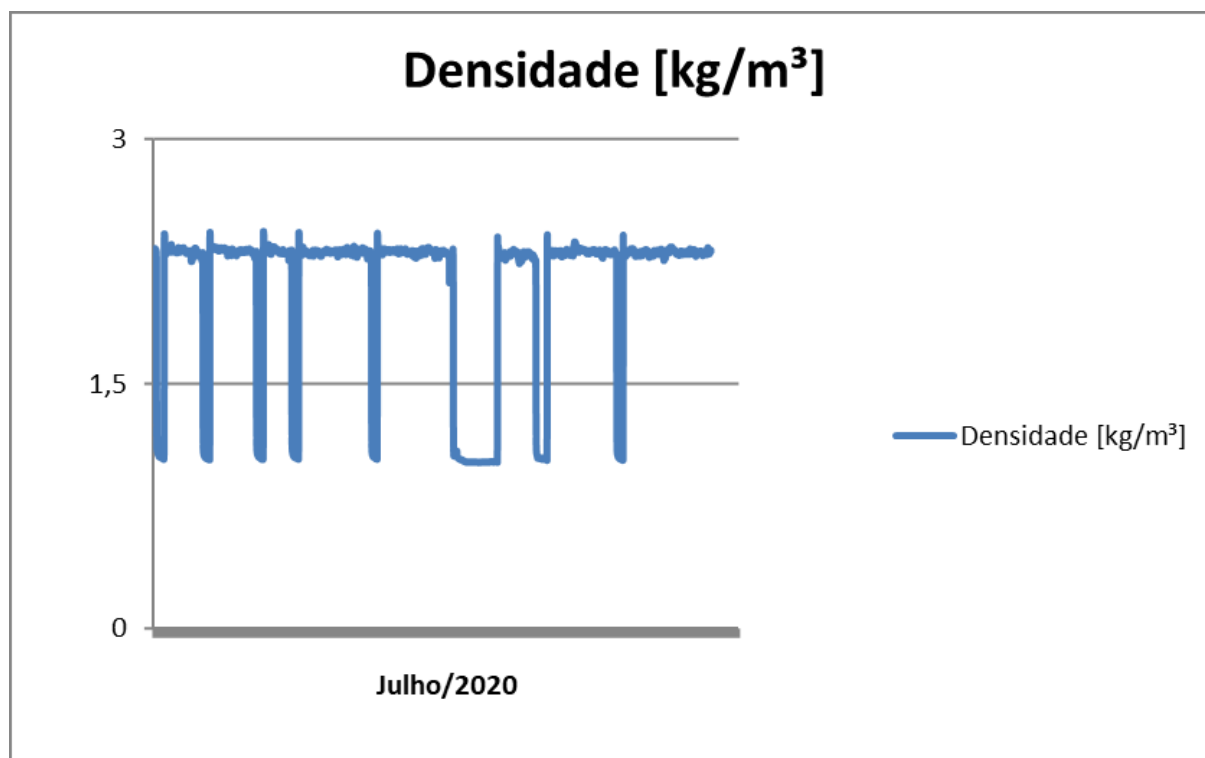
Figura 3.2.14 - Pressão de saída em EV durante o mês de julho de 2020



Fonte: IPT

Outro fator a ser verificado é a quantidade de polpa. Pelo gráfico da densidade exibido na figura a seguir, longos períodos de transporte de polpa são observados no gráfico (valores de densidade maiores que 2 kgf/cm²).

Figura 3.2.15 - Densidade da polpa no período de julho de 2020



Fonte: IPT

O que se pode constatar com os resultados dos dados operacionais do Mineroduto no mês de julho de 2020 é que as modificações nas bombas e nos procedimentos de operação e controle do escoamento de polpa e polpa-água trouxeram uma operação com menos transientes hidráulicos e menos flutuações rápidas de pressão. Além disso, o Mineroduto está operando com menor pressão. Estas condições reduzem riscos quanto a acidentes e aceleração de trincas na tubulação, do ponto de vista das contribuições do escoamento de polpa.

Durante a auditoria foi apresentada para a equipe da Linha 2 a planilha de controles críticos PUE: **Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado**. Esta planilha foi formulada usando a ferramentas de gestão de riscos LVCC. Ela contém perguntas para a manutenção do controle de cada setor da empresa, sendo no caso da operação do mineroduto pressurizado. A equipe da Linha 2 contribuiu com a alteração e complementação de algumas perguntas como por exemplo: a pergunta original era “os instrumentos de medição de pressão estão calibrados?”. Embora a pergunta seja simples e cumpre o objetivo de obter a informação da calibração dos instrumentos de pressão, a equipe do IPT sugeriu “a calibração está dentro da validade? Os resultados da última calibração foram satisfatórios?”. O objetivo desta sugestão foi para garantir que a informação recebida fosse mais abrangente do que a resposta da pergunta original. Também em função da experiência da equipe do IPT em outras áreas de escoamento, sugerimos a alteração de periodicidade de verificação de alguns itens desta planilha. O objetivo também foi o de melhorar e complementar as inspeções que são feitas.

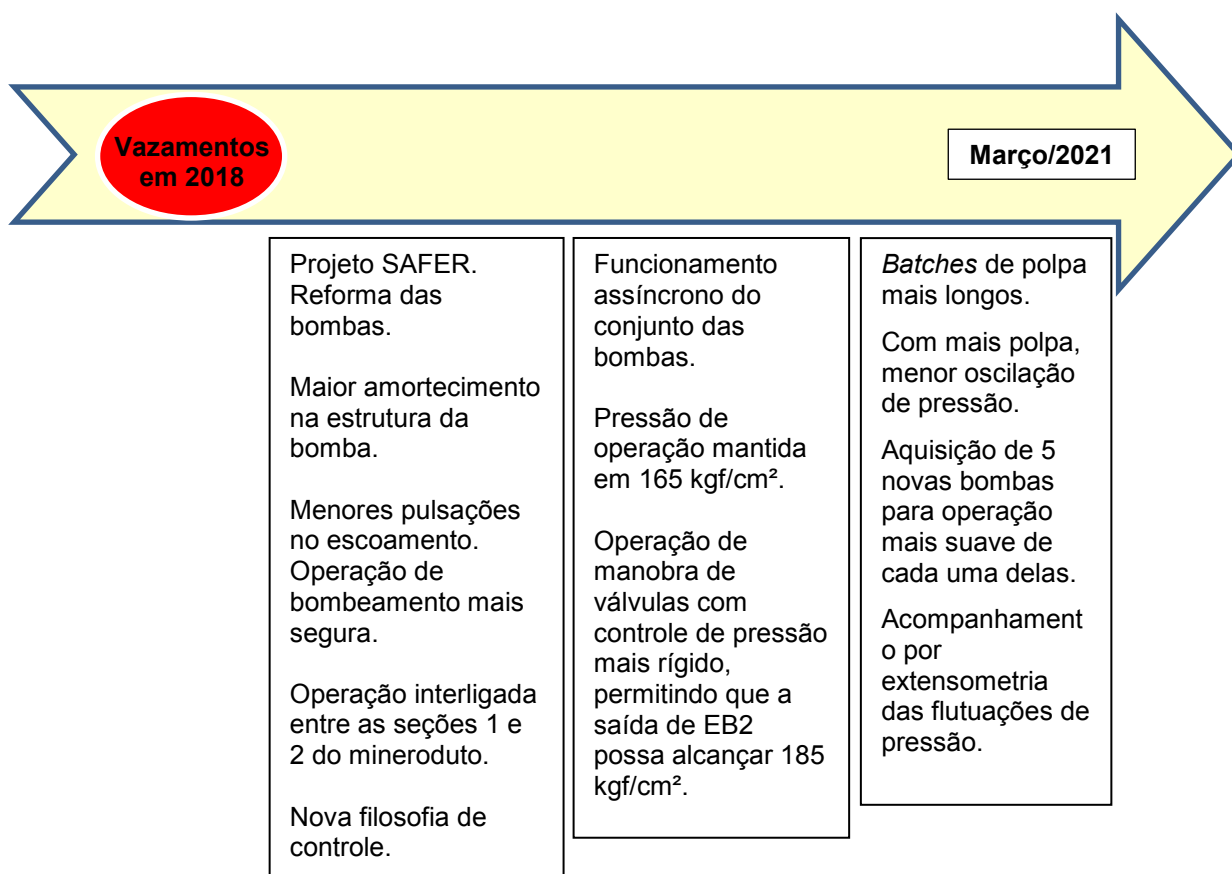
De um modo geral a evolução da operação e do acompanhamento dos parâmetros hidráulicos realizados pela Anglo American foi muito significativa após todas as modificações realizadas tanto nas bombas como suas operações (por exemplo a assincronia de funcionamento entre elas), assim como as mudanças de filosofia de controle da operação. O bombeamento, as manobras com as válvulas e o não uso do tanque na estação EB2 estão permitindo menores valores de transientes hidráulicos e de flutuações rápidas de pressão, resultando no controle maior da operação.

Como evidenciado no presente relatório, o acompanhamento por extensometria das flutuações rápidas de pressão e o aumento do número de bombas para que elas trabalhem em maior número e que cada uma opera em torno de 65% de sua capacidade máxima, são providências que ainda não foram totalmente implementadas. Uma vez finalizadas e colocadas em ação contribuirão ainda mais para a operação controlada do Mineroduto Rio Minas.

A análise de suscetibilidade em relação aos parâmetros hidráulicos será apresentada mais adiante neste relatório.

A seguir é apresentado na **Figura 3.2.16** um resumo em forma da linha do tempo das melhorias identificadas relativas aos aspectos hidráulicos operacionais do mineroduto.

Figura 3.2.16 - Linha do tempo das melhorias evidenciadas na operação



Fonte: IPT

3.3 Aspectos Geológico-Geotécnicos

Os trabalhos desta linha de auditoria no mineroduto executados pelo IPT ao longo das etapas 1 e 2 se desenvolveram com base nos aspectos geológico-geotécnicos observados em relação à faixa de domínio e ao estado das estruturas permanentes que compõem o empreendimento. Objetivou-se identificar e avaliar possíveis ameaças externas à integridade do mineroduto, considerando-se os processos geodinâmicos e hidrológicos atuantes na região e circunvizinhanças.

As análises da Etapa 1 foram motivadas pelos dois eventos de vazamento ocorridos em março/2018 em Santo Antônio do Grama/MG, focalizando o segmento de 33 km situado entre a estação de bombeamento EB-2 (km 247) e o ponto de monitoramento de pressão PMS-5 (km 280). Os resultados da Etapa 1 estão consubstanciados no Parecer Técnico IPT 21.079-301/2018.

A Etapa 2 compreendeu a análise ao longo da extensão total de 529 km do mineroduto, compartimentado em três trechos, segundo denominações adotadas internamente pela Anglo American para fins operacionais (**Figura 3.3.1**).

Figura 3.3.1 - Divisão de trechos adotada pela Anglo American na operação do mineroduto



Fonte: Anglo American.

Portanto, em relação aos aspectos geológico-geotécnicos e ao estado das estruturas permanentes ao longo dos 529 km do mineroduto, as atividades realizadas nas etapas 1 e 2 compreenderam:

- Análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos externos atuantes na região do mineroduto e na faixa de domínio (cerca de 30 m de largura e plataforma variável entre 10 e 14 m), considerando-se a influência em nível de bacias de drenagem contribuintes;
- Análise do estado das estruturas permanentes instaladas (valas, taludes, aterros e dispositivos de drenagem, incluindo-se estruturas de contenção associadas; túneis, incluindo-se estruturas de contenção associadas; áreas de deposição de material excedente (ADMEs); furos direcionais, cada qual denominado HDD (*Horizontal Directional Drilling*); pontos de cruzamento com obras de infraestrutura, como rodovia, ferrovia, gasoduto e outras; barragem de acumulação de água da EB-2; avaliação dos níveis de vibrações sísmicas no solo; passagens aéreas instaladas; estações de monitoramento de pressão (PMSs); estações de bombeamento EB1 e EB2; estação de válvulas (EV); e estação terminal (ET); e
- Análise de atividades de gestão de aspectos geológico-geotécnicos, conforme executadas atualmente pelo empreendedor.

Os resultados obtidos na execução dessas atividades na Etapa 2 estão sintetizados a seguir, de acordo com os três tópicos mencionados, discutindo-se as conclusões obtidas em relação aos principais objetivos propostos.

3.3.1 Análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos externos

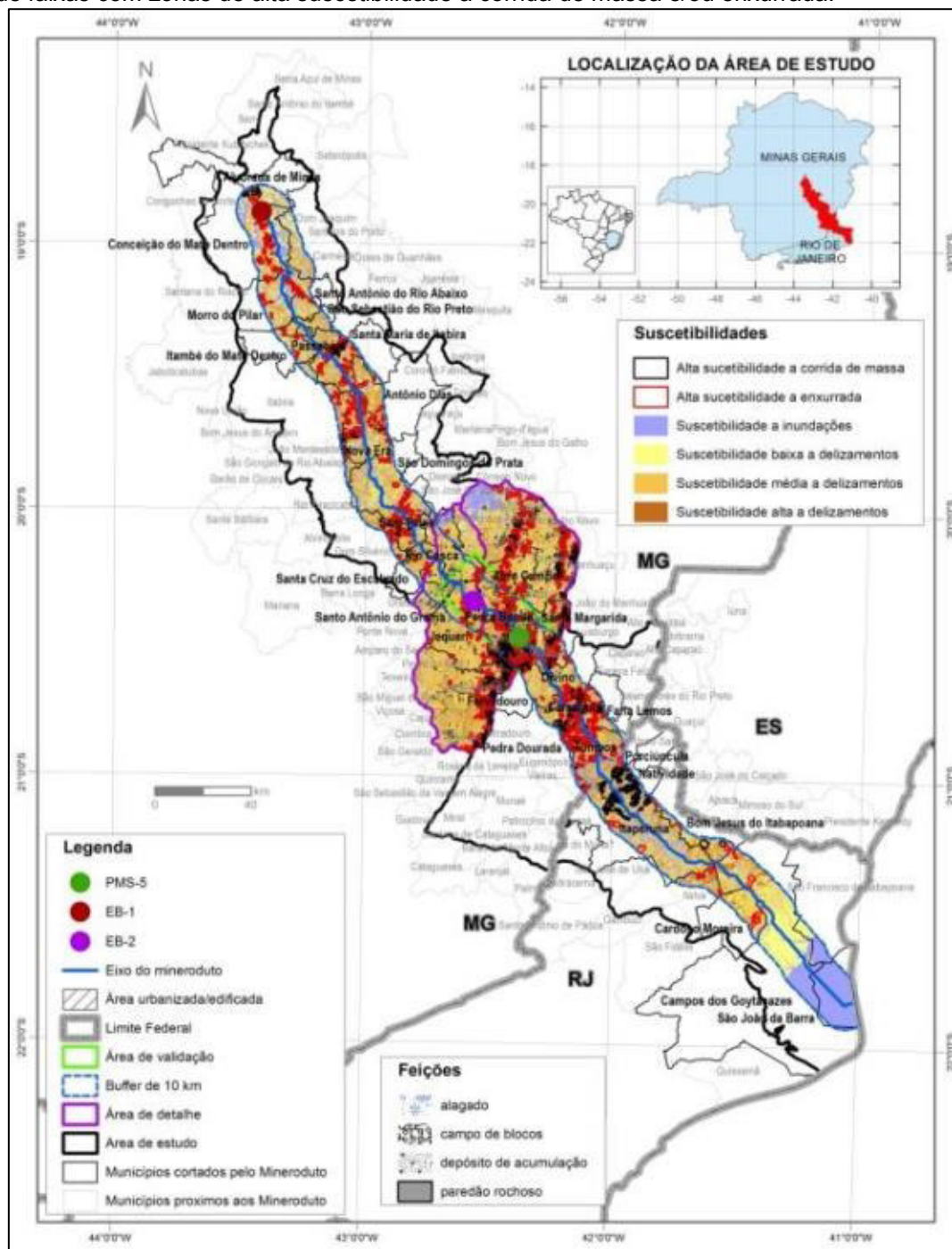
O **Quadro 3.3.1** indica os objetivos específicos propostos e as principais conclusões obtidas neste tópico. O mapeamento de áreas suscetíveis no *buffer* de 10 km se encontra ilustrado na **Figura 3.3.2**, notando-se alternância de zonas de suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada, com alinhamento pronunciado segundo N-NE. A **Figura 3.3.3** ilustra a localização dessas zonas nos três trechos do mineroduto.

Quadro 3.3.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos externos	Principais conclusões
<p>Avaliar os trabalhos realizados e/ou em andamento pela Anglo American e/ou terceiros por ela contratados acerca dos seguintes tópicos correlatos: áreas suscetíveis a processos geodinâmicos externos nas regiões dos trechos EB1 a EB-2 e PMS-5 a ET</p>	<p>As informações obtidas pelo IPT acerca de processos geodinâmicos externos que podem afetar o <i>buffer</i> de 500 m e a faixa de domínio do mineroduto, bem como suas estruturas permanentes, em particular os de corrida de massa e/ou enxurrada, encontram-se hoje incorporadas aos sistemas de dados desenvolvidos e/ou aprimorados pela Anglo American desde a Etapa 1, sendo passíveis de acompanhamento pleno pela equipe da Anglo American.</p>
<p>Identificação de possíveis interfaces dos processos analisados com as estruturas permanentes instaladas; indicação dos pontos/setores eventualmente mais críticos, em termos de ameaça, perigo e risco</p>	<p>Em análise acerca do conjunto de 79 bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada, ou apenas a enxurrada, efetuada com apoio de laboratório de geoprocessamento e validação de campo, selecionaram-se 42 bacias de drenagem para fins de amostragem e avaliação preliminar nas quatro auditorias específicas realizadas em campo. Nos trabalhos de campo realizados com foco nas interseções dessas 42 bacias de drenagem com o mineroduto, além de obter evidências que corroboram a potencialidade de ocorrência daqueles fenômenos e ameaças em todas elas, pode-se também efetuar uma avaliação preliminar dos locais de interseção em termos de provável perigo associado, mediante análise qualitativa e expedita. Na avaliação realizada, considera-se que sete desses 42 locais de interseção poderiam ser classificados como de perigo Médio e os demais (35) como Baixo. Não se identificou, na amostragem, alguma condição que pudesse ser enquadrada como de perigo Alto. Convém observar que as 37 bacias de drenagem restantes, ou seja, aquelas não incluídas na amostragem, devem ser objeto de avaliação por parte da equipe da Anglo American na sequência.</p>
<p>Discussão das ações de prevenção adotadas e/ou a adotar pela empresa para cada situação identificada</p>	<p>Nas condições preliminarmente classificadas como sendo de perigo Médio, recomenda-se aferir a avaliação efetuada e verificar a necessidade de executar alguma medida preventiva (e eventualmente adicional, caso haja alguma implantada) no sentido de proteger a faixa do mineroduto. No caso de perigo Baixo, recomenda-se monitorar o local de interceptação da drenagem, podendo-se adotar alguma medida complementar de caráter estrutural para facilitar o livre e rápido escoamento das águas pluviais ante a previsão de eventos chuvosos intensos e/ou extremos. Contudo, deve-se reiterar que a classificação realizada pela equipe do IPT teve caráter de aproximação inicial em relação às ameaças identificadas, recomendando-se que esses locais sejam doravante incluídos e/ou mantidos, conforme o caso, como objeto de trabalhos sistemáticos e de maior detalhe a ser executados continuamente pela equipe da Anglo American.</p>

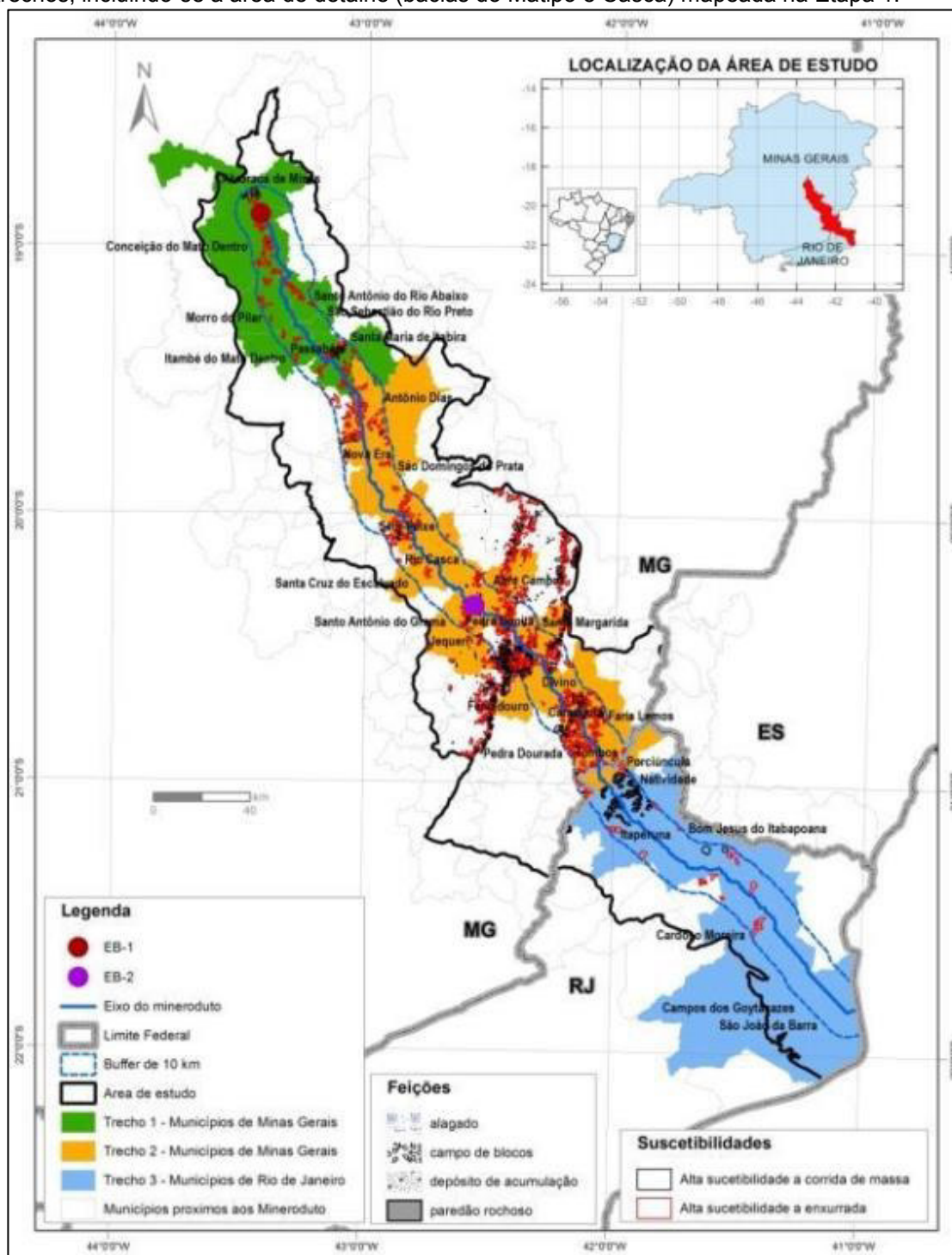
Fonte: IPT

Figura 3.3.2 – Mapa de áreas suscetíveis a processos geodinâmicos externos no *buffer* de 10 km e na área de detalhe do mineroduto (sub-bacias hidrográficas dos rios Matipó e Casca), utilizado como ferramenta de auditoria. Notar o alinhamento N-NE e a alternância de faixas com zonas de alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada.



Fonte: IPT.

Figura 3.3.3- Localização de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e/ou enurrada mapeadas ao longo do mineroduto na Etapa 2, no *buffer* de 10 km, segundo os três trechos, incluindo-se a área de detalhe (bacias do Matipó e Casca) mapeada na Etapa 1.



Fonte: IPT.

A partir dos dados gerados, tornou-se possível identificar os pontos de intersecção de drenagens sujeitas ao desenvolvimento de processos como os de corrida de massa e/ou enxurrada ao longo do traçado do mineroduto e a suas estruturas permanentes. Esses pontos se constituíram em referências para as auditorias de campo realizadas na Etapa 1, no sentido de propiciar a aferição de condições locais que podem favorecer o desenvolvimento dos processos em eventos de chuvas intensas e/ou extremas.

De uma maneira geral, para fins de integração das análises efetuadas por parte da equipe do IPT na Etapa 2, em relação aos aspectos geológico-geotécnicos e de suscetibilidade a processos geodinâmicos e hidrológicos mapeados, tem-se o destaque no conjunto de 79 bacias de drenagem cujo potencial destrutivo poderiam, eventualmente, afetar o *buffer* de 500 m e a faixa de domínio do mineroduto, em particular mediante corrida de massa e/ou enxurrada (passíveis de ocorrência potencial em oito bacias de drenagem) e, ainda, os de enxurrada exclusivamente (passíveis de ocorrência em 71 bacias de drenagem) (**Tabela 3.3.1**).

Tabela 3.3.1 - Quantidade de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada avaliadas no âmbito do *buffer* de 500 m e faixa de domínio, segundo o trecho do mineroduto.

Trecho	Corrida de massa e/ou enxurrada			Enxurrada			Total geral		
	Avaliadas*	Não avaliadas	Total	Avaliadas*	Não avaliadas	Total	Avaliadas*	Não avaliadas	Total
Trecho 1 (km 0 a 138)	0	0	0	8	18	26	8	18	26
Trecho 2 (km 138 a 322)	5	1	6	15	10	25	20	11	31
Trecho 3 (km 322 a 529)	2	0	2	12	8	20	14	8	22
Total (km 0 a 529)	7	1	8	35	36	71	42	37	79

Fonte: IPT. *Avaliação expedita em campo, com caráter amostral e preliminar.

Em análise local acerca dessas 79 bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada, ou apenas a enxurrada, efetuada com apoio de laboratório de geoprocessamento e validação de campo, selecionaram-se 42 bacias de drenagem para fins de amostragem e avaliação preliminar nas auditorias específicas realizadas em campo e mencionadas anteriormente neste documento técnico, com a finalidade de avaliar as possibilidades de que a faixa de domínio do mineroduto possa ser afetada.

Nos trabalhos de campo realizados nas intersecções dessas 42 bacias de drenagem com o mineroduto, durante a Etapa 1, além de coletar evidências que confirmam a potencialidade de ocorrência daqueles fenômenos e ameaças em todas elas, pode-se também efetuar uma avaliação preliminar dos locais de intersecção em termos de perigo associado, mediante análise qualitativa e expedita. Nessa avaliação, considerou-se que sete desses 42 locais de intersecção poderiam ser classificados como de perigo Médio e os demais (35) como de perigo Baixo. Não se identificou, nessa amostragem, alguma condição que pudesse ser enquadrada como de perigo Alto.

Não obstante, convém ressaltar que as 37 bacias de drenagem restantes, ou seja, aquelas não incluídas na amostragem de campo realizada, devem ser objeto de avaliação por parte da equipe de geotecnia da Anglo American em meio aos trabalhos dirigidos às demais áreas enquadradas pela empresa no conjunto de Pontos Notáveis (125 pontos, segundo informação da Anglo American obtida em fevereiro de 2021).

Dessa forma, nas condições preliminarmente classificadas como de perigo Médio, recomenda-se aferir a avaliação efetuada e verificar a necessidade de executar alguma medida preventiva (e eventualmente adicional, caso haja alguma implantada) no sentido de proteger a faixa do mineroduto. No caso de perigo Baixo, recomenda-se apenas monitorar o local de interceptação da drenagem, podendo-se adotar alguma medida estrutural complementar para facilitar o livre e rápido escoamento das águas pluviais ante a previsão de eventos chuvosos intensos e/ou extremos.

Nesse sentido, salienta-se a realização de análises específicas durante esta Etapa 2, solicitadas pela Anglo American à empresa FGS Geotecnia, para estudo de trajetória de fluxos de detritos em seis locais (em um total de nove locais avaliados, que incluem também estudos de trajetória de blocos, taludes/encostas e outras estruturas), dentre o conjunto de bacias de drenagem suscetíveis identificado pela equipe do IPT a partir dos mapeamentos regionais e auditorias de campo da Etapa 1: km 266+200; km 330+500; km 341+900; km 343+500; km 359+700; e km 331.

Considera-se que essas análises específicas constituem um importante esforço inicial de modo a se avançar continuamente na abordagem desses tipos de processos geodinâmicos na região.

Como exemplo, podem-se mencionar as análises de fluxos de massa executadas pela FGS Geotecnia em um desses seis locais, no km 330+500, onde foram analisadas quatro zonas que podem se constituir em fonte de materiais (blocos, solos, troncos, etc.) com diferentes volumes, sendo que apenas duas dessas zonas simuladas no estudo atingiriam a região do mineroduto e, mesmo assim, não seriam esperados danos significativos às estruturas. O risco encontrado para eventos de fluxo de detritos nesse caso foi considerado na análise da FGS Geotecnia como sendo de baixo a moderado. Contudo, a empresa analista indica em seu relatório a necessidade de que sejam *“continuadas as ações e o plano de gerenciamento para monitoramento e reavaliação, caso as situações atuais se agravem, tornando o cenário mais suscetível a esse tipo de evento e seus potenciais danos”*, o que corrobora a recomendação da equipe do IPT para que esse tipo de estudo seja realizado de forma continuada.

Finalmente, deve-se reiterar que a classificação de perigo realizada pela equipe do IPT nesta Etapa 2 teve caráter amostral e expedito em relação ao conjunto de ameaças identificadas na Etapa 1, recomendando-se que esses locais sejam doravante incluídos e/ou mantidos, conforme o caso, como objeto de trabalhos sistemáticos e de maior detalhe a ser executados pelas equipes da Anglo American e ou terceiros (a exemplo das análises da FGS Geotecnia sobre fluxos de massa em quatro locais) no contexto do acompanhamento evolutivo dos pontos notáveis geotécnicos definidos pela empresa.

3.3.2 Análise do estado das estruturas permanentes instaladas

Nesse tópico foram analisadas as condições geológico-geotécnicas das estruturas permanentes presentes na faixa de domínio, a citar: valas, taludes, aterros e dispositivos de drenagem, incluindo-se estruturas de contenção associadas; túneis, incluindo-se estruturas de contenção associadas; áreas de deposição de material excedente (ADMEs); furos direcionais, cada qual denominado HDD (*Horizontal Directional Drilling*); pontos de cruzamento com obras de infraestrutura, como rodovia, ferrovia, gasoduto e outras; barragem de acumulação de água da EB-2; avaliação dos níveis de vibrações sísmicas no solo; passagens aéreas instaladas; estações de monitoramento de pressão; estações de bombeamento EB1 e EB2; estação de válvulas (EV); e estação terminal (ET).

Durante a Etapa 2 do projeto, foram realizadas, presencialmente, 12 vistorias de campo, que compreenderam a vistoria de 10 das 12 tipologias de estruturas do Mineroduto. De forma remota, por meio de fotos e vídeos (devido a restrições impostas pela Pandemia de COVID-19), foram vistoriadas as estruturas de apoio do Mineroduto nas estações de Bombas II, Válvulas e Terminal. Durante as vistorias foram verificadas as ações tomadas pela empresa no cumprimento das recomendações feitas pelo IPT na Etapa 1 do projeto e também a identificação de possíveis ameaças que poderiam comprometer a integridade do empreendimento considerando, agora, a sua “vida útil” de operação.

De acordo com informações fornecidas pela equipe de geotecnia da Anglo American, em fevereiro de 2021, os Pontos Notáveis Geotécnicos correspondiam ao total de 125 (sete considerados pela empresa como de Risco Alto, dos quais cinco referentes a taludes/encostas, um muro de gabião e uma cortina atirantada), sendo onze barramentos (quatro de maior porte), onze estruturas de contenção de talude (cortinas, muros e solo reforçado), cinco túneis, dez emboques de túnel, vinte passagens aéreas e 68 taludes e encostas. Parte desses pontos foi objeto de análises pela equipe do IPT e encontram-se comentados ao longo dos itens subsequentes do presente documento técnico, conforme o tipo de estrutura permanente envolvida.

Nesse contexto, não foram identificadas novas ameaças críticas ou menores durante o desenvolvimento desta Etapa 2, apontando-se oportunidades de melhoria, as quais foram sumarizadas nos tópicos específicos (Linha 4) que tratam do atendimento ao conjunto de ameaças e Oportunidades de melhorias. Como oportunidades de melhoria foram destacadas a realização das recuperações dos locais com anomalias e a inclusão e/ou adequação de procedimentos de inspeção e manutenção periódicas dos elementos, além de treinamentos de equipes técnicas.

De modo geral, observou-se que houve ampliação de foco nas análises realizadas por parte da empresa, extrapolando-se os limites da faixa de domínio, visando compreender de que forma certas externalidades poderiam interferir no empreendimento e incorporando, em seu monitoramento, novas ferramentas de inspeção como drones e a tecnologia de *InSar*, por exemplo.

Especificamente, em relação a cada estrutura permanente analisada, podem ser efetuadas as seguintes considerações acerca das conclusões obtidas em face dos objetivos de avaliação propostos.

a. Estruturas componentes da faixa de domínio (valas, taludes, aterros e dispositivos de drenagem)

Para a análise da gestão geológico-geotécnica da faixa de domínio e suas estruturas componentes foram analisados vários documentos fornecidos pela Anglo American e realizadas vistorias em campo. A descrição detalhada destas atividades e as principais conclusões e recomendações estão descritas no **Apêndice B**.

Ao todo, foram vistoriados em campo 215 km da faixa do mineroduto, aproximadamente, 41% dos 529 km totais da faixa, sendo que, o último ponto notável de risco significativo de dano 4 vistoriado pela equipe do IPT foi o do km 423.

O **Quadro 3.3.2** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.3.2 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das estruturas componentes da faixa de domínio	Principais conclusões
<p>Avaliação do programa de gestão de riscos geológico-geotécnico aplicado para a faixa de domínio do mineroduto, considerando as informações a serem adotadas pela empresa em função dos resultados dos trabalhos de consultoria por ela contratados</p>	<p>Na Etapa 1, a gestão de riscos geológico-geotécnico aplicado para a faixa de domínio do mineroduto tinha um caráter reativo a cada nova ocorrência. Já na Etapa 2, tendo como eixo diretor o modelo de Gerenciamento de Risco Operacional (<i>Operation Risk Management- ORM</i>), o Programa de Gestão de Riscos Geotécnicos foi aprimorado com a ampliação e capacitação da equipe técnica especializada, execução de diversos procedimentos internos, incluindo planos de ações, cronogramas e formulários de inspeção, realização do Mapa de Suscetibilidade, monitoramento de Pontos Notáveis Geotécnicos e modernização do sistema de inspeções e controles de campo, como: aplicativo e dashboards de inspeção, monitoramento de anomalias por satélite, utilizando a tecnologia <i>InSar</i> e utilização de drones de inspeção.</p> <p>Os procedimentos, métodos e documentos utilizados estão em frequente revisão, visando ações preventivas e mitigadoras para melhoria da gestão de riscos geológicos-geotécnicos. Novos estudos estão sendo aprimorados como Inspeções Extras após eventos de chuvas intensas e o dicionário de criticidade.</p> <p>É notável que o programa atual de gestão de riscos geotécnicos na faixa da Anglo American é bem estruturado e conta com profissionais capacitados e diversos procedimentos e documentos que corroboram o bom funcionamento do fluxo de processos desta gestão. Esta gestão está ligada principalmente com as áreas de Geotecnia, Engenharia, Manutenção da faixa e Meio Ambiente, sendo que essa estrutura se apresenta em comunicação com toda a instituição, em que dependendo do nível de risco e a criticidade da anomalia apontada, a gerência e até a alta direção da Anglo American deve ser notificada, demonstrando avanços importantes de governança corporativa.</p>
<p>Avaliação dos trabalhos realizados e/ou em andamento pela Anglo American e/ou empresas de consultoria geotécnica por ela contratadas, acerca da execução das recomendações indicadas pelo IPT no Parecer Técnico da Etapa 1</p>	<p>As soluções para os problemas apontados pela equipe do IPT nos 5 pontos considerados na Etapa 1 como ameaças críticas foram avaliadas e, destes, 3 pontos (km 260, km 261 e km 262) aguardam resolução na área jurídica da Anglo. Os outros 2 pontos, para o km 269, foram realizados estudos, ensaios geotécnicos e projeto detalhado, ainda serão realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria, já para o km 279 o projeto detalhado está em processo de revisão e detalhamento da solução e ainda serão realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria.</p> <p>Estes pontos são acompanhados e monitorados pela equipe da Anglo American, desde o momento em que foram apontados em vistoria pela equipe do IPT. A importância dos problemas apontados foi amplamente discutida entre as duas equipes. Os estudos dos projetos executivos de estabilização avaliados foram analisados de forma sucinta e parece estarem adequados para subsidiar as obras de estabilização dos taludes.</p>

Fonte: IPT

Na Etapa 1, a gestão de riscos geológico-geotécnico aplicado para a faixa de domínio do mineroduto tinha um caráter reativo a cada nova ocorrência. Já na Etapa 2, o sistema foi aprimorado e atualmente é bem estruturado, contando com profissionais capacitados e diversos procedimentos e documentos que corroboram o bom funcionamento do fluxo de processos desta gestão. Esta gestão está ligada principalmente com as áreas de engenharia e meio ambiente, sendo que essa estrutura se apresenta em comunicação com toda a instituição, em que dependendo do nível de risco e a criticidade da anomalia apontada, a gerência e os diretores da Anglo American são notificados.

Os procedimentos, métodos e documentos utilizados se encontram em frequente revisão, visando ações preventivas e mitigadoras para melhoria da gestão de riscos geológico-geotécnico.

Das vistorias em campo, os trechos avaliados apresentaram problemas pouco significativos em relação ao cenário de rompimento do mineroduto por fatores externos (considerando movimentos gravitacionais de massa e erosões). Alguns processos como assoreamentos, trincas, rachaduras e degraus de abatimento do terreno (no contexto da dinâmica dos processos superficiais), se apresentam pontual ou localmente e são decorrentes das mudanças das condições originais do terreno, que com o tempo podem evoluir.

Essas situações são gerenciadas pelas equipes de manutenção de faixa e de geotecnia por ações de manutenção, monitoramento e controle. Foi observado durante a Etapa 2, que as equipes atuaram de forma a se evitar estas situações de evolução de processos que tragam perigo ao mineroduto, analisando possíveis locais predisponentes aos processos para movimentos gravitacionais de massa e erosões, observando evidências de instabilidade e condições dos dispositivos de drenagem e de contenção que, em alguns casos auxiliam na geração ou aumento destes processos.

Nos trechos com depósitos de blocos e tálus na encosta, é recomendável realizar estudos detalhados de perigo potencial, de acordo com a caracterização de movimentos gravitacionais de massa mais importantes, como corridas, queda de blocos e enxurradas, observando as vulnerabilidades relacionadas aos cenários de ruptura do mineroduto e aos bens a proteger.

Em relação à efetividade no atendimento às medidas preconizadas na Etapa 1, os 5 pontos apontados como ameaças críticas são acompanhados e monitorados pela equipe da Anglo American, desde o momento em que foram apontados em vistoria pela equipe do IPT e foram parcialmente resolvidos. Três pontos (km 260, km 261 e km 262) foram conversados com a Prefeitura de Abre Campo e aguardam resolução na área jurídica da Anglo American, para viabilização de um acordo para mitigação das ameaças ao duto. Nos outros dois pontos, para o km 269, foram realizados estudos, ensaios geotécnicos e projeto detalhado, ainda serão realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria, já para o km 279 o bloco foi desmontado e, atualmente, o projeto detalhado está em processo de revisão e detalhamento da solução, ainda serão realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria. Estes projetos executivos foram analisados de forma sucinta e parecem estar adequados para subsidiar as obras de estabilização dos taludes.

A avaliação para o trecho 3 foi feita com base em análise documental fornecida pela empresa, visto que esse trecho não foi auditado com atividades de campo. Os documentos analisados elucidam bem as características do trecho, foram identificados poucos problemas relacionados à questões geológico-geotécnicos. As anomalias identificadas estão associadas à sinalização, atividades irregulares e vegetação/árvores plantadas na faixa. Além da avaliação da documentação enviada pela empresa foi também utilizado o *software Google Earth Pro*.

A utilização do programa permitiu observar que, do km 439 ao km 443, a faixa do mineroduto passa por trecho serrano, com potencial para ocorrências de escorregamentos e quedas de blocos, nesse pedaço há o ponto notável no km 442.

De forma geral, entre o km 424 e o km 459 há a predominância de morros; do km 460 até o km 529 (localização da estação terminal do Mineroduto) predominam planícies.

Sob o ponto de vista metodológico, as vistorias técnicas realizadas durante as Etapas 1 e 2 juntamente com os documentos de vistoria disponibilizados propiciaram uma avaliação representativa das condições das estruturas permanentes associadas a taludes, valas, aterros e sistemas de drenagem, mesmo sendo amostral.

Considerando os avanços atuais dos processos de transformação tecnológica e digital e a utilização dos mesmos nas diferentes áreas do conhecimento. Dentro do contexto geológico-geotécnico, observa-se que os usuários desses sistemas devem ter base técnica dos conhecimentos tradicionais e o entendimento da fenomenologia dos diferentes tipos de processos geotécnicos ocorrentes.

Há que se buscar assim, o devido equilíbrio entre as áreas de inovação tecnológica e as áreas fins de operação para se alcançar soluções eficientes, diante das especificidades dos diversos cenários de perigo e risco.

b. Passagens aéreas

Nesse tema foi avaliada a situação atual das estruturas de apoio ao mineroduto em trechos aéreos. O **Quadro 3.3.3** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Os resultados dessa avaliação foram apresentados no relatório Técnico 159992 – 205 e também no Parecer Parcial da Etapa 2 (PT 21150-301). As evidências apresentadas pela empresa do acompanhamento periódico de inspeção das passagens aéreas correspondem aos relatórios que vistoria. Alguns desses relatórios estão descritos na **Tabela 3.3.2**.

Quadro 3.3.3 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das passagens aéreas	Principais conclusões
Avaliação dos trabalhos realizados pela Anglo American e/ou empresas de consultoria por ela contratadas no atendimento às ameaças críticas nos pipe-racks e avaliação de três pipe-racks com ameaças menores, para verificação do atendimento ao plano de ações proposto pela Anglo	Os documentos disponibilizados pela Anglo American, juntamente com as inspeções realizadas em campo pela equipe do IPT (Relatório Técnico 159.992 – 205 datado de 30/06/2020 e também do Parecer Parcial da Etapa 2 PT 21150-301) permitiram a identificação da realização de ações preventivas e corretivas, pela Anglo American, das anomalias nas passagens aéreas apontadas no parecer da Etapa 1.
Avaliar se os procedimentos de inspeção (Chek Lists) apresentados pela Anglo estão sendo documentados e executados conforme proposto e também apresentar sugestões de melhoria	Foram apresentadas pela Anglo American evidências quanto ao acompanhamento periódico de inspeção das passagens aéreas, sendo disponibilizados nos documentos relacionados na Tabela 3.3.2 à seguir.

Fonte: IPT

Tabela 3.3.2 - Documentos fornecidos pela Anglo American das inspeções realizadas nas Passagens Aéreas (*Pipe racks*).

Continua...

Passagem aérea Localização (KM)	Evidências (documentos fornecidos pela Anglo American)	Datas das inspeções realizadas pela Anglo American (evolução ao longo do tempo) “revisões das inspeções (Rn)”		
		R0	R1	R2
KM 16	RL-1301-10-31549	02/05/19	23/09/19	11/12/19
	RL-1301-10-31738	07/04/20	-	-
	RL-1301-10-31815	31/08/20	-	-
KM 25A	RL-1301-10-31573	30/04/19	30/09/19	04/11/19
	RL-1301-10-31739	07/04/20	-	-
	RL-1301-10-31816	01/09/20	-	-
KM 25B	RL-1301-10-31574	30/04/19	30/09/19	-
	RL-1301-10-31740	07/04/20	-	-
	RL-1301-10-31817	01/09/20	-	-
KM 41	RL-1302-10-31456	30/04/19	30/09/19	-
KM 41	RL-1302-10-31575	30/04/19	30/09/19	10/12/19
KM 41	RL-1302-10-31741	14/04/20	-	-
	RL-1302-10-31850	15/10/20	-	-
KM 92	RL-1307-10-31558	23/04/19	16/09/19	28/11/19
	RL-1307-10-31781	25/05/20	-	-
	RL-1307-10-31818	01/09/20	-	-

Fonte: IPT

Tabela 3.3.2 - Documentos fornecidos pela Anglo American das inspeções realizadas nas Passagens Aéreas (*Pipe racks*).

Fim.-

Passagem aérea Localização (KM)	Evidências (documentos fornecidos pela Anglo American)	Datas das inspeções realizadas pela Anglo American (evolução ao longo do tempo) “revisões das inspeções (Rn)”		
		R0	R1	R2
KM 94	RL-1307-10-31559	23/04/19	16/09/19	28/11/19
	RL-1307-10-31782	25/05/20		
	RL-1307-10-31560	23/04/19	16/09/19	28/11/19
	RL-1307-10-31783	25/05/20	-	-
KM 98	RL-1307-10-31561	23/04/19	16/09/19	28/11/19
	RL-1307-10-31814	01/09/20	-	-
KM 103	RL-1307-10-31562	24/04/19	26/09/19	28/11/19
	RL-1307-10-31825	10/09/20	-	-
KM 105	RL-1307-10-31563	24/04/19	26/09/19	11/12/19
KM 112	RL-1307-10-31564	22/04/19	26/09/19	11/12/19
	RL-1333-10-31821	08/09/20	-	-
KM 144	RL-1308-10-31565	30/04/19	23/09/19	28/11/19
	RL-1308-10-31837	18/09/20	-	-
KM 151	RL-1309-10-31566	30/04/19	26/09/19	30/12/19
	RL-1309-10-31748	29/04/20	-	-
	RL-1309-10-31832	14/09/20	-	-
KM 160	RL-1309-10-31567	30/04/19	18/09/19	30/12/19
	RL-1309-10-31747	20/04/20	-	-
	RL-1309-10-31838	09/10/20	-	-
	RL-1309-10-31751	29/04/20	-	-
	RL-1309-10-31839	07/10/20	-	-
	RL-1309-10-31752	29/04/20	-	-
KM 228	RL-1313-10-31582	16/05/19	29/09/19	27/11/19
	RL-1312-10-31854	22/10/20	-	-
KM 278	RL-1317-10-31583	16/05/19	28/09/19	27/11/19
	RL-1317-10-31805	11/08/20	-	-
KM 279	RL-1317-10-31584	16/05/19	11/10/19	27/11/19
	RL-1317-10-31806	17/08/20	-	-
KM 280	RL-1317-10-31585	16/05/19	11/10/19	27/11/19
	RL-1317-10-31811	26/08/20	-	-
KM 296	RL-1317-10-31586	16/05/19	11/10/19	27/11/19
	RL-1319-10-31812	26/08/20	-	-
KM 326	RL-1321-10-31570	30/04/19	10/10/19	03/12/19
	RL-1321-10-31822	10/08/20	-	-

Fonte: IPT

Conforme já relatado no Parecer Técnico 159 992 – 205, durante a Etapa 2 também ocorreram reuniões com a empresa para tratar temas relacionados ao teor/conteúdo das fichas de inspeção, envolvendo sugestões relacionadas à: gradação das anomalias (baixo, médio e alto), níveis de criticidade (atenção, alerta, grave e emergência) e os respectivos prazos para intervenções.

c. Túneis

Ao longo do Mineroduto Sistema Minas – Rio executaram-se cinco túneis para transposição topográfica do empreendimento, inseridos exclusivamente nos trechos 2 e 3 do Mineroduto.

As atividades da Etapa 2 foram executadas entre abril de 2019 e março de 2021, e tiveram como objetivo principal identificar as medidas efetivamente empregadas pela Anglo American a fim de dirimir as “ameaças menores” e atender aos “aspectos passíveis de melhorias” apontados pelo IPT na Etapa 1, bem como obter um cenário atualizado das condições técnico-executivas dos túneis e das regiões dos espelhos de seus emboques.

O **Quadro 3.3.4** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.3.4 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação dos túneis	Principais conclusões
<p>Avaliação do programa de gestão de segurança e risco geológico-geotécnico aplicado para os túneis;</p>	<p>A empresa implementou procedimentos como: treinamentos de equipe, elaborações de <i>check-lists</i> e refinamento dos procedimentos de inspeção geotécnica, desenvolvimento de modelos geológico-geotécnicos dos túneis, inserção dos túneis na lista de verificação de controles críticos e Pontos Geotécnicos Notáveis, bem como no <i>Ground Control Plan</i> (com Matriz de Risco e Farol geotécnico – Plano de ações conforme classe de risco identificada). Essas ações foram cruciais na evolução e amadurecimento da empresa nas atividades desenvolvidas para esse tema, as quais representam ganho de qualidade técnica e operacional não apenas para a Gerência de Geotecnia e Hidrogeologia, mas também para a Gerência de Gestão de Riscos.</p>
<p>Avaliação dos trabalhos realizados e/ou em andamento pela Anglo American e/ou empresas de consultoria geotécnica por ela contratadas, acerca da execução das recomendações indicadas pelo IPT no Parecer Técnico da Fase1, referente aos 5 túneis situados ao longo dos 529km do mineroduto;</p>	<p>Os trabalhos desenvolvidos até o momento pela Anglo American mostraram-se adequados, tanto na identificação, monitoramento e priorização de ações corretivas dos itens apontados como ameaças menores, quanto na identificação e adoção de medidas consideradas como oportunidades de melhoria. É necessário frisar que as medidas executadas pelas equipes da Anglo American, tanto as estruturais como as não estruturais, têm caráter recorrente, ou seja, devem ser executadas com frequência durante a operação do empreendimento, inclusive aquelas consideradas neste Parecer com <i>status</i> “atendido”.</p>
<p>Avaliação das ações tomadas pela Anglo American com base nos resultados das inspeções realizadas nos <i>pipe-racks</i> no interior dos 5 túneis que apresentaram ameaças menores.</p>	<p>A avaliação foi realizada e apresentada dos relatórios Anglo American por meio de fichas de inspeção e de acompanhamento das anomalias existentes nos 5 túneis:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Túnel São Domingos do Prata, km 176 - RL-1309-10-31571; - Túnel Sem Peixe, km 185 - RL-1310-10-31572 - Túnel Carangola, km 331 - RL- 1321-10-31548 - Túnel Tombos, km 354 RL-1324-10-31569 - Túnel Tombos, km 360 - RL-1324-10-31553.

Fonte: IPT

Ao longo da Etapa 2 foram realizadas atividades de campo, análise de documentação técnica fornecida pela Anglo American, além de reuniões técnicas envolvendo técnicos da Anglo American e do IPT, a fim de se observar as medidas tomadas pela empresa em relação aos quesitos apontados na Etapa 1.

A partir disso verifica-se que a Anglo American implantou as seguintes medidas estruturais associadas aos “aspectos passíveis de melhorias” apontados pelo IPT na Etapa 1:

- Manutenção dos dispositivos de drenagem superficial, com execução de roçagem, limpeza e correção de trincas e fissuras;
- Instalação de cercas e barreiras na região dos espelhos dos emboques;
- Manutenção do revestimento de concreto dos blocos de apoio do duto; e
- Correção e proteção de alguns processos erosivos instalados nos taludes de solo dos espelhos dos emboques.

Em relação às “ameaças menores” e aos “aspectos geológico-geotécnicos passíveis de melhorias” apontados pelo IPT na Etapa 1 é possível constatar que a Anglo American executou, ou está implantando, as seguintes medidas não estruturais:

- Elaboração de Procedimentos (PRO) de inspeção operacional e geológico-geotécnica para as disciplinas de túneis, taludes e encostas naturais;
- Treinamento dos analistas de faixa e geotécnicos responsáveis pelas inspeções de campo aos túneis ao longo do empreendimento;
- Contratação de empresas especializadas para o desenvolvimento de diagnósticos estruturais dos túneis;
- Contratação de empresas especializadas para o desenvolvimento de estudos referentes à presença de corpos rochosos nas encostas naturais dos túneis, bem como o estudo de suas possíveis trajetórias;
- Contratação de empresas especializadas para o desenvolvimento de monitoramento geotécnico de túneis; e
- Setorização geológico-geotécnica e elaboração de seções esquemáticas dos túneis.

A fim de sumarizar as informações ora apresentadas, elaboraram-se o **Quadro 3.3.5** e o **Quadro 3.3.6** que informam o *status* de execução das ações tomadas pela Anglo American, classificando-as em “atendido”, “em andamento” ou “a atender”.

As descrições mais detalhadas das atividades realizadas pelo IPT nos túneis durante a Fase 2 estão descritas no **Apêndice C** deste Parecer.

Observa-se que as medidas referentes à mitigação da “ameaça menor” correlata à presença de matacões e blocos de rocha nas encostas naturais dos emboques dos túneis foram concluídas em fevereiro de 2021, com o desenvolvimento do estudo de trajetória de blocos e fluxos detríticos para os túneis Tombos B e Tombos C. Os resultados obtidos se mostraram adequados, permitindo a empresa constatar que existe possibilidade dos blocos atingirem o duto (riscos médio e alto de atingimento), com diferentes graus de probabilidade, segundo as diferentes zonas e seções avaliadas.

Considera-se que as classificações do *status* “em andamento” ou “a atender” para parte das atividades recomendadas pelo IPT na Etapa 1, tanto para as “ameaças menores” quanto para os “aspectos passíveis de melhorias”, não são impeditivas para a continuação da operação do Mineroduto, desde que sejam executadas as medidas estruturais e não estruturais necessárias no curto, médio e longo prazo. Registra-se que é essencial que as medidas executadas e consideradas com *status* “atendido”, sejam perpetuadas e empregadas recorrentemente, a fim de se assegurar a funcionalidade e a estabilidade das obras, sobretudo considerando o longínquo período de operação do empreendimento.

Quadro 3.3.5 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **ameaças menores** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados nos túneis do Mineroduto Minas-Rio.

	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS OBSERVADOS NA ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT – ETAPA 1	AÇÕES ESTRUTURAIIS E NÃO ESTRUTURAIIS IMPLEMENTADAS OU EM IMPLEMENTAÇÃO PELA A. A.	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT – ETAPA 2
AMEAÇAS MENORES	Presença de matacões e blocos de rocha nas encostas naturais dos emboques dos túneis	Realizar mapeamento geológico-geotécnico a fim de identificar e caracterizar as condições locais (solo e blocos) e posições dos corpos rochosos	Contratação de trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico de taludes dos emboques e entrega de relatório	Atendido	O estudo apresenta-se adequado e mostra que existe possibilidade dos blocos atingirem o duto, com diferentes graus de probabilidade e velocidades de atingimento. É necessário que Anglo American desenvolva estudos de viabilidade para implantação de medidas estruturais (barreiras flexivas, rígidas ou valas) bem como projetos para definição de suas dimensões e locais onde devem ser instaladas. Para tanto, estudos mais detalhados deverão ser executados, como topografia mais precisa e auxílio de empresas especializadas no dimensionamento dessas estruturas.
		Diagnosticar os processos que resultaram na geração e transporte desses corpos rochosos	Elaboração de Especificação Técnica e consulta ao mercado para contratação de serviços técnicos para estudo de trajetórias de fragmentos rochosos. Relatórios entregues:	Atendido	
		Realizar estudos de possíveis trajetórias desses materiais e eventual proposição de soluções de estabilização ou proteção, objetivando evitar impactos desses corpos rochosos com as estruturas expostas do mineroduto	<ul style="list-style-type: none"> RL-1401-17-55927. R1: Relatório de Trajetória de Blocos Km 355+000 RL-1401-17-55925. R2: Relatório de Trajetória de Blocos e Fluxos Detríticos Km 359+700 RL-1401-17-55928. R1: Relatório de Trajetória de Blocos Km 360+300 	Atendido	
	Súde estrutural dos sistemas de suporte e reforço dos túneis: infiltrações, carbonatações, oxidação das estruturas metálicas presentes no revestimento, trincas, fissuras etc.	Realizar inspeções visuais frequentemente a fim de monitorar visualmente a evolução dos processos de infiltração, carbonatação, oxidação das estruturas metálicas presentes no revestimento e registrar eventuais ocorrências de trincas e fissuras	Procedimento de inspeção da faixa de servidão - PRO.MRJ.OPP.051	Atendido	Observa-se que os relatórios técnicos e procedimentos (PRO) adotados pela Anglo American servem para identificar e monitorar, visual e qualitativamente, as ameaças menores (sob o ponto de vista geológico-geotécnico) apontadas pelo IPT na Etapa 1. Ressalta-se a necessidade da continuidade da execução dessas atividades durante toda a vida útil do empreendimento
			Procedimento de inspeção geotécnica de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.010 / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis		
			Procedimento de inspeção operacional de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.011/ Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis		
			Procedimento de inspeção geotécnica de túneis - PRO.MRJ.GTH.012/ Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis		
		Realizar o controle tecnológico do revestimento em concreto projetado e o monitoramento de deslocamentos do maciço por meio de instrumentação geotécnica nos trechos considerados críticos	Treinamento de inspetores de faixa - noções básicas para inspeções em túneis	Em andamento	Fase de tomada de preços e contratação dos serviços. Finalizada em 2020. As atividades de execução ocorrerão entre 2021 e 2022, podendo sofrer ajustes em função do desdobramento da pandemia de Coronavírus.
			Relatórios de visita técnica - check-list túneis		
			Diagnóstico geotécnico de túneis – RL-1401-17-30501_r0: Diagnóstico dos Túneis do Mineroduto		
Conceber modelo geológico-geotécnico tridimensional e identificar áreas com maior e menor criticidade geológico-geotécnica, para os túneis, que auxilie na gestão dos riscos	Diagnóstico geotécnico de túneis – RL-1401-10-55655_r1: Diagnóstico dos Túneis do Mineroduto	Atendido	De acordo com os documentos técnicos disponibilizados ao IPT e respostas fornecidas pelos técnicos de Anglo American, conclui-se que existem informações suficientes para se setorizar os túneis segundo os graus/níveis de criticidade de manifestação de anomalias. Deste modo, considera-se possível que a Anglo American priorize ações corretivas em locais específicos dos túneis em detrimento de outros menos preocupantes. Estas ações devem ser executadas a fim de se assegurar a qualidade, funcionalidade e durabilidade da obra.		
	Realização de consultas ao mercado para contratação de execução de serviços estruturais nos túneis				
	Elaboração de seções esquemáticas dos túneis				
	Validação dos mapeamentos geológico-geotécnicos realizados durante as etapas construtivas dos túneis - RL-1401-17-30501_r0: Diagnóstico dos Túneis do Mineroduto / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis				
	Apresentação do diagnóstico geotécnico de túneis – RL-1401-10-55655_r1: Diagnóstico dos Túneis do Mineroduto / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis				

Quadro 3.3.6 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **oportunidades de melhoria** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados nos túneis do Mineroduto Minas-Rio.

	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS OBSERVADOS NA ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT – ETAPA 1	AÇÕES ESTRUTURAIIS E NÃO ESTRUTURAIIS IMPLEMENTADAS OU EM IMPLEMENTAÇÃO PELA A. A.	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT – ETAPA 2
ASPECTOS CONSIDERADOS PASSÍVEIS DE MELHORIAS	Deficiência no sistema de drenagem de superfície pelo assoreamento e obstrução por vegetação	Limpeza com frequência adequada a fim de não comprometer a funcionalidade do sistema de drenagem em eventos pluviométricos.	<p>Execução de limpeza nas regiões onde o sistema de drenagem superficial apresenta obstruções por vegetação e parcialmente assoreada com solo</p> <p>Treinamento de inspetores de faixa no PRO de inspeção de túneis</p> <p>Procedimento de inspeção da faixa de servidão - PRO.MRJ.OPP.051 / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis</p> <p>Procedimento de inspeção operacional de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.011 / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis</p> <p>Procedimento de inspeção operacional - atividades temporárias próximas a taludes - PRO.MRJ.GTH.013 / Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis</p>	Atendido	<p>Observa-se que os procedimentos (PRO) associados ao Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis adotados pela Anglo American servem para identificar, e posteriormente, dirimir os aspectos geológico-geotécnicos passíveis de melhoria apontados pelo IPT na Etapa 1.</p> <p>Ressalta-se a necessidade da continuidade da execução dos procedimentos supracitados de maneira recorrente, durante toda a vida útil do empreendimento, e que a comunicação entre os técnicos da A.A, desde o que identifica <i>in loco</i> e o que executa as medidas mitigadoras, seja a mais célere possível em função da gravidade do problema identificado.</p>
	Desenvolvimento de processos erosivos em taludes de corte próximos aos emboques dos túneis	Monitorar, controlar e corrigir anomalias decorrentes dos processos erosivos desenvolvidos nos taludes dos emboques dos túneis, preservando as geometrias previstas em projeto.	<p>Adoção de medidas de correção de processos erosivos instalados em regiões próximas aos espelhos dos emboques dos túneis</p> <p>Procedimento de inspeção geotécnica de túneis - PRO.MRJ.GTH.012</p> <p>Procedimento de inspeção operacional - atividades temporárias próximas a taludes - PRO.MRJ.GTH.013</p> <p>Procedimento de inspeção da faixa de servidão - PRO.MRJ.OPP.051</p> <p>Procedimento de inspeção geotécnica de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.010</p> <p>Procedimento de inspeção operacional de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.011</p>	Atendido	<p>Os procedimentos (PRO) associados ao Ground Control Plan / Pontos Geotécnicos Notáveis adotados pela Anglo American servem para identificar, e posteriormente, dirimir os aspectos geológico-geotécnicos passíveis de melhoria apontados pelo IPT na Etapa 1.</p> <p>Ressalta-se a necessidade da continuidade da execução dos procedimentos supracitados de maneira recorrente, durante toda a vida útil do empreendimento, e que a comunicação entre os técnicos da A.A, desde o que identifica <i>in loco</i> e o que executa as medidas mitigadoras, seja a mais célere possível em função da gravidade do problema identificado.</p>

Continua...

Quadro 3.3.6 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **oportunidades de melhoria** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados nos túneis do Mineroduto Minas-Rio.
...continuação

	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS OBSERVADOS NA ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT – ETAPA 1	AÇÕES ESTRUTUAIS E NÃO ESTRUTURAIS IMPLEMENTADAS OU EM IMPLEMENTAÇÃO PELA A. A.	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT – ETAPA 2
ASPECTOS CONSIDERADOS PASSÍVEIS DE MELHORIAS	Colmatação de drenos executados nos taludes de contenções dos espelhos dos túneis, bem como em seu interior	Implantar programa de mapeamento para detecção dos drenos obstruídos no interior e nos espelhos dos túneis e identificar as causas desses processos, verificando a necessidade de medidas adicionais a fim garantir sua funcionalidade	Procedimento de inspeção geotécnica de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.010	Em andamento	Os procedimentos (PRO) adotados pela Anglo American servem para identificar, e posteriormente, dirimir os aspectos geológico-geotécnicos passíveis de melhoria apontados pelo IPT na Etapa 1. Em fase de tomada de preços e contratação dos serviços. A contratação deve ser finalizada ainda no ano de 2021 e as atividades de execução ocorrerão entre 2021 e 2022, podendo sofrer ajustes em função do processo de contratação e também em função do desdobramento da pandemia de Coronavírus.
			Procedimento de inspeção operacional de taludes e encostas - faixa de servidão - PRO.MRJ.GTH.011		
			Procedimento de inspeção geotécnica de túneis - PRO.MRJ.GTH.012		
Procedimento de inspeção da faixa de servidão - PRO.MRJ.OPP.051					
Consulta ao mercado para contratação de serviços técnicos para diagnóstico geotécnico de túneis – Mineroduto Minas – Rio, e eventual recuperação dos sistemas de drenagem					
Fluxo de água corrente no piso dos túneis em contato com os blocos de concreto de apoio do mineroduto	Implantar sistema de condução das águas que circulam nos pisos dos túneis com vistas a manter a integridade dos apoios de concreto do mineroduto.	Procedimento de inspeção geotécnica de túneis - PRO.MRJ.GTH.012	A atender	Não foram corrigidos os problemas de circulação de água no interior do túnel. Recomenda-se a execução de sistema de drenagem superficial para disciplinamento das águas pluviais e infiltradas a fim de assegurar a qualidade, funcionalidade e durabilidade da obra, sobretudo das estruturas de concreto executadas no interior do túnel.	
		Foram executadas recuperações no revestimento de concreto dos blocos de apoio do mineroduto no interior dos túneis			
Presença de animais de grande porte transitando próximo aos espelhos dos emboques dos túneis, dentro da faixa de servidão	Construir proteção mais eficiente para evitar o acesso de animais, principalmente, no topo dos taludes dos emboques dos túneis	Instaladas barreiras/cercados novos nas regiões dos emboques em que ocorre a circulação de animais de grande porte, como cavalos e gado	Atendido	Os procedimentos (PRO) adotados pela Anglo American serviram para identificar, e posteriormente, dirimir os aspectos passíveis de melhoria apontados pelo IPT na Etapa 1. Ressalta-se a necessidade da continuidade da execução dos procedimentos supracitados de maneira recorrente, durante toda a vida útil do empreendimento, e que a comunicação entre os técnicos da A.A, desde o que identifica in loco e o que executa as medidas mitigadoras, seja a mais célere possível em função da gravidade do problema identificado.	

Fonte: IPT

d. Barragem EB2

Durante a Etapa 2, a equipe do IPT buscou avaliar os trabalhos realizados pela empresa para atendimento das recomendações feitas pelo IPT na etapa anterior. O Erro! Fonte de referência não encontrada. indica os objetivos propostos para essa linha e trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.7 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação da Barragem da EB2	Principais conclusões
<p>Avaliação dos levantamentos geofísicos executados pela Anglo American e/ou empresas por ela contratada na Barragem EB-2 conforme especificações do IPT, pelos métodos de eletrorresistividade (ER) e potencial espontâneo (SP)</p>	<p>As técnicas de potencial espontâneo e resistividade foram aplicadas coerentemente. Os resultados mostram a identificação de lineamentos correlacionáveis à linhas de fluxo, sendo uma delas coincidente com os locais onde foram detectadas surgências de água junto às elevações 565 e 575.</p> <p>Recomenda-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Executar novo levantamento geofísico na barragem EB2, após um ano da primeira investigação, com os mesmos métodos e arranjos executados em junho/2020, com vistas a acompanhar possíveis modificações nos padrões de circulação d'água em subsuperfície; • Executar um levantamento geofísico complementar utilizando-se os métodos de Eletrorresistividade (caminhamento elétrico) e Potencial espontâneo, na região adjacente à ombreira esquerda, contemplando os taludes da Estação de Bombas 2 até o talude do acesso à plataforma de lançamento de minérios. O objetivo desse levantamento é identificar caminhos preferenciais de água que não tenham sido detectados e que possam contribuir para o acúmulo de água identificado nas caixas de passagem das elevações 565 e 575.
<p>Avaliação dos trabalhos realizados pela Anglo American e/ou empresas de consultoria geotécnica por ela contratadas, acerca da execução das recomendações indicadas pelo IPT no Parecer Técnico da Fase1, referente a Barragem da EB-2</p>	<p>A empresa atendeu a maior parte das recomendações apontadas nos Relatórios Técnicos – Final - Fase 1 e Parcial – Fase 2, e que se configuram em oportunidades de melhoria.</p> <p>Os aspectos ainda passíveis de melhoria são típicos de serem solucionados por meio de manutenção rotineira. A Anglo American vem demonstrando, por meio dos documentos disponibilizados e das visitas técnicas de campo, que está atenta a todos eles, como pôde ser observado nas Fichas de Inspeção de Segurança Regular de Rotina da Barragem e nos relatórios técnicos de auditorias externas.</p>

Fonte: IPT

De maneira geral, durante a Etapa 1, não foram identificadas anomalias na Barragem da EB-2 que pudessem comprometer a integridade do mineroduto Sistema Minas - Rio. Entretanto, foram identificados alguns pontos de atenção relacionados à manutenção de rotina dessa estrutura, sem apresentar ameaças críticas de curto prazo à segurança do mineroduto.

Durante a Etapa 2 foram realizadas atividades de análise de documentação técnica fornecida pela empresa e inspeção de campo para verificar as ações executadas/implantadas e em fase de implantação por parte da Anglo American, a fim de mitigar e/ou eliminar as deficiências de manutenção apontadas na Etapa 1 da auditoria do IPT.

As atividades realizadas pelo IPT permitem constatar que a empresa atendeu a maior parte das recomendações apontadas como oportunidades de melhoria nos Relatórios Técnicos, tanto da Etapa 1 quanto da Etapa 2.

O **Quadro 3.3.8** resume as informações dos trabalhos realizados e informa o status de execução das ações tomadas pela Anglo American em relação aos apontamentos IPT (Etapa 1) para a EB-2, classificando-o em “atendido”, “em andamento” ou “a atender”.

As descrições detalhadas das atividades realizadas pelo IPT na barragem EB-2 durante a Etapa 2 encontram-se no **Apêndice D** deste Parecer.

Quadro 3.3.8 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **oportunidades de melhoria** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados na barragem EB-2 do Mineroduto Minas-Rio

		OBSERVAÇÃO DE CAMPO ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT	MEDIDAS TOMADAS PELA ANGLO AMERICAN	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT
ASPECTOS CONSIDERADOS PASSÍVEIS DE MELHORIAS	Talude de montante	Presença de vegetação de pequeno porte em regiões localizadas.	Remoção da vegetação	Atividade normalmente executada durante a manutenção da barragem.	Atendido	Apesar dessas medidas estarem contempladas nas rotinas de manutenção da empresa nota-se que as mesmas tem sido frequentemente apontadas nos relatórios de revisão trimestral de segurança como ações a serem melhoradas para conferir segurança à barragem.
	Talude de jusante	Deficiência na cobertura vegetal em alguns pontos, principalmente nas bermas.	Reconstituir a vegetação	Atividade já executada em alguns pontos da barragem.	Atendido	
		Presença de alguns focos de formigueiro	Combate às pragas	Observou-se que essa atividade costuma ser executada durante atividades de manutenção.	Atendido	
		Irregularidades na geometria dos taludes de jusante.	Acerto das irregularidades geométricas dos taludes como com execução de aterro compactado em buracos.	Execução de manutenção e reparo das irregularidades	Atendido	
		Processo erosivo do talude de jusante entre a primeira berma e o pé da barragem.	Monitoramento da recuperação da erosão com objetivo de verificar se a medida de reconstituição com cobertura vegetal foi suficiente para impedir a evolução desse processo.	Executada a recuperação da cobertura vegetal.	Atendido	
	Extravasor	Barbacãs do canal trapezoidal colmatados.	Limpeza e desobstrução dos drenos.	Não foram executados serviços de desobstrução dos barbacãs	A Atender	A colmatação dos barbacãs compromete o desempenho previsto em projeto e pode acarretar em acúmulo de água no tardo do canal trapezoidal, gerando pressões hidráulicas nessa região.
	Drenagem superficial	Identificados pontos localizados com acúmulo de vegetação obstruindo parcialmente alguns trechos do sistema de drenagem	Limpeza do sistema de drenagem.	Atividade executada rotineiramente durante a manutenção da barragem. Entretanto a situação se mantém, sendo inclusive apontada como oportunidade de melhoria nos relatórios de revisão trimestral de segurança	A Atender	Apesar desta atividade estar contemplada nas rotinas de manutenção da empresa nota-se que a mesma tem sido frequentemente apontada nos relatórios de revisão trimestral de segurança como ação a ser melhorada para conferir segurança à barragem.
Identificação de pontos com trincas.		Tratar as trincas que se encontram abertas.	Executada a selagem das trincas	Atendido		

Continua...

Quadro 3.3.8 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **oportunidades de melhoria** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados na barragem EB-2 do Mineroduto Minas-Rio
...Continuação

ASP ECT	OBSERVAÇÃO DE CAMPO ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT	MEDIDAS TOMADAS PELA ANGLO AMERICAN	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT	
ASPECTOS CONSIDERADOS PASSÍVEIS DE MELHORIAS	Drenagem superficial	Concentração do escoamento superficial após o dissipador de energia localizado na lateral esquerda, próximo ao pé da barragem.	Execução de uma caixa coletora da drenagem superficial da ombreira esquerda e condução do fluxo para jusante em direção à bacia de acumulação das águas da drenagem superficial e do extravasor de emergência.	Executada canaleta de concreto para condução de águas superficiais	Atendido	
	Drenagem interna	Acúmulo de água no pé da barragem, proveniente da sua drenagem interna.	Execução de levantamentos geofísicos no corpo da barragem e nas ombreiras para verificar caminhos preferenciais de água e a posição do NA interno à barragem em todas as seções e não somente nas instrumentadas.	Execução do levantamento geofísicos na barragem e nas ombreiras Execução de dique que separa o fluxo da drenagem interna da barragem e drenagem superficial	Em Andamento	Executar novo levantamento geofísico na barragem EB2, após um ano da primeira investigação , com os mesmos métodos e arranjos executados em junho/2020, com vistas a acompanhar possíveis modificações nos padrões de circulação d'água em subsuperfície. Realizar investigação geofísica complementar, na região adjacente à ombreira esquerda, contemplando os taludes da Estação de Bombas 2 até o talude do acesso a plataforma de lançamento de minérios a fim de identificar caminhos preferenciais de água que não tenham sido detectados e que podem estar contribuindo para o acúmulo de água identificado nas caixas de passagem das elevações 565 e 575, comprometendo a segurança da barragem.
		Acúmulo de vegetação e sedimento próximo ao medidor de vazão.	Limpeza do local do medidor de vazão.	Atividade executada rotineiramente durante a manutenção da barragem. Entretanto a situação se mantém, sendo inclusive apontada como oportunidade de melhoria nos relatórios de revisão trimestral de segurança	A Atender	
	Ombreiras	Deficiência em alguns trechos da vegetação tanto na ombreira direita como na ombreira esquerda.	Recomposição da cobertura vegetal.	Foram executadas tentativas de recompor a vegetação em alguns trechos, entretanto alguns locais permanecem com deficiências de proteção vegetal.	A Atender	Realizar novos estudos e buscar técnicas para estabilização dos taludes

Continua...

Quadro 3.3.8 - Apontamentos IPT e ações Anglo American referentes às **oportunidades de melhoria** associadas aos aspectos geológico-geotécnicos observados na barragem EB-2 do Mineroduto Minas-Rio
...Continuação

ASP ECT	OBSERVAÇÃO DE CAMPO ETAPA 1	RECOMENDAÇÕES IPT	MEDIDAS TOMADAS PELA ANGLO AMERICAN	STATUS	CONSIDERAÇÕES IPT
Ombreiras	Processo erosivo no talude de encontro da ombreira direita com o corpo da barragem	Monitoramento do processo erosivo, para verificar se as medidas de contenção já tomadas foram suficientes para controle do processo.	Executado tratamento com paliçada, reaterro, sacos de solo-cimento e geotêxtil. A cobertura vegetal encontra-se em processo de desenvolvimento, com parcelas do maciço terroso ainda expostas, suscetíveis a processos erosivos superficiais	Em andamento	Realizar novos estudos e buscar técnicas para estabilização dos taludes.
Instrumentação	Não foram identificadas anomalias nos instrumentos instalados no corpo da barragem	Instalação de marcos superficiais para monitoramento de deslocamentos verticais e horizontais do corpo da barragem.	Instalação de instrumentos adicionais (piezômetros e indicadores de nível d'água) no corpo da barragem. Instalação de estação robótica e prismas para identificação de deslocamentos no corpo da barragem	Em andamento	Ressalta-se a necessidade da continuidade do monitoramento durante toda a vida útil do empreendimento.

Fonte: IPT

e. Furos direcionais, denominados de HDDs (*Horizontal Directional Drilling*)

As atividades realizadas nos trechos em que o Mineroduto, Sistema Minas – Rio - Anglo American tem sua transposição por meio de furos direcionais – HDD (*Horizontal Directional Drilling*) consistiram de inspeção técnica de campo e da análise de documentos técnicos fornecidos pela empresa.

O **Quadro 3.3.9** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.9 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado

Objetivos da atividade de avaliação dos HDDs	Principais conclusões
<p>Avaliação das condições estruturais do mineroduto nos trechos de emboque e desemboque dos HDDs e das condições geológico-geotécnicas das áreas adjacentes que possam impor ameaça/risco ao empreendimento e ao meio ambiente</p>	<p>A partir das inspeções realizadas e dos documentos técnicos consultados, este Instituto considera que não existem, no momento, ameaças à operação do empreendimento quando se consideram os aspectos geológico-geotécnicos nos emboques dos HDDs. No entanto, para a manutenção da operação e identificação preventiva de danos ao sistema do Mineroduto, é necessário considerar as medidas técnicas recomendadas no Parecer Técnico nº 21150-301.</p>
<p>Avaliação dos trabalhos realizados por empresas contratadas pela Anglo American visando a estimativa da cobertura de sedimentos e a localização dos trechos submersos dos HDDs que atravessam o Rio Piracicaba, Paraíba do Sul e Doce por meio da aplicação de técnicas geofísicas</p>	<p>Os resultados obtidos nos levantamentos geofísicos realizados com a técnica de GPR mostraram-se satisfatórios para o trecho de travessia sob Rio Piracicaba, sendo possível identificar a posição do mineroduto nesse local. Entretanto, os resultados apresentados para as travessias sob os rios Paraíba do Sul e rio Doce não foram satisfatórios devido às características do material geológico em subsuperfície que, possivelmente, apresenta valores elevados de condutividade elétrica, limitando a penetração do sinal, não permitindo o alcance das profundidades nas quais o mineroduto está posicionado.</p>

A descrição detalhada das atividades realizadas nesse tema encontram-se descritas no Apêndice C do Parecer Técnico nº 21.150-301 (Parecer Técnico Parcial da Etapa 2) emitido em outubro de 2019.

A partir dos resultados obtidos nessas atividades, técnicos do IPT sugeriram à equipe de técnicos da Anglo American medidas consideradas como oportunidades de melhora, cuja finalidade é monitorar e, eventualmente, identificar preventivamente possíveis problemas de cunho operacional e geotécnico nas estruturas do mineroduto, nos trechos executados por meio de furos direcionais.

Os técnicos do IPT consideram que, atualmente, não existem ameaças críticas, tampouco menores ao mineroduto nos trechos dos emboques dos 11 HDDs inspecionados.

f. Estações de Monitoramento de Pressão (PMS)

A avaliação dos trabalhos executados acerca das condições estruturais das PMS's está descrita no Parecer Técnico IPT 159 992 – 205. O

Quadro 3.3.10 indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos. A **Tabela 3.3.3** apresenta a relação de documentos disponibilizados e suas respectivas revisões.

Quadro 3.3.10 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das PMS	Principais conclusões
Inspeção das estruturas civis de 10 Estações de Monitoramento de Pressão (PMS)	As evidências apresentadas nos documentos relacionados na Tabela 3.3.3 e com base nas inspeções realizadas por esse Instituto, cujos relatos de campo do período de 29/07 a 06/08/2019, encontram-se no Parecer Técnico 159 992 – 205, permitiram a identificação da realização de ações preventivas e corretivas, pela Anglo American, das anomalias apontadas no parecer da Etapa 1.

Fonte: IPT

Tabela 3.3.3 - Documentos fornecidos pela Anglo American das inspeções realizadas nas Estações de Monitoramento de Pressão (PMS).

PMS Localização (KM)		Evidências (documentos fornecidos pela Anglo American)	Datas das inspeções realizadas pela Anglo American (evolução ao longo do tempo) “revisões das inspeções (Rn)”		
			R0	R1	R2
PMS 1	KM 38	RL-1301-10-31622	09/12/19	23/09/19	-
		RL-1301-10-31771	02/04/20	-	-
PMS 2	KM 82	RL-1307-10-31623	20/07/19	18/12/19	-
		RL-1307-10-31770	28/05/20	-	-
PMS 3	KM 114	RL-1401-10-31624	22/07/19	21/10/19	11/12/19
		RL-1333-10-31746	14/04/20	-	-
		RL-1333-10-31827	09/09/20	-	-
PMS 4	KM 185	RL-1310-10-31621	19/07/19	07/10/19	30/12/19
		RL-1310-10-31728	13/04/20	-	-
		RL-1310-10-31833	14/09/20	-	-
PMS 5	KM 280	RL-1317-10-31615	17/07/19	26/11/19	-
		RL-1317-10-31732	14/04/20	-	-
PMS 6	KM 295	RL-1319-10-31616	17/07/19	26/11/19	-
		RL-1319-10-31734	14/04/20	-	-
PMS 7	KM 314	RL-1320-10-31617	30/07/19	21/12/19	-
		RL-1320-10-31736	20/04/20	-	-
PMS 8	KM 333	RL-1322-10-31618	29/07/19	23/12/19	-
		RL-1322-10-31735	09/04/20	-	-
PMS 9	KM 424	RL-1327-10-31626	17/07/19	12/12/19	-
		RL-1327-10-31768	13/04/20	-	-
PMS 10	KM 466	RL-1330-10-31627	20/07/19	12/12/19	-
		RL-1330-10-31761	11/05/20	-	-

Fonte: IPT

g. Estações de Bombeamento EB-1 e EB-2

Os trabalhos realizados pelo IPT no ano de 2020 nas Estações de Bombeamento, EB1 e EB2, se deram em períodos diferentes, sendo que o da EB1 ocorreu antes da pandemia de Covid 19 com a presença em campo da equipe do IPT inspecionando as estruturas de apoio e fixação no mineroduto nas dependências dessa estação, no período de 13 a 17 de janeiro de 2020, cujos resultados estão mostrados no Relatório Técnico 159.908-205 datado de 18/05/2020 (**Apêndice E**).

Numa segunda fase, nos meses de novembro e dezembro de 2020, após o início do período de quarentena decorrente da pandemia, as atividades de campo da EB2 foram realizadas pela equipe da Anglo American, tendo como base as orientações e treinamento virtual, ministrados pelo IPT, por meio de videoconferências, com uso da Plataforma Teams, sendo informadas as atividades a serem realizadas, mostrando os procedimentos de inspeção, os desenhos de referência com as indicações das bases e nomenclaturas existentes e o preenchimento de fichas de inspeção, com as indicações das bases e as respectivas anomalias observadas. Foi utilizado para esse treinamento o Relatório Técnico da Estação de Bombeamento EB1, como referência e norteamento dos trabalhos a ser realizados pela Equipe da Anglo American.

Os resultados das avaliações das bases de apoio e fixação do mineroduto na EB2 estão apresentados no Relatório Técnico 161.758-205, de 29/01/2021 **(Apêndice F)**.

O **Quadro 3.3.11**, a seguir, indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.11 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das Estações de Bombeamento EB1 e EB2	Principais conclusões
<p>Avaliar as estruturas civis (metálicas e de concreto armado) de apoio e fixação do mineroduto nas dependências das Estações de Bombeamento (EB1 e EB2) quanto ao estado de conservação, visando a segurança estrutural.</p>	<p>As inspeções realizadas nas bases de apoio e fixação do mineroduto, nas dependências da EB1 e EB2, possibilitaram que esse Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pudesse identificar, avaliar e analisar as anomalias observadas, permitindo averiguar a segurança da integridade estrutural desses elementos de apoio do mineroduto.</p> <p>As anomalias observadas não apresentam evidências quanto à possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessas Estações, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.</p> <p>As documentações disponibilizadas pela Anglo American, apresentam critérios de inspeção, classificação, avaliação e recuperação das anomalias relacionadas a integridade estrutural das obras civis da Anglo American; entretanto, não foram identificados nesses documentos, procedimentos específicos de inspeção e manutenção dessas bases de apoio e fixação dos dutos e do mineroduto nas dependências dessas Estações.</p> <p>Como oportunidades de melhoria, destaca-se a realização das recuperações dos locais com anomalias e a inclusão/adequação de procedimentos de inspeção e manutenção periódica das bases de apoio e fixação do mineroduto nas dependências dessas Estações de Bombeamento, além de treinamentos das equipes para realização dessas atividades de inspeção e manutenção desses elementos.</p> <p>Conforme informações da Anglo American, será contratada uma empresa para realização de todos os serviços de manutenção das anomalias observadas.</p>

Fonte: IPT

As anomalias observadas nas Estações de Bombeamento EB1 e EB2, conforme já mencionado anteriormente, não apresentam evidências quanto a possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessas Estações, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.

Cabe salientar que no relatório da EB1, Relatório Técnico 159.908-205, é apresentado o Quadro 2, com a indicação das prioridades das atividades de manutenção, o que **não está diretamente relacionado ao risco iminente quanto a segurança estrutural**. Esse quadro tem como finalidade orientar as equipes da Anglo American, quanto as prioridades das ações de manutenção a ser tomadas nessas bases de apoio. De maneira a não haver interpretações difusas em relação às urgências de atividades de manutenção, optou-se por uma explanação no texto do relatório acerca dos aspectos relacionados a manutenção dessas anomalias observadas, no relatório da EB2.

Com relação aos taludes da EB1, ressalta-se que em 2019 técnicos do IPT realizaram vistoria técnica expedita em alguns taludes da EB1 e de seu reservatório de água, não tendo sido identificadas “ameaças críticas” à operação do Mineroduto no contexto dos taludes da EB-1, ou seja, não foram identificados cenários de rompimento do mineroduto por fatores externos decorrentes de movimentos de massa e erosões nesse local.

Os “aspectos passíveis de melhorias” apontados pelo IPT foram atendidos pela Anglo American, que incluiu os taludes da EB-1 no Programa de Gestão de Riscos desenvolvido especificamente para a área industrial e administrativa da Mina do Sapo, utilizando a mesma lógica de gestão de riscos empregada para o trecho do mineroduto. Esse programa apresenta ações de verificação, controle, recuperação e manutenção constantes, elaboradas conforme os apontamentos feitos pelo “Farol de Anomalias e Ações” estabelecidas no Plano de Redução e Manutenção de Riscos. A descrição detalhada das atividades realizadas encontra-se no **Apêndice G** deste Parecer.

h. Estação de Válvulas

Nos meses de novembro e dezembro de 2020 as atividades de campo na Estação de Válvulas – EV foram realizadas pela equipe da Anglo American, tendo como base as orientações e treinamento virtual ministrados pelo IPT, com os mesmos

critérios apresentados na EB2.

Os resultados das avaliações das bases de apoio e fixação do mineroduto na EV, também estão apresentados no Relatório Técnico 161.758-205, de 29/01/2021 **(Apêndice F)**.

As anomalias observadas na Estação de Válvulas EV, conforme já mencionado anteriormente, não apresentam evidências quanto à possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessa Estação, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.

Conforme informações da Anglo American, será contratada uma empresa para realização de todos os serviços de manutenção das anomalias observadas.

O **Quadro 3.3.12**, a seguir, indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.12 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação da Estação de Válvulas	Principais conclusões
<p>Avaliar as estruturas civis (metálicas e de concreto armado) de apoio e fixação do mineroduto nas dependências da Estação de Válvulas (EV) quanto ao estado de conservação, visando a segurança estrutural.</p>	<p>As inspeções realizadas nas bases de apoio e fixação do mineroduto, nas dependências da EV, possibilitaram que esse Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pudesse identificar, avaliar e analisar as anomalias observadas, permitindo averiguar a segurança da integridade estrutural desses elementos de apoio do mineroduto. As anomalias observadas não apresentam evidências quanto à possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessa Estação, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.</p> <p>As documentações disponibilizadas pela Anglo American, apresentam critérios de inspeção, classificação, avaliação e recuperação das anomalias relacionadas a integridade estrutural das obras civis da Anglo American, entretanto, não foram identificados nesses documentos, procedimentos específicos de inspeção e manutenção dessas bases de apoio e fixação dos dutos e do mineroduto nas dependências dessa Estação.</p> <p>Como oportunidades de melhoria, destaca-se a realização das recuperações dos locais com anomalias e a inclusão/adequação de procedimentos de inspeção e manutenção periódicos das bases de apoio e fixação do mineroduto nas dependências dessa Estação, além de treinamentos das equipes para realização dessas atividades de inspeção e manutenção desses elementos.</p>

Fonte: IPT

i. Estação Terminal

Nos meses de novembro e dezembro de 2020 as atividades de campo na Estação Terminal – ET foram realizadas pela equipe da Anglo American, tendo como base as orientações e treinamento virtual ministrados pelo IPT, com os mesmos critérios apresentados na EB2.

Os resultados das avaliações das bases de apoio e fixação do mineroduto na ET, estão apresentados no Relatório Técnico 161.758-205, de 29/01/2021 (Apêndice F).

O **Quadro 3.3.13** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.13 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação da Estação Terminal	Principais conclusões
<p>Avaliar as estruturas civis (metálicas e de concreto armado) de apoio e fixação do mineroduto nas dependências da Estação Terminal (ET) quanto ao estado de conservação, visando a segurança estrutural.</p>	<p>As inspeções realizadas nas bases de apoio e fixação do mineroduto, nas dependências da ET, possibilitaram que esse Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pudesse identificar, avaliar e analisar as anomalias observadas, permitindo averiguar a segurança da integridade estrutural desses elementos de apoio do mineroduto. As anomalias observadas não apresentam evidências quanto à possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessa Estação, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.</p> <p>As documentações disponibilizadas pela Anglo American, apresentam critérios de inspeção, classificação, avaliação e recuperação das anomalias relacionadas a integridade estrutural das obras civis da Anglo American, entretanto, não foram identificados nesses documentos, procedimentos específicos de inspeção e manutenção dessas bases de apoio e fixação dos dutos e do mineroduto nas dependências dessa Estação.</p> <p>Como oportunidades de melhoria, destaca-se a realização das recuperações dos locais com anomalias e a inclusão/adequação de procedimentos de inspeção e manutenção periódicos das bases de apoio e fixação do mineroduto nas dependências dessa Estação, além de treinamentos das equipes para realização dessas atividades de inspeção e manutenção desses elementos.</p>

Fonte: IPT

As anomalias observadas na Estação Terminal ET, conforme já mencionado anteriormente, não apresentam evidências quanto a possíveis cenários iminentes de vazamento do mineroduto no interior dessa Estação, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no intuito de evitar danos futuros que venham a causar riscos quanto a segurança da operação.

Conforme informações da Anglo American, será contratada uma empresa para realização de todos os serviços de manutenção das anomalias observadas.

j. Áreas de deposição de material excedente (ADME's)

Ao longo do empreendimento executaram-se 320 ADMEs, distribuídas ao longo dos três trechos, e com distâncias em geral inferiores a 500 m da faixa de servidão do mineroduto.

A seleção das ADMEs vistoriadas em campo foi feita, previamente em escritório, com base nos seguintes critérios:

- I. Proximidade da faixa do mineroduto e de vias de transporte;
- II. Presença de edificações ou outras benfeitorias no entorno;
- III. Local com suscetibilidade elevada a movimentos de massa;
- IV. Existência de áreas com solos moles (brejos);
- V. Presença de túneis ou passagens aéreas próximas;
- VI. Registros de alterações geométricas na conformação das ADMEs; e
- VII. Resultados da avaliação ambiental feita pela Anglo American em 2018.

A **Tabela 3.3.4** sumariza as informações técnicas das 32 ADMEs selecionadas e vistoriadas ao longo do ano de 2019, o que representa 10% do número total de áreas previstas no projeto inicial. As vistorias foram de caráter expedito e não podem ser consideradas como inspeções detalhadas das estruturas observadas, pois não foram realizadas amostragens dos materiais depositados, leituras de eventuais instrumentações existentes, medição de vazão em drenos, tampouco levantamento geométrico da conformação atual das ADMEs, dentre outros aspectos de projeto.

Na análise dos aspectos geológico-geotécnicos observados nas vistorias não foram encontradas ameaças à integridade do mineroduto. Observações de campo apontaram a presença de processos erosivos, em sua grande maioria superficiais, risco de quedas pontuais de blocos e de movimentos de rastejo localizados. Há, no entanto, uma oportunidade de melhoria associada ao monitoramento de eventuais intervenções nos corpos das ADMEs, feitas pelos próprios proprietários das áreas usadas para depósito. Estas intervenções alteram a geometria prevista em projeto e podem vir a gerar movimentos de massa, com consequentes instabilizações do conjunto.

Tabela 3.3.4 - Áreas de depósito de material excedente (ADMEs) vistoriadas ao longo do mineroduto

Nº da ADME	Dados de Projeto		Localização Real em Campo (km)
	Estaca	km	
586	21593	431,10	438
1026	2 var 1H	68,48	78
1077	1149	22,98	28
1103	2156	43,12	52
1117	3855	77,10	86
1148	317 var 1N	94,74	105
1163	415	8,30	13
1200	11800	236,00	247
1207	15290 - 45 var 2AN	305,80	318
1209	14808	296,16	308
1229	82 var 2J	277,60	289
1230	97 var 2L	284,70	296
1237	15 var 2F	234,90	246
1241	56 var 2J	277,20	289
1245	12750	255,00	267
1265	129 var 2G	239,28	251
1266	185 var 2G	240,40	252
1291	11580	231,60	243
1299	12500	250,00	261
1313	85 var 2L	284,60	296
1347	15155	303,10	315
1356	11180	223,60	235
1412	18860	377,20	383
1415	18170	363,40	371
1428	127 var 3AJ	339,80	352
1430	20825	416,50	423
1446	17830	356,60	388
1466	17830	356,60	363
1501	315 var 2AA	457,50	463
2211	103 var 2AX	172,56	184
2213	86 var 2CA	173,38	186
2254	7528	150,56	163

Fonte: IPT

A Anglo American tinha como procedimento padronizado o monitoramento das ADMEs apenas no que tange aos aspectos ambientais, mais particularmente à existência de cobertura vegetal das áreas e de eventuais processos erosivos. A criação de uma rotina de inspeções específica nas ADMEs, incluindo aspectos geológico-geotécnicos, assim como praticado ao longo da faixa de servidão, foi uma das recomendações dadas por esse Instituto ao longo das auditorias. Outras sugestões de melhorias, relativas às ADMEs, estão abaixo sumarizadas:

- Orientação dos proprietários quanto ao uso e ocupação das áreas das ADMEs. Para tanto, sugere-se a elaboração de um Guia de Orientação, em linguagem de fácil entendimento e ilustrada, que alerte os proprietários quanto aos riscos envolvidos em eventuais obras executadas na região das ADMEs e, também, quanto às manutenções periódicas necessárias para garantir a estabilidade das áreas.
- Monitoramento e eventual revegetação das áreas afetadas por processos erosivos, visando minimizar os riscos de instabilização dos maciços e evitar o agravamento da situação. Para tanto é preciso selecionar adequadamente as espécies a serem plantadas, pois algumas plantas podem contribuir, por exemplo, por meio do acúmulo de água, para instabilização dos maciços das ADMEs.
- Comunicação formal aos proprietários das ADMEs que sofreram intervenções, com alerta de que tais alterações podem modificar as condições de estabilidade das mesmas.

À exceção do Guia de Orientação, as demais ações estão incorporadas aos planos de monitoramento e de gestão de riscos atuais da empresa, representando um avanço significativo no controle das áreas de depósito de materiais e, por conseguinte, na redução dos riscos de ocorrência de problemas que possam vir a gerar vazamentos do mineroduto.

O **Quadro 3.3.14**, a seguir, indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.3.14 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das ADME's	Principais conclusões
Avaliação da estabilidade das áreas de depósito de material excedente (ADME) e das condições geológico-geotécnicas das áreas adjacentes que possam colocar a faixa de servidão do mineroduto e/as adjacências em ameaça/risco	Não foram identificadas ameaças à integridade do mineroduto associadas às ADMEs, mas sim oportunidades de melhoria no processo de monitoramento das ADMEs, o qual deve incluir a análise de aspectos geológico-geotécnicos e procedimentos padronizados e formais de relacionamento com os proprietários das áreas.

Fonte: IPT

k. Pontos de cruzamento do mineroduto com obras de infraestruturas (rodovia, ferrovia e gasoduto, entre outros)

A metodologia de trabalho para avaliação da existência de ameaças ao mineroduto, sob o ponto de vista geológico-geotécnico, no contexto dos pontos de cruzamento, consistiu na realização de atividades de vistoria técnica de campo, em caráter amostral, e na análise de registros documentais fornecidos pela Anglo American.

A seleção dos pontos de cruzamento vistoriados foi feita com base nos seguintes critérios:

- I. Tipo de infraestrutura existente (rodovia, ferrovia e dutovia);
- II. Porte da infraestrutura existente; e
- III. Local com suscetibilidade elevada a movimentos de massa.

A **Tabela 3.3.5**, a seguir, sumariza as informações técnicas dos 11 pontos vistoriados. Este número de vistorias corresponde a um percentual de 5,7% de cruzamentos com infraestruturas identificados como notáveis na classificação efetuada pela Anglo American. Dentre às limitações intrínsecas às atividades executadas pelos técnicos deste Instituto durante as vistorias, destacam-se:

- as vistorias dos pontos de cruzamentos e em seus entornos foram qualitativas e visuais, considerando-se apenas as infraestruturas aparentes; e
- não foram realizadas investigações em campo que permitissem identificar a correta posição do duto em relação às infraestruturas que o cruzam ao longo de seu traçado.

Tabela 3.3.5 - Pontos de cruzamento vistoriados ao longo do mineroduto.

Nº Ponto Notável	Tipo de infraestrutura	km
192	Rodovia Municipal	240
195	Duto da Samarco	242
182	Rodovia Municipal	224
116	Gasoduto Gasmig	140
011	Rodovia MG 229	011
271	Rodovia RJ 214	364
286	Rodovia RJ 210	399
303	Rodovia RJ 204	463
313	Gasoduto	486
261	Captação de água	350
311	Rodovia RJ 224	485

Fonte: IPT

As observações realizadas nas vistorias técnicas de campo nos pontos de cruzamento indicados na tabela acima não apontaram a existência de patologias que suscitem preocupações quanto à integridade do duto. No entanto, deve-se destacar que nos cruzamentos com rodovias, em casos de acidentes ou necessidade de quaisquer intervenções, os impactos decorrentes aos usuários e comunidades do entorno são relevantes, justificando ações periódicas de monitoramento.

A mesma observação acima vale no cruzamento com o ponto de captação de água, no qual eventuais intercorrências podem comprometer o abastecimento de comunidades próximas.

Assim, considerando-se a vida útil do empreendimento, recomenda-se a manutenção dos procedimentos de vistoria e monitoramento periódicos já realizados nestes pontos e também nos demais, existentes ao longo de toda a faixa de servidão.

A correlação dos registros de vistoria com os dados de PIG contribui para a efetividade das ações preventivas, dado que a identificação prévia de problemas com o PIG em regiões onde há pontos de cruzamento permite a tomada de ações que minimizem os impactos à sociedade e meio ambiente. Em caso de suspeita de danos, o uso de técnicas de ensaios geofísicos podem também auxiliar na identificação da posição dos dutos nos pontos de cruzamento.

O **Quadro 3.3.15** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.15 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação dos pontos de cruzamento	Principais conclusões
Avaliação amostral das interferências e condições de cobertura do mineroduto que atravessa obras de infraestrutura, tais como rodovias, ferrovias ou gasodutos	Não foram identificadas patologias nos pontos de cruzamento que possam comprometer a integridade do mineroduto. Recomenda-se manter as vistorias periódicas como medida de precaução, comparando-as com os resultados de PIG e eventuais ensaios geofísicos.

Fonte: IPT

Por fim, atenção especial deve ser dada aos pontos de cruzamento com outros dutos, cuja segurança global depende de ação conjunta das empresas responsáveis, sendo necessário um plano de comunicação em tempo real em casos de ocorrências que possam vir a comprometer a integridade do mineroduto.

I. Avaliação dos níveis de vibrações sísmicas

Esse tema visa avaliar as atividades relacionadas as vibrações sísmicas advindas da operação do Mineroduto; O **Quadro 3.3.16** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento das atividades.

Quadro 3.3.16 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação das vibrações sísmicas	Principais conclusões
<p>Avaliação e acompanhamento das atividades associadas à determinação dos níveis de vibração sísmica na área de influência do mineroduto, com atenção em determinadas estruturas localizadas na Estação de Bombeamento (EB1 e EB2), Estação de Válvulas, trechos com a tubulação em superfície e sobre os pipe racks e em comunidades próximas em especial as localizadas em: Conceição do Mato Dentro (comunidade Turco), Abre Campo e Tombos</p>	<p>Atualmente o Programa de Medidas de Vibrações Sísmicas encontra-se na Fase B de implantação, tendo sido instalados, até o momento, sismógrafos nos pontos de monitoramento dentro da faixa de domínio do mineroduto na região de Conceição do Mato/MG (Comunidade do Turco e EB-1).</p> <p>A empresa apresenta capacidade técnica de fornecer um registro frequente e consistente de monitoramento de vibrações de partículas nos pontos em que foram instalados os sismógrafos de engenharia, o que possibilita a identificação de anomalias na operação do mineroduto e sua correlação com as reclamações registradas pelos moradores das comunidades lindeiras.</p> <p>A empresa vem executando grande parte das premissas apontadas para a Fase B do Programa, inclusive inserindo a transmissão dos dados do monitoramento em tempo real, por meio do sistema <i>Sentinel</i> (painel instalado na Estação Ciência da empresa, em Conceição do Mato Dentro, que aponta em tempo real as atividades monitoradas).</p> <p>O IPT recomenda que os sismógrafos das outras estações propostas para a Fase B sejam instalados e ressalta a necessidade de que esse acompanhamento sismográfico seja realizado durante toda a vida útil do empreendimento. É importante também que sejam mantidos canais de comunicação constantes entre a população eventualmente impactada e a empresa Anglo American</p>

O Programa de Monitoramento de Medidas de Vibrações Sísmicas está sendo implantado pela Anglo American desde 2017, e tem como objetivo identificar a ocorrência de anomalias associadas às vibrações das partículas no subsolo, oriundas da operação do mineroduto, bem como o diagnóstico de suas causas.

Esse Programa visa identificar, por meio de metodologia científica, se existe uma correlação entre as reclamações dos moradores e os valores de vibração de partículas e frequência de ondas medidas nos sismógrafos de engenharia instalados nos pontos de monitoramento, sobretudo na região da Comunidade do Turco.

Adicionalmente, esse Programa permite à empresa identificar “picos” no registro de vibrações de partículas e associá-los exclusivamente às etapas operacionais do mineroduto, excluindo-se eventuais interferências externas que poderiam ocasionar tais “picos”, principalmente nas comunidades onde os sismógrafos estão instalados.

A Anglo American concluiu, até o momento, as instalações dos sismógrafos na região de Conceição do Mato Dentro (EB-1 e Comunidade do Turco), previstas no cronograma da Fase B do Programa de Monitoramento de Vibrações do Mineroduto - Sistema Minas – Rio, conforme documentação fornecida ao IPT.

A partir da análise de documentos técnicos fornecidos pela Anglo American e das observações da inspeção de campo, considera-se que a Anglo American apresenta capacidade técnica de fornecer um registro frequente e consistente de monitoramento de vibrações de partículas nos pontos em que foram instalados os sismógrafos de engenharia, o que possibilita a identificação de anomalias na operação do mineroduto e sua correlação com as reclamações registradas pelos moradores das comunidades lindeiras.

As descrições detalhadas das atividades desenvolvidas pelo IPT nesse item encontram-se no **Apêndice H** deste Parecer.

3.3.3 Análise da gestão dos aspectos geológico-geotécnicos

Nesse tópico, buscou-se analisar a gestão dos aspectos geológico-geotécnicos. Durante o desenvolvimento do projeto foi possível acompanhar a evolução da empresa no gerenciamento desse tema. Comparando-se o gerenciamento atual da empresa com aquele que era executado no primeiro semestre de 2018, conclui-se que a gestão das ameaças geológico-geotécnicas que possuem potencial para eventualmente atingirem o duto ocasionando algum tipo de dano a sua integridade, avançou satisfatoriamente, tanto considerando as ações e ferramentas contratadas como na maturidade técnica dos colaboradores da empresa, acerca do tema.

Nesse contexto, a seguir serão apresentadas as constatações sobre o tema.

Durante a Etapa 2 do projeto, foram realizadas 12 vistorias de campo que compreenderam a vistoria de 10 das 12 tipologias de estruturas do Mineroduto. Além dessas 12 vistorias presenciais, foram vistoriadas de forma remota, por meio de fotos e vídeos (devido a restrições impostas pela Pandemia de COVID-19), as estruturas de apoio do Mineroduto nas estações de Bombas II, Válvulas e Terminal. Durante as vistorias foram verificadas as ações tomadas pela empresa no cumprimento das recomendações feitas pelo IPT na Etapa 1 do projeto e também a identificação de possíveis ameaças que poderiam comprometer a integridade do duto considerando, agora, a sua “vida útil” de operação.

Nesse contexto e a partir das vistorias de campo e da análise documental, não foram identificadas novas ameaças críticas ou menores (até março de 2021), apenas oportunidades de melhoria, as quais foram sumarizadas no tópico específico que trata do atendimento as ameaças e oportunidades de melhorias indicadas pelo IPT.

Como oportunidades de melhoria foram destacadas a realização das recuperações dos locais com anomalias, a inclusão/adequação de procedimentos de inspeção e manutenção periódicas dos elementos, treinamentos das equipes, a melhoria na rastreabilidade de documentos, identificação de recorrência de anomalias corrigidas, entre outras recomendações que estão sumarizadas no tópico de risco relativo à avaliação das ações tomadas pela empresa quanto as ameaças apontadas

pelo IPT durante as etapas 1 e 2 da auditoria.

De modo geral nota-se, que a empresa passou a “olhar para fora da sua faixa de servidão” visando compreender de que forma certas externalidades poderiam interferir no seu empreendimento, incorporando no seu monitoramento novas ferramentas de inspeção como drones e a tecnologia de *InSar*, por exemplo (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2).

A partir de 2018, houve o estabelecimento de uma equipe de Geotecnia dedicada ao monitoramento da faixa de servidão, incluindo o monitoramento e a identificação dos processos geológico-geotécnicos atuantes na faixa e seu entorno. Essa equipe passou a ter atividades e responsabilidades próprias e também a ser demandada por outros setores da Anglo American, a citar as equipes de meio ambiente e manutenção operacional de faixa.

Houve, por exemplo, integração desta equipe com os inspetores de faixa, de forma que treinamentos foram ministrados pela equipe de Geotecnia visando ampliar os aspectos a serem avaliados durante as vistorias de campo.

Nesse contexto, sugeriu-se a realização de novos treinamentos para que os inspetores de faixa e a equipe de meio ambiente, possam incorporar em suas inspeções um “olhar para fora da faixa de servidão”, atendendo-se às possíveis externalidades geológico-geotécnicas que possam interferir na integridade do empreendimento.

Alguns dos estudos desenvolvidos pela empresa, ao longo das Etapas 1 e 2 da auditoria, incluíram a elaboração de um mapa de Suscetibilidade a movimentos de massa (RL-1401-17-30000), a criação de um Plano de Gerenciamento de Riscos Geotécnicos (RL-1401-17-30001) incluindo a elaboração de Pontos Notáveis Geotécnicos, os quais tiveram uma pontuação de risco associada. Esses pontos passaram a nortear as vistorias de campo das equipes de Geotecnia e de Manutenção da Faixa.

A equipe de Geotecnia também contratou empresas terceiras para desenvolverem diversos estudos relativos ao tema da Linha 3 demonstrando seu interesse em evoluir na capacitação e no gerenciamento do tema. Podemos citar, por exemplo, os relatórios referentes aos Diagnósticos dos Túneis: aqueles relacionados à saúde estrutural dos mesmos (RL-1401-17-30501) e aos mecanismos de falha de Queda de Blocos e Fluxo Detrítico (RL-1401-17-55927; RL-1401-17-55925; RL-1401-17-55928) e também ao Diagnóstico Geotécnico de Taludes ao longo da Faixa (RL-0000-17-55303).

Ainda com relação aos processos geológicos-geotécnicos, outro diagnóstico que foi concluído durante a Etapa 2 foi o estudo em 9 locais identificados como susceptíveis aos mecanismos de queda de blocos e fluxo detrítico considerando as tipologias Taludes e Encostas e, Emboque de Túnel. As conclusões foram apresentadas pela empresa no documento RL-1401-17-30002_r0. O trabalho teve caráter prognóstico, preventivo e foi realizado por meio de análises cinemáticas e numéricas sofisticadas.

O relatório cita que os resultados do estudo serão base para a revisão da *Baseline* de Riscos do mineroduto, a ser desenvolvida ao longo de ano de 2021. Segundo o documento, dos 9 pontos avaliados, 4 pontos tiveram o potencial confirmado (Possível, Dano 4), nesse caso a ação indicada pela empresa foi de elaborar solução conceitual para Mitigação (barreiras físicas para quebra de energia e/ou proteção do duto) e também o monitoramento adicional por meio da integração com Optasense; os outros 5 pontos não tiveram o potencial confirmado (Improvável) e a ação deflagrada foi de monitorar por meio de ferramentas já existentes (Insar) e também pelas inspeções de rotina. Observa-se que esses estudos foram entregues em 03 de março de 2021 e, portanto, não foi possível uma análise crítica do material. Entretanto, considerando a importância do tema algumas considerações foram feitas nos tópicos específicos da linha 3.

Além dos diagnósticos específicos, a empresa passou a atuar de modo preventivo. Uma evidência (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2) disso está relacionada ao fato que os acumulados horários e diários de índices pluviométricos passaram a disparar inspeções geotécnicas na faixa. Para isso, consideraram-se os poços pluviométricos do CEMADEM dispostos ao longo da faixa e também a criticidade dos pontos notáveis anteriormente já identificados pela empresa. Como exemplo, temos os critérios adotados e ações a serem tomadas pela empresa considerando eventos chuvosos indicados na **Figura 3.3.2**.

O monitoramento da chuva foi considerado como sendo uma evidência de planejamento preventivo, pois são por meio de eventos chuvosos que ocorre a deflagração dos processos geológicos de alta energia, os quais podem representar dano potencial ao duto e sua integridade.

Figura 3.3.2 – Critérios e ações a serem tomadas pela empresa considerando eventos chuvosos.

INSTRUMENTATIONS AND MONITORING STRATEGY				
• TARP – Weather Conditions				
TRIGGER ACTION RESPONSE PLAN - CHUVAS ACUMULADAS				
Controle	Nível Verde	Nível amarelo	Nível laranja	Nível vermelho
Critério	Chuva Acumulada: <10mm/h ou <20 mm/24 h ou <30 mm/3d ou < 55 mm/5d	Chuva Acumulada: <40mm/h ou <70 mm/24 h ou <100 mm/3d ou <128 mm/5d	Chuva Acumulada: >40mm/h ou >70 mm/24 h ou >100 mm/3d ou >128 mm/5d	Chuva Acumulada: >50mm/h ou >150 mm/24 h ou >300 mm/3d ou >400 mm/5d
Probabilidade	Mais provável	Bastante provável	Neutro	Pouco provável
	0,99 - 0,85	0,7	0,5	0,15 - 0,001
AÇÕES ESPECÍFICAS				
Equipe de Geotecnia e Hidrogeologia Operacional (Mina, PDE, Site e MDT)	1) Manutenção das Inspeções Geotécnicas de Rotina.	1) Manutenção das Inspeções Geotécnicas de Rotina. 2) Intensificar acompanhamento das previsões meteorológicas.	1) Realização de Inspeção Extra Rotina (acionar TARP inspeção). 2) Avaliar necessidade de bloqueio de áreas, intervenções emergenciais em sistemas de drenagem ou da intensificação do monitoramento por instrumentos. 3) Realizar comunicação das áreas bloqueadas e das ações necessárias aos responsáveis.	1) Realização de Inspeção Extra Rotina (acionar TARP inspeção). 2) Avaliar necessidade de novos bloqueios, de evacuação de áreas a jusante ou de realização de obras emergenciais de reparos. 3) Realizar comunicação das áreas bloqueadas ou a serem evacuadas e das ações necessárias de reparação aos responsáveis.

Fonte: Anglo American (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2)

Como exemplo da aplicação desse monitoramento, observa-se que em fevereiro de 2021 ocorreu inspeção de campo adicional, pela equipe de geotecnia da empresa, para inspecionar pontos da faixa devido aos altos índices de chuva ocorridos na região de Carangola/MG. Sabendo da ocorrência dessas chuvas, o IPT questionou a empresa, por e-mail, no dia 23 de fevereiro de 2021 solicitando dados sobre este evento e informações adicionais.

Como resposta, a empresa retornou no mesmo dia citando que: *“A equipe de Geotecnia do Mineroduto esta em campo essa semana e na próxima, seguindo a TARP para inspeções extras com a chuva como gatilho. Hoje a amanhã estão na região de Santa Maria de Itabira, seguindo para Carangola logo após. Até o fim da próxima semana enviamos os diagnósticos dessas inspeções”*.

No dia 16 de março de 2021, a empresa respondeu que, em resumo, foram identificadas anomalias entre os km 296 ao km 424 (Região Carangola), indicando que, em sua percepção, não eram desvios que demandavam extrema urgência. Citaram que: *“no km 296 foi identificado um movimento de massa, com ruptura circular em solo residual e saprolito de gnaiss, que deslocou material em direção à estrutura da PMS”*. Salientando ainda que, *“em um possível evento de chuva, podemos ter aceleração e/ou deflagração de um evento de maior porte, colocando em perigo e comprometendo a integridade estrutural do talude e PMS. O acesso nesse local também apresenta pontos com material solto e processos erosivos dificultando a trafegabilidade”*.

Como tratativa interna da empresa, observa-se que a equipe de geotecnia orientou à equipe de manutenção operacional da faixa em como proceder, recomendando que: *“Devido à distância talude x PMS e inclinação, recomendamos a regularização de talude e acesso (limpeza, retirada de negativo e conformação); execução de contenção (tipo “paliçada”) e cobertura vegetal”*. Por fim, a empresa indicou que de acordo com sua rotina estariam finalizando o *dashboard* entre os dias 15 e 20 de março de 2021. A seguir estão indicadas algumas fotos que foram enviadas pela empresa ilustrando o processo ocorrido. O IPT conclui citando que a tratativa é coerente e está de acordo com o plano de monitoramento utilizado pela empresa.

Figura 3.3.3 – Fotografias enviadas pela empresa ilustrando o processo geológico-geotécnico deflagrado em função da chuva.



Fonte: enviado por e-mail pela Anglo American (Evidência chuvas Fevereiro 2021)

Outra evidência da evolução no tema foi que as inspeções estão sendo preenchidas por meio de aplicativo digital, instalado no celular dos colaboradores. Isso possibilitou a espacialização da anomalia *in situ* e a padronização na aquisição das informações. Na **Figura 3.3.4** temos algumas capturas de tela do referido aplicativo.

O programa de gestão de riscos geotécnicos (incluindo *softwares*, ferramentas, procedimentos e fichas de inspeções) é denominado internamente de GCP (*Ground Control Plan*). Com o estabelecimento desse plano, houve a definição de regra para quando o controle crítico é quebrado. Também houve uma regulação para gestão de riscos geotécnicos (taludes e escavações) trazendo mais robustez para a gestão da faixa e agregando mais conhecimento técnico sobre a faixa. O mapa de processos para esse programa de monitoramento está exemplificado na **Figura 3.3.5**.

Essas e outras ações que estão em andamento pela Anglo American, compõem o que eles denominaram de “Cronograma de Entregáveis MDT GTH rev. 03.02.21 22” (**Figura 3.3.6**), que corresponde ao que está sendo implementado pela empresa no tema envolvendo os aspectos geológico-geotécnicos. A **Figura 3.3.7** indica a evolução no gerenciamento do tema apresentado pela empresa.

Considerando a gestão de riscos operacionais da empresa, uma das ferramentas de gestão no âmbito corporativo do mineroduto é a Lista de Verificação dos Controles Críticos (LVCC). Esse controle faz parte da Segunda camada da Gestão de Riscos da empresa, a qual já foi descrita em detalhe nos relatórios anteriores.

A lista apresenta as perguntas de monitoramento, que possuem responsáveis, para o Evento Prioritário Indesejado (PUE). Essa lista é monitorada/atualizada uma vez por mês e seu preenchimento é feito por meio do *software* Enablom. Quando ocorrem desvios os mesmos são reportados para os níveis hierárquicos superiores da empresa. A lista possui controles preventivos e mitigadores.

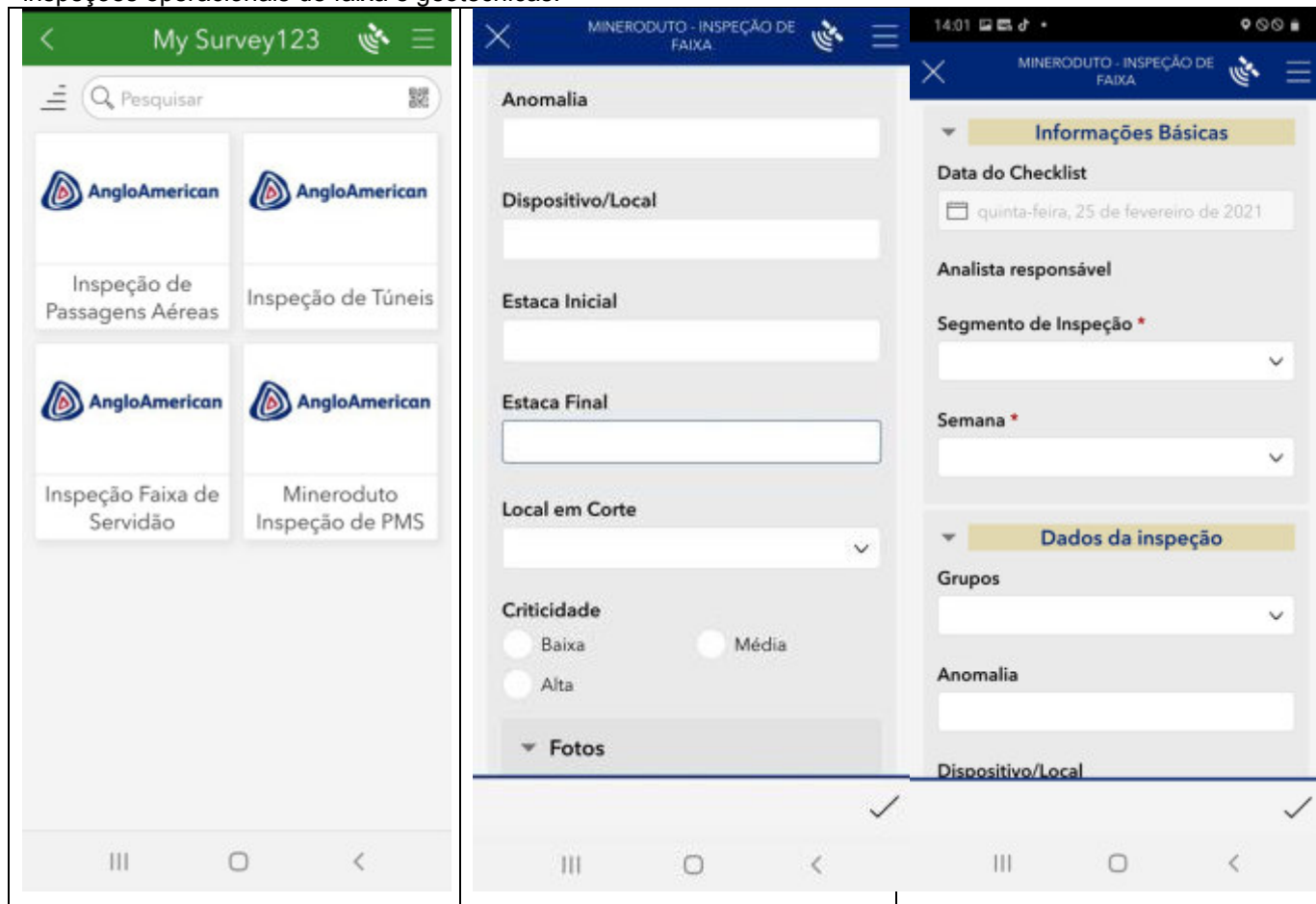
No caso da disciplina de Geologia-Geotecnia, com foco no Mineroduto, a Anglo American apresenta dois PUE's cada qual com sua LVCC específica, os PUE's estão listados a seguir:

- PUE: Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado (documento 17. LVCC Mineroduto Pressurizado Rev4);
- PUE: Perda de estabilidade de estruturas geotécnicas permanentes em faixas de servidão (documento 21. BT Estruturas Permanentes Faixa Servidão_Rev.0).

Nesse contexto, a equipe do IPT avaliou os referidos controles preventivos para o PUE - Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado, visto que o escopo da nossa auditoria é referente ao cenário hipotético de vazamento. De modo geral, a avaliação do IPT é que as perguntas são coerentes, entretanto cabem algumas considerações:

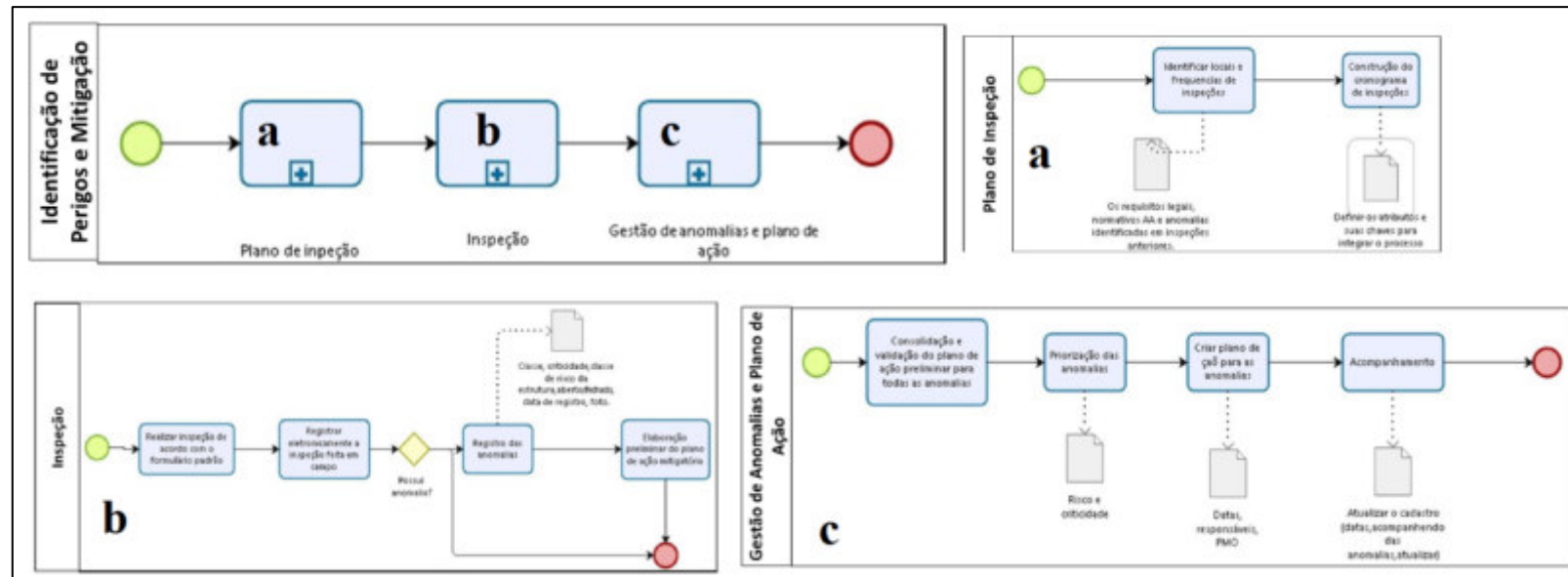
- A lista deve ser atualizada para incluir as novas ações que foram implantadas pela empresa como exemplo as ferramentas adquiridas e a inclusão de indices pluviométrico como gatilho para novas inspeções;
- As perguntas não remetem a respostas mensuráveis, mas assim as ações que serão deflagradas a partir das inspeções realizadas;
- As perguntas para o controle 19, referente ao monitoramento e controle de processos erosivos, parece estarem relacionadas ao contexto de atendimento de programas ambientais e não ao controle de processos erosivos, pois ações como revegetação mostram uma superficialidade, visão primária e generalista em relação aos processos de erosão que efetivamente trazem perigos ao duto em termos de sua integridade e potencial de perigo de vazamento;
- Poderia ser incluído controle adicional para estabelecer/acompanhar cronograma para estabelecimento das obras para prevenção de atingimento do duto em pontos considerados como tendo perigo/risco para processos geológico-geotécnicos.

Figura 3.3.4 – Capturas de tela indicando o aplicativo *My Survey* (Plataforma *Esri*) utilizado atualmente nas inspeções operacionais de faixa e geotécnicas.



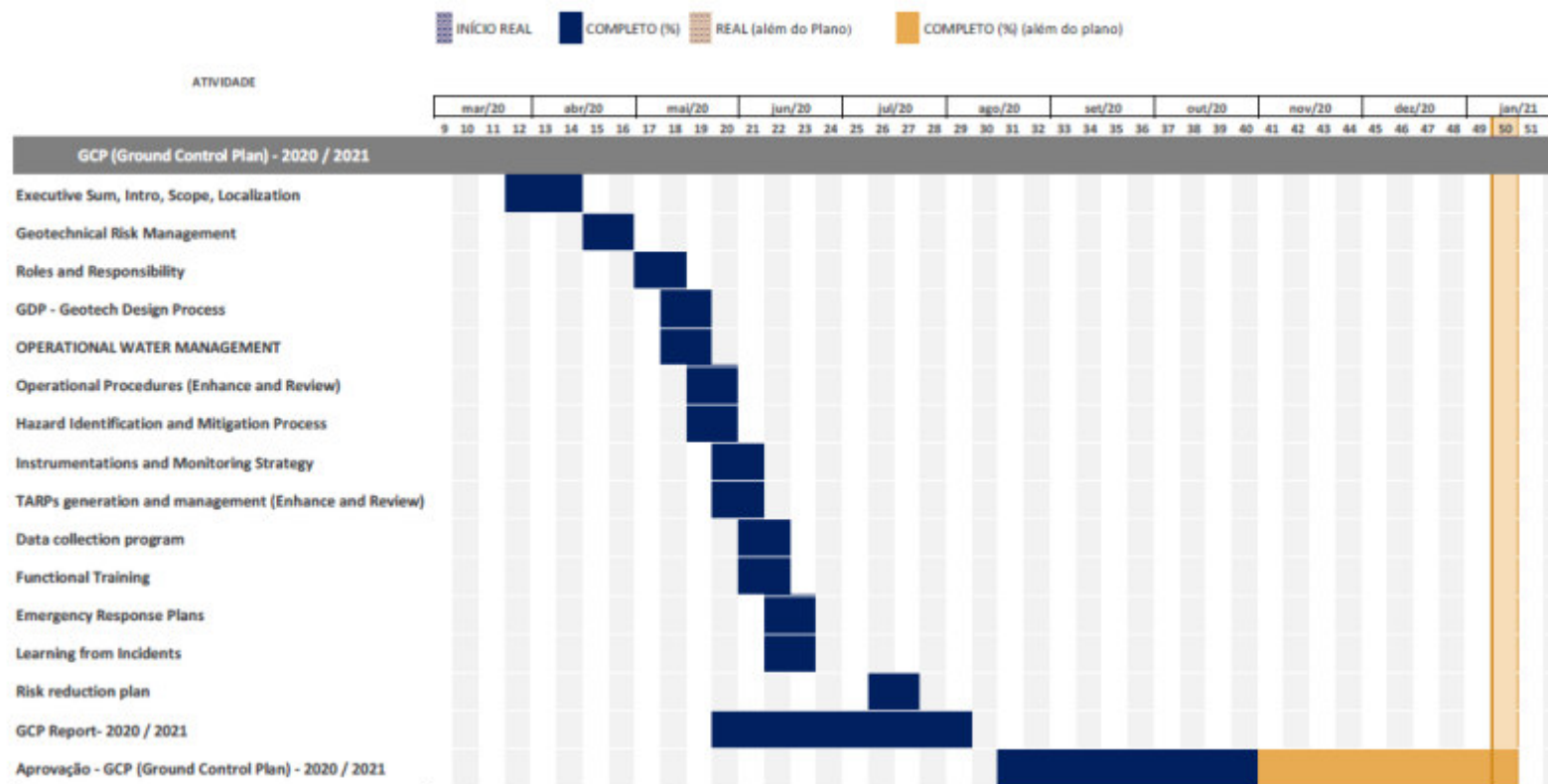
Fonte: Anglo American (Evidencia aplicativo inspeções geotecnia e operacional faixa)

Figura 3.3.5 - Mapa de processos do programa de gerenciamento de riscos geotécnicos.



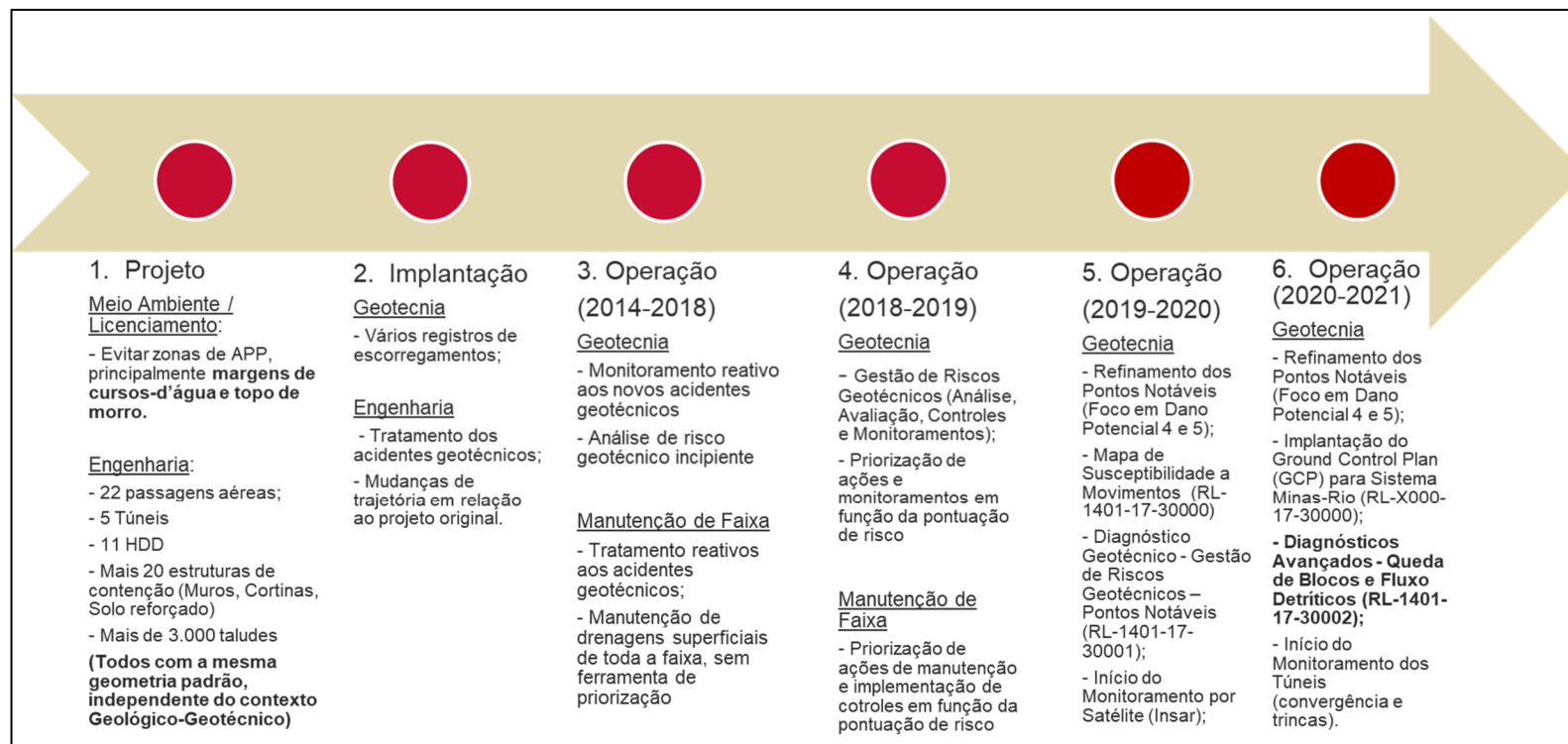
Fonte: Anglo American (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2)

Figura 3.3.6 - Cronograma de entregáveis da Equipe de Geotecnia do Mineroduto envolvendo os aspectos geológico-geotécnicos.



Fonte: Anglo American (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2)

Figura 3.3.7 - Diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.



Fonte: Relatório Anglo RL-1401-17-30002_r0

3.4 Gestão de Riscos do Mineroduto

No tema de Gestão de Riscos do Mineroduto, buscou-se analisar a forma como a Anglo American está estruturada para gerir os riscos a que está submetida e a forma com que ela tem lidado com seus riscos e eventos indesejados. Na auditoria também foram avaliados os riscos de acidentes e os planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência do empreendimento.

O objetivo do parecer final é o de compreender a efetividade da gestão de risco considerando as ações implantadas nas diversas equipes que conduzem a operação do mineroduto. Portanto, nesse parecer e no que se refere à gestão de riscos, são discutidos os temas:

- Avaliação da gestão de riscos da empresa;
- Avaliação da gestão de riscos das linhas 1,2 e 3;
- Gerenciamento do risco de invasão da faixa do duto;
- Relacionamento sócio institucional da empresa com foco no duto;
- Método e resultados da análise de suscetibilidade;
- Considerações finais sobre a vulnerabilidade;
- Método e resultados do modelo de risco;
- Avaliação do atendimento às ameaças apontadas pelos técnicos do IPT; e
- Recomendações.

O **Quadro 3.4.1** indica os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.4.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação da Gestão de Riscos	Principais conclusões
Identificar e avaliar os programas, planos, protocolos, estudos de identificação de riscos, análises de cenários de risco e outros documentos de interesse, e	Os mecanismos disponibilizados pela empresa se mostram satisfatórios para a eficiente gestão de riscos
As ações efetivas de gestão de risco das diversas atividades de operação do mineroduto conduzidas e coordenadas pela empresa	As medidas e ações adotadas mostraram-se efetivas na redução dos riscos identificados, no período avaliado

3.4.1 Avaliação da Gestão de Riscos do empreendimento e efetividade das medidas implementadas

A estrutura da gestão dos riscos operacionais da Anglo American foi descrita no parecer final da Etapa 1 (nº 21.079-301) e no Parecer Parcial da Etapa 2 (nº 21.150-301).

Nesse tópico serão avaliadas: a efetividade da gestão de riscos, a avaliação das atividades desenvolvidas pela empresa nas temáticas de Integridade, aspectos Hidráulico-Operacionais, Geológico-geotécnicos e o desenvolvimento da metodologia de análise de suscetibilidade ao cenário hipotético de vazamento do duto.

Nesse contexto, as atividades envolvidas na Etapa 2 foram compostas por auditorias de campo, reuniões técnicas (IPT-IPT; IPT-Empresa) e a avaliação de documentação técnica. Aconteceram 20 auditorias presenciais de campo durante o período de execução da Etapa 2, onde foram avaliados diversos temas. As atividades de campo estão sumarizadas entre o **Quadro 3.4.2** e o **Quadro 3.4.5**, a seguir, e o **Apêndice A** contém os relatos técnicos de campo.

Quadro 3.4.2 – Auditorias de números 1 a 6, ocorridas em 2019.

1ª auditoria - 10 a 14/06/2019:		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
1	10	Linha 4: Riscos
3		Linha 2: Hidráulico Operacional
3		Linha 3: Geotécnico geológico da faixa
3		Linha 3: Geotécnico geológico HDDs
2ª auditoria - 25 a 28/06/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 4: Risco - reconhecimento da gestão de risco da empresa
3ª auditoria - 01 a 04/07/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
4	11	Linha 3: Geotécnico geológico – ADME
4		Linha 3: Geotécnico geológico da faixa
3		Linha 3: Geotécnico geológico da faixa (corridas)
4ª auditoria - 15 a 26/07/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
4	6	Linha 3: Geológico-Geotécnico: Vistoria 10 PMS's + EV
2		Linha 4: Risco / Geológico-Geotécnico: Vistoria 10 PMS's + EV
5ª auditoria - 12 a 16/08/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 3: Geológico-Geotécnico: Vistoria as ADME's e pontos notáveis
6ª auditoria - 19 a 23/08/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
4	9	Linha 1: Integridade - EB1 – CMD
3		Linha 2: Hidráulico Operacional - EB1 – CMD
2		Linha 4: Risco - EB1 – CMD

Quadro 3.4.3 - Auditorias de números 7 a 13, ocorridas em 2019.

7ª auditoria - 26 a 29-30/08/2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	7	Linha 3: Geotécnico geológico -HDDs. HDD Rio Carangola – km 391/392 / HDD Rio Paraíba do Sul – km 506 / HDD S04 – km 522 / HDD S05 – km 517
2		Linha 3: Geotécnico geológico – ADME's. ADMEs nº 586, 1207, 1412, 1415, 1428, 1430, 1446, 1467 e 1501
3		Linha 3: Geológico-Geotécnico – vistoria de pontos notáveis na faixa. Pontos notáveis no Trecho 1: 106-160 km
8ª auditoria - 9 a 13/09/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
1	4	Linha 1: Integridade - vistoria das passagens aéreas - Inspeção visual do revestimento externo do mineroduto em partes aéreas.
3		Linha 3: Geológico-Geotécnico - vistoria das passagens aéreas: Levantamento do atendimento as ameaças críticas da etapa 1 (PA's) km 25A, 94A, 94B, 98, 103, 105, 112, 151, 160, 279, 280, 296 e 326
9ª auditoria - 16 a 19/09/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
3	3	Linha 3: Geológico-Geotécnico: 3.3.1 - Suscetibilidade - Região de Carangola
10ª auditoria - 07 a 09/10/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 1: Integridade - vistoriar troca de cupons pela IEC
		Linha 1: Integridade - vistoriar troca de cupons pela IEC
11ª auditoria - 21 a 25/10/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
3	3	Linha 3 Geológico-Geotécnico: Túneis
12ª auditoria - 06 a 07/11/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
5	5	Linha 4 Riscos: workshop Mapa de Vulnerabilidades
13ª auditoria - 25 a 28/11/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	4	Linha 3 Geológico-Geotécnico: Vibrações
2		Linha 4 Riscos: acompanhamento da equipe vibrações + Auditoria Mina do Sapo - simulado de evacuação

Fonte: IPT

Quadro 3.4.4 - Auditorias de números 14 a 19, ocorridas em 2020.

14ª auditoria - 26 a 28/11/ 2019		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
3	3	Linha 3 Geológico-Geotécnico: 3.3.1 - Suscetibilidade
15ª auditoria - 13 a 17/01/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
3	3	Linha 3 Geológico-Geotécnico: Inspeção estruturas EB1 e EB2
15ª auditoria - 13 a 16/01/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
4	4	Linha 3 Geológico-Geotécnico: inspeção de faixa no trecho 3
16ª auditoria - 20 a 24/01/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 1: Integridade - vistoria da troca dos cupons de corrosão
17ª auditoria - 27 a 31/01/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 2: Parâmetros hidráulicos - transdutores magnéticos para medir as flutuações rápidas do escoamento
18ª auditoria - 13 a 16/02/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	2	Linha 1: Acompanhamento troca cupons
19ª auditoria – 9 a 12/03/2020		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
2	3	Linha 4 Risco: treinamento lâmina de água Linha 4 Risco: treinamento barragem Linha 4 Risco: acompanhar auditoria de avaliação da aplicação da fibra ótica no monitoramento do Mineroduto na EB2 (uso para determinar invasão de faixa por terceiros). Conhecer o uso e aplicação da fibra ótica (sistemas “Optasense” e “HIFI”) na operação do mineroduto.
1		Linha 1: Integridade: Avaliação da aplicação da fibra ótica no monitoramento do Mineroduto na EB2 (uso para determinar invasão de faixa por terceiros). Conhecer o uso e aplicação da fibra ótica (sistemas “Optasense” e “HIFI”) na operação do mineroduto.

Fonte: IPT

Quadro 3.4.5 - Auditoria de número 20, ocorridas em 2021.

20ª auditoria – 22 a 26/02/2021		
Audidores por tema	Total auditores	Temas avaliados
1	3	Linha 4: Risco – acompanhamento das atividades de validação do monitoramento da proteção catódica e corrosão externa
2		Linha 1: validação do monitoramento da proteção catódica e corrosão externa

Fonte: IPT

De modo geral foi observado que os setores da empresa (relacionados aos temas integridade, hidráulico-operacional e geológico-geotécnico) evoluíram no conhecimento dos seus riscos (considerando o cenário hipotético de vazamento), para assim, geri-los adequadamente, buscando tornarem-se mais preventivos.

A área interna de gestão de riscos corporativa tem atuado no sentido de auxiliar as áreas operacionais na atualização de documentos de gestão de riscos como *bow tie*, *baseline* e LVCC para temas/PUE's específicos. Cabe a esta área interna promover melhorias no sentido de atuar como integrador e gestor das iniciativas que acontecem nos distintos setores da empresa para a gestão dos riscos operacionais.

Nesse contexto, uma atualização que está prevista para acontecer nos próximos anos e que atualmente está sendo desenvolvido na forma de piloto é a plataforma GDCC - Gestão Digital de Controles Críticos (IPT ORM Meeting 2021 rev01_002). O objetivo da plataforma é o de acompanhar de modo aqueles controles definidos como “Controle Crítico” (Segunda Camada de Gestão de Riscos da Anglo American). A atualização da planilha dos controles críticos é a maneira com que a corporação tenta promover o gerenciamento dos seus riscos na operação do Mineroduto para evitar o Evento Indesejado de “Perda de Contenção do Duto” (17. LVCC_Minieroduto Pressurizado_Rev.4).

Neste sentido, a empresa pretende acompanhar de forma próxima seus controles críticos (passar a ser digital e não manual/mensal). A nova plataforma visa à digitalização/automatização na busca das informações dos processos produtivos e de suas ferramentas e sistemas.

Com base nessas informações, avalia-se o desempenho do controle crítico (se está “quebrado” ou não) em um período de tempo mais curto que 1 mês e de modo mais automatizado, quando comparado ao monitoramento mensal atual, realizado por meio do *software* “Enablon”.

Atualmente estão sendo desenvolvidas iniciativas piloto: foram selecionados determinados riscos, como aqueles relacionados aos negócios e que possuíam familiaridade com plataformas digitais pré-existentes, para criar a possibilidade de automação do monitoramento.

No contexto do mineroduto, o “Evento Indesejado de Perda de Contenção do Mineroduto” foi escolhido como um dos pilotos a serem desenvolvidos.

Com relação à avaliação, aplicabilidade, efetividade da plataforma e ao desenvolvimento dos pilotos mencionados, a equipe do IPT entende não ser possível tecer considerações neste momento pelo atual estágio inicial em que se encontram, ainda que esta medida pareça importante na melhoria da gestão dos controles de riscos.

Com relação ao estudo de aprendizado após os acidentes - método do LFI (IPT ORM Meeting 2021 rev01_002), a empresa apresentou ao IPT as principais conclusões do estudo indicando as causas raízes que deflagraram os vazamentos ocorridos em 2018. Também mostraram quais as mudanças que deveriam ocorrer para se operar o duto com mais segurança, reconhecendo suas falhas e implantando melhorias nos seus processos e equipes. Essas melhorias puderam ser evidenciadas durante as atividades de campo, em reuniões e avaliação documental por meio de várias ações, sendo algumas:

- Revisão e atualização dos procedimentos das áreas operacionais;
- Revisão e atualização dos documentos de riscos: *Bow-Tie* (17. BT Mineroduto pressurizado_Rev.3 e 21. BT Estruturas Permanentes Faixa Servidão_Rev.0), PAE (PAE Mineroduto - Revisão 7 - (5W1H) - atendendo comentários do

Jurídico), LVCC (17. LVCC_Mineroduto Pressurizado_Rev.4 e 21. LVCC_Estruturas Permanentes Faixa_Rev.0);

- Contratação de estudos executados por terceiros para auxiliar no monitoramento da corrosão interna e externa;
- Contratação de novo sistema para monitorar o perímetro da faixa de servidão visando evitar a sua invasão irregular (o que pode resultar em dano ao duto): Sistema OptaSense (Apresentação IPT_Optasense);
- Contratação de novos estudos e modelos executados por terceiros para aprimorar a gestão da integridade do mineroduto: por exemplo o ROAIMS (Anglo_Risk results_ROAIMS) e estimativa mensal de cálculos de vida-fadiga (1-5500-12800_26-24-Minas-Rio_FLU_Jan20_rev0);
- Aquisição de novas bombas hidráulicas para instalação nas estações de bombas em EB1 e EB2 (registrado nas atividades de campo e troca de informações por e-mail);
- Implantação de pacotes para melhorar o desempenho das bombas. Consistiu em mudanças incrementais em partes das bombas para a redução de vibrações e evitar o rompimento dos estojos e aumento da segurança da operação: Pacotes SAFER e ROBUST (validação por atividades de campo e troca de informações por e-mail);
- Instalação de pacotes de sensores nas bombas também com foco em monitorar e melhorar o desempenho das mesmas: Pacote GE Predix (validação por atividades de campo e troca de informações por e-mail);
- Ocorreram alterações na forma de operação do mineroduto, onde o escoamento de água e de polpa foi alterado para evitar picos de pressão, especialmente evitando o uso dos tanques em EB2, tendo atingido este objetivo (validação por atividades de campo);
- Criação de equipe destinada a gerir os processos geológico-geotécnicos que podem ser deflagrados na faixa de servidão com potencial dano ao duto ou a estabilidade da faixa;

- Integração dessa equipe com outros setores da empresa;
- Elaboração de um programa de gerenciamento de riscos geotécnicos contendo novas ferramentas de diagnóstico e monitoramento (AA_IOB_GTH_GCP_Feb_21_2).

Como já mencionado, a auditoria se dividiu em quatro temas de trabalho. Dentro de cada tema, buscou-se avaliar o conhecimento técnico apresentado pelas equipes da empresa, no que se refere ao dia-a-dia da operação e à análise/interpretação dos resultados provenientes de trabalhos desenvolvidos por terceiros.

Considerando que o mineroduto é um empreendimento de considerável extensão linear (529 km) e que a atividade principal da empresa é a de produzir e transportar o minério de ferro, compreende-se que para algumas atividades há a necessidade de contratação dos serviços de terceiros, sejam serviços especializados (consultoria técnica, análises diversas, etc) ou rotineiros, de operação e de manutenção.

Nesse contexto, é importante que as equipes da Anglo American possuam conhecimento técnico adequado para garantir a segurança e qualidade na gestão das atividades executadas por seus terceiros.

A seguir serão descritos os comentários referentes a cada tema de trabalho da auditoria com exceção do tema Geológico-Geotécnico, o qual já foi abordado no **item 3.3.3** desse parecer.

a) Aspectos de Integridade

Esta Linha técnica (Linha 1) corresponde aos trabalhos envolvendo aspectos de integridade do duto, estando as atividades divididas em 3 frentes de trabalho, a saber: Trincas e descontinuidades correlatas, Corrosão Interna e Corrosão Externa.

Com relação à avaliação das trincas e descontinuidades correlatas, foram avaliados o plano de monitoramento de integridade do duto e as ferramentas utilizadas para identificação e controle desse grupo de ameaças.

Durante as Etapas 1 e 2 desta auditoria, notou-se que a empresa evoluiu no controle desses parâmetros, porém há oportunidades de melhoria no monitoramento adequado dos riscos associados a estas ameaças.

Algumas evoluções nesse tema incluem a atualização do plano de integridade do duto (2020 04 06_PIMS-Rev JCM 17-12). Houve a utilização de “C-Scan” em trechos selecionados próximos as estações de bombeamento EB1 e EB2 (INSPECOES UT EB1 EB2), inspeções de campo (Inspeções de Campo para avaliação anomalias) e contratações de estudos para promover maior segurança na operação e manutenção do duto (estudos de Fadiga, ROAIMS, inspeções de revestimento, entre outros).

Ainda relacionado à gestão da integridade do duto, mensalmente são utilizados dados operacionais para o cálculo dos ciclos de vida-fadiga do duto, com o objetivo de atuar preventivamente visando a segurança operacional da tubulação. Também houve a contratação do software/modelo ROAIMS (Anglo_Risk results_ROAIMS) cujo objetivo foi fornecer um diagnóstico de riscos relacionados à integridade, considerando diversos aspectos.

A utilização do ROAIMS, como mencionado, tem por objetivo elaborar um modelo de riscos à integridade do duto visando facilitar a tomada de decisão para os reparos, inspeções e monitoramento. Essas iniciativas evidenciam o interesse da empresa em monitorar as prováveis causas que podem deflagrar vazamentos. Entretanto o modelo/software se encontra em desenvolvimento, visto que há a necessidade de validação dos dados de entrada, assim como a correlação entre eles.

Dentre as oportunidades de melhorias identificadas, aquelas que se destacam são relacionadas às limitações das ferramentas empregadas na identificação e no monitoramento das ameaças, sendo exemplo as limitações das inspeções por PIG (Pipeline Inspection Gauge), evidenciadas em evento ocorrido durante o desenvolvimento das atividades da Etapa 2, citada a seguir.

Durante uma inspeção de campo utilizando C-Scan, atividade que estava programada anteriormente em trecho da saída da Estação de Bombas 2, foi encontrada uma trinca de dimensões importantes, categorizada como crítica para a operação, que não havia sido identificada nas inspeções anteriores por PIG (Pipeline Integrity_IPT_RevB original).

A localização desta trinca era peculiar, em uma curva muito “fechada”. Posteriormente, constatou-se tratar de uma limitação da técnica (PIG) para aquela condição, embora esta seja a única tecnicamente aplicável à inspeção interna de tubulações. A descoberta desta limitação induziu a detentora da tecnologia a aperfeiçoar a técnica para minimizar tais incertezas. Em função disso, a Anglo American inspecionou outras regiões similares e deverá incorporar aos seus procedimentos programas de inspeção e de monitoramento de trechos do duto com características semelhantes às existentes no local da trinca encontrada na Estação de Bombas 2, de maneira preventiva (apresentacao_Pipeline Integrity_IPT_10-02-21).

Adicionalmente, segundo a Anglo American, foi executada nos meses de setembro e outubro de 2020 uma nova passagem de PIG. Os resultados dessa campanha não puderam ser incorporados nessa auditoria devido ao prazo de entrega dos relatórios.

Com relação à corrosão interna, foi avaliado pelo IPT o plano de monitoramento utilizado pela empresa e as técnicas utilizadas na identificação e controle dessa ameaça. Durante as Etapas 1 e 2 da auditoria, notou-se uma evolução da empresa no monitoramento desses parâmetros, porém melhorias ainda podem ser incorporadas para garantir o controle adequado.

Grande parte das atividades que envolvem corrosão interna incluem a contratação de serviços terceiros especializados para coletar e analisar informações provenientes das técnicas utilizadas pela empresa no monitoramento dessas ameaças. Posteriormente, a Anglo American receberá os resultados da análise para que a mesma tome decisões adequadas quanto à operação do Mineroduto.

Entretanto, alguns resultados disponibilizados por essas empresas não mostraram consistência com informações conhecidas do empreendimento, tendo sido necessários ajustes metodológicos a estas análises.

Nesse contexto, recomenda-se que a Anglo American invista na capacitação técnica dos seus profissionais responsáveis por realizar o monitoramento da corrosão interna do duto, no intuito de promover evolução na gestão da segurança operacional.

Ainda com relação a esse tema, a partir da análise dos relatórios (realizados por empresas terceiras) referentes à análise de cupons de perda de massa (Relatorios cupons, biocupons e analises polpa-agua) foi possível verificar que as medidas estão condizentes com os valores esperados para esse tipo de operação.

Outro tema avaliado pelo IPT foi a corrosão externa, buscou-se avaliar o plano de monitoramento e as técnicas utilizadas pela Anglo American para identificação e controle dessa ameaça. Durante as Etapas 1 e 2 da auditoria do IPT foi possível notar a evolução da empresa no controle dos parâmetros relacionados à esta temática. Porém, melhorias podem ser introduzidas para garantir o monitoramento técnico adequado.

Com relação à corrosão externa e a proteção catódica, foram concluídos (por terceiros) os trabalhos de inspeção do revestimento e do sistema de proteção catódica, incluindo registros dos potenciais elétricos nos PTEs, pesquisas de correntes de interferência em corrente contínua e corrente alternada. Os resultados foram disponibilizados em 4 relatório finais, cada relatório contendo informações sobre um trecho do mineroduto (IEC Relatorios Proteção Catódica).

As considerações feitas para a Corrosão Interna aplicam-se também à corrosão externa, quais sejam: grande parte das atividades envolve a contratação de serviços especializados para inspecionar os parâmetros de interesse como os potenciais de proteção catódica, interferências elétricas externas, integridade do revestimento, inspeção dos retificadores e leitões de anodos, etc.

Os relatórios disponibilizados foram avaliados pelo IPT, sendo validados amostralmente em campo entre o período de 22-26 de fevereiro de 2021 (relato de campo 20). Essa atividade de campo demonstrou que o sistema de proteção catódica está operando dentro de valores considerados adequados pelos especialistas do IPT, porém com alguns indicativos de superproteção. Adicionalmente, recomendam-se treinamentos para que a equipe da Anglo American possa acompanhar e fiscalizar os trabalhos das suas empresas contratadas.

Como recomendação, entende-se ser de grande valia a realização de treinamentos adicionais (técnicos e especializados) visando a capacitação técnica da equipe da Anglo American nos temas voltados ao monitoramento da integridade.

Durante o período da auditoria, os pesquisadores do IPT observaram deficiências no serviço prestado pelos terceiros contratados para executar atividades relacionadas à corrosão interna e externa. Os treinamentos são necessários para que a equipe da Anglo American aperfeiçoe seu conhecimento teórico-técnico para gerenciar, analisar e interpretar os resultados provenientes da execução dos serviços de terceiros e também para auxiliar na tomada de decisões acerca da integridade do Mineroduto.

Considerando a gestão de riscos operacionais da empresa, uma das ferramentas de gestão no âmbito corporativo do mineroduto é a Lista de Verificação dos Controles Críticos (LVCC).

A lista apresenta as necessidades de monitoramento e seus responsáveis na gestão do Evento Prioritário Indesejado (PUE). Essa lista é monitorada/atualizada uma vez por mês e seu preenchimento é feito por meio do *software* “Enablon”. Quando ocorrem desvios os mesmos são reportados para os níveis hierárquicos superiores da empresa. A lista possui controles preventivos e mitigadores, antes e após o evento hipotético indesejado, respectivamente. No caso do tema Integridade, com foco no Mineroduto, a Anglo American apresenta o PUE:

- PUE: Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado (17. LVCC Mineroduto Pressurizado Rev4).

A equipe do IPT avaliou os referidos controles preventivos para o PUE - Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado, visto que o escopo da auditoria é referente ao cenário hipotético de vazamento. De modo geral, a conclusão da avaliação do IPT é de que os monitoramentos são coerentes cabendo algumas constatações:

- As perguntas (do que monitorar) não remetem a respostas mensuráveis;
- Algumas perguntas são confusas não se relacionando com as ferramentas que mensuram as ameaças/causas que poderiam ser monitoradas pela LVCC.

Alguns exemplos a seguir:

- Acerca da taxa de desgaste, as perguntas na formulação atual estão confusas, a taxa de desgaste é monitorada por meio de passagens de PIG e cupons de perda de massa, entretanto as perguntas não se referem aos valores medidos por essas ferramentas;
- Sugere-se dividir as perguntas considerando as ferramentas de controle (PIG e cupons de perda de massa). Exemplo: a taxa de desgaste medida pelos cupons está dentro do estabelecido por projeto/procedimento?
- Os dados de perda de espessura apontados pelas sondas de resistência elétrica estão sendo avaliados? Estão coerentes?
- Os dados de perda de espessura apontados pelas sondas de resistência elétrica estão coerentes com aqueles obtidos com cupons de corrosão?
- A instalação dos cupons de corrosão na posição correta (tangencial ao duto) foi verificada na instalação e na retirada dos corpos de prova?

b) Aspectos Hidráulico-Operacionais

A Linha 2 dessa auditoria corresponde aos trabalhos envolvendo os aspectos hidráulico-operacionais do mineroduto. Nessa linha de trabalho, está sendo avaliado pelo IPT se os procedimentos adotados pela empresa durante a operação do mineroduto podem garantir uma operação segura e uso adequado do seu sistema operacional.

Após o retorno da operação do Mineroduto em dezembro de 2018, a Anglo American contratou uma empresa para fazer ensaios de extensometria com *strain gages*. Os resultados demonstraram que as modificações nos estabilizadores e redutores de oscilações de pressão (*dumpers*) foram positivas, reduzindo as maiores oscilações de alta frequência (Apresentacao Cassio_Pulsações). A única situação que estes ensaios não detectaram foi a das flutuações rápidas de pressão (menores oscilações de alta frequência).

Durante as atividades da Etapa 2, foi sugerido pelos técnicos do IPT a instalação de sistemas de extensometria mais robustos e permanentes nas saídas das EB1 e EB2 e, se possível, nas primeiras PMS's, à jusante das referidas estações, para monitorar a atenuação do efeito das pulsações e transientes. Sobre a contratação da extensimetria por *strains gauges* a Anglo informou (E-mails aspectos Hidraulico-Operacional) que adquiriu o hardware do sistema e que o processo de contratação da empresa a instalar e realizar a integração deste sistema foi iniciado com prazo para funcionamento do sistema previsto para 30 de junho de 2021.

Os técnicos do IPT sugeriram a instalação de transdutores magnéticos em alguns pontos do mineroduto visando realizar testes para medir os transientes de pressão. Neste sentido, na auditoria de campo entre os dias 27 e 31 de Janeiro de 2020, foram realizados testes com os transdutores magnéticos desenvolvidos pelo IPT. Os resultados obtidos, embora iniciais, sugeriram a ocorrência da atenuação das flutuações de pressão após as alterações nas bombas e na operação (relato de campo 17).

Os pacotes "SAFER" e "ROBUST" foram 100 % implantados até Fevereiro de 2020 (E-mails aspectos Hidraulico-Operacional). O pacote "SAFER" se refere a instalação do terceiro *dumper* em cada bomba, consistindo em alterações na operação para redução das oscilações de pressão na linha do Mineroduto e também a redução de vibração nas bombas para uma operação mais segura. O pacote ROBUST consistiu em mudanças estruturais nas bombas para evitar as quebras e lançamento dos estojos, contribuindo para uma operação mais segura.

O projeto “GE Predix” foi 100 % implantado até dezembro de 2020 em cada bomba de EB1 e EB2 (E-mails aspectosHidraulico-Operacional), consistindo na instalação de mais de 60 sensores em cada bomba para monitorar as vibrações, aumento da oscilação de pressão e condições estruturais.

As demais alterações foram realizadas na operação do mineroduto, onde o escoamento de água e de polpa foram alterados para evitar picos de pressão, especialmente evitando o uso dos tanques em EB2, cujo uso resultava em picos de pressão. Assim, a passagem dos *batches* por EB2 está sendo feita, na maioria das vezes, diretamente, reduzindo as variações de pressão que existiam anteriormente.

As atividades de instalação das novas bombas estão em andamento, com a previsão de instalação de cinco novas unidades, sendo três na Estação de Bombas 1 e duas na Estação de Bombas 2 (E-mails aspectosHidraulico-Operacional). O objetivo da instalação de novas bombas é aumentar a durabilidade e reduzir os esforços, na medida em que cada bomba trabalharia com no máximo 65 % de sua capacidade.

Durante a Etapa 2 do projeto, notou-se que, pelo fato da operação ser semi automatizada, a garantia de uma operação adequada é proporcionada pelo operador. Sugere-se que os desvios de procedimento sejam monitorados e registrados para análise e discussão, e, caso necessário, as equipes de operadores sejam treinadas preventivamente. Nesse contexto foram enviadas evidências de treinamentos nos procedimentos relativos à operação do mineroduto (Evidencias treinamentos operacionais).

Considerando a gestão de riscos operacionais da empresa, uma das ferramentas de gestão no âmbito corporativo do mineroduto é a Lista de Verificação dos Controles Críticos (LVCC).

A lista apresenta pontos a monitorar e seus responsáveis, para evitar o Evento Prioritário Indesejado (PUE). Essa lista é monitorada/atualizada uma vez por mês e seu preenchimento é feito por meio do *software* Enablon.

Quando ocorrem desvios os mesmos são reportados para os níveis hierárquicos superiores da empresa. A lista possui controles preventivos e mitigadores. No caso do tema Hidráulico-Operacional, com foco no Mineroduto, a Anglo American apresenta o PUE's:

- PUE: Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado (17. LVCC Mineroduto Pressurizado Rev4).

Nesse contexto, a equipe do IPT avaliou os referidos controles preventivos para o PUE - Perda de Contenção do Mineroduto Pressurizado, visto que o escopo da auditoria é referente ao cenário hipotético de vazamento. De modo geral, a avaliação do IPT é de que as perguntas (do que monitorar) são coerentes, entretanto cabem algumas considerações:

- As perguntas não necessariamente se remetem a respostas mensuráveis;
- Algumas perguntas poderiam ser monitoradas em um período menor que 1 mês pois estão relacionadas à parâmetros que garantem uma operação segura, a citar: 1.1 A operação está dentro dos limites operacionais de pressão estabelecidos nos procedimentos? 1.4 O sistema de monitoramento e controle de pressão está ativo? 1.5 O bombeamento de polpa está sendo realizado obedecendo a vazão mínima? 3.1 A rede de comunicação do mineroduto está disponível (rede de automação)? 3.2 Os meios de comunicação estão disponíveis (telefonia, rádio ou internet) para contato entre as estações? 13.1 O sistema de intertravamento contra operações indesejadas está ativo? 15.1 Os resultados da perda de carga no mineroduto estão dentro dos limites estabelecidos? 15.2 Para os resultados de perda de carga fora dos limites estabelecidos estão sendo tomadas ações para redução da perda de carga?
- Complementarmente, sugerem-se algumas perguntas adicionais, como:
 - A lógica de desarme automático está ativa e funcionando conforme as instruções estabelecidas?

- A calibração está dentro da validade?
- Os resultados da última calibração foram satisfatórios?
- A rede de comunicação está plenamente ativa e funcional?
- Foram feitos testes para se avaliar a atividade do intertravamento do sistema?
- Há evidência e verificação da eficácia dos treinamentos;
- Os técnicos da sala de controle estão capacitados nos procedimentos operacionais críticos como: Parada e Partida do Mineroduto; Lançamento/Recebimento de PIG; Interligação das Sessões; Controle de Slack flow e Pressões; e Contigência Operacional?
- Os técnicos foram submetidos a avaliação periódica de suas capacitações?
- Há atualização nos treinamentos de acordo com modificações nos procedimentos?

c) Aspectos de invasão da faixa

A faixa de dutos é uma área de terreno que acompanha na superfície o percurso subterrâneo do duto. Dependendo do empreendimento, essa área possui largura variável (definida em projeto) e é legalmente destinada à construção, montagem, operação e manutenção do duto. A faixa é um direito de passagem instituído por decretos federais e é fundamental para a segurança das pessoas e a integridade dos equipamentos e instalações existentes. Os dutos ficam enterrados a uma profundidade que garante a integridade e a segurança das instalações (Transpetro, 2021).

Considerando a sua extensão de 529 km e pelo mineroduto atravessar diversas propriedades particulares (em sua maioria propriedades rurais), rodovias e vias vicinais, existe a preocupação da empresa em monitorar atividades irregulares que possam acontecer em sua faixa de servidão. Entende-se por atividades irregulares a escavação (manual ou mecânica) por produtores rurais, atividades de ampliação ou recuperação (pelo órgão responsável em gerir a via pública) em vias/rodovias cujos

trajetos são paralelos ou em situações de cruzamento ao duto, entre outras situações que acontecem sem o conhecimento prévio da empresa.

Nesse sentido, a Anglo American já possui algumas ações para prevenção e gerenciamento dessa ameaça. São exemplos a sinalização de faixa, a inspeção rotineira da mesma, a comunicação dos inspetores de faixa e do setor de relacionamento socioinstitucional com os superficiários.

Outra medida em desenvolvimento é a implantação de um sistema de monitoramento de perímetro com tecnologia DAS (*Distributed Acoustic Sensing*) baseado em fibra óptica, modelo "OptaSense" (Apresentação IPT_Optasense). O objetivo da utilização dessa tecnologia é o monitoramento da faixa de servidão para, por exemplo, evitar a invasão de faixa e cenários de vandalismo das estruturas do mineroduto.

O Sistema *OptaSense* foi desenvolvido para identificar a intrusão de faixa e auxiliar na identificação de um possível vazamento. A infraestrutura de TI, baseada em fibra óptica, que é utilizada para auxiliar nas comunicações e na operação do Mineroduto, foi aproveitada para implantar esse sistema. Para isso, foi realizada uma manutenção nesta infraestrutura de fibra antes de instalar o sistema, visando à checagem da atenuação do sinal na fibra e verificar seu atendimento aos requisitos do sistema.

O alcance do sistema de monitoramento OptaSense é de 50 km, assim, foram instalados racks nas Estações de Monitoramento de Pressão (PMS), garantindo o atendimento a esta restrição. Nesse sentido, algumas PMS não possuem racks montados, pois, devido à distância entre as mesmas, não se verificou a necessidade de instalação de racks adicionais, enquanto que em outras PMS a distância entre os racks passou dos 50 km, sendo esta uma das limitações do sistema instalado. A empresa ainda informou que o sistema possui uma redundância via "nuvem", visando o armazenamento de dados caso ocorra algum problema físico com a fibra, entretanto, observa-se que, neste caso, o trecho que teve a fibra danificada ficaria descoberto, sem monitoramento.

De acordo com a programação enviada pela Anglo American, as calibrações no sistema aconteceram no final de 2020 e no início de 2021. Atualmente, o sistema está pronto para iniciar a operação, com seu início previsto para o final de maio de 2021.

A sala de controle e operação do sistema será localizada na Estação de Bombas 1, localizada em Conceição do Mato Dentro/MG. Estão previstos 3 técnicos para a operação, no regime de revezamento.

Segundo a empresa, a atuação dos controladores e o monitoramento do sistema acontecerão da seguinte maneira: após o evento/alarme ter sido disparado pelo sistema, ocorre a análise do sinal pelo operador na sala de controle. Dependendo dessa avaliação, os controladores acionarão outras equipes para a checagem da anomalia em campo além de outras tomadas de decisão.

Para garantir que o sistema continuará sensível após a calibração e durante a operação do sistema (considerando a grande extensão do duto e que a fibra passou a ser um sensor, aplicabilidade que não possuía antes), a empresa está prevendo:

- A capacitação das equipes envolvidas,
- A integração da equipe operacional da fibra com a equipe de integridade da fibra,
- A (re) avaliação do sistema do trecho que tiver o sinal perdido ou fibra rompida,
- Estabelecer rotinas de prevenção, correção e manutenção da fibra ótica.

Adicionalmente, a operação tem previsto “*Crosscheck*” para eventos de intrusão de terceiros do Mineroduto. Segundo a empresa, a validação será efetuada por equipe de segurança patrimonial, a qual tem até 90 minutos para fazer a inspeção em campo e validar se realmente a intrusão trouxe dano a estrutura da tubulação e integridade do duto.

A etapa de testes aconteceu a partir de simulações em campo com materiais que são utilizados rotineiramente ao longo da faixa de servidão pelos superficiários e

outros atores. Além desses eventos foram também cadastradas anomalias presentes no banco de dados do sistema. Alguns dos sinais que foram cadastrados incluem:

- Escavação manual e mecânica;
- Movimentação de máquina,
- Veículos, pessoas e animais;
- Quebra de fibra ótica,
- Passagem de PIG, entre outras.

Além desses eventos foram também cadastradas anomalias presentes no banco de dados do sistema, alguns dos sinais que foram cadastrados incluem: escavação manual e mecânica; movimentação de máquina, veículos, pessoas e animais; quebra de fibra ótica, passagem de PIG, entre outras.

As simulações em campo aconteceram a cada 2 km, onde em pontos distintos foram feitas simulações/testes com roçadeira, trado, escavação manual, escavações mecânica e compactador. Os sinais gerados foram cadastrados no sistema como sendo os “eventos a identificar”, disparando o alarme na sala de controle quando atividades do tipo aconteceram ao longo da faixa de domínio (lembrando que a faixa de domínio tem 529 km de extensão).

Adicionalmente, a prestadora de serviço do sistema Optasense executou um estudo considerando as particularidades da faixa e propuseram eventos adicionais para o sistema que será utilizado pelo Mineroduto, considerando suas peculiaridades como os cruzamentos diversos que acontecem ao longo da linha (com ferrovia, rodovias/estradas, outros dutos, trechos urbanos, rios, estradas).

A seguir estão indicadas algumas assinaturas de sinais capturados durante a etapa de testes (Optasense Assinatura dos eventos_1).

Figura 3.4.1 – Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir da passagem de veículo.



Fonte: Anglo American

Figura 3.4.2 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema por simulações de diferentes tipos de escavações. Em a) sinal considerando escavação manual e, em b) escavação mecânica.



Fonte: Anglo American

Figura 3.4.3 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir da passagem de PIG.



Fonte: Anglo American

Figura 3.4.4 - Assinatura do sinal capturada pelo sistema Optasense a partir de simulações de quebra da fibra óptica.



Fonte: Anglo American

A partir do exposto, conclui-se que o sistema é promissor para o monitoramento de cenários de invasão de faixa, entretanto não foi possível avaliar os resultados e validar sua efetividade durante o período da auditoria.

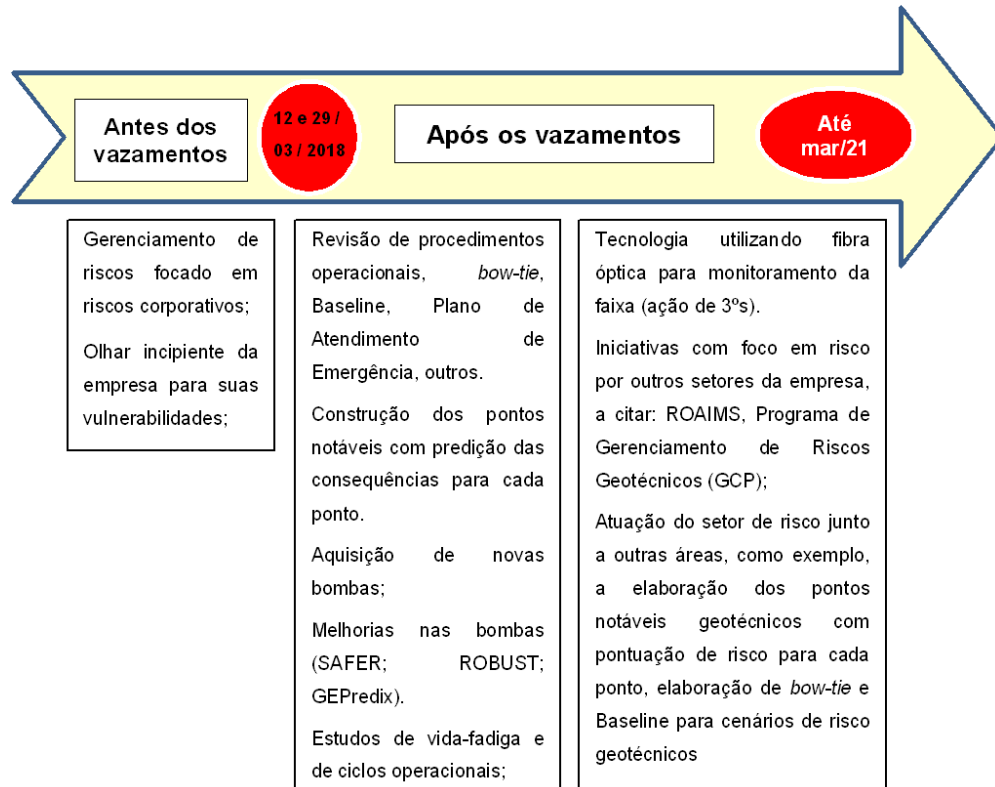
A seguir estão indicadas algumas limitações do sistema:

- Com relação às características do sinal, observa-se que as propriedades do solo e a temperatura ambiente podem alterá-lo, e isso deve ser considerado pela empresa. Segundo reportado pela Anglo American, essas alterações serão controladas/editadas/melhoradas conforme o operador adquirir experiência na operação do sistema;

- A tomada de decisão considerando a interpretação do sinal é de responsabilidade do técnico operador do sistema;
- A tomada de decisão pode ser dificultada devido à acurácia do sistema e à sobreposição de assinaturas semelhantes;
- Apesar do sistema indicar o alarme/evento num período de tempo reduzido (minutos) ainda permanece a limitação de deslocamento até a área (horas), quando essa ação for necessária.

O diagrama a seguir ilustra a evolução da empresa nos tópicos envolvendo a Linha 4 de trabalho dessa auditoria. Salienta-se que no esquema não estão citadas todas as melhorias implantadas. O diagrama é apenas representativo das principais ações que a empresa está desenvolvendo no referido tema.

Figura 3.4.5 - Diagrama indicando a evolução da empresa no tópico avaliado.



Fonte: IPT

3.4.2 Avaliação da Suscetibilidade

Durante o período que compreendeu as Etapas 1 e 2 de auditoria (2018 e 2021), a equipe do IPT reuniu diversas informações, dados e conteúdo acerca do funcionamento e da operação do mineroduto. Essas informações e dados foram organizados em uma base qualitativa comum sobre os aspectos de integridade; hidráulico-operacional; geológico-geotécnicos; e invasão de faixa, de forma que os especialistas do IPT puderam tecer considerações sobre o nível de ameaça operacional a que a empresa estava exposta.

Dessa forma, entende-se aqui a suscetibilidade como a chance categórica (classificada em “baixa”, “média” e “alta”) de ocorrer um vazamento de polpa de minério de ferro (cenário hipotético analisado) nos tubos que compõem o mineroduto, avaliado através da relação entre três componentes:

1. Indicadores de falhas: Para os indicadores de falhas, cuja fonte de dados são diversas (ex: PIG, plano de reparos em tubos, medição de pressão, etc.), foram atribuídos níveis de baixa, média ou alta criticidade em conjunto com os especialistas das linhas de trabalho da presente auditoria, de modo que para o indicador de falha de integridade participaram os especialistas da linha 1, para o indicador de falha hidráulico-operacional foram ouvidos os especialistas da linha 2, para o indicador de falha geológico-geotécnico participaram os especialistas da linha 3 e para o indicador de falha de invasão de faixa foram ouvidos os especialistas da linha 4.
2. Capacidade de respostas às ameaças (CRA): A CRA reflete a capacidade da empresa em amenizar as ameaças que podem levar à hipotética ocorrência de falha do duto. Sua avaliação é feita pelos especialistas da linha 4, considerando todas as informações levantadas no presente processo de auditoria, para atribuir uma grandeza matemática que reflita qual a capacidade da empresa em amenizar as ameaças relacionadas a invasão de faixa, integridade, hidráulico-operacional, geológico-geotécnico.

3. Histórico de causas de falhas (HCF): O terceiro componente do cálculo de suscetibilidade, o HCF, é o componente por meio do qual foram identificadas quantas falhas em dutos semelhantes aos aqui analisado são atribuídas a causas relacionadas à integridade, hidráulico-operacional, geológico-geotécnico ou invasão de faixa.

Não foi objeto dessa auditoria o de realizar uma análise minuciosa de risco envolvendo o cenário hipotético de vazamento e, portanto, a avaliação de suscetibilidade não tem a finalidade de estimar quantitativamente e com precisão a probabilidade de acontecer um vazamento considerando um período de tempo pré-determinado. A avaliação visa, única e exclusivamente, apresentar um resultado integrado das atividades desenvolvidas pela equipe do IPT, de modo qualitativo, considerando na análise o conhecimento técnico dos especialistas do IPT e o histórico de vazamentos, de polpa de minério de ferro, por dutos operados de forma similar ao mineroduto Minas-Rio da Anglo American. Portanto, não foram consideradas na análise todas as causas que podem levar a um vazamento como também não foram utilizados todos os dados que a empresa tem disponível sobre o tema.

A avaliação seguiu as seguintes etapas:

- a. Determinação da criticidade dos indicadores de falhas;
- b. Determinação do HCF;
- c. Determinação do CRA;
- d. Elaboração do método de suscetibilidade;
- e. Apresentação dos resultados dos indicadores de falhas;
- f. Apresentação da suscetibilidade.

As etapas anteriores estão descritas no **Apêndice J**.

Antes de descrever os resultados de suscetibilidade é importante citar o HCF e CRA considerados nessa análise. Seus valores são mostrados na **Tabela 3.4.1**, a seguir.

Tabela 3.4.1 – HCF e CRA.

Componente	Invasão de Faixa	Integridade	Hidráulico-Operacional	Geológico-Geotécnico
HCF	42%	33%	17%	8%
CRA	1,0	1,2	1,2	1,0

Fonte: IPT

A seguir serão apresentados os resultados da avaliação de suscetibilidade na **Tabela 3.4.2.**

Tabela 3.4.2 –suscetibilidade por tubo.

Suscetibilidade	Tubos
Baixo	65%
Médio	35%
Alto	0%

Fonte: IPT

Observa-se que a suscetibilidade alta não ocorreu porque não houve criticidade alta para o indicador de falha de invasão de faixa e também para o indicador de falha de integridade. Os tubos com classificação média ocorrem principalmente pelos motivos: a) porque a metodologia foi conservadora diante da necessidade de considerar o indicador de falha geológico-geotécnico com criticidade alta para os trechos sem informações disponíveis; b) ao valor de 0,42 (42%) para o HCF de invasão de faixa e também ao valor de 0,33 (33%) para o HCF de integridade; e c) ao valor de 1,2 para o CRA hidráulico-operacional e também ao valor de 1,2 para o CRA de integridade.

Como conclusão, verificou-se que o mineroduto apresentou predominância de suscetibilidade baixa (65% dos tubos), havendo, contudo, tubos com suscetibilidade média (35%). Por isso, foram sugeridas recomendações específicas em cada Linha de trabalho da auditoria, visando atuar preventivamente nos diferentes modos de falha do duto, visando reduzir as chances de ocorrência do hipotético cenário de vazamentos.

3.4.3 Avaliação das Vulnerabilidades, do Plano de Atendimento de Emergência e do relacionamento socioinstitucional

Nesse tópico são apresentadas as considerações sobre a avaliação da Vulnerabilidade, do Plano de Atendimento de Emergências e do relacionamento socioinstitucional.

Com relação à análise de vulnerabilidade, a análise foi compartimentada em três (3) eixos, a saber: vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade das pessoas e vulnerabilidade das edificações representando uma análise de vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade material (danos aos bens materiais e à função das estruturas) e pessoal (lesão a pessoas). A aplicação do método e os resultados estão descritos no **Apêndice J**. Os mapas produzidos pelo IPT representando a distribuição espacial das vulnerabilidades do entorno do empreendimento (externalidades) estão disponibilizados no **Apêndice K**.

O conceito de vulnerabilidade, quanto à questão ambiental, de pessoas e estruturas, foi aqui associado ao grau de exposição de ecossistemas a mudanças ambientais, à sensibilidade e à capacidade de resposta da sociedade e do próprio meio em se adaptar às mudanças ocasionadas (Embrapa, 2010).

Neste sentido, para uma melhor avaliação da vulnerabilidade do meio aos potenciais efeitos negativos de um hipotético acidente com vazamento de polpa de minério de ferro, o modelo de avaliação se baseou em três fatores, divididos em Sensibilidade, Exposição e Capacidade de Resposta. A sensibilidade está relacionada com as características do meio físico e biótico, buscando avaliar sua sensibilidade às pressões antrópicas; A exposição está relacionada com o nível do impacto no caso de um acidente; e a Capacidade de Resposta, com a efetividade e tempo necessários para a intervenção e mitigação do problema ou à capacidade do próprio meio em se depurar.

Para a análise das vulnerabilidades, foram avaliados documentos produzidos posteriormente aos acidentes ocorridos no mineroduto da Anglo American e levantamento de bases públicas, de forma a analisar cenários que reproduzissem a variação das características ambientais observadas ao longo de todo o

empreendimento, no caso de um hipotético vazamento.

Para o índice de sensibilidade ambiental (ISA), foram criados quatro temas divididos em: Solo, Água, Biodiversidade e Áreas Especialmente Protegidas, onde cada classe foi composta por seus respectivos atributos.

Com relação ao índice de sensibilidade de estruturas (ISE), foram criados cinco temas divididos em: Edificações, Viário, Captação, Transmissão e Dutos. Já para o índice de sensibilidade de pessoas (ISP), foram considerados as edificações e o sistema viário na área de interesse, locais estes onde haveria a maior probabilidade da presença de pessoas.

Para compor o índice do grau de exposição (IGE), foram determinados duas áreas de exposição, sendo: área de alcance direto do jato (AD), determinada a partir dos cálculos de projeto do mineroduto, sendo considerada 150 metros para cada lado do eixo do mineroduto e para e a área de influência indireta (AI), relacionada com a área de impacto indireto do mineroduto, em caso de vazamento, sendo utilizado o valor preconizado no EIA/RIMA, de 2.000 m para cada lado. Salienta-se que, para o mapa de exposição de estruturas foi considerado uma área de influência direta, sendo 500 metros para cada lado do mineroduto.

Por fim, o Índice de Capacidade de Resposta (ICR), utilizou os dados presentes no PAE (Plano de Atendimento de Emergências), assim como dados gerados pelos relatórios de intervenção pós acidente, permitindo uma avaliação crítica e próxima da realidade da empresa.

Com base no mapa de vulnerabilidade Ambiental obtido pelo método do IPT, observa-se que 7,6 % da área de interesse está em área de alta vulnerabilidade, 3,3 % em área de média vulnerabilidade e 89,1 % em área de baixa vulnerabilidade. Por sua vez, 88,0% dos pontos notáveis apresentados pela empresa encontram-se em área de vulnerabilidade alta.

Já o resultado do mapa de vulnerabilidade das Estruturas elaborado pelo IPT indica que 6,30% da área de interesse encontram-se sobre área de alta vulnerabilidade, 7,6% em área de média vulnerabilidade e 86,0% em áreas de baixa vulnerabilidade. Por sua vez, os pontos notáveis avaliados pela empresa encontram-se

nas regiões de maior ocupação populacional, sendo 62% deles sobre áreas de alta vulnerabilidade.

Dentre as áreas mais vulneráveis a região de São Domingos do Prata (160 km), Santo Antônio do Grama (240 km), Abre Campo (262 km) e Pedra Bonita (280 km) em Minas Gerais e Campos dos Goytacazes (460 km) no estado do Rio de Janeiro.

Assim como os dados de vulnerabilidade de estruturas, a distribuição da vulnerabilidade de Pessoas no mapa do IPT se concentra nas regiões com maior ocupação populacional, sendo 16,8 % classificado como área de alta vulnerabilidade, e 83,2% de baixa vulnerabilidade. A avaliação da empresa aponta que os 64% dos pontos notáveis encontram-se em áreas de alta vulnerabilidade.

Apesar dos pontos notáveis indicados pela empresa aparentemente indicarem uma avaliação conservadora em relação aos mapas do IPT, esses ocorrem em número inferior às áreas dos mapas do IPT, sendo recomendável a confrontação das diferentes metodologias, pela Anglo American, para essas áreas. Maiores detalhamentos do estudo de vulnerabilidade podem ser visualizados no **Apêndice I** do presente documento.

Sabendo-se que a capacidade de resiliência do meio ambiente corresponde à aptidão de um determinado sistema para recuperar o equilíbrio depois de sofrer uma perturbação e que esta resiliência depende da natureza e características do ecossistema, bem como da intensidade e da extensão do distúrbio, quanto mais robusto e diverso se encontrar o meio (composição, estrutura e função), maior será a sua resistência e resiliência.

Considerando as condições observadas de uso e ocupação da região sob influência direta do empreendimento, onde predominam pastagens e áreas agrícolas mal manejadas e a ausência de mata ciliar nas margens dos corpos d'água, cabe notar que iniciativas de conservação dos recursos naturais e de recuperação de áreas degradadas nas bacias hidrográficas promoveriam a resiliência ambiental destes locais.

Ações como a adequação legal de propriedades rurais, preservação de nascentes, recomposição de matas ciliares e áreas de preservação permanente (APP), manejo florestal sustentável e soluções sustentáveis de saneamento, além de resultar na melhoria das condições ecológicas, proporcionando o aumento da resiliência do meio ambiente, diminuindo a sensibilidade ambiental, ainda permitiriam fomentar o desenvolvimento regional e garantir a qualidade de vida para a população.

Os mapas das vulnerabilidades no entorno do duto ainda possibilitam o estudo e adoção de possíveis medidas mitigadoras a serem definidas pela empresa ou outros atores envolvidos no processo, visando gerenciar os riscos do empreendimento pelo viés da proteção dos elementos em risco aqui citados, especialmente quando se considerar que nem sempre será possível evitar a ocorrência de acidentes (viés da suscetibilidade).

Neste sentido, é possível afirmar que o PAE de uma empresa se configura como instrumento com foco nas vulnerabilidades (externalidades).

Com relação ao PAE (Plano de Atendimento de Emergências), o mesmo foi avaliado visando a atuação da empresa frente a um acidente, na tentativa de reduzir danos humanos e perdas materiais. Embora não seja possível mensurar a magnitude dos impactos, trabalha-se com cenários de riscos hipotéticos, de forma a pensar em impactos potenciais e planejar aspectos de preparação e resposta: recursos necessários, ações e responsáveis.

De modo geral, a empresa demonstrou que é capaz de elaborar um plano coerente e minimamente adequado para executar quando um determinado cenário de risco for deflagrado e, assim, preparar-se antecipadamente para ser capaz de executar tal plano proposto.

Como recomendações gerais, cita-se que a empresa poderia incorporar ao PAE e aos programas de inspeções ambientais, a visão proporcionada pela análise de vulnerabilidade que compreende a determinação de setores críticos visando o provisionamento de recursos e a atuação em emergências.

Salienta-se que a efetividade do plano pode ser melhor avaliada quando da execução de simulados que envolvam diversos atores, tantos internos quanto externos ao empreendimento. Durante o período da auditoria não foi possível acompanhar a execução de simulados e, portanto, essa ação fica como recomendação.

Comentários detalhados ao PAE se encontram no **Apêndice J**.

Além do PAE foi avaliado o relacionamento socioinstitucional ao longo do Mineroduto. Conclui-se que a empresa possui estrutura adequada para promover a comunicação com a comunidade e com seus superficiários ao longo dos 529 km. A seguir são indicadas as atividades e programas desenvolvidos pela Equipe de Relacionamento Socioinstitucional nos 32 municípios por onde passa o Mineroduto.

O Programa de Monitoramento de Passivos Socioambientais em atendimento à condicionante nº 2.8 da Licença de Operação – LO nº 1260/2014, (processo IBAMA nº02001.000469/2006-68). A condicionante nº 2.8 da LO consiste em: *“Encaminhar relatórios anuais de execução de todos os programas da fase de operação (incluindo os Programas de Monitoramento da ETE da EB2), com exceção do Programa de Monitoramento dos Passivos Socioambientais e do Programa de Monitoramento de Vibração do Mineroduto que deverão ser entregues semestralmente”*.

A empresa citou que foi constituído a partir das determinações 275, 276, 277, 278 e 279 do Parecer Técnico PAR. 02001.003759/2014-73 COMOC/IBAMA, o planejamento e a execução de rotina de visitas à superficiários, como estabelece as determinações 275 e 276; visando:

- Levantar passivos socioambientais, caso ocorra, conforme orientação 275;
- Encaminhar e resolver os passivos ocorridos pela operação do Mineroduto, conforme as orientações 275 e 279;
- Fortalecer os instrumentos de diálogo com os superficiários, conforme determinações 278 e 279;
- Executar rotina de devolutiva da demanda para o manifestante, conforme determinações 277 e 279.

O objetivo deste programa é favorecer um relacionamento de confiança e respeito entre superficiários e empresa, através da clareza e objetividade com que tratam as pessoas. Segundo a empresa, todas as questões levantadas durante essas visitas são direcionadas para as áreas responsáveis que avaliam o contexto da demanda para subsidiar as devolutivas aos superficiários.

A Anglo American possui ao longo do trecho 1526 propriedades, interceptadas pelo duto, e uma meta anual de visitas de 20% junto ao órgão licenciador (IBAMA).

Essas visitas são executadas pela equipe de Relacionamento Socioinstitucional da Anglo American.

Segundo a empresa as abordagens e interações com os superficiários acontecem pessoalmente ou através de contatos telefônicos, estabelecidas da seguinte forma:

- A equipe elabora uma lista de pretensão de visitas, visando otimizar recursos, tempo de atendimento e assim efetivar um contato mais preciso com os superficiários. Após elaboração da lista, a equipe de relacionamento executa as visitas em campo realizando a abordagem, registro da interação em formulário próprio e padronizado, entrega de materiais informativos e orientações em geral.

Após isso, a equipe executa as visitas em campo realizando a abordagem, registro da interação em formulário próprio e padronizado, entrega de materiais informativos e orientações em geral.

O Programa de Educação Ambiental (PEA) visa desenvolver ações de Educação Ambiental no intuito de sensibilizar para a construção da consciência ambiental das pessoas que direta (colaboradores da mineração) ou indiretamente (superficiários) estão relacionadas com o empreendimento.

Junto aos funcionários a empresa visa contribuir com a reflexão dos trabalhadores quanto ao meio ambiente ressaltando a importância da preservação e conservação do solo e da quantidade e da qualidade da água da região.

Em relação aos superficiários do Mineroduto, buscam desenvolver ações de conscientização que incentivem a reflexão quanto ao meio ambiente valorizando o patrimônio ambiental, a preservação e conservação do solo, da vegetação, da fauna e da água.

Ao longo do mineroduto existem algumas UC – (Unidades de Conservação). A empresa citou que contata alguns dos gestores destas visando apoiar as ações de educação ambiental e gestão ambiental participativa que são desenvolvidas geralmente no contexto escolar.

O Programa de Comunicação Social (PCS) consiste na realização de comunicação com os *stakeholders* por meio de algumas ferramentas como revista diálogo, diálogo extra, fale conosco.

Segundo a empresa, outras ações que são desenvolvidas pelo setor responsável pelo relacionamento socioinstitucional envolvem:

- O engajamento Institucional com os poderes constituídos nos municípios, com realização de parcerias buscando o desenvolvimento junto aos locais das operações visando agregar a governança onde cada grupo reconheça seu papel no desenvolvimento destes territórios.
- Apoio às equipes de Manutenção de Faixa, Meio Ambiente e Geotecnia, nas atuações junto aos superficiários da faixa de servidão do Mineroduto.
- Desenvolvimento de parcerias para aplicação de cursos de iniciação profissional e ações sociais voluntárias junto às instituições.

3.4.4 Comentários aos resultados do modelo de risco

Dos três mapas de riscos (às pessoas, estruturas e meio ambiente) apresentados no **Apêndice K** contabilizou-se a distribuição da avaliação de riscos, conforme demonstra a **Tabela 3.4.3**, a seguir.

Tabela 3.4.3 – Distribuição das categorias dos Riscos nos mapas gerados.

Risco	Área Mapeada		
	Estruturas	Pessoas	Meio Ambiente
Baixo	76%	88%	92%
Médio	24%	12%	8%
Alto	0%	0%	0%

Fonte: IPT

Os resultados obtidos no modelo de análise de risco adotado neste trabalho devem ser considerados sabendo-se que:

- Foram considerados como “elementos em riscos” o meio ambiente, as pessoas e estruturas para além da faixa de domínio do empreendimento, visando atender aos objetivos do TAC firmado entre a empresa e o MPMG no que tange às “externalidades” a serem avaliadas;
- Sabendo-se que o risco se desenvolve no espaço e no tempo, adotou-se a representação em forma de mapa (**Apêndice K**) para melhor compreensão da distribuição espacial destes riscos. Entretanto, a grandeza temporal se limita aos dados utilizados, representando apenas uma “amostra instantânea” desta distribuição temporal. De fato, a evolução temporal dos diferentes fatores de riscos envolvidos nesta análise ocorrem desde escalas de tempo da ordem dos milissegundos (Ex: oscilações rápidas de pressão hidráulica do escoamento no duto) até milhares de anos (Ex: condições geológico-geotécnicas, ocorrência de chuvas decamilenares, etc). A própria variação temporal dos elementos em risco (Ex: áreas vegetadas, ocupações urbanas, instalações e estruturas) sofrem variações ao longo do tempo. É possível dizer apenas que esta análise de riscos se refere a uma “foto” representativa dos riscos analisados durante o período da auditoria;

- Considerada a afirmação anterior, os mapas de riscos gerados **não possuem significado físico representativo dos riscos avaliados quanto à questão temporal**, uma vez que consideram informações de diversas bases de dados, coletadas em diferentes momentos durante os trabalhos de auditoria do IPT, realizados desde maio de 2018. Uma análise de riscos efetiva deve considerar dados de mesma equivalência e momento temporal para a análise;
- Apesar desta limitação, os mapas aqui gerados visam integrar e ilustrar as análises conduzidas pelos diferentes especialistas e áreas de atuação dos técnicos do IPT, integrando-as à distribuição espacial das vulnerabilidades analisadas. Esta metodologia visa facilitar a compreensão do trabalho de auditoria de forma visual e simplificada, podendo servir de referência metodológica tanto para a adoção, pela empresa, como forma de gestão de riscos do duto, quanto para a sociedade (MPMG) melhor compreender a atual situação dos riscos inerentes à operação do empreendimento, no tempo e no espaço;
- Os mapas de riscos possibilitam analisar a relação entre as ameaças operacionais (susceptibilidade ao vazamento) versus as vulnerabilidades externas ao empreendimento, permitindo adotar medidas preventivas e mitigadoras sob a ótica dos riscos e não apenas considerando as questões relativas à operação. Este enfoque visa a redução de custos e incremento da efetividade nas ações a adotar, tanto pela empresa, quanto pelos demais atores envolvidos, de forma a se prevenir acidentes ou mitigar seus danos, caso venham a ocorrer;
- Os resultados gráficos aqui obtidos corroboram aqueles descritos no **item 3.4.1** deste Parecer Técnico; e
- Devem ser consideradas as demais limitações da análise, conforme descrito no **item 5** deste Parecer Técnico.

3.4.5 Avaliação do atendimento as ameaças e oportunidades de melhorias apontadas pela equipe técnica do IPT

Durante a Etapa 2 foram avaliadas as ações que a empresa apresentou frente às ameaças (críticas e menores) e oportunidades de melhoria apontadas pelas diferentes linhas de trabalho dos técnicos do IPT, nas etapas 1 e 2 da auditoria. A seguir serão apresentados quadros que indicam o andamento das ações executadas pela empresa para atender a essas demandas.

Observa-se que para a temática envolvendo a análise dos aspectos de geologia-geotecnia não foram identificadas novas ameaças até a finalização dessa auditoria. Foram apontadas diversas oportunidades de melhoria que são tratadas pela empresa considerando sua criticidade, prazo e orçamento disponível.

O fato de o *status* estar “em andamento” para as ameaças não significa que a empresa não teve a capacidade de concluí-la durante o período da auditoria, pois se compreende que algumas dessas estarão sempre “em andamento”, como é o caso do monitoramento da corrosão interna e externa, por exemplo. Para outras ameaças, a conclusão irá acontecer durante o prazo de vida útil do empreendimento e, devido a criticidade das mesmas, é esperado que a execução acontecesse em um prazo mais longo que o período que durou a auditoria. O importante é que a empresa tenha o conhecimento dessas ameaças e que as monitore e/ou mitigue com ações sólidas e pautadas na segurança de seus colaboradores, comunidades do entorno e ao meio ambiente.

O **Quadro 3.4.6** ao **Quadro 3.4.8** indicam o atendimento atual das ações para o atendimento das ameaças e oportunidades de melhorias da Linha 1 – Aspectos de Integridade - nas Etapas 1 e 2 da auditoria. Conforme já mencionado em tópicos anteriores, considera-se que a empresa tem implantado ações para monitorar as ameaças identificadas, entretanto, sugere-se que as recomendações apontadas pelo IPT nesse parecer sejam atendidas. Observa-se que as evidências citadas já foram discutidas nos tópicos relativos à gestão de riscos e aos aspectos de integridade.

Quadro 3.4.6 – Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 1.

LINHA 1 – Aspectos de Integridade do duto - Etapa 1					
AMEAÇAS CRÍTICAS ETAPA 1 (2018)	Comentários IPT	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
Trincas internas de corrosão-fadiga	Entendemos que os reparos advindos da passagem de PIG anterior foram reparados. Houve uma nova passagem de PIG em outubro/2020, mas a avaliação não faz parte do escopo dessa auditoria	Reuniões com a Anglo ocorridas em 10/02/2021 e 24/02/2021			Relatórios PIG e reuniões 10/2 e 24/2 sobre abertura de valas
Trincas na superfície externa					Relatórios PIG e reunião (pendente) sobre abertura de valas
Estudo da corrosividade da água de captação e indicação de medidas corretivas (inclui CIM e uso de sequestrante)	Análises e resultados em andamento pela Anglo e seus terceiros, mas algumas análises não contemplaram todos os parâmetros. É importante ter um histórico representativo para então definir quais os parâmetros devem ser monitorados regularmente.	Relatório das retiradas de set/2020 e jan/2021 foram entregues.			Relatórios INT, IEC, Labcorr
Inspeção in loco nos trechos apontados pela "Rosen" com corrosão interna e corrosão externa	Entendemos que os reparos advindos da passagem de PIG anterior foram reparados. Reuniões ocorridas em 10/2/2021 e 24/2/2021	Indicações de corrosão interna: foi reparado em 2018 no km 339/59R. Indicações de corrosão externa: foi realizada avaliação entre as informações do PIG x IEC e não há correlação entre os mesmos. Reuniões com a Anglo ocorridas em 10/02/2021 e 24/02/2021			Relatórios PIG e reuniões 10/2 e 24/2 sobre abertura de valas
AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)	Comentários IPT	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências sim
Efetividade do sistema de proteção catódica: * Super proteção catódica; * Interferência de correntes alternadas; * Eventos de falhas nos retificadores (raios !); * Interligação com outros dutos (Samarco)	Foram feitas manutenções e ajustes nos retificadores do sistema de proteção catódica. Os relatórios da IEC indicam que o sistema está operando corretamente. O IPT realizou uma visita de campo e na amostragem constatou alguns locais com superproteção. Atividade de campo aconteceu entre 22 e 26 de fevereiro de 2021.	Apoio à realização da atividade que aconteceu entre 22 e 26 de fevereiro de 2021.			Disponibilização dos Relatórios IEC. Visita de campo ocorrida 22-26/2/2021
Falhas de revestimento Inspeção in loco nos locais com falhas de revestimento tipo A	Os relatórios da IEC indicaram falhas no revestimento, sugerindo abrir valas do tipo A. O IPT solicitou e a Anglo fez uma correlação entre as falhas por corrosão externa identificadas pelo PIG e as falhas A. Não houve correlação. O IPT orientou a não abrir as valas e recomendou uma nova correlação com os dados da última passagem de PIG. Também foram identificadas falhas no revestimento em trechos embutidos em concreto. O IPT recomendou não abrir esses trechos pois compreende que o duto está protegido pelo concreto. Reuniões ocorridas em 10/2/2021 e 24/2/2021	Reuniões com a Anglo ocorridas em 10/02/2021 e 24/02/2021			Relatórios IEC e discutido em reunião
Proteção de juntas de campo	A indicação dessas falhas constam nos relatórios da IEC cujo indicativo é que está tudo ok.				Relatórios IEC
Programa de monitoramento da corrosão interna	O Plano de gerenciamento da integridade do duto, no que concerne à corrosão interna, é adequado, mas a operacionalização precisa ser aperfeiçoada. Os cupons de perda de massa ainda têm problemas de instalação e quatro das nove sondas de resistência elétrica não estão aquisitando dados. Na última campanha os cupons apresentaram danos mecânicos, segundo a Anglo decorrente de passagem de PIG. Isto só acontece se o cupom não foi instalado corretamente.	Relatório das retiradas de set/2020 e jan/2021 foram entregues.	Parcial		Relatórios INT, IEC, Labcorr

Fonte: IPT

Quadro 3.4.7 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 1.

LINHA 1 – Aspectos de Integridade do duto - Etapa 2						
Ameaças menores ETAPA 2		Comentários IPT	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
1.1 trincas e descontinuidades correlatas	Anomalias nas regiões de curvas a quente não resolvidas pela ferramenta de inspeção (PIG)	A detecção de trincas na saída da EB2 por meio de ultrassom que não havia sido observada na passagem do PIG gerou um novo planejamento da Anglo que passou a inspecionar esses pontos com cronograma específico. A Anglo inspecionou outros pontos de curvas a quente e não foram identificadas trincas. Reunião ocorrida em 10/2/2021	As curvas da saída da EB2 foram integralmente substituídas em Setembro/2020. Para a EB1 foram inspecionadas Fev/2020. Os resultados das inspeção foram apresentados na reunião com o IPT em 10/2/2021.			Reuniões e apresentação (Cassio Apresentação Pipeline Integrity IPT_10-02-21)
1.2 corrosão interna e monitoramento	Monitoramento da corrosão interna	O Plano de gerenciamento da integridade do duto, no que concerne à corrosão interna, é adequado, mas a operacionalização precisa ser aperfeiçoada. Os cupons de perda de massa ainda têm problemas de instalação e quatro das nove sondas de resistência elétrica não estão aquisitando dados. Na última campanha os cupons apresentaram danos mecânicos, segundo a Anglo decorrente de passagem de PIG. Isto só acontece se o cupom não foi instalado corretamente. Seria interessante acompanhar mais duas campanhas para se certificar que os procedimentos estão sendo seguidos corretamente. Os resultados parciais da coleta de setembro/2020 e janeiro/2021 foram entregues.	Os resultados parciais da coleta de setembro/2020 e janeiro/2021 foram entregues.	Parcial		Relatórios INT, IEC, Labcorr
1.3 corrosão externa e monitoramento	Monitoramento da corrosão externa	O Plano de gerenciamento da integridade do duto, no que concerne à corrosão externa, é adequado. A equipe do IPT avaliou um trecho de 100 km para validar a efetividade da proteção catódica. Os relatórios da IEC indicaram que está tudo operando corretamente, porém os resultados recentes de fev/2021 apontaram locais com superproteção catódica. A atividade de campo para validação aconteceu entre 22 e 26 de fevereiro de 2021.	Apoio para a atividade de campo que aconteceu entre 22 e 26 de fevereiro de 2021.			Relatórios IEC e inspeções de campo IPT

Continua...

Quadro 3.4.7 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 1.

...continuação

LINHA 1 – Aspectos de Integridade do duto - Etapa 2					
Ameaças menores ETAPA 2	Comentários IPT	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
Ações, de curto e médio prazo, recomendadas pela Rosen (apontadas no relatório "Fitness for Purpose" - pag 115,116 item 12). Plano de gerenciamento da Integridade:					
12.1: Ações pós-reinicialização de curto prazo (conclusão <6 meses de reinicialização)					
1. Concluir as investigações em campo, resumidos na folha de Resumo de Verificação de Campo (ref. [1]).		As investigações foram realizadas e foram apresentadas em reunião			Documentos enviados
2. Coletar e analisar todos os dados provenientes de verificação de campo, quando concluídos, a fim de validar as conclusões discutidas no relatório.	Sugerimos uma reunião para apresentação do plano de ação executado para o atendimento do que foi solicitado pela Rosen por meio do relatório FFP.	Discutido em reunião			Documentos enviados
3. Continuar a alimentar a verificação de campo no processo de avaliação de dados para permitir a atualização das listas de anomalias.				Discutido em reunião	
4. Continuar os cálculos mensais de fadiga usando os dados de pressão registrados para mapear a vida-fadiga geral e também nos defeitos "seam weld"		Foram enviadas planilhas de estimativa de vida-fadiga utilizando dados operacionais			Planilhas de estimativa de vida-fadiga utilizando dados operacionais
5. Incorporar os resultados dos testes de material e do trabalho de verificação de campo para desenvolver um modelo de crescimento de trinca por fadiga menos conservador para o duto; Realizar testes de fadiga em laboratório usando defeitos criados artificialmente (out-of-roundness) para ajudar a quantificar o conservadorismo presente no modelo.	As reuniões aconteceram em 10/2/2021 e 24/2/2021	Enviados os relatórios da UFMG			Relatórios UFMG
12.2: Desenvolvimento de Ações de Médio / Longo Prazo (conclusão <1 ano de reinício)					
1. Desenvolver previsões para o ciclo de pressão operacional com base em medidas de controle e monitoramento implementados.	Os cálculos foram realizados e a pressão operacional ajustada	Foram enviadas planilhas de estimativa de vida-fadiga utilizando dados operacionais			Planilhas de estimativa de vida-fadiga utilizando dados operacionais
2. Desenvolver, modelar e implementar medidas apropriadas para reduzir, monitorar e controlar o ambiente corrosivo presente na tubulação - particularmente em estações de bombeamento onde a água é injetada.	As análises estão sendo feitas, o monitoramento por cupom de perda de massa e sondas de resistência elétrica também, mas precisa ser aperfeiçoado.	Durante o processo de bombeamento de água foram implementadas medidas de dosagem de soda para correção de pH e bissulfito catalisado.	Parcial		Documentos enviados
3. Considerar o desenvolvimento de um "Flow Assurance model" para avaliar a erosão e a deposição de sólidos no duto para apoiar uma estratégia de gerenciamento de corrosão / erosão.	Não foi discutido em reunião, mas não é um procedimento simples de ser implantado. Se o monitoramento da corrosão interna por meio dos cupons for bem realizado, indiretamente é possível de avaliar danos por erosão também.	Recomendações incluídas no relatório final	Parcial		
4. Considerar as inspeções de solo da proteção catódica (CIPS / DCVG) no monitoramento do desempenho do sistema de proteção catódica no que diz respeito ao controle de corrosão externa.	Inspeções realizadas, mas há locais com superproteção. As falhas tipo A no revestimento deverão ser mapeadas para tentar identificar alguma correlação com corrosão externa na próxima inspeção por PIG.	Foram feitas inspeções no revestimento, foram finalizadas as inspeções por CIPS/DCVG			Relatórios da IEC
5. Demonstrar por meio do monitoramento on-line, da repetição do ILI e da avaliação da integridade que as medidas acima foram efetivas	O IPT considera que as ações foram tomadas e deve-se manter sempre uma regularidade no programa de inspeção. Com base nos resultados por PIG em andamento, definir um cronograma para uma nova inspeção.				Reuniões realizadas
6. Para refletir as incertezas e a variação dos parâmetros de entrada de avaliação, que sempre estarão presentes, considerar a modelagem probabilística do crescimento da trinca por fadiga para fornecer uma compreensão mais abrangente da probabilidade de falha (PoF) ao longo da tubulação.	Estudos realizados pela UFMG apontam que os cálculos de vida-fadiga adotados pela Anglo são conservadores, sendo esperada uma vida-fadiga maior do que a calculada pela metodologia anterior.	Fazem cálculos de vida-fadiga utilizando dados operacionais			Planilhas de estimativa de vida-fadiga utilizando dados operacionais
12.3 Intervalo de reinspeção: Foi recomendado que todo o duto seja inspecionado novamente em 2 anos (da passagem de PIG de 2018, ou seja em 2020) usando as tecnologias UT-C, UTWM, MFL e XT. [...]	A inspeção por PIG foi realizada porém os resultados não serão avaliados nesse auditoria.				

Fonte: IPT

Quadro 3.4.8 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 1.

LINHA 1 – Aspectos de Integridade do duto - Etapa 2				
Oportunidades de melhoria ETAPA 2	Comentários IPT	Atendido	Em andamento	Evidências
Eficiência da proteção catódica nos furos direcionais	Apesar da efetividade não ter sido comprovada por meio de medidas em campo, os técnicos do IPT entendem que o método construtivo do furo é capaz de, do ponto de vista de corrosão, garantir a integridade do duto.			Conversas e reuniões entre as equipes da Anglo e IPT
Relato de campo 6 - 19-23/08/2019 - EB1				
As análises das concentrações de bactérias (realizados por terceiros), embora preliminares, indicaram que algumas classes de bactérias mostraram-se sensíveis ao aumento de pH, o que é uma indicação importante para mitigar a corrosão influenciada por microrganismos.	Análises executadas são regulares e devem fazer parte do programa de monitoramento da Anglo de forma permanente.			Relatórios INT, IEC, Labcorr
Relato de campo 10 - 7-9/10/2019 - Acompanhamento troca de cupons e sondas RE				
Sugestões de melhorias durante a troca de cupons:				Inspeções de campo do IPT e relatórios posteriores dos terceiros que executam o serviço
* Evitar o manuseio de cupom de corrosão com luvas sujas;				
* Evitar o manuseio de cupom de corrosão retirado apenas por sua lateral;				
* Troca do suporte de cupom de corrosão por outro com altura ajustável, o que garantirá a exposição ao meio de maneira tangencial ao duto;				
* Realizar a troca do biocupom e dos suportes de biocupons.				
Relato de campo 16 - 20 a 23/01/2020 - Acompanhamento das atividades da empresa IEC na avaliação do sistema de proteção catódica				
Avaliação e ajuste dos chaveadores e posteriormente agendar uma nova visita de acompanhamento dos técnicos do IPT para validação dos relatórios emitidos pela IEC.	Os ajustes foram feitos para continuidade das atividades de campo da IEC e elaboração dos relatórios posteriormente enviados ao IPT.			Inspeções de campo do IPT e relatórios posteriores da IEC
Relato de campo 18 - 13 a 16/02/2020 - Acompanhamento da troca de cupons por empresa contratada				
Evitar o manuseio dos biocupons				Relatórios posteriores dos terceiros que executam o serviço

Fonte: IPT

O **Quadro 3.3.9** indica o atendimento atual das ações para o atendimento das ameaças e oportunidades de melhorias da Linha 2 – Aspectos Hidráulico-Operacionais - nas Etapas 1 e 2 da auditoria. Conforme já mencionado em tópicos anteriores, considera-se que a empresa tem implantado ações para monitorar as ameaças identificadas, entretanto, sugere-se que as recomendações apontadas pelo IPT nesse parecer sejam atendidas. Observa-se que as evidências citadas já foram discutidas nos tópicos relativos à gestão de riscos e aos aspectos Hidráulico-Operacionais.

Quadro 3.4.9 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT nas Etapas 1 e 2 da auditoria na Linha 2.

LINHA 2 - Aspectos Hidráulico-operacionais				
AMEAÇAS CRÍTICAS ETAPA 1 (2018)	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
Esforços cíclicos ligados ao on-off da operação e devido à passagem de batchs (água-polpa)	Foram realizados ensaios de extensometria com <i>strain gauge</i> , os resultados demonstraram que as modificações nos estabilizadores e redutores de oscilações de pressão (<i>dumpers</i>) foram positivas, reduzindo as maiores oscilações de alta frequência.			Apresentação Cassio Pulsações
Esforços cíclicos da operação de bombeamento. Os estojos das bombas sofreram danos. Com os dados enviados (segundo a segundo), evidência de transientes de pressão. Não pode ser descartada por ser crítica no que se refere à fadiga	Houveram alterações na operação do mineroduto, onde o escoamento de água e de polpa foram alterados para evitar picos de pressão, especialmente evitando o uso dos tanques em EB2, o que reduziu os picos de pressão. Mineroduto EB1: - Pacote SAFER finalizado em Dezembro/2018. Pacote ROBUST finalizado em Janeiro/2020. - As bombas novas estão em fase de instalação. Duas bombas (TAG: 1130-BP-09 e 10) estão com previsão de serem entregues em Março/2021. A terceira bomba (TAG: 1130-BP-12) está com previsão para ser entregue em Março/2022. Informação fornecida pelo time Empresa de Projetos. - GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em dezembro/2020. Mineroduto EB2: - Mineroduto EB2: Pacote SAFER finalizado em Fevereiro/2019. Pacote ROBUST finalizado em Fevereiro/2020. - Mineroduto EB2: As bombas novas estão em fase de instalação. Duas bombas estão com previsão de serem entregues em Março/2022. Informação fornecida pelo time Empresa de Projetos. - Mineroduto EB2: GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em Novembro/2020			Visitas de campo, reuniões e troca de e-mails
AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
Picos de pressão operacional - pontos EB1, EB2, entrada de EV e fundos de vale	Mineroduto EB1: - Pacote SAFER finalizado em Dezembro/2018. Pacote ROBUST finalizado em Janeiro/2020. - As bombas novas estão em fase de instalação. Duas bombas (TAG: 1130-BP-09 e 10) estão com previsão de serem entregues em Março/2021. A terceira bomba (TAG: 1130-BP-12) está com previsão para ser entregue em Março/2022. Informação fornecida pelo time Empresa de Projetos. - GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em dezembro/2020. Mineroduto EB2: - Mineroduto EB2: Pacote SAFER finalizado em Fevereiro/2019. Pacote ROBUST finalizado em Fevereiro/2020. - Mineroduto EB2: As bombas novas estão em fase de instalação. Duas bombas estão com previsão de serem entregues em Março/2022. Informação fornecida pelo time Empresa de Projetos. - Mineroduto EB2: GE Predix foi implementado em todas as bombas e concluído em Novembro/2020			Visitas de campo, reuniões e troca de e-mails
Transientes hidráulicos durante a operação normal e de <i>flushing</i>	Sobre a contratação da extensimetria por <i>strains gauges</i> a Anglo informou que: - O Hardware do sistema de aquisição de extensometria já chegou e que o processo de contratação da empresa que irá instalar e realizar a integração deste sistema está sendo iniciado. Prazo para funcionamento do sistema 30/06/2021. A Empresa também informou que irão iniciar o trabalho em parceria com o IPT das medições de pulsações por métodos magnéticos.			Reuniões e troca de e-mails
LINHA 2 - Aspectos Hidráulico-operacionais				
AMEAÇAS MENORES ETAPA 2	Ações executadas pela Empresa	Atendido	Em andamento	Evidências
Falhas humanas na operação	A empresa citou que são realizados treinamentos de todos os procedimentos de operação e suas respectivas revisões, quando geradas, além de treinamentos e reciclagens de manobras, processo, etc. Também são realizadas Análises de falhas e ou Gestão de mudança, quando aplicável e as ações registradas no sistema ENABLON.			Lista de presenças de treinamentos em procedimentos

Fonte: IPT

O **Quadro 3.4.10** e o **Quadro 3.4.11** indicam o atendimento atual das ações para o atendimento das ameaças e oportunidades de melhorias da Linha 3 – Aspectos Geológico-Geotécnicos - nas Etapas 1 e 2 da auditoria. Conforme já mencionado em tópicos anteriores, considera-se que a empresa tem implantado ações para monitorar as ameaças identificadas, entretanto, sugere-se que as recomendações apontadas pelo IPT nesse parecer sejam atendidas. Observa-se que evidências já foram apresentadas nos tópicos relativos à gestão de riscos e aos aspectos Geológico-Geotécnicos.

Com relação a essa temática, durante a Etapa 2 não foram identificadas novas ameaças, entretanto, observa-se que a empresa buscou implantar as recomendações indicadas pelo IPT para tratar as oportunidades de melhorias identificadas.

Quadro 3.4.10 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 3.

AMEAÇAS CRÍTICAS ETAPA 1 (2018)		Comentários IPT	Atendido	Em andamento
LINHA3: Aspectos Geológico-Geotécnicos. 3.2 - a) Estruturas componentes da faixa de domínio (valas, taludes, aterros e dispositivos de drenagem)	Km 260 – Ampliação indevida de estrada pela prefeitura, no sopé do talude, adjacente à faixa do mineroduto.	Reportado pela AA em 02/02/2021. O processo está na área Jurídica da Anglo (RSI)		
	Km 261 a 262 – Ampliação indevida de estrada pela prefeitura, no talude a montante, adjacente à faixa do mineroduto utilizando-se escavadeira.			
	Km 269 – Processo Erosivo ou Escorregamento remontando à montante da faixa do mineroduto, no talude de jusante.	Estudos e ensaios geotécnicos realizados ao longo de 2020, sendo o projeto detalhado entregue em Janeiro/21. A expectativa é que ao longo de 2021 e 2022 sejam realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria.		
	Km 279 – Ruptura de Talude de Montante na faixa do mineroduto.	Projeto detalhado em processo de revisão e detalhamento da solução proposta. A expectativa é que ao longo de 2021 e 2022 sejam realizados os processos de contratação e execução das obras de melhoria.		
Relato de campo 8 - 09-13/09/2019 - Passagens Aéreas - vistorias ameaças críticas				
3.2 - b) passagens aéreas	Desapoiamento da base de apoio do mineroduto no topo do pilar de concreto km 296 pilar P9 (sentido fluxo).			
	Existência de árvores com possibilidade de queda e danos no mineroduto.			
	Ausência de barreiras rígidas nas estradas junto aos trechos dos pipe-racks, para evitar colisões de veículos.			
	Pilar de concreto com inclinação transversal km 103 pilar P1 (sentido fluxo).			
	Existência de partes das estacas dos blocos de fundação expostas km 151 pilar P1 (sentido fluxo).			
AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)		Comentários IPT	Atendido	Em andamento
LINHA 3 - Aspectos Geológico-geotécnico: 3.1 - Análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos atuantes na região do mineroduto	Erosão e deslizamento	A abordagem das ameaças relacionadas a processos geodinâmicos externos vem sendo desenvolvida progressivamente pela AA. O documento RL-1401-17-30000 (MAPA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA), elaborado pela AA, evidencia uma primeira lista obtida com 154 Pontos Notáveis Geotécnicos selecionados, constituindo-se na base de trabalho para os detalhamentos subsequentes.		
	Queda de bloco	Por sua vez, o documento RL-1401-17-30001 (GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS – PONTOS NOTÁVEIS RELATÓRIO TÉCNICO), apresenta, em seu Anexo B, 156 pontos investigados pela AA por meio de empresa terceira (BVP).		
	Rastejo	Esse total 156 pontos resultam da avaliação daqueles 154, sendo acrescido de novos pontos e exclusão de outros. Ainda sobre o RL-1401-17-30001, conforme seus itens 5 e 6, nota-se que a análise pela AA dos 156 pontos do Anexo B (BVP) e dos cinco dos túneis do Anexo C (avaliados por meio da empresa terceira F&Z) levou aos 116 pontos selecionados que constam do Anexo D (planilha excel) e do Anexo E (arquivo kmz enviado ao IPT em 20/01/20).		
	Corrida de massa e enxurrada	No entanto, outros pontos parecem ter entrado também nessa lista dos 116 pontos, como, por exemplo, os "barramentos", os quais deverão ser explicitados nesse documento (RL-1401-17-30001). No Anexo E desse mesmo documento (RL-1401-17-30001) se encontram denominações simplificadas acerca das tipologias de "barramento", "passagem aérea" e "linhas de tronco", cujo significado e correspondência com o conteúdo dos dois relatórios citados também não estão explicitados.		
	Enchente, inundação e/ou alagamento	No conjunto de 116 pontos (Anexos D e E do RL-1401-17-30001) deverão, ainda, ser incluídos locais como os visitados pela equipe do IPT nas quatro campanhas de auditoria de campo específicas realizadas em 2019, considerando-se a necessidade de execução subsequente das correspondentes análises de perigo e risco e, ainda, proposição das respectivas soluções estruturais e/ou não estruturais a adotar para cada um desses pontos. A lista dos atuais 116 pontos foi avaliada pela AA em vista de ocorrências registradas no último período chuvoso 2019/2020, conforme coletados pela equipe de campo da AA na região. Os resultados dessa avaliação não indicaram, por ora, alteração nessa lista de 116 pontos.		
	Chuva	Outra modificação foi a inclusão de acumulados de chuva para disparar inspeções adicionais na faixa		

Continua...

Quadro 3.4.10 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)		Comentários IPT	Atendido	Em andamento
3.2 - b) passagens aéreas	Presença de erosão do solo dos taludes dos “encontros” do mineroduto.	César enviou dia 24/4/2020 documento síntese indicando evidências do atendimento das anomalias apontadas por nós no parecer parcial da Etapa 2. Ciro e Diego consideram as evidências satisfatórias e deram baixas nas pendências das ameaças menores.		
	Existência de curso d' água próximos às fundações dos pilares km 280;			
	Teflon deslocado da posição original da tubulação de fibra ótica;			
	Porcas de fixação dos dutos e da tubulação de fibra ótica sem o completo rosqueamento nos parafusos;			
	Existência de ligações parafusadas da estrutura de fixação do mineroduto e também dos tubos de fibra ótica sem a presença de contraporca;			
	Ausência de cabos de aterramento dos pilares metálicos (repete para vários pilares ao longo dos trechos aéreos);			
	Presença de oxidação dos parafusos e porcas de fixação do mineroduto e da tubulação de fibra ótica (repete ao longo dos trechos aéreos);			
	Presença de oxidação nos chumbadores das bases dos pilares metálicos (repete ao longo dos trechos aéreos);			
	Presença de oxidações nos pilares metálicos tubulares e treliçados e respectivas chapas de ligação;			
	Existência de fissuras no graute no topo dos pilares de concreto, na região do entorno das chapas metálicas de fixação do mineroduto;			
	Existência de fissuras no graute do bloco de fundação, na região do entorno das chapas metálicas das bases dos pilares;			
	Existência de colmeias de abelhas, marimbondos e vespas no topo dos pilares, na região de apoio do mineroduto;			
	Presença de pontos com oxidação da estrutura metálica dos pilares e de suas bases metálicas, na região de contato com líquidos provenientes das colmeias;			
	Inexistência de procedimento documentado de inspeção e manutenção específico para as passagens aéreas;			
	Falta de limpeza e acesso para as inspeções e manutenção dos pipe-racks;			
Presença de detritos, vegetação, solo, etc, sobre as bases dos pilares.				

Continua...

Quadro 3.4.10 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 3.

... Continuação

AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)		Comentários IPT	Concluído	Em andamento
3.2 - c) Túneis	Relato de campo 11 - 21-25/10/2019 - Túneis São Domingos do Prata, Rio Sem Peixe, Carangola – Faria Lemos, Tombos B e Tombos C.	<p>Dos relatórios recebidos, o da FZ Engenharia faz um diagnóstico geológico - geotécnico dos túneis. Já o relatório da SS Coenper, apresenta a identificação de patologias e anomalias no revestimento dos túneis, bem como a proposição de soluções. Entretanto, até o momento, não foram encaminhados documentos / propostas que indiquem a contratação/execução de serviços de intervenção estrutural para corrigir anomalias e patologias identificadas no interior dos túneis, assim como não foram corrigidos os problemas de circulação de água no interior dos mesmos. A Especificação Técnica de serviço de terceiros que foi analisada para os túneis é de monitoramento geotécnico por meio de convergência simples e de evolução de trincas.</p> <p>Os relatórios do estudo de trajetória de blocos aos emboques dos túneis foram disponibilizados para o IPT em março de 2021, sendo brevemente discutidos no tópico de avaliação dos aspectos geológico-geotécnicos.</p> <p>* Não recebemos evidências recentes de recuperação dos taludes : emboque minas do Túnel Sem peixe - faltava finalizar parte da proteção alternativa instalada / emboque rio tunel S. Domingos do Prata - com processos erosivos instalados / Emboque minas Tombos C - processo erosivo no espelho do emboque / emboque rio tombos C - trincas e deslocamentos no espelho do emboque</p>		
	Encostas com presença de matacões e blocos de rocha;			
	Infiltrações no revestimento do túnel;			
	Sistemas de drenagem superficial com obstruções;			
	Taludes dos emboques com instalação de processo erosivo;			
3.2 - d) Barragem EB2	Relato de campo 13 - 27/11/2019 - Talude Barragem EB2	<p>Está em análise pelo IPT o relatório geofísico do maciço da barragem. Foi realizada reunião entre IPT e Anglo para discutir o relatório na data de 30/10.</p> <p>A empresa citou a possível execução de furos de sondagem para investigação da causa de umidade na caixa de drenagem da ombreira esquerda do barramento.</p> <p>Sobre a instrumentação: e-mail Lucas 1/7/2020 - Existem os marcos, mas não são utilizados atualmente. O monitoramento por estação robótica irá suprir essa demanda.</p> <p>Ombreira Esquerda: inspeção de campo do dia 27/11/2020 constatou - deficiência na cobertura vegetal na região da ombreira esquerda, junto à escada hidráulica e às caixas coletoras existentes. Essa deficiência permite a erosão parcial do maciço da ombreira esquerda e transporte de finos para os dispositivos de drenagem a jusante. O IPT não recebeu fotos atualizadas desse local. Último RT TEC3 (EOR) de setembro 2020 aponta essa ação como a ser realizada.</p>		
	Talude de montante: Remoção da vegetação;			
	Talude Jusante: Reconstituir a vegetação;			
	Talude Jusante: Combate às pragas;			
	Talude Jusante: Acerto das irregularidades geométricas dos taludes com execução de aterro compactado em buracos.			
	Talude Jusante: Monitoramento da recuperação da erosão com objetivo de verificar se a medida de reconstituição com cobertura vegetal foi suficiente para impedir a evolução desse processo.			
	Extravasor: Limpeza e desobstrução dos drenos.			
	Drenagem superficial: Limpeza do sistema de drenagem.			
	Drenagem Superficial: Tratar as trincas que se encontram abertas.			
	Drenagem Superficial: Execução de uma caixa coletora da drenagem superficial da ombreira esquerda e condução do fluxo para jusante em direção à bacia de acumulação das águas da drenagem superficial e do extravasor de emergência.			
	Drenagem Interna: Execução de levantamentos geofísicos no corpo da barragem e nas ombreiras para verificar caminhos preferenciais de água e a posição do NA interno à barragem em todas as seções e não somente nas instrumentadas.			
	Drenagem interna: Limpeza do local do medidor de vazão.			
	Ombreiras: Recomposição da cobertura vegetal.			
	Ombreiras: Monitoramento do processo erosivo, para verificar se as medidas de contenção já tomadas foram suficientes para controle do processo.			
Instrumentação: Instalação de marcos superficiais para monitoramento dos deslocamentos verticais e horizontais do corpo da barragem.				

Fonte: IPT

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2		Comentários IPT	Concluído	Em andamento
LINHA 3 - Aspectos Geológico-geotécnico: 3.1 - Análise de suscetibilidades a processos geodinâmicos atuantes na região do mineroduto	Atingimento da faixa e/ou duto exposto em passagem aérea ou emboque de túnel/HDD por deflagração de eventos geodinâmicos, a citar: corrida de massa e/ou enxurrada e outros. Verificar a forma pela qual a AA tratará a prevenção nesses pontos.	<p>Os estudos realizados até o momento pela EMPRESA indicam que há ao menos 116 pontos que devem ser monitorados e acompanhados de maneira contínua quanto a possíveis ocorrências de problemas geotécnicos relevantes em relação ao mineroduto. No desenvolvimento desse processo, que deve incluir a revisão e atualização dos documentos RL-1401-17-30000 e RL-1401-17-30001, tem-se a oportunidade de explicitar a correlação daqueles pontos com as bases de dados de origem e sobre as quais se fundamentam, bem como as correspondentes análises de perigo e risco e, ainda, as respectivas soluções estruturais e/ou não estruturais a adotar para cada um desses pontos.</p> <p>No conjunto de 116 pontos (Anexos D e do RL-1401-17-30001) deverão, ainda, ser incluídos locais como os visitados pela equipe do IPT nas quatro campanhas de auditoria de campo específicas realizadas em 2019, considerando-se a necessidade de execução subsequente das correspondentes análises de perigo e risco e, ainda, proposição das respectivas soluções estruturais e/ou não estruturais a adotar para cada um desses pontos. A lista dos atuais 116 pontos foi avaliada pela EMPRESA em vista de ocorrências registradas no último período chuvoso 2019/2020, conforme coletados pela equipe de campo da EMPRESA na região. Os resultados dessa avaliação não indicaram, por ora, alteração nessa lista de 116 pontos.</p>		
	Verificar a forma de abordagem da AA em caso de ocorrência de evento potencialmente danoso (por exemplo, chuvas intensas e/ou extremas) que possa intensificar a ação de eventos geodinâmicos.			
	Sugere-se análises gerais em todos os pontos de intersecção identificados na Etapa 1 ao longo do mineroduto e análises específicas naqueles que podem representar alguma situação de perigo e risco à integridade. Esse procedimento pode contribuir na eventual distinção entre aqueles que podem vir a configurar ameaça crítica e os de ameaça menor. Tais análises podem resultar na definição de soluções preventivas a serem adotadas pela AA.			
	Sugestão de incluir, na análise e seleção de pontos notáveis geotécnicos, os pontos/trechos que apresentam características em termos de perigo e risco, como os salientados nas vistorias realizadas pelo IPT e apresentadas nos relatos de campo: campo 1/4 - em 01 a 04/07/2019 (Rio Casca, Santo Antonio do Grama, Abre Campo e Pedra Bonita); campo 2/4 - em 16 a 20/09/2019 (municípios mineiros de Carangola, Faria Lemos, Tombos, Pedra Dourada e Ponte Alta de Minas e, ainda, o município de Porciúncula/RJ); e campos 3/4 e 4/4 - em 26 a 28/11/2019 (região dos municípios de Sem Peixe, Nova Era e Santa Maria de Itabira, todos em MG).			
	Relato de campo 3 - 1-4/07/2019 - Suscetibilidade - Rio Casca, Santo Antonio do Grama, Abre Campo e Pedra Bonita.			
	Relato de campo 9 - 16-20/09/2019 - Suscetibilidade - Municípios mineiros de Carangola, Faria Lemos, Tombos, Pedra Dourada e Ponte Alta de Minas e, ainda, o município de Porciúncula/RJ.			
Relato de campo 14 - 26-28/11/2019 - Suscetibilidade - Região dos municípios de Sem Peixe, Nova Era e Santa Maria de Itabira, todos em MG.				

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2	Comentários IPT	Atendido	Em andamento
<p>Ver Apêndice A1 do Parecer Parcial da Etapa 2 e relatos de campo 3, 7 e 15 para detalhamento da atividade.</p> <p>Relato de campo 3 - 1-4/07/2019 - Faixa - km 0 a km 4 do Mineroduto, incluindo a área da Mina. Km 95 a km 130. / km 36 ao 42 e ponto entre o km 45 e o 46; km 94 ao 105.</p> <p>Recomenda-se continuar o monitoramento dos pontos com risco de ruptura de taludes e aqueles sujeitos à erosão;</p> <p>Dar continuidade nas manutenções e prevenções, além do monitoramento de pontos onde já existem problemas de erosão, mas que no momento não afetam o mineroduto.</p>	<p>Reportado pela EMPRESA em 24/04/2020, em relação ao problema de erosão com ruptura da canaleta de drenagem identificado no km 0 + 500 a correção do problema foi inserida no cronograma de manutenção corretiva de rotina. O IPT recomendou o reparo da canaleta de drenagem e readequação do solo exposto. Reportado pela EMPRESA em 24/04/2020 que os desvios foram tratados conforme RPO-1301-10-312669, para problema de erosão profunda do tipo ravina no km 4 do mineroduto, que apresenta condições de evoluir em função de escoamento concentrado das águas. Foi recomendado incluir este ponto para ser objeto de monitoramento classificado como PUE's. EMPRESA reportou que o monitoramento é realizado durante as inspeções da faixa. Em 05/11/2019 foram executados caminhos seguros para a equipe com segregação homem x máquina no acesso e tratada a erosão na encosta.</p> <p>Reportado pela EMPRESA em 24/04/2020 que os problemas geotécnicos na faixa referentes ao trecho do km 36 ao 42 são conhecidos e monitorados por meio das inspeções de faixa realizados a cada 4 meses. Segundo dados das pastas dos arquivos de cronograma de ações de manutenção na faixa (respectivas linhas 31, 32 e 33) estão previstas ações de manutenção nos pontos citados pelo IPT para o trecho em questão, para serem finalizadas até final de maio/2020.</p> <p>Reportado pela EMPRESA em 24/04/2020 que em relação ao problema de talude erodido junto a um enrocamento executado para contenção de enxurradas identificado no trecho do km 45 ao km 46, problemas de rompimentos de diques em eventos de enxurradas são recorrentes em períodos chuvosos. Reportado que o enrocamento realizado atendeu de forma satisfatória e que o local segue sendo objeto de monitoramento e que está programada a manutenção do enrocamento realizado atendeu de forma satisfatória e que o local segue sendo objeto de monitoramento e que está programada a manutenção do enrocamento em Abril de 2020 após o período chuvoso. Foi recomendado incluir este ponto para ser objeto de monitoramento classificado como PUE's.</p> <p>Reportado pela EMPRESA em 24/04/2020 que em relação aos problemas geotécnicos citados no intervalo entre o km 94 e o km 105, que todos os desvios são de conhecimento da EMPRESA e monitorados por meio das inspeções de faixa, e que conforme cronograma de ações de manutenção na faixa (linha 46 e 47) está prevista manutenção nos pontos indicados com problemas de natureza geotécnica, para serem finalizados até a primeira quinzena de outubro de 2020.</p>		
<p>3.2 - a) Estruturas componentes da faixa de domínio (valas, taludes, aterros e dispositivos de drenagem)</p> <p>Relato de campo 7 - 26-29/08/2019 - Faixa km 100 ao 160,60:</p> <p>Sugestão de inclusão na planilha de pontos notáveis os seguintes pontos (relevância em potencial de danos à longo prazo para o Meio Ambiente, Econômico ou Social):</p> <p>1- Ponto no trecho entre o km 45 e o 46 km, onde há um talude erodido junto a um enrocamento executado para contenção de enxurradas, associado a uma bacia de contribuição muito grande, onde já ocorreram rompimentos de açudes a montante;</p> <p>2- Barramento adjacente ao mineroduto e a estrada, o km 122; e</p> <p>3- Barramento da Cenipra, a montante da faixa do mineroduto, entre o km 119 e o km 120</p>	<p>Ver detalhes das constatações e apontamentos feitos pela equipe do IPT no relato de campo de número 7. Reportado pela EMPRESA em arquivo entregue em 20/01/2020, denominado Anexo E, do RL-1401-17-30001. Neste arquivo em formato Kmz consta a inclusão do Ponto 1 e do Ponto 3 nos pontos notáveis geotécnicos (PUE's), assim como outros barramentos avaliados pela própria EMPRESA como importantes, caso venham a se romper. O Ponto 2 não foi incluído. Da análise do documento Anexo D (tabela de pontos notáveis, do RL-1401-17-30001) não foi observada a inclusão destes pontos de barramentos. Porém em reunião no dia 04/05/2020, registrada em ATA, foi reportado que este documento será revisado e contemplará a inclusão dos Barramentos.</p>		
<p>Relato de campo 15 - 13 a 16/01/2020 - Faixa km ao 320 a 423:</p> <p>KM 326 – Este ponto compreende trecho de mineroduto assentado em porção superior da encosta em plataforma de corte alteado. Notar ação de terceiros com corte íngreme e mudança da geometria original da encosta e desconfinamento de massas a montante, capaz de induzir processos remontantes de deslizamentos.</p> <p>KM 377 – presença de alguns sinais/"evidências" de instabilização do tipo "rastejo" e rupturas translacionais condicionadas por embasamento rochoso raso, indicam necessidade de aprofundar os estudos de periculosidade nessa porção de transposição do duto, com melhor reconhecimento da fenomenologia dos processos e condicionantes geotécnicos predisponentes das encostas onde se assenta o mineroduto.</p> <p>KM 331 – Trecho de mineroduto transpondo microbacias de drenagem com alta suscetibilidade de geração de enxurradas e corridas de massa. Verificar cenários potenciais de perigo e risco para essas tipologias específicas dos processos da dinâmica superficial. Necessidade de investigação de detalhe para melhor avaliação do perigo potencial nos trechos de travessia de drenagem do mineroduto.</p> <p>KM 374 (15/01/2020) – Sugere-se uma investigação para entender o modelo fenomenológico de instabilização de encosta passível de evoluir no local, considerando a possibilidade de movimentação do terreno/forças atuantes no mineroduto enterrado.</p>	<p>Sugere-se uma avaliação pela equipe de geotecnia da Anglo dos pontos listados no relato de campo de número 15 e em especial daqueles citados no relatório IPT 161.195-205 de outubro/2020. A avaliação deve ser no sentido de se elucidar a fenomenologia dos processos e correspondente grau de periculosidade e vulnerabilidade do mineroduto em trecho/ponto de risco específicos. Visando a compreensão geral e específica dos fenômenos (foco na fenomenologia dos processos e respectivos cenários de perigo e risco), identificação/hierarquização das situações com maior gravidade e potencial de perigo e atuação contínua na gestão dessas situações, com viés fortemente preventivo, de modo a reforçar a importância do incremento do processo de aculturação e estruturação corporativa da AA no tocante ao Programa de Gestão de Riscos Geotécnicos.</p>		

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.
...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2	Comentários IPT	Atendido	Em andamento
	Verificaram-se se as ações executadas / implantadas e em fase de implantação por parte da Empresa a fim de mitigar e/ou eliminar as ameaças menores apontadas na Etapa 1.		
	Relato de campo 11 - 21-25/10/2019 - Túneis São Domingos do Prata, Rio Sem Peixe, Carangola – Faria Lemos, Tombos B e Tombos C.		
	No parecer parcial da Etapa 2 foram apontadas condições de melhoria, a se destacar:		
3.2 - c) Túneis	* Deficiência no sistema de drenagem de superfície pelo assoreamento e obstrução por vegetação	Limpeza efetuada - nas regiões onde o sistema de drenagem superficial apresenta obstruções por vegetação e parcialmente assoreada com solo. Nossas evidências são até dez/2019.	
3.2 - c) Túneis	* Desenvolvimento de processos erosivos em taludes de corte próximos aos emboques dos túneis	Adoção de medidas de correção de processos erosivos instalados em regiões próximas aos espelhos dos emboques dos túneis; implantação de Procedimentos de Inspeção Geotécnica de Túneis (PROs) e treinamento da equipe de inspeção de faixa. Ressalta-se a necessidade da continuidade da execução dos procedimentos supracitados de maneira recorrente, durante toda a vida útil do empreendimento, e que a comunicação entre os técnicos da A.A, desde o que identifica in loco e o que executa as medidas mitigadoras, seja a mais célere possível em função da gravidade do problema identificado.	
3.2 - c) Túneis	* Colmatação de drenos executados nos taludes de contenções dos espelhos dos túneis, bem como em seu interior	Resposta Lucas para o e-mail IPT encaminhado em 05/1/21: Obras em fase de contratação: Túnel S. Domingos do Prata Túnel Carangola Faria-Lemos Túnel Tombos C Expectativa é que sejam finalizadas até o fim de 2021 - cronograma de atividades será apresentado após contratação. Importante ressaltar que essa recomendação IPT foi para todos os túneis e não apenas os três citados anteriormente.	
3.2 - c) Túneis	* Fluxo de água corrente no piso dos túneis em contato com os apoios de concreto do mineroduto;	Foram executadas recuperações no revestimento de concreto dos blocos de apoio do mineroduto no interior dos túneis/ Não foram corrigidos os problemas de circulação de água no interior do túnel. Recomenda-se a execução de sistema de drenagem superficial para disciplinamento das águas pluviais e infiltradas a fim de assegurar a qualidade, funcionalidade e durabilidade da obra, sobretudo das estruturas de concreto executadas no interior do túnel.	
3.2 - c) Túneis	* Presença de animais de grande porte transitando próximo aos espelhos dos emboques dos túneis, dentro da faixa de servidão	Instaladas barreiras/cercados novos nas regiões dos emboques em que ocorre a circulação de animais de grande porte, como cavalos e gado. Ressalta-se a necessidade da continuidade dos procedimentos de manutenção supracitados de maneira recorrente, durante toda a vida útil do empreendimento, e que a comunicação entre os técnicos da A.A, desde o que identifica in loco e o que executa as medidas mitigadoras, seja a mais célere possível em função da gravidade do problema identificado.	
3.2 - d) EB2	Desobstrução dos drenos horizontais instalados no extravasor	Os relatórios trimestrais de segurança TEC3 apontam colmatação dos drenos e necessidade de limpeza	
3.2 - d) EB2	Instalação de instrumentação para monitoramento de deslocamentos no corpo da barragem	e-mail Lucas 1/7/2020 - Existem os marcos, mas não são utilizados atualmente. O monitoramento por estação robótica irá suprir essa demanda.	
3.2 - d) EB2	Ações corretivas para controle do processo erosivo instalado no maciço natural na ombreira esquerda	Inspeção de campo do dia 27/11/2020 constatou - deficiência na cobertura vegetal na região da ombreira esquerda, junto à escada hidráulica e às caixas coletoras existentes. Essa deficiência permite a erosão parcial do maciço da ombreira esquerda e transporte de finos para os dispositivos de drenagem a jusante. O IPT não recebeu fotos atualizadas desse local. Último RT TEC3 (EOR) de setembro 2020 aponta essa ação como a ser realizada.	
3.2 - d) EB2	Execução do levantamento geofísico na região do maciço da barragem e das ombreiras e da execução de furos de sondagem na EB2	Após análise do relatório apresentado pela Empresa, a Equipe IPT solicitou, em reunião IPT / AA/ Neogeo (30/10/2020), os dados brutos do potencial espontâneo. Após tratamento dos dados o IPT encaminhou sua análise, em 14/01/2021, onde identificou um possível fluxo proveniente da região da ombreira esquerda em direção ao interior do maciço da barragem.	
3.2 - d) EB2	Levantamento geofísico complementar na região dos os taludes da Estação de Bombas 2 até o talude do acesso a plataforma de lançamento de minérios (recomendação feita em 30/10/2020 e reforçada em 14/01/2021 por meio do envio da análise de geofísica do IPT)	Após análise do relatório apresentado pela Empresa foram recomendadas, pelo IPT, ações de estudo da instrumentação instalada para detecção de possíveis anomalias, reiterando também a recomendação feita na reunião do dia 30/10/2020, sobre a necessidade de execução de levantamento geofísico complementar na região dos os taludes da Estação de Bombas 2 até o talude do acesso a plataforma de lançamento de minérios. O propósito desse levantamento geofísico complementar é identificar possíveis caminhos preferenciais de água que possam comprometer a segurança da barragem e não tenham sido detectados.	

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2	Comentários IPT	Atendido	Em andamento
Ver Apêndice C do Parecer Parcial da Etapa 2 e relato de campo 1 para detalhamento da atividade.			
Relato de campo 1 - 10-13/6/2019 - HDDs vistoriados: Rio Santo Antônio (Morro do Pilar), Santa Maria do Itabira A e B, Ferrovia, Rodovia e Rio Piracicaba (Nova Era), Rio Doce, MG-329, Piedade de Ponte Nova.			
Relato de campo 7 - 26-29/8/2019- Campos de Goytacazes e Itaperuna - RJ			
Sistema de drenagem superficial dos emboques parcialmente assoreados e obstruídos por vegetação, bem como dos taludes de corte da Faixa de Servidão próximos a esses emboques;	Evidências enviadas por e-mail (7 e 8 de abril de 2021) mostrando a limpeza na drenagem do emboque MG329, a empresa reportou que a limpeza foi realizada em 10/02/21.		
Presença de materiais antropicamente depositados dentro da Faixa de Servidão, inclusive adjacientemente às leiras do mineroduto;	Segundo a empresa foi solicitado ao time de RSI a interação junto ao superficiário sobre o material depositado, o mesmo alegou que trata-se de madeira e seria usado para lenha em suas atividades na propriedade. A empresa orientou o mesmo sobre o uso correto da faixa de servidão, e ele se comprometeu em retirar conforme sua necessidade. Sendo assim mantemos a rotina de inspeção e aguardaremos a retirada, com isso mantendo o bom relacionamento junto ao superficiário evitando conflitos.		
Processos erosivos instalados nos taludes dos emboques de alguns HDDs.	O IPT não recebeu até o momento evidências de suas correções. Empresa informe que esses pontos estão sendo monitorados pelos analistas de faixa conforme rotinas de inspeção e que os desvios apresentados serão tratados através de manutenção de rotina, de acordo com o cronograma de manutenção preventiva proposto pela empresa.		
Correlacionar os resultados de cada campanha de passagem do PIG com os segmentos onde o mineroduto foi executado em HDD a fim de identificar existência de possíveis anomalias estruturais nesses trechos (trincas, furos, corrosão, etc.);			
Executar levantamento geofísico para ambientes submersos rasos nos trechos onde os HDDs atravessam cursos d'água que abastecem cidades em suas adjacências, quais sejam: rios Doce, Piracicaba e Paraíba do Sul.	A investigação com método geofísico por meio de GPR nos locais indicados atingiu o objetivo proposto, dentro das limitações do método.		
Implantar sistema de drenagem e reparar o sulco erosivo observado no talude no emboque Minas do HDD - km 42 (Rio Santo Antonio), a fim de corrigir e preservar sua geometria prevista em projeto;	O IPT não recebeu até o momento evidências de suas correções.		
Inspeccionar a região do emboque Minas – HDD MG-329, sobretudo após eventos de chuvas intensas para verificar as condições de acúmulo de água e possibilidade de erosão do solo que possam comprometer a integridade do mineroduto que nesse local está mais próximo da superfície (em média 2 m profundidade);	Equipe de Inspeção de Faixa da Empresa apontou que ações estão em andamento, mas até o presente momento não foram recebidos documentos comprobatórios.		
Reestabelecer geometria do talude e funcionalidade do sistema de drenagem nas regiões em que foram observadas erosões no emboque Rio do HDD MG – 329;			
Pesquisar / avaliar técnicas não convencionais de engenharia e de menor impacto ao meio ambiente para contenção das erosões observadas ao longo da faixa de servidão entre emboques (ex: contenção com paliçada de madeira, entre outras);	Obs: O IPT sugere que para taludes de maiores dimensões e inclinações, deve ser avaliada a possibilidade de técnicas mistas - bioengenharia e técnicas convencionais.		
Evitar deposição de materiais inflamáveis sobre, ou adjacientemente, à leira longitudinal do mineroduto.	A empresa informou que foi solicitado ao time de RSI a interação junto ao superficiário sobre o material depositado, o mesmo alegou que trata-se de madeira e seria usado para lenha em suas atividades na propriedade. A empresa orientou o mesmo sobre o uso correto da faixa de servidão, e ele se comprometeu em retirar conforme sua necessidade. Ainda informaram que mantém a rotina de inspeção e aguardam a retirada, com isso mantendo o bom relacionamento junto ao superficiário evitando conflitos.		

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2		Comentários IPT	Atendido	Em andamento
3.2 - f) Estações de Monitoramento de Pressão (PMS)	Ver Apêndice D do Parecer Parcial da Etapa 2 e relato de campo 4 para detalhamento da atividade.			
	Incluir abordagem das externalidades na inspeção das PMS, como por exemplo problemas de erosões e escorregamentos em corte que podem instabilizar taludes e regiões a montante ou jusante. Talvez um treinamento para os inspetores de faixa nos moldes feitos túneis.	De maneira geral nota-se que as inspeções nas PMS abordam questões apenas estruturais não abordando externalidades geológico/geotécnicas, como por exemplo problemas de erosões e escorregamentos em corte que podem instabilizar taludes e regiões a montante ou jusante.		
	Relato de campo 4 - 29/07-06/08 2019 - vistoria PMS's			
	PMS 1:	RL-1301-10-31622_r1 - RL-1301-10-31771_r0 (02/04/2020)		
	erosão no 1º talude atrás da PMS próximas da contenção	A erosão encontra-se a montante do gabião segundo a empresa a tratativa se dará através de tratamento vegetal conforme planejamento de plantio 2021 (resposta enviada em 7 e 8 de abril de 2021)		
	problemas de captação nas canaletas (sem caixa de captação, bueiro ou dissipação da água coletada)	Segundo a empresa o problema foi protocolado e aprovado junto ao suprimentos a contratação do serviço. Evidência no corpo do e-mail de 7 e 8 de abril de 2021.		
	trincas e fissuras em locais diversos das fachadas, no piso e no revestimento cerâmico	ok		
	destacamento do revestimento impermeabilizante junto a calçada	ok		
	presença de infiltração no poço de medição	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	PMS 2:	RL-1307-10-31623_r1 - RL-1307-10-31770 (28/05/2020)		
	erosões nas faces dos taludes, alguns taludes com controle estrutural da foliação desfavorável ao sentido da faixa de servidão	Não há evidências de ações corretivas no RL mencionado. Situação mantida - erosão permanece nos taludes.		
	ausência de canaleta de drenagem em alguns trechos próximos dos taludes com erosão	Previsão de início das atividades no mês de JULHO/21 conforme cronograma. Evidência no corpo do e-mail de 7 e 8 de abril de 2021.		
	trincas entre parede e calçada, fissuras em parede de alvenaria, indícios de infiltração através de cabo de aterramento	ok		
	destacamento do revestimento impermeabilizante na base do pilar - fachada 4	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	PMS 3:	RL-1401-10-31624_r2 - RL-1333-10-31746 (14/04/2020) - RL-1333-10-31827 (09/09/2020)		
	afundamentos no solo superficial entre o poço de medição e a canaleta da rodovia	não há evidências de ações corretivas no RL mencionado		
	presença de uma erosão - aparentemente de origem antrópica	Erosão já solucionada evidência enviada por e-mail pela empresa 7 e 8 de abril de 2021		
	ausência de canaleta de drenagem no pé dos taludes de entorno da PMS	Segundo a empresa, trata-se de um trecho plano, com pouca contribuição, sem indícios de erosão devido o escoamento de água. A execução de uma canaleta não seria viável, e em pouco tempo a mesma acabaria assoreada de folhas, sem eficiência hidráulica. Ver relatório IPT – PT 21150 – 301. A ação a ser tomada pela empresa será através das inspeções a cada 4 meses, e caso apresente alguma anomalia, farão o tratamento através da manutenção operacional.		
	danos no revestimento impermeabilizante	ok		
	canaleta de drenagem de águas pluviais com danos localizados	ok		
	PMS 4:	RL-1310-10-31621_r2 - RL-1310-10-31728 (13/04/2020) - RL-1310-10-31833 (14/09/2020)		
	erosão no ponto de desague da canaleta entre a PMS 04 e ADME 2213. Ponto de desague está inadequado	Segundo a empresa o ponto indicado trata-se de uma transposição de enrocamento de pedras, utilizado no mineroduto a fim de evitar cruzamento com o duto através de bueiro (drenagem profunda). Nessas transposições é comum o solo solto ser carregado pela canaleta e ficar retido na transposição de pedra. A erosão apontada trata-se de um caminho preferencial da água, onde o mesmo não gera risco a integridade do duto. Essa transposição faz parte do acesso à PMS, e conforme as inspeções que ocorrem a cada 4 meses é verificado a condição mesmo.		
	trincas com sinais de reparo entre calçada e paredes	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
fissuras na parede de concreto no poço de medição e indícios de infiltração no local	ok			

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2		Comentários IPT	Atendido	Em andamento
3.2 - f) Estações de Monitoramento de Pressão (PMS)	PMS 5:	RL-1317-10-31615_r1 - RL-1317-10-31732 (14/04/2020)		
	taludes com ausência de vegetação com trechos com erosão na interface solo/rocha	não há evidências de ações corretivas no RL mencionado		
	obstrução das canaletas de drenagem por galhos e folhas prejudicando seu desempenho	não há evidências de ações corretivas no RL mencionado		
	ausência de caixa coletora ou dispositivo de escoamento para a água proveniente da escada hidráulica presente no talude de maior dimensão	Segundo a empresa nas escadas hidráulicas existe apenas a parede de jusante (dispositivo denominado CDS), para quebrar a energia da água e seguir o fluxo pela canaleta. Essa concepção foi admitida no mineroduto para facilidade de manutenção, que se difere dos dispositivos tradicionais de estradas (álbum DNIT).		
	presença de trincas entre calçada e parede, fissuras nas paredes de alvenaria e com indícios de infiltração	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	PMS 6:	RL-1319-10-31616_r1 - RL-1319-10-31734 (17/04/2020)		
	ausência de vegetação e erosões nos taludes	em andamento, permanece erosão e pouca vegetação		
	sistema de drenagem do corte superior dos taludes à direita da PMS 06 não finalizado	não há evidências de ações corretivas no RL mencionado		
	erosão e assoreamento na bacia de dissipação de erosão ao final do sistema de drenagem	não há evidências de ações corretivas no RL mencionado		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	trincas na junção entre paredes e calçada, indícios de infiltração de água através de cabo de aterramento	ok		
	PMS 7:	RL-1320-10-31617_r1 - RL-1320-10-31736 (20/04/2020)		
	trincas na junção entre paredes e calçada e calçada e degraus	ok		
	indícios de infiltração de água através de cabo de aterramento	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	fissuras e revestimento solto em áreas localizadas no interior do poço de medição	ok		
	PMS 8:	RL-1322-10-31618_r1 - RL-1322-10-31735 (09/04/2020)		
	plantações e moradias lindeiras a essa PMS	ok: previsão de instalação de porteira na entrada da PMS		
	ausência de canaletas de drenagem, caixas coletoras e/ou bueiros nos taludes do entorno da PMS	Segundo a empresa trata-se de um trecho plano, com pouca contribuição, sem indícios de erosão devido o escoamento de água, bem revegetado. A execução de uma canaleta não seria viável, e em pouco tempo a mesma acabaria assoreada de folhas, sem eficiência hidráulica (relatório IPT – PT 21150–301). A ação a ser tomada pela empresa será através das inspeções a cada 4 meses, e caso apresente alguma anomalia, farão o tratamento através da manutenção operacional.		
	trincas	ok		
	tubulação de água pluvial proveniente do telhado junto às paredes	ok		
	indícios de infiltração de água através de cabo de aterramento	ok		
	fissuras na face interna da parede de concreto no poço de medição	ok		
	PMS 9:	RL-1327-10-31626_r1 / doc de word encaminhado pelo Cesar (COMENT_ETAPA-2-IPT_24_4.doc) - RL-1327-10-31768 (13/04/2020) e RL-1327-10-31870 (16/10/2020)		
	erosões recorrentes nos taludes	no RL-1327-10-31768 (13/04/2020) há uma foto com erosão num dos taludes à montante da PMS. No RL-1327-10-31870 (16/10/2020) também há evidência de erosão no talude lateral a PMS 9. Por conta disso a situação de presença de erosões será mantida		
	erosão em torno das canaletas de drenagem	Erosão tratada e canaletas executadas, evidências enviadas por e-mail em 7 e 8 de abril de 2021		
	ausência de drenagem na porção inferior do talude com contenção de solo grampeado (canaleta instalada apenas no entorno da PMS)			
	trincas com sinais de reparo entre calçada e paredes	ok		
	indícios de infiltração de água através de cabo de aterramento	ok		
PMS 10:	RL-1330-10-31627_r1 - RL-1330-10-31761 (11/05/2020)			
ausência de cobertura vegetal nas faces dos taludes	permanece com ausência de vegetação			
presença de moradias a jusante da estação - menos de 500 m de distância	Segundo a empresa a residência já existia antes da implantação do mineroduto, estando fora da faixa de sevidão. Segundo a empresa o projeto contemplou toda segurança necessária neste trecho.			
trincas com sinais de reparo na junção das paredes com a calçada e degraus	ok			
oxidação em parafusos e porcas de fixação das grades de proteção das janelas	ok			

Continua...

Quadro 3.4.11 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das oportunidades de melhoria apontadas pelo IPT na Etapa 2 da auditoria na Linha 3.

...Continuação

OPORTUNIDADES DE MELHORIA ETAPA 2		Comentários IPT	Atendido	Em andamento	A atender
3.2 - g) Estações de Bombeamento 1 Taludes EB1	Relato de campo 13 - 25-26/11/2019 - Taludes EB1 Nos taludes com evidências de rupturas instaladas ou reincidentes: analisar as características geológico-geotécnicas e suas principais direções estruturais associadas às características geométricas dos cortes com vistas à identificar soluções de contenção mais eficientes que as anteriormente empregadas. Taludes que devem merecer prioridade de ações: * Arredores do reservatório de água: 1º talude (estrada de interligação entre os platôs 17 e 18); 3º e 4º taludes; 1º talude abaixo do reservatório;	Lucas encaminhou dia 05/01/21: Dash board - estruturas permanentes usina - com classificação de risco para os taludes da EB1, bem como os faróis geotécnicos e algumas fotos das ações de recuperação dos taludes que apresentavam escorregamentos. IPT solicitou documentação fotográfica complementar para visualizar com mais detalhes a obra de recuperação dos taludes do reservatório de água. Fotos encaminhadas ao ipt em 28/01/2021. Não recebemos evidências de reparo para os itens em amarelo			
	Reparar tubulação que apresenta gotejamento para evitar acúmulo e infiltração de água no talude;				
	Reparar sulcos erosivos na lateral da canaleta de drenagem				
	Executar limpeza das canaletas de drenagem;				
	Eliminar formigueiros e tocas de animais;				
Estruturas EB1 / Estruturas EB2 / Estruturas EV / Estruturas ET	Relato de campo 15 - 13/01/2020 a 17/01/2020 - Estruturas EB1 Inspecões remotas nas EB2, EV e ET - Finalizado em 25/01/2021 Foram apontados como pontos de melhoria a elaborações de documentação específica para os apoios/fixação dos dutos do mineroduto, com as respectivas identificações/nomenclaturas e inspecões direcionadas a esses elementos com vistas à manutenções periódicas, por meio de registros fotográficos e fichas de inspeção.	O Ronan informou em reunião que o plano de ação de correção das anomalias será feito em conjunto com as anomalias identificadas na inspeção das demais estações. As inspecões remotas em todas as estruturas foram finalizadas em 25/01/2021. Houve uma reunião de fechamento para apresentar as principais anomalias identificadas no dia 27/01/2021. Os relatórios gerados com as inspecões nas estruturas EB1, EB2, EV e ET serão apresentados no parecer final da auditoria contendo a descrição dos principais desvios identificados. Salienta-se que nenhum desvio representa uma ameaça ao duto.			
	Ver Apêndice E do Parecer Parcial da Etapa 2 e relatos de campo 3, 5 e 7 para detalhamento da atividade.				
3.2 - j) ADME's	Incorporar nas inspecões das ADME's aspectos geológicos-geotécnicos.	Até o presente momento a Empresa tem monitorado as ADMEs no que tange aos aspectos ambientais, mais particularmente à existência de cobertura vegetal das áreas e de eventuais processos erosivos. A avaliação geotécnica somente é feita quando a inspeção ambiental acusa algum problema. Embora não tenham sido registradas ameaças críticas ao mineroduto na vistoria amostral realizada, intervenções sem controle técnico nas ADMEs podem provocar processos de instabilização com consequentes interrupções em acessos/estradas vicinais e danos em pequenas estruturas de propriedades privadas.			
	Ações de orientação e conscientização dos proprietários (indicando as melhores práticas) quanto aos riscos envolvidos nas alterações de geometria e também para se evitar processos erosivos,	A empresa não se posicionou sobre eventuais ações orientativas. Indicou que em caso de problemas, notifica os proprietários por meio da sua equipe de relacionamento com a comunidade.			
3.2 - k) Pontos de cruzamento do mineroduto com obras de infraestruturas (rodovia, ferrovia e gasoduto, entre outros)	Ver Apêndice F do Parecer Parcial da Etapa 2 e relatos de campo 3, 5 e 7 para detalhamento da atividade.				
	Caso as inspecões do mineroduto por sistema PIG apontem alguma patologia nos cruzamentos, investigações adicionais por meio de técnicas geofísicas poderão ser executadas para auxiliar na tomada de decisões e avaliação dos riscos. Sugere-se a manutenção dos procedimentos de vistoria e monitoramento periódicos já realizados ao longo de toda a faixa de servidão, com especial atenção a todos os pontos de cruzamento com infraestrutura.	Nesse item foram dadas recomendações e destacados alguns pontos de atenção, os quais deverão ser contemplados pela empresa em seus planos de vistoria/gestão. Atenção especial deve ser dada ao Ponto Notável nº 261, constituído por uma captação de água.			
3.2 - j) ADME's - k) Pontos de cruzamento do mineroduto com obras de infraestruturas (rodovia, ferrovia e gasoduto, entre outros)	Atividades de campo ADME's e Pontos Cruzamento com infraestruturas: Relato de campo 3 - 1-4/07/2019 - ADME's vistoriadas: 1209, 1229, 1230, 1241, 1313, 1347 / 1200, 1237, 1245, 1265, 1266, 1291, 1299 Relato de campo 5 - 12-16/08/2019 - ADMEs vistoriadas: 1356, 2213, 2211, 2254, 1148, 1117, 1026, 1103, 1077 e 1163. Pontos de cruzamento vistoriados: 195, 192, 182, 116 e 11.				
	Relato de campo 7 - 26-29/08/2019 - ADMEs vistoriadas: 586, 1207, 1412, 1415, 1428, 1430, 1446, 1466 e 1530. Pontos notáveis vistoriados: 261, 271, 286, 303 e 313.				
	Não foram feitos apontamentos e sim questionamentos acerca dos sismógrafos, dos locais de monitoramento, dos tipos de medidas de vibrações monitoradas e da implantação da Fase B do programa de vibrações. Relato de campo 13 - 25-26/11/2019 - Vibrações - Pontos de monitoramento de vibrações: EB1, PMCTU1, PMCTU2 e PM3A	A análise de documentos técnicos fornecidos pela Empresa e das observações da inspeção de campo demonstraram que a empresa apresenta capacidade técnica de fornecer um registro frequente e consistente de monitoramento de vibrações de partículas nos pontos em que foram instalados os sismógrafos de engenharia, o que possibilita a identificação de anomalias na operação do mineroduto e sua correlação com as reclamações registradas pelos moradores das comunidades lindeiras. O IPT endossa a necessidade de que o acompanhamento sismográfico seja realizado durante toda a vida útil do empreendimento e que sejam mantidos canais de comunicação constantes, entre a população eventualmente impactada e a empresa.			

Fonte: IPT

O **Quadro 3.4.12** indica o atendimento atual das ações para o atendimento das ameaças e oportunidades de melhorias da Linha 4 – Aspectos de Gestão de Riscos - nas Etapas 1 e 2 da auditoria. Conforme já mencionado em tópicos anteriores, considera-se que a empresa tem implantado ações para monitorar as ameaças identificadas, entretanto, sugere-se que as recomendações apontadas pelo IPT nesse parecer sejam atendidas. Observa-se que evidências já foram apresentadas no tópico relativo à gestão de riscos.

Quadro 3.4.12 - Andamento atual das ações executadas pela empresa para o atendimento das ameaças apontadas pelo IPT na Etapa 1 da auditoria na Linha 4.

LINHA 4 – Gestão de Riscos - Etapa 1				
AMEAÇAS CRÍTICAS ETAPA 1 (2018)	Comentários IPT	Atendido	Em andamento	Evidências
Acompanhar atendimento as ameaças das 3 linhas de trabalho	A equipe do IPT acompanhou o atendimento das recomendações indicadas pelo IPT e também as ações para a empresa sanar as pendências existentes.			Atividades de campo, avaliação de documentos, reuniões
AMEAÇAS MENORES ETAPA 1 (2018)		Atendido	Em andamento	Evidências
Acompanhar atendimento as ameaças das 3 linhas de trabalho				Atividades de campo, avaliação de documentos, reuniões
Ameaças Menores? ETAPA 2				
Ameaças Menores? ETAPA 2	Comentários IPT	Atendido	Em andamento	Evidências
Invasão da faixa por terceiros	A instalação do Sistema Optasense representa um avanço importante da empresa no gerenciamento dessa ameaça, entretanto, sua efetividade e aplicação não foi avaliada durante o período da auditoria devido ao sistema ainda não ter entrado em operação (março de 2021)			Visita de campo, reuniões e troca de e-mails
Efetividade do gerenciamento de risco utilizado pela empresa considerando as linhas de trabalho avaliadas pelo IPT				Atividades de campo, avaliação de documentos, reuniões
Como a empresa trata suas Vulnerabilidades (ambiental, estruturas e pessoas)	A elaboração dos pontos notáveis com estimativa das consequências representa um avanço no tema, entretanto a empresa ainda precisa evoluir na definição de seus setores críticos considerando as vulnerabilidades de pessoas, estruturas e ambiental			Reuniões, troca de e-mails, avaliação histograma pontos notáveis, avaliação PAE rev 7

Fonte: IPT

4 CONCLUSÕES

Em relação aos objetivos e escopo desta auditoria ambiental, determinados pelo TAC firmado entre a Anglo American e o Ministério Público do Estado de Minas Gerais em 11 de maio de 2018 e aditado em 23 de Outubro de 2020, tem-se:

- (i) *realização de Auditoria Ambiental Independente sobre as causas dos rompimentos, condições de operação e de manutenção dos equipamentos do mineroduto do Sistema Minas-Rio;*
- (ii) *avaliação de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência do empreendimento, conforme metodologia e cronogramas constantes da Proposta IPT 804.300/18, visando à prevenção de novos danos ambientais e à reparação dos danos consumados.*

O objeto do presente aditamento é a definição de novo prazo para realização da “Etapa 2” da Auditoria Ambiental Independente no mineroduto do Sistema Minas-Rio, conforme pactuado no Compromisso de Ajustamento de Conduta firmado em 11/05/2018, cujo inciso II do §1º da Cláusula 1a, passa a ter a seguinte redação:

Cláusula 1a. (...)

§1º (...)

(...)

II. A Etapa 2, que terá duração até 31 de março de 2021, com o escopo de avaliar aspectos relacionados à gestão de risco e externalidades de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência, bem como, quando necessário, ensejar recomendações para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores, visando à prevenção de novos danos ambientais e à reparação dos danos consumados, nos termos dos §§ 2º e 3º do art. 225 da CF/1988 e §1º do art. 14 da Lei 6.938/1981.

A proposta técnica IPT N° 866.400, em atendimento ao anteriormente exposto, para a Etapa 2 da auditoria, apresentou como objetivos:

- ✓ Avaliação da dinâmica dos processos e condições de operação e de manutenção dos equipamentos e dos sistemas de controle de poluição;
- ✓ Avaliação das condições de integridade do mineroduto do Sistema Minas -Rio, tanto internamente quanto externamente às estruturas instaladas, bem como em suas imediações, ao longo da faixa de domínio e em toda sua extensão de 529 Km, desde a mina do Sapo em Conceição do Mato Dentro/MG e o terminal marítimo situado em Porto do Açu/RJ; e
- ✓ Avaliação da gestão de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência, e
- ✓ Estudos para a elaboração de recomendações (se necessário) para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores.

Em resposta às questões apontadas pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais:

- (I) as causas dos rompimentos e a dinâmica dos processos e condições de operação e de manutenção dos equipamentos e dos sistemas de controle de poluição, com a avaliação das condições de integridade do mineroduto do Sistema Minas -Rio, tanto internamente quanto externamente às estruturas instaladas, bem em suas imediações, ao longo da faixa de domínio e em toda sua extensão de 529 Km, desde a mina do Sapo em Conceição do Mato Dentro/MG e o terminal marítimo situado em Porto do Açu/RJ; e

- (II) avaliação de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência, bem como, recomendações para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores, conforme metodologia e cronogramas de atividades constantes da Proposta do IPT 804.300/18, visando à prevenção de novos danos ambientais.

Pode-se concluir que:

a) Avaliação das causas dos rompimentos ocorridos em 12/3/2018 e 29/3/2018

Conforme constou no Parecer Técnico IPT N° 21.079-301/18, referente à Etapa 1 da auditoria.

b) Avaliação da dinâmica dos processos e condições de operação e de manutenção dos equipamentos e dos sistemas de controle de poluição

Conforme discutido no **item 3.2** deste Parecer Técnico, a Linha 2 dessa auditoria corresponde aos trabalhos envolvendo os aspectos hidráulico-operacionais do mineroduto. Nessa linha de trabalho, foi avaliado pelos técnicos do IPT se os procedimentos adotados pela empresa durante a operação do mineroduto podem garantir uma operação segura e uso adequado do seu sistema operacional.

O **Quadro 3.2.1** indicou os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.2.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação dos aspectos hidráulico-operacionais	Principais conclusões
<p>Aprimoramento do modelo hidráulico do Mineroduto desenvolvido pelo IPT para investigação e possível identificação de pontos críticos do escoamento e os efeitos das recomendações sugeridas no Parecer Técnico da Etapa 1;</p>	<p>O conhecimento adquirido para a preparação do modelo desenvolvido pelo IPT foi fundamental para a comparação com o projeto original do Mineroduto. Os pontos críticos foram identificados e são semelhantes aos previstos em projeto da Anglo American. As recomendações sugeridas pelo IPT foram validadas pela Anglo American, que apresentou as propostas e as implementações adotadas. As recomendações implementadas apresentaram efeitos no sentido de reduzir os problemas detectados na Etapa 1. Comentários e observações estão descritos nos Pareceres Técnicos anteriores.</p>
<p>Análise do escoamento pulsátil das bombas e flutuação da pressão no mineroduto como fatores de influência à progressão de trincas na tubulação, sob o ponto de vista do escoamento da polpa e polpa-água. Avaliação da atenuação das flutuações rápidas ao longo do duto e modelagem matemática deste aspecto do escoamento. Avaliação dos parâmetros de operação no comportamento dinâmico do escoamento.</p>	<p>A análise do escoamento pulsátil gerou um estudo pelo IPT para a aplicação inédita de sistema de medição das flutuações rápidas de pressão com sensores magnéticos baseado na relação entre pressão do escoamento e as tensões mecânicas na tubulação. Embora experimentais, os resultados obtidos dessas medições indicaram qualitativamente uma redução nas flutuações rápidas de pressão, resultado este corroborado pelos ensaios de extensometria realizados pela Anglo American.</p>
<p>Acompanhamento da operação do mineroduto, realizando ao menos uma visita técnica na EB2 ou EB1 a cada 2 (dois) meses ou em situações especiais Ex: flushing);</p>	<p>Embora o período da pandemia tenha impedido mais visitas aos locais relativos ao interesse da equipe da Linha 2 (locais fechados e com mais pessoas como salas de controle), as visitas técnicas associadas à documentação, obtenção de dados e reuniões foram suficientes para o presente relatório</p>
<p>Propor, se necessário, novas recomendações na operação das bombas e na filosofia de operação e controle.</p>	<p>Com as recomendações sugeridas no Parecer Técnico na Etapa 1, a Anglo American conseguiu propor e implementar modificações nos projetos das bombas, acrescentar acompanhamento de sua operação, alterar procedimentos de operação e alterações na filosofia de medição. Entendemos que ao fim da auditoria e análise técnica, não há mais o que propor de nossa parte. Isto não impede que a Anglo American aprimore as modificações atuais ou que faça outras ao longo do período de produção ou durante a vida útil do Mineroduto.</p>

Fonte: IPT

Considerando ainda os apontamentos realizados nos documentos técnicos anteriores elaborados pelo IPT (PT IPT Nº 21.079-301/18 de Outubro de 2018 referente à Etapa 1; PT IPT Nº 21.150-301/19 de Outubro de 2019 referente ao parecer técnico parcial da Etapa 2; RT IPT Nº 159.992-205/20 de Junho de 2020 e RT IPT Nº 161.195-205/20 de Outubro de 2020 referentes aos Relatórios Técnicos de Andamento 1 e 2, respectivamente, da Etapa 2), é possível concluir que a empresa adotou importantes medidas de redução de riscos e que a atual condição operacional indica baixa suscetibilidade à ocorrência de acidentes graves durante a operação do duto. Apesar disto, foram citadas oportunidades de melhorias em implantação ou a implantar, no processo.

c) Avaliação das condições de integridade do mineroduto do Sistema Minas-Rio, tanto internamente quanto externamente às estruturas instaladas, bem em suas imediações, ao longo da faixa de domínio e em toda sua extensão de 529 Km, desde a mina do Sapo em Conceição do Mato Dentro/MG e o terminal marítimo situado em Porto do Açu/RJ

Quanto às condições de integridade do mineroduto, entende-se por internamente e externamente ao duto as condições intrínsecas de integridade do duto. Nesse sentido, o **item 3.1** apresentou detalhes acerca das condições internas e externas de corrosão, trincas e anomalias encontradas em toda a extensão do duto, assim como os aspectos relacionados à proteção catódica e corrosividade da água, correspondendo à Linha 1 de auditoria, cujos objetivos principais estão apresentados a seguir:

- Fazer análises mais minuciosas dos relatórios de passagens de PIGs emitidos pela “Rosen”;
- Avaliar o plano de controle e monitoramento da corrosão interna adotado pela Anglo American para o mineroduto; e
- Avaliar a efetividade e o programa de monitoramento do sistema de proteção catódica do mineroduto, incluindo interferências elétricas em correntes contínuas e alternadas.

O **Quadro 3.1.1** indica os objetivos propostos e as principais conclusões obtidas pela avaliação do IPT no referido tema.

Quadro 3.1.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos das atividades da avaliação da Integridade	Principais conclusões
Fazer análises minuciosas dos relatórios de passagens de PIGs emitidos pela "Rosen"	<ul style="list-style-type: none"> • Como base nos resultados das avaliações feitas pelos técnicos do Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT sobre o desenvolvimento desse tema, pode-se concluir que as ações implantadas pela Anglo American estão corretas e no sentido de manter a integridade do mineroduto. Diante do cenário apresentado, todas as ações corretivas realizadas e o monitoramento contínuo da integridade do mineroduto permitem observar quaisquer alterações nas condições de operação que possam nuclear trincas ou aumentar a velocidade de propagação, de modo que providências possam ser tomadas em tempo, possibilitando a prevenção de ocorrência de vazamentos.
Avaliar o plano de controle e monitoramento da corrosão interna adotado pela Anglo American para o mineroduto	<ul style="list-style-type: none"> • Com relação ao monitoramento da corrosão interna do Mineroduto Minas-Rio, observa-se uma tendência de melhoria nos procedimentos utilizados pela empresa contratada, mas algumas ações precisam ser aperfeiçoadas: na última substituição de cupons, alguns apresentaram danos mecânicos atribuídos à passagem de PIG. O PIG pode, de fato, promover este dano, mas somente se a instalação não foi feita corretamente. • As sondas de resistência elétrica também apresentaram problemas; das nove sondas instaladas, cinco não apresentaram valores de taxas de corrosão (sonda aberta). • Como as águas <i>in natura</i> são corrosivas ao aço-carbono, deve-se tomar cuidado para que elas não sejam introduzidas, inadvertidamente, no mineroduto, sem o devido tratamento, sob pena de desencadear o processo de corrosão. • Em alguns casos, foram encontradas concentrações elevadas de algumas cepas de bactérias. Em geral, teores de bactérias anaeróbias heterotróficas totais (BANHT) maiores que 10^7 e bactérias redutoras de sulfato (BRS) maiores que 10^5 nos biofilmes já exigem tratamentos complementares como passagem de PIG de limpeza.
Avaliar a efetividade e o programa de monitoramento do sistema de proteção catódica do mineroduto, incluindo interferências elétricas em correntes contínuas e alternadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Com base nos resultados obtidos pelo IPT na visita de campo, em um trecho do mineroduto, o sistema de proteção catódica está operando, mas em três locais havia superproteção, mesmo após os ajustes dos retificadores. Não é possível extrapolar essa condição para os demais PTEs, mas convém avaliar mais cuidadosamente todo trecho, para se certificar de quantos pontos estariam nessa condição. • Ao longo do mineroduto, há outras estruturas enterradas com proteção catódica que não estão interligadas ao mineroduto da Anglo American, mas de acordo com os relatórios da IEC, não há problemas de interferência entre elas. • De acordo com os relatórios da IEC, não havia interferências por corrente alternada, embora tenham sido identificados picos elevados. Os relatórios da IEC, também, concluíram que havia indicações de correntes telúricas em um trecho do mineroduto. • Sobre o revestimento externo, as inspeções apontaram sete falhas Categoria A e três como Categoria B. A IEC recomendou a abertura de valas nas falhas Categoria A para validar a existência dessas falhas. Outras falhas no revestimento foram identificadas em trechos do mineroduto que estavam embutidos em concreto. De qualquer maneira, mesmo que haja falhas nestes locais, o duto estará totalmente protegido.

Fonte: IPT

Considerando ainda os apontamentos realizados nos documentos técnicos anteriores elaborados pelo IPT (PT IPT Nº 21.079-301/18 de Outubro de 2018 referente à Etapa 1; PT IPT Nº 21.150-301/19 de Outubro de 2019 referente ao parecer técnico parcial da Etapa 2; RT IPT Nº 159.992-205/20 de Junho de 2020 e RT IPT Nº 161.195-205/20 de Outubro de 2020 referentes aos Relatórios Técnicos de Andamento 1 e 2, respectivamente, da Etapa 2), é possível concluir que a empresa adotou importantes medidas de redução de riscos e que a atual condição operacional indica baixa suscetibilidade à ocorrência de acidentes graves durante a operação do duto.

Apesar disto, foram citadas oportunidades de melhorias e pontos de atenção quanto a este tópico, especialmente no que se refere à capacitação técnica da equipe interna da empresa, quanto na gestão dos serviços prestados pelos terceiros contratados, quando considerados cenários de riscos de longo prazo.

d) Ao longo da faixa de domínio e imediações e processos geológico-geotécnicos em escala regional

Conforme discutido no **item 3.3** deste Parecer Técnico, a Linha 3 dessa auditoria corresponde aos trabalhos envolvendo os aspectos geológicos-geotécnicos do mineroduto. Nessa linha de trabalho, foi avaliado pelos técnicos do IPT se os procedimentos adotados pela empresa são suficientes para gerenciar as ameaças externas ao empreendimento, de origem geológico-geotécnicas.

Com base na discussão do **item 3.3.3**, e considerando ainda os apontamentos realizados nos documentos técnicos anteriores elaborados pelo IPT (PT IPT Nº 21.079-301/18 de Outubro de 2018 referente à Etapa 1; PT IPT Nº 21.150-301/19 de Outubro de 2019 referente ao parecer técnico parcial da Etapa 2; RT IPT Nº 159.992-205/20 de Junho de 2020 e RT IPT Nº 161.195-205/20 de Outubro de 2020 referentes aos Relatórios Técnicos de Andamento 1 e 2, respectivamente, da Etapa 2), é possível concluir que a empresa adotou importantes medidas de redução e monitoramento de riscos e que a atual condição indica baixa suscetibilidade à ocorrência de acidentes graves com origem em fatores geológico-geotécnicos.

Apesar disto, foram citadas oportunidades de melhorias em implantação ou a implantar, no processo.

e) Avaliação de riscos de acidentes e dos planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência

Conforme discutido no **item 3.4** deste Parecer Técnico, a Linha 4 dessa auditoria corresponde aos trabalhos envolvendo os aspectos de gestão de riscos do mineroduto.

No tema de Gestão de Riscos do Mineroduto, buscou-se analisar a forma como a Anglo American está estruturada para gerir os riscos a que está submetida e a forma com que ela tem lidado com seus riscos e eventos indesejados. Na auditoria também foram avaliados os riscos de acidentes e os planos de contingências para proteção dos trabalhadores e da população situada na área de influência do empreendimento.

O objetivo desta auditoria foi o de compreender a efetividade da gestão de riscos considerando as ações implantadas nas diversas equipes que conduzem a operação do mineroduto. Portanto, nesse parecer e no que se refere à gestão de riscos, foram discutidos os temas:

- Avaliação da gestão de riscos da empresa;
- Avaliação da gestão de riscos das Linhas 1,2 e 3;
- Gerenciamento do risco de invasão da faixa do duto;
- Relacionamento sócio institucional da empresa com foco no duto;
- Método e resultados da análise de suscetibilidade;
- Considerações finais sobre a vulnerabilidade;
- Método e resultados do modelo de análise de risco;
- Avaliação do atendimento às ameaças apontadas pelos técnicos do IPT; e
- Recomendações.

O **Quadro 3.4.1** indicou os objetivos propostos para essa linha de trabalho e as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento dos trabalhos.

Quadro 3.4.1 - Indicação dos objetivos e das principais conclusões obtidos no tópico avaliado.

Objetivos da atividade de avaliação da Gestão de Riscos	Principais conclusões
Identificar e avaliar os programas, planos, protocolos, estudos de identificação de riscos, análises de cenários de risco e outros documentos de interesse, e	Os mecanismos disponibilizados pela empresa se mostram satisfatórios para a eficiente gestão de riscos
As ações efetivas de gestão de risco das diversas atividades de operação do mineroduto conduzidas e coordenadas pela empresa	As medidas e ações adotadas mostraram-se efetivas na redução dos riscos identificados, no período avaliado

Com base na discussão do **item 3.4**, e considerando ainda os apontamentos realizados nos documentos técnicos anteriores elaborados pelo IPT (PT IPT Nº 21.079-301/18 de Outubro de 2018 referente à Etapa 1; PT IPT Nº 21.150-301/19 de Outubro de 2019 referente ao parecer técnico parcial da Etapa 2; RT IPT Nº 159.992-205/20 de Junho de 2020 e RT IPT Nº 161.195-205/20 de Outubro de 2020 referentes aos Relatórios Técnicos de Andamento 1 e 2, respectivamente, da Etapa 2), é possível concluir que a empresa adotou importantes medidas de redução e monitoramento de riscos e que a atual condição indica baixa exposição aos riscos de vazamento do mineroduto, conforme indicam os mapas apresentados no **Apêndice K** deste Parecer Técnico.

Apesar disto, foram citadas oportunidades de melhorias em implantação ou a implantar, no processo.

f) Recomendações para a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas, instalações e equipamentos de proteção do meio ambiente e da saúde dos trabalhadores

Recomendações técnicas foram aqui sugeridas, por linha de trabalho, pelos técnicos do IPT, para adoção pela empresa. Cabe ressaltar que, especificamente quanto à capacitação técnica dos seus funcionários, nota-se a necessidade de aprimorar e realizar investimentos neste sentido, conforme recomendações apontadas nas linhas de trabalho específicas deste Parecer Técnico.

5 LIMITAÇÕES DAS ANÁLISES

Cabe ressaltar algumas limitações referentes às avaliações técnicas apresentadas no presente Parecer Técnico, a saber:

- a maioria das vistorias de campo foram realizadas de forma expedita, com a obtenção de informações de forma qualitativa, de natureza observacional, com o nível de qualidade aceitáveis para a análise pretendida;
- a presente avaliação técnica, baseou-se em inspeções de campo por trechos amostrais da extensão do mineroduto, como uma amostra representativa de toda a extensão do duto (529 km). Esta limitação metodológica visou permitir, mesmo que de forma geral e restrita, emitir opinião técnica quanto às condições de operação do mineroduto como um todo;
- a análise por técnicos especialistas em linhas de trabalho tem a vantagem de identificar ameaças não previstas pela empresa, de forma integrada. Ainda assim, as diferentes áreas, estruturas organizacionais, físicas, de pessoas e de processos da empresa não foram completamente abarcadas pelo trabalho do IPT. Sabendo-se que os incidentes e acidentes decorrem da integração de todos estes fatores com os elementos em risco e as condições predisponentes no local de operação, torna-se necessário ressaltar que este trabalho não exaure todos os cenários de risco a que a empresa esteja submetida, durante suas atividades. Deste modo, o IPT não se responsabiliza por eventuais acidentes ou incidentes que venham a ocorrer, posteriores a esta avaliação; e
- o IPT não poderá, em nenhum momento e de nenhuma forma, ser responsabilizado pela garantia da operação e manutenção do Mineroduto do Sistema Rio-Minas, assim como eventos que venham a ocorrer decorrente de fenômenos da natureza, de imperícia na operação, de incidentes que venham a ser causados por informações não fornecidas pela Anglo American, seus fornecedores de serviços, consultoria e equipamentos, sendo estas atribuições únicas dos responsáveis pela operação do Mineroduto do Sistema Rio-Minas.

6 RECOMENDAÇÕES

Apesar do encerramento desta auditoria, entende-se que a busca por evolução é um dos principais preceitos necessários para a efetiva gestão de riscos. Nesse contexto, são apontadas algumas recomendações para o avanço nas quatro linhas de trabalho desenvolvidas pelo IPT:

6.1 Linha 1 – Avaliação da Integridade

6.1.1 Trincas e descontinuidades correlatas

- Manter o monitoramento contínuo da integridade do mineroduto;
- Realizar estudos de propagação de trincas de corrosão-fadiga com o mesmo meio utilizado para preparação da polpa.

6.1.2 Corrosão interna e monitoramento

- Aperfeiçoar o monitoramento por cupons de perda de massa.
- Avaliar a sinergia do uso combinado de produtos químicos para ajustes do pH e sequestrantes de oxigênio.
- Manter o cronograma trimestral para substituição de cupons.
- Manter controle rigoroso das empresas que prestam serviços de substituição de cupons e leitura de sondas de resistência elétrica.
- Como cinco locais de instalação das sondas de resistência elétrica apresentaram problemas, recomenda-se avaliar tanto a sua aplicabilidade quanto este tipo de tecnologia para que se garanta resultados confiáveis.
- Dada a corrosividade da água *in natura*, é importante que ela não seja utilizada no mineroduto, sem tratamento, para evitar eventuais processos de corrosão.

- Identificar a origem de íons cloreto, já que aparentemente, este não vem nem da água do Rio do Peixe e nem da Barragem EB1.
- Manter o monitoramento do crescimento microbiano das principais cepas de interesse para os processos de corrosão microbiológica.

6.1.3 Corrosão externa e proteção catódica

As seguintes recomendações são apontadas sobre o sistema de proteção catódica do mineroduto:

- Estabelecer um cronograma de monitoramento dos potenciais do sistema de proteção catódica.
- A periodicidade das inspeções nos PTEs deve ser definida com base no histórico dos registros. Sugere-se, inicialmente, a cada 3 meses, podendo ser ampliado para a cada 6 meses, dependendo do histórico dos registros. Nessas inspeções, deve-se sempre verificar os níveis de potenciais nos retificadores e se estão operando normalmente.
- Realizar inspeções regulares e completa dos retificadores, a cada 12 meses.
- É importante ressaltar que são os potenciais OFF que indicam proteção. E estes potenciais só podem ser medidos chaveando-se os retificadores ou por meio de cupons de corrosão externa.
- Fazer uma análise do custo-benefício da implantação de cupons de corrosão externa para monitoramento dos potenciais OFF.
- Reavaliar a decisão de não interligar o mineroduto com as demais estruturas existentes nas vizinhanças. A não interligação pode requerer um monitoramento mais frequente destes trechos.
- Reavaliar os ajustes dos retificadores, para manter os níveis de potenciais dentro da faixa recomendada para evitar subproteção ou superproteção.

- Criar um mapa de eventuais correlações entre os apontamentos de falhas A e B no revestimentos, com os apontamentos de corrosão externa identificados na inspeção por PIG, para, nas próximas campanhas de PIG fazer uma nova correlação para verificar eventual ocorrência de processo de corrosão.
- Estabelecer um cronograma de inspeção do revestimento e comparar sempre os resultados recentes com as inspeções anteriores.
- Foram identificadas falhas no revestimento em trechos do mineroduto que estavam embutidos em concreto. Mesmo que haja falhas no revestimento, nestes locais, o duto estará totalmente protegido e não se justificaria destruir o bloco para avaliar o revestimento.

6.2 Linha 2 – Avaliação dos Aspectos Hidráulico-Operacionais

- Além das recomendações sumarizadas a seguir, atentar-se para as recomendações propostas no tópico da linha 2;
- Manter e registrar os treinamentos dos operadores;
- Registrar as inconsistências e desvios ocorridos durante a operação;
- Finalizar as modificações nas bombas;
- Manter a assincronia de funcionamento entre as bombas;
- Manter a filosofia atual da operação (como o bombeamento mais contínuo de polpa, as manobras adequadas com as válvulas e o não uso do tanque na estação EB2) que está permitindo menores valores de transientes hidráulicos e de flutuações rápidas de pressão, resultando no controle maior da operação;
- Manter o acompanhamento por extensometria das flutuações rápidas de pressão.

6.3 Linha 3 – Avaliação dos Aspectos Geológico Geotécnicos

- Além das recomendações sumarizadas a seguir, atentar-se para as recomendações propostas no tópico da linha 3 e nos respectivos apêndices.
- A classificação de perigo realizada pela equipe do IPT nesta Etapa 2 teve caráter amostral e expedito em relação ao conjunto de ameaças identificadas na Etapa 1, recomendando-se que esses locais sejam doravante incluídos e/ou mantidos, conforme o caso, como objeto de trabalhos sistemáticos e de maior detalhe a ser executados pelas equipes da Anglo American e ou terceiros (a exemplo das análises da FGS Geotecnia sobre fluxos de massa em quatro locais) no contexto do acompanhamento evolutivo dos pontos notáveis geotécnicos definidos pela empresa;
- Para a faixa e suas estruturas permanentes: as anomalias observadas não representam ameaças para cenários iminentes de vazamento do mineroduto, porém demandam análises da Anglo American quanto às ações de manutenção a serem tomadas no contexto de gestão das estruturas e da segurança da operação;
- Considerando os avanços atuais dos processos de transformação tecnológica e digital e a utilização dos mesmos nas diferentes áreas do conhecimento. Dentro do contexto geológico-geotécnico, observa-se que os usuários desses sistemas devem ter base técnica dos conhecimentos tradicionais e o entendimento da fenomenologia dos diferentes tipos de processos geotécnicos ocorrentes. Há que se buscar assim, o devido equilíbrio entre as áreas de inovação tecnológica e as áreas fins de operação para se alcançar soluções eficientes, diante das especificidades dos diversos cenários de perigo e risco;
- Manutenção dos treinamentos integrados das equipes;

- A melhoria na rastreabilidade de documentos, principalmente na identificação da recorrência de anomalias identificadas nas inspeções da faixa e de suas estruturas permanentes;
- A manutenção dos procedimentos de vistoria e monitoramento periódicos da faixa de servidão e de suas estruturas permanentes;

6.4 Linha 4 – Aspectos da Gestão de Riscos

6.4.1 A capacidade de gestão dos riscos:

- Como recomendação, entende-se ser de grande valia a realização de treinamentos adicionais (técnicos e especializados) visando a capacitação técnica da equipe da Anglo American nos temas voltados ao monitoramento da integridade.;
- Sugere-se que os desvios de procedimento sejam monitorados e registrados para análise e discussão, e, caso necessário, as equipes de operadores sejam treinadas preventivamente;
- O setor de risco corporativo da empresa pode ampliar a difusão e capacitação das equipes operacionais a adotar ferramentas de monitoramento de riscos em diversos de seus setores operacionais;
- Treinamentos para capacitação teórico-técnica para as equipes que atuam na operação do mineroduto em especial aqueles ligados à operação e a integridade (proteção à corrosão interna e externa);
- Aperfeiçoar e incentivar a integração entre as equipes dos diversos setores para que eles atuem com foco em risco e de maneira preventiva, promovendo a cultura da segurança operacional;
- Incentivar a manutenção da comunicação e do bom relacionamento com superficiários, setores públicos diversos e com a comunidade;

- Continuar a investir em tecnologias recentes para o monitoramento da faixa de servidão;
- Manter um padrão protetivo distinto em trechos sensíveis como áreas urbanizadas, cruzamento com rodovias, etc;
- Manutenção da equipe de geotecnia voltada para a faixa considerando em sua inspeção aspectos de perigo e risco (ao duto) dos processos geodinâmicos atuantes; e
- O gerenciamento das pressões de operação para manter uma operação segura.

6.4.2 Ao sistema Optasense:

- Simulados para treinar/capacitar a equipe de operadores;
- Estimular e treinar a integração do sistema com os demais setores/equipes e sistemas da empresa, visando monitorar ameaças/causas que possam ser consideradas potencialmente danosas ao duto como, por exemplo, integrar com outros sistemas/setores: Scada e programa GCP Geotecnia;
- Treinamentos para identificar vazamento e também identificar eventos de intrusão;
- Integrar os treinamentos, simulados e operação com Plano de Emergência;

6.4.3 À gestão das vulnerabilidades, ao PAE e ao relacionamento socioinstitucional:

- Considerar a possibilidade de cenários de risco considerando acidentes combinados (pessoas, meio ambiente e infraestruturas);
- Desenvolver simulados;
- Incluir simulados considerando acidentes combinados;

- Identificar ao longo do duto quais são os seus trechos prioritários, setorizando os mesmos de acordo com as diferentes vulnerabilidades ao longo da faixa (baixa, media, alta/muito alta), considerando os eixos temáticos de pessoas, infraestrutura e meio ambiente;
- Se possível, sugere-se o cadastro de possíveis proprietários, moradores ou outros agentes externos para contato por SMS em caso de emergência em locais que foram definidos como muito alta/alta vulnerabilidade;
- O plano também deve definir a frequência de atualização das listas de contatos que são utilizadas;
- Incluir no texto a integração e padronização das comunicações externas e internas;
- Sugere-se incluir nos simulados qual o nível de emergência eles representam;
- Sugere-se incluir treinamentos e simulados EAD (inicialmente na forma de testes), rotineiros, às equipes envolvidas;
- Sugere-se incluir treinamentos e simulados do tipo table top;
- Deve haver a previsão de treinamentos para todos os cargos específicos citados no plano de atendimento à emergência;
- Descrever no plano se os recursos são suficientes e adequados. Sugere-se que sejam feitos exercícios internos na empresa para avaliar se os recursos e equipes existentes e disponíveis (considerando recursos do container e de terceiros) são suficientes e adequados;
- Considerar no plano a estimativa de tempo de resposta dos fornecedores de recursos;
- Utilizar as informações provenientes da avaliação de vulnerabilidade para implementar ações de relacionamento socioinstitucional.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, considerando-se as causas dos vazamentos ocorridos em março de 2018, a atuação da Anglo American durante os acidentes, as medidas corretivas e preventivas implantadas em relação às questões aqui apontadas nas diferentes linhas de trabalho avaliadas e, caso as medidas previstas de serem implantadas futuramente ocorram, é esperado que o mineroduto do sistema Minas-Rio continue a operar de forma segura, consideradas as limitações citadas.

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação geral

Engenheiro Civil, Mestre Marcos Jorgino Blanco

Oceanógrafa, Mestra Larissa Felicidade Werkhauser Demarco

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES INTRÍNSECAS DE INTEGRIDADE DO MINERODUTO:

MATERIAIS AVANÇADOS

Laboratório de Corrosão e Proteção - LCP

Química, Mestra Anna Ramus Moreira

Engenheiro Metalurgista, Dr. Hamilton Lelis Ito

Arquiteta, Mestra Adriana de Araujo

Técnico em Metalurgia, Marcio Bispo de Almeida

Físico, Mestre Neusvaldo Lira de Almeida

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS HIDRÁULICO OPERACIONAIS DO MINERODUTO:

TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Laboratório de Vazão - LV

Engenheiro Mecânico, Doutor Kazuto Kawakita

Engenheiro Mecânico, Mestre Nilson Massami Taira

Estatística, Doutora Olga Satomi Yoshida

Engenheiro Mecânico, Doutor Paulo Jose Saiz Jabardo

Engenheiro Mecânico, Doutor Ramon Valls Martin

Engenheiro Químico, Doutor José Eduardo Prata

Engenheiro Mecânico, Mestre Rubens Silva Telles

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS AO LONGO DA FAIXA DE DOMÍNIO DO MINERODUTO

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental - SIRGA

Geóloga, Doutora Alessandra Cristina Corsi,

Geólogo, Doutor Agostinho Tadashi Ogura

Técnico, José Carlos Cardoso

Técnico em Eletrônica, Kaique Almeida Justino da Silva

Engenheiro Civil, Mestra Marcela Penha Pereira Guimarães

Geólogo, Doutor Eduardo Soares de Macedo

Geólogo, Mestre Marcelo Fischer Gramani

Geólogo, Doutor Nestor Kenji Yoshikawa

Geofísico, Doutor Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Físico, Vicente Luiz Galli

**Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e Florestas -
SPRSF**

Geóloga, Mestra Alessandra Gonçalves Siqueira
Tecnólogo Civil, Mestre Claudio Luiz Ridente Gomes
Geóloga, Mestra Priscila Taminato Hirata
Tecnólogo Civil, Nivaldo Paulon
Geólogo, Doutor Omar Yazbek Bitar
Geógrafa, Mestra Priscila Moreira Argentin
Engenheira Civil, Mestra Sofia Julia Alves M. Campos
Engenheiro Civil, Doutor Filipe Antonio Marques Falcetta
Geólogo, Mestre Zeno Hellmeister Jr
Tecnólogo Civil, Gerson Salviano de Almeida

Seção de Obras Civis - SOC

Engenheiro Civil, Me. Ciro José Ribeiro Villela Araújo
Engenheiro Civil Diego Lapolli Bressan
Técnico, Sebastião Carlos Crispin
Técnico, Luís Carlos dos Santos
Engenheiro Civil, Mestre Aline Fernandes Heleno
Geólogo, Felipe Schaeffer Santos – FIPT
Engenheira Civil, Doutora Gisleine Coelho de Campos
Técnico, Marcelo Pasquallucci Marzullo
Engenheiro Civil, Mestre Patrícia Del Gaudio Orlando
Geóloga, Paula Sayuri Tanabe Nishijima

AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES DE GESTÃO DE RISCO ASSOCIADAS À OPERAÇÃO DO MINERODUTO

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental - SIRGA

Engenheira Ambiental, Claudia Zveibel Toporovski Rebelo - FIPT

Oceanógrafa, Mestra Larissa Felicidade Werkhauser Demarco

Engenheiro Civil, Mestre Marcos Jorgino Blanco

Engenheiro Agrônomo, Mestre Alexandre Muselli Barbosa

Engenheiro Ambiental, Fernando Menino Ribeiro de Almeida - FIPT

Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e Florestas - SPRSF

Engenheira Florestal, Mestra Ana Paula de Souza Silva

Engenheiro Ambiental, Doutora Aline Ribeiro Machado

Bióloga, Mestra Mariana Hortelani Carneseca Longo

ENERGIA

Laboratório de Infraestrutura em Energia

Físico, João Carlos Savio Cordeiro

Engenheiro Mecânico, Doutor Rynaldo Zanotele Hemerly de Almeida

Apoio Administrativo

Luzia Matico Nagase, Secretária

Leila Evangelista, Secretária

São Paulo, 31 de março de 2021

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Geól. Me. Fabrício Araujo Mirandola
Diretor Técnico
CREASP Nº 5062055808 – RE 86508577
[Assinado digitalmente](#)

MATERIAIS AVANÇADOS

Engª Química Sandra Lúcia de Moraes
Diretora Técnica
CREA Nº 50600299050 – RE Nº 8174
[Assinado digitalmente](#)

ENERGIA

Química Ma. Heloísa Burkhardt Antonoff
Diretora Técnica
CRQ 04118212 – RE 7641
[Assinado digitalmente](#)

TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Engº Mecânico Nilson Massami Taira
Diretor Técnico
CREA Nº 601861565 – RE Nº 7858
[Assinado digitalmente](#)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PANOSSIAN, Z. Proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Publicação IPT 2032, 1993. v.2. p. 281-363.
2. Albuquerque, A. C., Andrade, C., Neves., B. (2014). Biocorrosão - da integridade do biofilme à integridade do material. Corrosão & Proteção de Materiais, 33 (1-2): 18-23.
3. SHREIR, L.L. Corrosion. 2. ed. London : Newnes Butterworths, 1977. v. 1, p. 3.85-3.96
4. Luo J, Zhang J, Barnes RJ, et al. The application of nitric oxide to control biofouling of membrane bioreactors. Microb. Biotechnol. 2015;8(3):549-560. doi:10.1111/1751-7915.12261
5. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Relatório de Segurança de Barragens – 2016. Disponível no Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens – SNISB (<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/rsb-2016>).
6. BRASIL – MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. 2018. CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE). Disponível em http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960. Acesso em 04 abril 2018.
7. CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2018. Sistema de Informação sobre Emergências Químicas. Disponível em (<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/emergencia/relatorio.php>).
8. CORSI A. C., GRAMANI M. F., OGURA A. T. Método para delimitação de bacias suscetíveis a corrida de massa e enxurrada em regiões serranas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E AMBIENTAL, 9., 2015, Cuiabá. Anais... Cuiabá: ABGE, 2015.
9. CPRM, 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 2014. Escala original 1:1.000.000.
10. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). FAA System Safety Handbook. Disponível em: http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/.

11. FERREIRA, K. R.; CASANOVA, M. A.; QUEIROZ, G. R. DE; OLIVEIRA, O. F. DE. Arquiteturas e linguagens. In: Banco de Dados Geográficos, Edit.: Marco Casanova; Gilberto Câmara; Clodoveu Davis; Lúbia Vinhas; Gilberto Ribeiro de Queiroz;. Acessado em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap5.pdf>.
12. FUNEP – FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO. 2006. Plano Municipal de Redução de Riscos de deslizamentos para as áreas de encosta de Cubatão.
13. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil Escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acessado em: 04/10/2018.
14. LEINFELDER, R. R. Análise de riscos para redução dos riscos de segurança em uma pedreira paulista. Dissertação de mestrado entregue à Escola Politécnica USP. São Paulo, 2016.
15. MMX. Estudo de Impacto Ambiental - Instalação e Operação de Mineroduto. Volume I, Minas Gerais e Rio de Janeiro, 2016.
16. MORGAN, J. ; SAUSEN, T.M. 2009. “Banco de dados para o Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do INPE”. Santa Maria. Brasil. Data de acesso 8.
17. MUHLBAUER, W. Kent. Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources. Elsevier, 2004.
18. Outubro 2009. < <http://www.projetos.unijui.edu.br/erbd2009/arquivo/51868.pdf>>.
19. SÃO PAULO – GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; INFOSIGA. Base de Dados de registro de acidentes de trânsito. Disponível em: <http://www.infosiga.sp.gov.br/Home/InfoMapaRelatorio>.
20. SINGH, Ramesh. Pipeline Integrity: Management and Risk Evaluation. Gulf Professional Publishing, 2017.
21. STEPHENSON, J. System safety 2000: a practical guide for planning, managing, and conducting system safety programs, 1ed. New York, 1991.
22. UNDRO - UNITED NATIONS RELIEF CO-ORDINATOR. 1991. UNDRO’S approach to disaster mitigation. UNDRO News, Geneva, p.20, jan-feb.
23. UNISDR – INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Disponível em: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>. Acesso em 04 abril 2018.

APÊNDICES

**NA PRÓXIMA PÁGINA SEGUEM LINKS PARA DOWNLOAD DOS
APÊNDICES**

Apêndice A: Relatos de campo – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_A.zip

Apêndice B: Faixa de domínio – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice C: Tuneis – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice D: Barragem EB2 – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice E: Estruturas EB1 – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice F: Estruturas EB2-EV-ET – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice G: Taludes EB1 – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice H: Vibrações – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_B_H.zip

Apêndice I: Corrosão Interna – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_I.zip

Apêndice J: Risco – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_J_K.zip

Apêndice K: Mapas Vulnerabilidade e Risco – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_J_K.zip

Apêndice L: Relatórios e Pareceres anteriores IPT – link:

https://escriba.ipt.br/ANEXOS/DJ15/301_21282_APENDICE_L.zip