

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE

Modelo Geoelétrico-geológico das formações do complexo
cristalino de base no distrito de Mavago, Niassa, Moçambique

REINALDO ANTÓNIO DOMINGOS

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Rio Claro - SP
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

REINALDO ANTÔNIO DOMINGOS

MODELO GEOELÉCTRICO-GEOLÓGICO DAS
FORMAÇÕES DO COMPLEXO CRISTALINO DE BASE
NO DISTRITO DE MAVAGO, NIASA, MOÇAMBIQUE

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto
Moreira

Rio Claro - SP
2024

D671m	Domingos, Reinaldo António Modelo geoelectrico-geológico das formações do complexo cristalino de base no distrito de Mavago, Niassa, Moçambique / Reinaldo António Domingos. -- Rio Claro, 2024 217 p. : tabs., fotos, mapas Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: Cesar Augusto Moreira 1. Eletroresistividade. 2. água subterrânea. 3. complexo de base cristalino. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

REINALDO ANTÔNIO DOMINGOS

Modelo Geoelectrico-geológico das formações do complexo
cristalino de base no distrito de Mavago, Niassa, Moçambique

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Elias Isler
IRN/UNIFEI/Itajubá (MG)

Profa. Dra. Livia Portes Innocenti Helene
FATEC-JAHU/Jaú (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 26 de abril de 2024.

*Aos meus filhos Valdo, Alan,
Júnior e Wammy,
meus eternos
inspiradores*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. César Augusto Moreira, primeiro, pela disponibilidade para orientar a minha pesquisa, segundo, pela abnegada dedicação e comprometimento com o objecto de estudo, terceiro e último, pelo entusiasmo e confiança que transmitiu em mim.

Ao Prof. Didier e demais professores da UNESP, especialmente, aqueles com quem tive contacto, ainda que virtual, durante o leccionamento das várias disciplinas cursadas, pela sua paciência e dedicação à transmissão do conhecimento.

Ao Prof. Isaías Mafavisse, Director da Faculdade de Geociências da Unirovuma que, de forma incondicional, tornou possível o meu primeiro contacto com o Prof. César e UNESP e encorajamento para prosseguir até ao fim. Este agradecimento estende-se a toda Direcção e colegas da Faculdade de Geociências da UniRovuma.

A WE Consulta, pela oportunidade que me concederam de integrar a sua equipa de campo para aquisição de dados.

À Japan Techno Co., LTD, pela cedência de dados e sua utilização para fins académicos, particularmente na pessoa do sr. Yokogi e todo seu elenco que trabalhou nessa fase do projecto.

Ao SDPI de Mavago, na pessoa de Sr. Domingos, sempre pronto para colaborar e ceder informação relevante sobre os recursos hídricos e áreas afins, no seu distrito.

Aos meus saudosos pais, Manuel Domingos e Maria António Sebastião e toda a minha família, por acreditarem e me apoiarem ao longo desta interminável caminhada. A minha esposa, Leida Micaela Jorge Moisés e aos nossos filhos, Valdo, Alan, Júnior e Wammy e Alejandra, pela paciência nos momentos que tive que me afastar dos nossos momentos de convívio para atender à academia.

A todos meus colegas da Universidade Rovuma e amigos que colaboraram para a materialização deste desiderato.

RESUMO

Estudos destinados à alocação de pontos de captação da água subterrânea para os mais diversificados fins, podem levar a resultados contraproducentes, ora por inexperiência do pesquisador, ora pelas dificuldades impostas pela complexidade hidrogeológica da área de estudo. O Complexo de Base Cristalino é um desses contextos geológicos que oferecem maiores imprecisões. O distrito de Mavago, localizado na província de Niassa no norte de Moçambique, jaz sobre o Complexo Cristalino pré-câmbrico, com furos produtivos em áreas caracterizadas por resistividades excessivamente elevadas, desafiando o actual conhecimento científico sobre a matéria. Neste trabalho propôs-se a integração da análise topográfica, geológico-estrutural, geoeléctrico-geológica e sua correlação com a distribuição espacial dos furos produtivos, para explicar o fenómeno. Os resultados mostram que uma tendência geral do fluxo da água é orientada de SW-NE. Na área de estudo, uma série de estruturas secundárias orientadas de NE-SW, ENE-WSW e NW-SE, indiciam uma ampla circulação da água na região. A Bacia do Rovuma na fronteira norte e o Lago Niassa à oeste, situado ao longo do vale do rift este africano, podem ser as grandes feições provedoras do recurso hídrico ao aquífero regional da região ocidental da província do Niassa. A produtividade dos aquíferos das áreas resistivas em Mavago poderá estar relacionada com a possibilidade de uma circulação regional profunda associada a ocorrência frequente dos sistemas interconectados de fracturas e falhas regionais. As elevadas resistividades da sub-região montanhosa poderia reflectir um rególito de espessura limitada e um sistema de fracturas e falhas profundas alimentando zonas mais localizadas em profundidades moderadas a rasas, que ao serem interceptadas por furos, alimentam-nos verticalmente a partir dos fluxos subterrâneos profundos. Nas áreas resistivas, recomenda-se estudos integrados que envolvam o sensoriamento remoto e imageamento geofísico que busquem alvos de perfuração mais profundos, especialmente para os SAA cuja demanda é elevada e a captação é através de bombas submersíveis.

Palavras-chave: Eletroressistividade, água subterrânea, complexo de base cristalino, análise qualitativa e quantitativa.

ABSTRACT

Studies aimed at siting drilling points for the most diverse purposes can lead to counterproductive results, sometimes due to the researcher's inexperience, sometimes due to the difficulties imposed by the hydrogeological complexity of the study area. The Crystalline Basement Complex is one of those geological contexts that offer greater inaccuracies. The district of Mavago, located in the province of Niassa in northern Mozambique, lies on the Precambrian Crystalline Complex, with productive boreholes in areas characterized by excessively high resistivities, challenging current scientific knowledge on the matter. This work proposed the integration of topographic, geological-structural, geoelectrical-geological analysis and their correlation with the spatial distribution of productive boreholes, to explain the phenomenon. The results show that a general trend of water flow is oriented SW-NE. In the study area, a series of secondary structures oriented NE-SW, ENE-WSW and NW-SE indicate a broad circulation of groundwater in the region. The Rovuma Basins on the northern border and the Niassa Lake to the west, located along the east African rift valley, might be the major source of groundwater resources for the regional aquifer in the western region of the Niassa province. The productivity of aquifers in resistive areas may be related to the possibility of a deep regional circulation associated with the frequent occurrence of interconnected systems of regional fractures and faults. The high resistivities of the mountainous sub-region in Mavago, could be related to the possible occurrence of a shallow overburden and deep fracture and faults systems feeding vertically areas located at moderate to shallow depths, which, when intercepted by boreholes, feed them through deeper groundwater flows. In resistive areas, integrated studies involving remote sensing and geophysical imaging that seek deeper drilling targets are recommended, especially for Piped Water Schemes, whose demand is higher and the supply is through submersible pumps.

Keywords: Electroresistivity, groundwater, crystalline basement complex, qualitative and quantitative analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização geográfica e divisão administrativa de Moçambique	16
Figura 2 Esboço do Mapa Geomorfológico de Moçambique (modificado de Bondirev, 1983). I. Picos e cristas- 1. Origem intrusiva-tectónica; 2: origem intrusiva tectónica e erosiva-denudativa; 3: origem erosiva-denudativa. II. Planaltos de lavas; 4: Planaltos de lavas. III: Peneplanícies de embasamento de 5: origem extrusiva-denudativa; 6: origem extrusiva-denudativa e acumulativa. IV: Áreas de acumulação de 7. Superfícies niveladas; 8: depressões erosivo desudativas e acumulativas; 9: planícies acumulativas; 10: depressões acumulativas; 11: encostas recentes, vales e cursos de rios (LACHELT, 2006, pag.19).....	17
Figura 3 Condições climáticas - a) Zonas climáticas: 1. Clima tropical húmido; 2. Clima seco de savana; 3. Clima tropical de altitude; 4. Clima montanhoso; b) Temperatura média anual; e c) Precipitação média anual (LACHELT, 2006).....	19
Figura 4 Rede hidrográfica do distrito de Mavago.....	20
Figura 5 Localização geográfica do distrito de Mavago, com locais pesquisados.....	23
Figura 6 Características geomorfológicas do distrito de Mavago, mostrando a distribuição das sub-regiões pantanosa, planáltica e montanhosa.....	24
Figura 7 <i>Inserlbergs</i> caracterizando a Sub-região Montanhosa	25
Figura 8 Poços tradicionais escavados manualmente, não revestidos, aproveitados para o abastecimento público	25
Figura 9 Sub-região planáltica com ocorrência de nascentes que a população explora para consumo doméstico	26
Figura 10 Tendência para o alinhamento das SEVs, espelhando o padrão de assentamento das comunidades que situam-se ao longo das principais vias de acesso	27
Figura 11 Províncias Tectónicas da África Austral (modificado de Tankard et al., 1982 apud Lachelt, 2004)	28
Figura 12 Complexos que atravessam a área de estudo	29
Figura 13 Principais unidades geológicas do distrito de Mavago	31
Figura 14 Mapa tectono-estratigráfico regional da SADC ilustrando a localização das regiões dos Cratões Arqueanos em volta de faixas móveis Proterozóicas e recobertas por sequências de camadas Fanerozóicas: KC = Cratão de Kaapvaal, ZC = Cratão do Zimbabwe, TC = Cratão da Tanzânia, BB = Bloco de Bangweulu, CC = Componentes do Cratão de Congo, R = Cinturão de Rehoboth, L = Cinturão do Limpopo, KS = Cinturão de Kheis, M = Cinturão Magondi, S = Cinturão Sinclair, N = Província Metamórfica de Namaqua, NB = Província de Natal, IB = Cinturão Irumide, KB = Cinturão Kibaride, MB= Cinturão de Moçambique, D = Cinturão Damara, K = Cinturão Kaoko, G = Cinturão Gariep, SB = Cinturão Saldanha, EAO = Orogenia da África Oriental, LA = Arco de Lufilian, Z = Cinturão de Zambeze, WCB= Cinturão de Congo Ocidental, 1 = Extensão dos Cratões de Kaapvaal e Zimbabwe, 2 = Extesão do Cratão de Kaapvaal-Limpopo-Zimbabwe, 3 = Extesão do Cratão Calahari, 4 = Extensão austral do crat do Congo (modificado de Hanson, 2003).....	32
Figura 15 Carta Hidrogeológica de Moçambique a escala 1:1.000.000, mostrando as 7 Províncias Hidrogeológicas (FERRO e BOUMAN, 1987)	34
Figura 16 Principais Unidade Hidrogeológicas Regionais.....	36
Figura 17 Sistemas de armazenamento e transmissão da água subterrânea em meio de porosidade dupla.....	39
Figura 18 Condições favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para água subterrânea: espaçamento, interconexão e orientação (LEITE, 2023).	42
Figura 19 Parâmetros usados na definição da Resistividade (Kearey et. al., 2002).....	43
Figura 20 Fluxo de corrente (linhas contínuas) entre os eletrodos A e B e superfícies equipotenciais (linhas pontilhadas, ortogonais às linhas de corrente) em um semi-espaco homogéneo e queda de tensão. O potencial V é medido entre os eletrodos M e N, posicionados (neste caso) em um arranjo de WENNER (MILSOM & ERICKSEN, 2011).....	44
Figura 21 Morfologia das curvas de Campo (Braga, 2008)	48
Figura 22 Fluxograma mostrando o Procedimento Metodológico da Aquisição de Dados.....	50
Figura 23 Principais equipamentos usados para o levantamento de dados no campo (da esquerda a	

direita: Resistivímetro Terrameter SAS 300C da ABEM, Bobinas de corrente, bússola geológica e GPSmap 60C).....	53
Figura 24 Pesquisa em curso: PRH na imagem a esquerda e SEV na imagem a direita.....	53
Figura 25 Área alvo de pesquisa (rectângulo branco), PRHs planificados (linhas vermelhas) e PRHs executados (linhas verdes), SEVs propostas (bolinhas brancas), SEVs efectuadas (triângulos amarelos), furos de 2018 (negativos - bolas vermelhas e positivo-bola azul).....	56
Figura 26 Distribuição geográfica das SEVs	57
Figura 27 Lineamentos mapeados na área de estudo	58
Figura 28 Diagrama de rosetas mostrando orientações preferenciais dos lineamentos do distrito de Mavago, sendo de NW-SE e NE-SW em (a) e N-S, NE-SW e NNW-SSE, em (b).....	58
Figura 29 Cruzamento de dados topográficos, espessura do rególito e profundidade do substrato	59
Figura 30 Modelo Geoeléctrico-Geológico do ponto 6 em Mangupenge, inferido a partir da respectiva curva teórica.....	63
Figura 31 Distribuição espacial dos furos existentes, das zonas resistivas e tipologia morfológica.....	65
Figura 32 Curvas tipo KH e QH representativas do perfil geológico de Nsawise	66
Figura 33 Curvas tipo H e A representativas do perfil geológico de Nsawise.....	66
Figura 34 Poço tradicional raso em Nsawise	67
Figura 35 Curvas tipo HKH e H representativas do perfil geológico de Lucimbese	68
Figura 36 <i>Inselberg</i> rodeado de vegetação com alguns blocos decolados e rolados para sua base	68
Figura 37 Distribuição Espacial dos Furos Positivos e Negativos da campanha de 2023 (com indicação de furos positivos e negativos em cada região).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resistividades de algumas rochas e minerais (Musset & Khan, 2009)	45
Tabela 2 Lista de comunidades beneficiárias do projecto de abastecimento de água através de furos dispersos no distrito de Mavago e o número de furos por comunidade	51
Tabela 3 Primeiro Grupo-Alvo: Sistema de Abastecimento de Água para a Vila	51
Tabela 4 Grupo-Alvo 2: Furos Dispersos em 12 Comunidades do Distrito de Mavago	52
Tabela 5 Relação entre o número de tentativas e furos positivos/negativos	71

LISTA DE ABREVIATURAS

Amsl – Acima do Nível da Água do Mar
ASNANI – Projecto de “Água e Saneamento para Nampula e Niassa”
°C - Graus Celcius
DNA – Direcção Nacional de Águas
E – Este
ET₀ – Evapotranspiração Potencial
FD – Furos Despersos
GM – Governo de Moçambique
INE - Instituto Nacional de Estatística
JICA – Agência Japonesa para Cooperação Internacional
Km – Quilómetros
Km² – Quilómetros Quadrados
m - metros
Mt. – Monte
NE – Nordeste
NW - Noroeste
ODS – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável
PEDDM – Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Mavago
PIB – Produto Interno Bruto
PO – Princípio de Oferta
PP – Princípio de Procura
PRH – Perfilagem de Resistividade Horizontal
PRONASAR – Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SDPI – Serviço Distrital de Planificação e Infraestruturas
SEV – Sondagem Eléctrica Vertical
UTM - Universal Transverse Mercator
USGS – United State Geological Society
W - Oeste
WE Consult – Water and Environmental Consultants

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Objectivos.....	15
1.2.1	<i>Objectivo geral</i>	15
1.2.2	<i>Objectivos específicos</i>	15
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
2.1	Características gerais de Moçambique	16
2.1.1	<i>Localização Geográfica</i>	16
2.1.2	<i>Relevo e Fisiografia</i>	16
2.1.3	<i>Hidrografia e Clima</i>	19
2.1.4	<i>Economia e Infraestruturas</i>	21
2.3	Quadro geológico-estrutural e geotectónico regional.....	28
2.3.1	<i>O Complexo de Base de África</i>	28
2.4	Quadro hidrogeológico regional.....	32
2.5	Histórico de projectos de perfuração na área de estudo	36
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	39
3.1	Sistemas de armazenamento e transmissão da água subterrânea em maciços cristalinos	39
3.2	Electrorresistividade (ER) aplicada à caracterização hidrogeológica de maciços cristalinos	42
3.3	Modelo Geoeléctrico-Geológico	49
4.	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	50
4.1	Procedimento Metodológico da Aquisição de Dados	50
4.2	Planificação	51
4.2	Extracção de Lineamentos.....	52
4.3	Perfilagem de Resistividade Horizontal (PRH).....	52
4.4	Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)	54

5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.2	Distribuição dos Pontos de Amostragem para Furos Dispersos	57
5.3	Integração de modelos geoeletricos 2D e 1D.....	59
5.4	Inferição de modelos geofísicos-geológicos	61
5.5	Integração dos modelos qualitativo-quantitativos com dados hidrogeológicos.....	63
5.6	Análise comparativa dos dois postos administrativos.....	66
5.7	Resultados da campanha de perfuração de 2023.....	70
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	73
	REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 Contextualização

A importância económica e social da água subterrânea para as comunidades indígenas rurais em Moçambique, já é reconhecida desde a década 50 do Século XX, quando FREITAS (1959) afirmou a conveniência imediata de notar-se a bem conhecida importância que, em toda a parte, têm as águas subterrâneas.

O INE (2017) registou que a população moçambicana é essencialmente rural, perfazendo 66.6%, que de entre muitas outras dificuldades, é caracterizada por imensas restrições no acesso à água potável, com cerca de 51.7% da população sem acesso à água segura.

A Política de Águas vigente em Moçambique busca não só satisfazer as necessidades básicas das populações mais pobres, mas também, segundo Correia (2017) valorizá-la como um bem social, ambiental e económico. Tendo em vista estas metas, enquadradas nos Objectivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), a Estratégia Nacional de Recursos Hídricos (DNA, 2007), na sua componente de águas subterrâneas enaltece a importância da pesquisa para o dimensionamento do manancial hídrico subterrâneo e sua exploração sustentável, visando alcançar 70% de cobertura até 2025 e o acesso universal e equitativo da população à água até 2030.

Em resposta ao desafio imposto por estas metas, o Governo de Moçambique definiu, estrategicamente, a exploração de águas subterrâneas como a forma mais rápida de expansão de serviços de provimento de água segura às populações rurais, através de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) em grandes aglomerados (vilas e cidades) e furos dispersos equipados com bombas manuais em pequenos aglomerados populacionais rurais.

Entretanto, os projectos de abastecimento de água implementados desde os anos 80 no país registam significativos e recorrentes insucessos, quer por insuficiência de caudal, invariavelmente associados às complexidades hidrogeológicas dos terrenos cristalinos do Complexo de Base (pre-câmbrico) que representam 57% do território nacional, quer por elevado grau de salinidade, nas zonas costeiras.

A Agência Japonesa para a Cooperação Internacional (JICA) está a apoiar, técnica e financeiramente, o Programa Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento Rural (PRONASAR), em vigor desde 2009, através da implementação do Projecto de Construção de Infraestruturas de Abastecimento de Água na Província do Niassa, que abrange os distritos de Mavago, Muembe, Majune e Mandimba, que beneficiam, cada um, de um (01) SAA e vinte e

cinco (25) Furos Dispersos. Trata-se de um financiamento no valor de 2,076 bilhões de yens (18.86 bilhões de dólares) de um projecto a ser implementado em 30 meses.

Tendo em conta que os 4 distritos abrangidos pelo projecto fazem parte dos distritos que jazem sobre unidades do Complexo Cristalino de Base, que têm registrado as mais baixas taxas de sucesso de perfuração, demandam abordagens holísticas, tecnologias e técnicas modernas e sofisticadas de aquisição e interpretação de dados para uma inferência mais precisa dos mananciais e alocação dos pontos mais favoráveis à captação da água subterrânea.

A escolha do distrito de Mavago resulta do facto de terem sido achados furos produtivos em locais que num estudo anterior, em 2007, levado a cabo no âmbito do projecto ASNANI (2003-2008), terem sido, então, considerados de baixo potencial hidrogeológico e, por conseguinte, não terem sido recomendados para a perfuração.

Da revisão dos relatórios da WE CONSULT (2007), o proponente notou que as recomendações foram baseadas apenas nos valores absolutos das resistividades registadas nos Perfis de Resistividade Horizontais (PRH) e nas Sondagens Eléctricas Verticais (SEV). KEAREY *et. al.* (2002) postula que, “em muitos métodos de prospecção geofísica são as variações locais, relativamente a alguns valores de limiar, que são de interesse primário” e GANDOLFO (2012) enuncia que “são especificamente as anomalias, melhor do que os valores absolutos medidos, que interessam a investigação geofísica”.

A construção de um Modelo Geoeléctrico-Geológico e sua interpretação embasados nos postulados de KEAREY *et. al.* (2002) e GANDOLFO (2012) podem tornar mais assertiva a selecção dos alvos de captação da água subterrânea em terrenos cristalinos.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo geral

Este estudo objectiva a avaliação do potencial hidrogeológico do distrito de Mavago, Moçambique, por meio da análise integrada de modelos geoeléctrico-geológicos gerados a partir da análise qualitativa e quantitativa dos modelos geoeléctricos 1D e 2D.

1.2.2 Objectivos específicos

- Analisar o tipo morfológico dominante das curvas das SEVs, buscando inferir a espessura do rególito e ocorrência de discontinuidades no basamento;
- Avaliar a produtividade das fontes existentes nas zonas mais resistivas; e
- Correlacionar a distribuição espacial dos furos produtivos com as zonas resistivas e tipologia morfológica das SEVs.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Características gerais de Moçambique

2.1.1 Localização Geográfica

Moçambique está situado na África Austral com fronteira variando entre 10°30' e 26°52'S e 40°50' e 30°13'E. A leste e sudeste, o país faz fronteira com o Oceano Índico e a norte com a Tanzânia e parte do Malawi. Malawi, Zâmbia, Zimbábue, África do Sul e Suazilândia são os países vizinhos a oeste (Figura 1). A superfície de Moçambique é de aproximadamente 800.000 km². A distância longitudinal (de norte a sul) de Moçambique é de cerca de 2.000 km. Ao longo da fronteira norte é de cerca de 600 km e o limite sul aproximadamente 50 km.

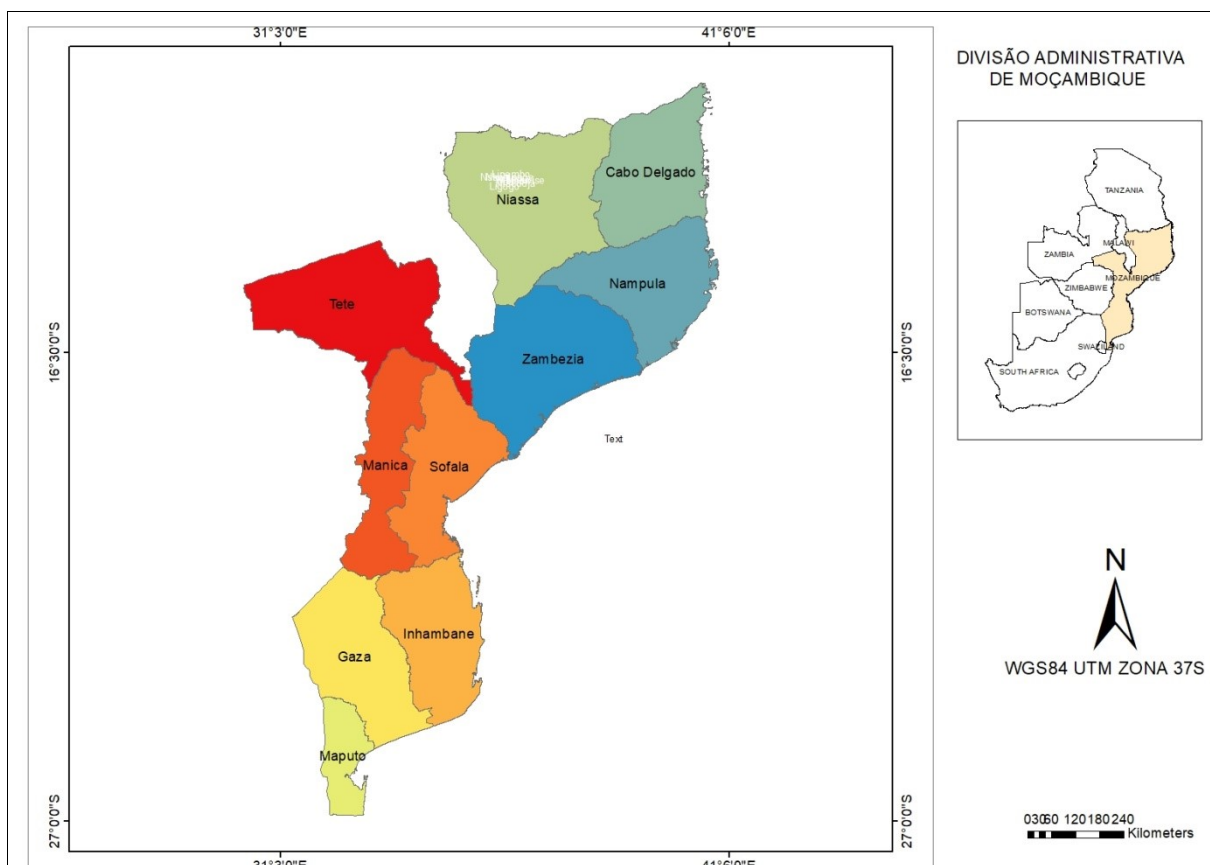


Figura 1 Localização geográfica e divisão administrativa de Moçambique

2.1.2 Relevo e Fisiografia

A Figura 2 mostra o relevo (topografia) de Moçambique. Em termos paisagísticos, Moçambique pode ser dividido em Lachelt (2006, pag. 19):

- terras baixas até 200 m acima do nível do mar (amsl);

- planaltos até 600 m e montanhas moderadamente altas, planaltos montanhosos com cumes elevados, e inselbergs atingindo alturas de 1.000 m acima do nível do mar;
- inselbergs e cumes de montanhas com alturas acima 1.000 m amsl.

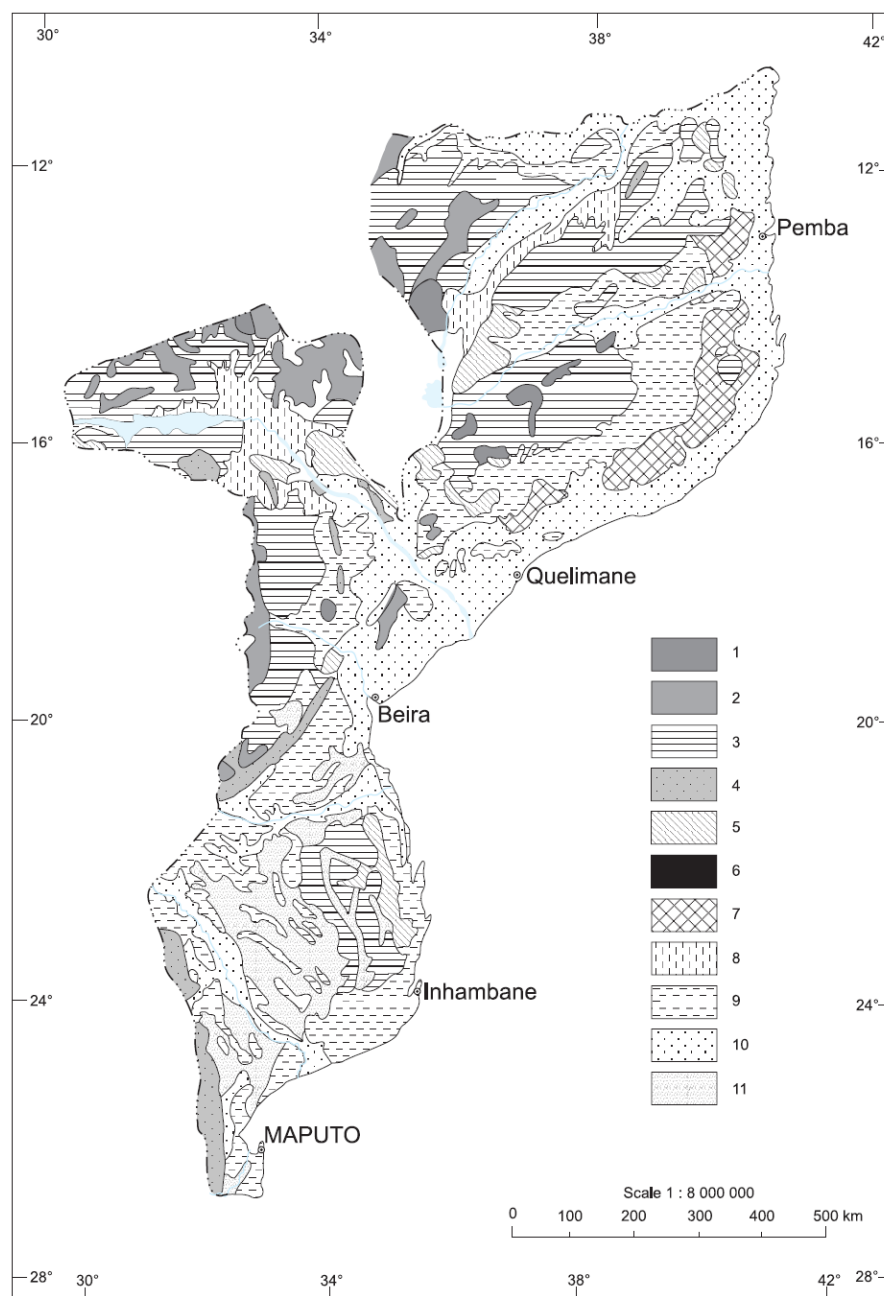


Figura 2 Esboço do Mapa Geomorfológico de Moçambique (modificado de Bondirev, 1983). I. Picos e cristas- 1. Origem intrusiva-tectónica; 2: origem intrusiva tectónica e erosiva-denudativa; 3: origem erosiva-denudativa. II. Planaltos de lavas; 4: Planaltos de lavas. III. Peneplanícies de embasamento de 5: origem extrusiva-denudativa; 6: origem extrusiva-denudativa e acumulativa. IV. Áreas de acumulação de 7. Superfícies niveladas; 8: depressões erosivo desudativas e acumulativas; 9: planícies acumulativas; 10: depressões acumulativas; 11: encostas recentes, vales e cursos de rios (LACHELT, 2006, pag.19)

As terras baixas (também planícies costeiras) incluem a zona costeira e ocupam 35–40% da superfície de Moçambique. Estas planícies são na sua maioria muito planas, mas as dunas costeiras podem atingir os 100 m de altura.

Os planaltos montanhosos e as montanhas moderadamente altas ocupam cerca de 50% da superfície de Moçambique. A Cordilheira dos Libombo no sul de Moçambique forma uma cadeia montanhosa que atinge alturas entre 500 e 800 m, estendendo-se na direção N-S por aproximadamente 900 km. O pico mais alto (805 m) é Mt M'Pondvine (Mepondvine).

No norte de Moçambique o planalto ocupa a maior parte da superfície terrestre. Nas Províncias de Niassa, Cabo Delgado, Nampula e Zambézia, o planalto forma um planalto inclinado cuja altura aumenta em direção ao Lago Niassa. Ao longo da costa é caracterizada por cordilheiras encadeadas. Toda a Província de Tete é constituída por este planalto e uma zona de cumes montanhosos.

Inselbergs e montanhas cobrem apenas 10-15% da superfície moçambicana. As montanhas mais importantes são as seguintes:

□ As montanhas de Manica, das quais os maciços de Chimanemane, Manica e Choa são os mais importantes, situam-se ao longo da fronteira com o Zimbabwe. Apenas alguns inselbergs são conhecidos na Província de Sofala. O Monte Binga do Maciço de Chimanemane, com 2.436 m de altitude, situa-se junto à fronteira com o Zimbabwe e é um dos pontos mais altos de Moçambique. Outras montanhas de importância são o Monte Miranga na Serra da Gorongosa (1.856 m) e as Montanhas Chimanemani de aproximadamente 2.000 m, o Monte Vumba do Maciço de Manica a 1.684 m e o Monte Choa do Maciço de Choa a 1.790 m.

□ Nos planaltos de Maravia e Angónia, posicionados ao longo da fronteira com a Zâmbia e o Malawi, as montanhas mais altas são o Monte Domue com 2.096 m e o Monte Chirobue com 2.021 m.

As montanhas Chire-Namuli consistem em uma cadeia de serras, e nas províncias de Nampula e Zambézia os inselbergs são responsáveis por um relevo característico. Os mais elevados são o Mt. Namuli à 2.453 m, Mt. Chiperone à 2.054 m, Mt. Nacaonda à 1.850 m e Mt. Inago à 1.850 m. As montanhas Maniamba-Amaramba esculpem a costa oriental do Lago Niassa, onde os picos mais elevados são a serra Jeci à 1.836 m e Serra Mitucue à 1.803 m.

A linha da costa moçambicana estende-se ao longo da costa oriental do Continente Africano por cerca de 2.400 km. Apenas algumas das maiores ilhas, p.e., a Ilha de Moçambique e a Ilha de Inhaca, são geralmente bem conhecidas. No norte de Moçambique algumas pequenas ilhas de coral formam uma cadeia ao longo da costa.

Algumas baías, como as baías da Beira e Maputo fornecem enseadas para portos bem protegidos. Os recifes de mexilhão e coral também se desenvolveram, especialmente ao longo da costa norte de Moçambique.

Os processos tectónicos e a litologia dos estratos geológicos estão em boa correspondência com a geomorfologia (Figura 2).

2.1.3 Hidrografia e Clima

Numerosos rios e lagos são característicos da geomorfologia de Moçambique. As principais direções dos cursos dos rios são de oeste para leste e noroeste para sudeste. Muitos rios são perenes e o escoamento é considerável durante a estação chuvosa. Encontram-se muitos pequenos rios, riachos e numerosos lagos, estes últimos em sua maioria restritos à região sul.

As Figura 3a-c descrevem as condições climáticas de Moçambique. O clima de Moçambique é influenciado principalmente por:

- ☐ a corrente costeira do Oceano Índico;
- ☐ a distância à costa;
- ☐ o relevo, principalmente a altitude.

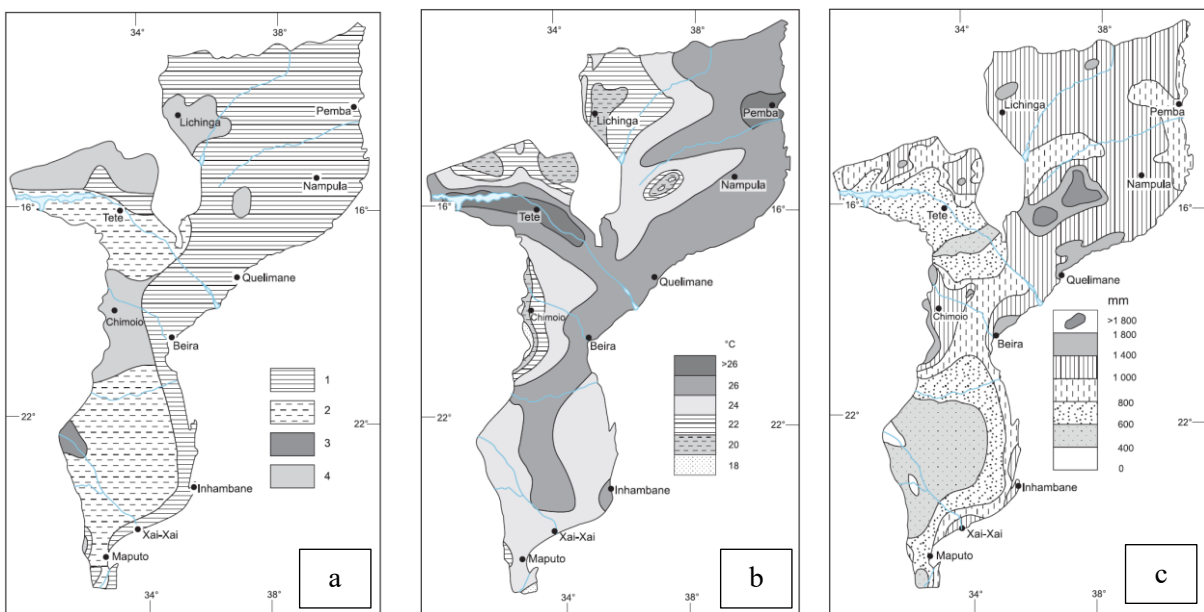


Figura 3 Condições climáticas - a) Zonas climáticas: 1. Clima tropical húmido; 2. Clima seco de savana; 3. Clima tropical de altitude; 4. Clima montanhoso; b) Temperatura média anual; e c) Precipitação média anual (LACHELT, 2006)

De acordo com a interação destas influências, distinguem-se três tipos de clima (**Error!**

Reference source not found.a):

- ☐ clima tropical húmido;
- ☐ clima seco de savana;
- ☐ clima tropical de altitude e montanhoso.

O clima tropical húmido abrange praticamente toda a parte norte de Moçambique, as províncias de Cabo Delgado, Nampula e Zambézia. A sul do Rio Save, este tipo de clima ocorre apenas numa estreita zona costeira.

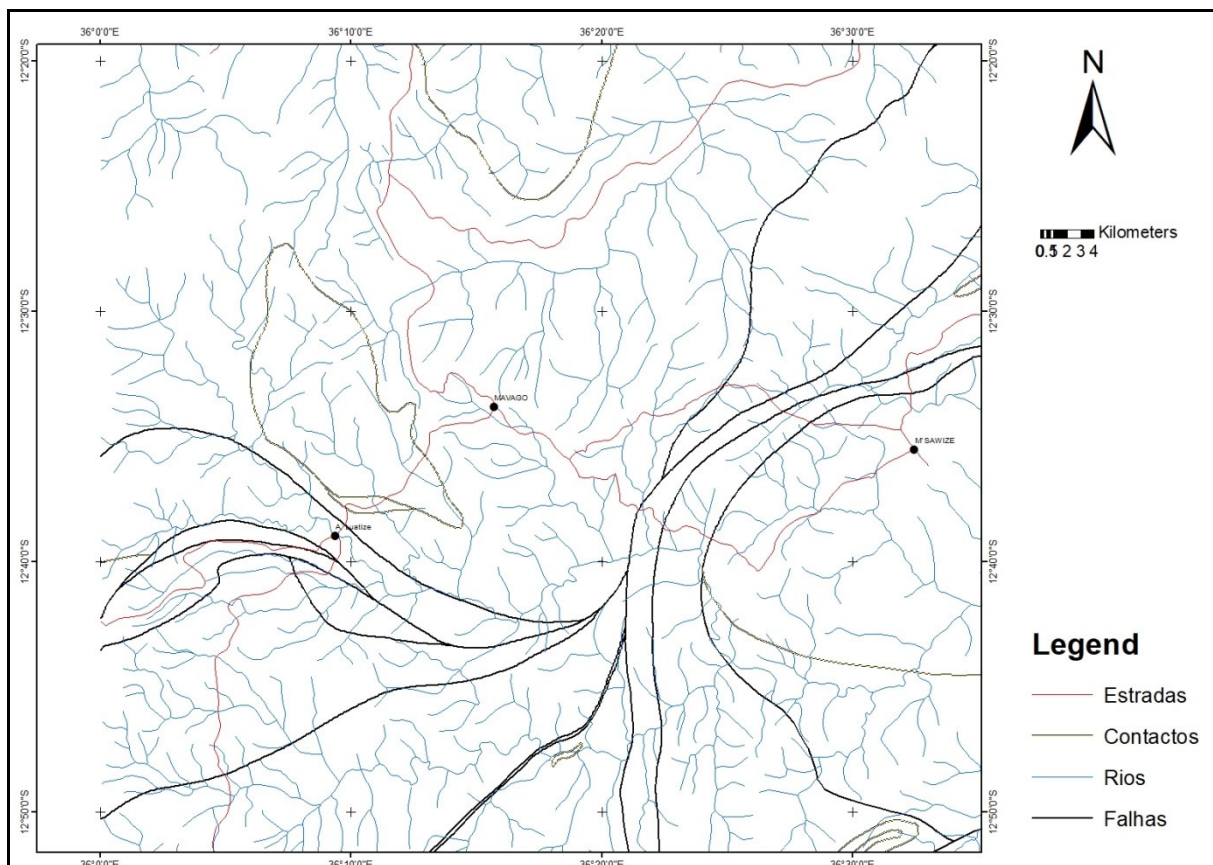


Figura 4 Rede hidrográfica do distrito de Mavago

O clima seco de floresta-savana é influenciado pela estação chuvosa (a principal e por vezes seguida por uma segunda estação mais curta) e ocorre nas províncias de Gaza e Inhambane, bem como na região sul da província de Tete e algumas áreas a norte da Província de Manica.

O clima tropical montanhoso é caracterizado por precipitação relativamente alta e, portanto, restrito aos territórios mais altos das Províncias de Niassa, Tete e Manica e a Cordilheira dos Libombo no sul de Moçambique.

Geralmente, Moçambique pode ser subdividido em duas zonas climáticas principais:

- ☐ a zona, à norte do rio Zambeze;
- ☐ a zona, à sul do rio Zambeze.

A zona norte está sujeita a chuvas de monção regulares de dezembro a abril; ciclones aparecem regularmente. A zona sul é caracterizada por frequentes anticiclones (altas pressões atmosféricas causando tempo calmo) e aguaceiros irregulares a sul do Rio Zambeze.

Durante o período de novembro a março é quente e as chuvas são regulares. Na estação seca, que vai de maio a setembro, o clima é fresco e agradável. Abril e outubro são meses de transição. As temperaturas elevadas, na ordem dos 40 °C, ocorrem na época das chuvas no Vale do Zambeze e as baixas temperaturas registam-se nas regiões montanhosas e também parcialmente na região entre os rios Save e Limpopo, onde podem descer até 1–2 °C; em áreas montanhosas pode até cair abaixo de zero.

De acordo com as zonas climáticas indicadas, a vegetação varia de densa floresta tropical no norte e nas regiões montanhosas a planícies de savanas e savanas no sul de Moçambique.

A Figura 3b mostra as temperaturas médias anuais, enquanto a Figura 3c mostra a precipitação média anual para as zonas climáticas.

2.1.4 Economia e Infraestruturas

A economia é geralmente dependente de esforços extensivamente praticados. Com relação ao produto interno bruto (PIB):

- cerca de 35% é gerado pela agricultura;
- cerca de 11% da indústria (incluindo mineração);
- cerca de 54% de comércio e serviços.

As principais commodities de exportação são camarão, castanha de caju (caju), açúcar, chá, frutas cítricas, algodão em rama, coco (copra), produtos de mineração, ou seja, grafite, tântalo, carvão, mármore, ouro, pedras preciosas, pedras semipreciosas e bentonita, e nas futuras concentrações de areia mineral pesada contendo titânio.

As terras aráveis utilizadas para a agricultura totalizam aproximadamente 6% do território moçambicano (aproximadamente 45.000 km²). As condições mais favoráveis para a agricultura encontram-se nas províncias de Niassa, Zambézia, Nampula e nos vales dos rios Incomati, Limpopo no sul de Moçambique, bem como nas terras altas de Angónia (província de Tete), Chimoio (província de Manica), província de Sofala e finalmente nos vales dos rios Zambeze, Save e Buzi no centro de Moçambique.

A maior parte da produção agrícola atual é consumida pelos habitantes locais, onde uma família tem que sobreviver com o que pode ser produzido geralmente em menos de um hectare.

A indústria é sustentada pela geração de energia hidrelétricas (Barragem de Cahora Bassa), extracção de matérias-primas, fabrico de produtos têxteis, madeira, fabrico de mobiliário, bem como a transformação de produtos agrícolas. Na indústria mineira, as

Províncias da Zambézia e Nampula são importantes produtores de columbotantalite, berilo, pedras preciosas de pegmatitos e, em menor grau, a produção de caulino e grafite na Província de Cabo Delgado. Grandes depósitos de minerais pesados (titânio) foram encontrados na Província de Nampula, Zambézia e em Chibuto na Província de Gaza, e estão em processo de mineração. Na província de Tete, perto de Moatize, a mineração de carvão também começará em breve, e nas províncias de Manica e Niassa estão sendo extraídos ouro e bauxita (Manica). O mármore é extraído em Montepuez, na província de Cabo Delgado. Outras matérias-primas, por exemplo, fluorita, são conhecidas, mas ainda não foram exploradas.

As infra-estruturas, como caminhos-de-ferro e estradas, são desenvolvidas de forma desigual em Moçambique. Os portos de Maputo, Beira e Nacala poderão tornar-se novamente importantes locais de exportação e importação após a reconstrução; isso pode começar agora, já que a guerra civil terminou. O comércio com os países vizinhos (África do Sul, Suazilândia, Zimbabwe e Malawi) é vital para o desenvolvimento de Moçambique. Existe uma rede de estradas e ferrovias entre os portos, áreas rurais e países vizinhos. Esta rede é constituída por cerca de 40.000 km de estradas, das quais aproximadamente 10% são alcatroados.

As linhas férreas totalizam 4.161 km. A rede consiste predominantemente em ligações W-E, algumas ligando Moçambique aos países vizinhos. Alguns portos internacionais foram desenvolvidos, bem como alguns de importância local.

2.2 Características gerais do Distrito de Mavago

Mavago é um dos distritos da província do Niassa, localizado na região norte de Moçambique. O distrito de Mavago tem a sua sede na localidade de N'kalapa-Mavago e faz limite à norte com a República da Tanzânia, à oeste com os distritos de Muembe e Sanga, à sul com os distritos de Majune e Marrupa e, a este, com o distrito de Mecula (Figura 5).

O distrito de Mavago tem a superfície total de 9.534 km² e a sua população está estimada em 35.562 habitantes. Com uma densidade populacional aproximada de 3.73 hab/km² (INE, 2017). A estrutura etária do distrito reflecte uma relação de dependência económica de 1:0.9, isto é, por cada 10 crianças ou anciões existem 9 pessoas em idade activa. Com uma população jovem (48%, abaixo dos 15 anos), tem um índice de masculinidade de 95% (por cada 100 pessoas do sexo feminino existem 95 do masculino) e uma matriz rural acentuada.

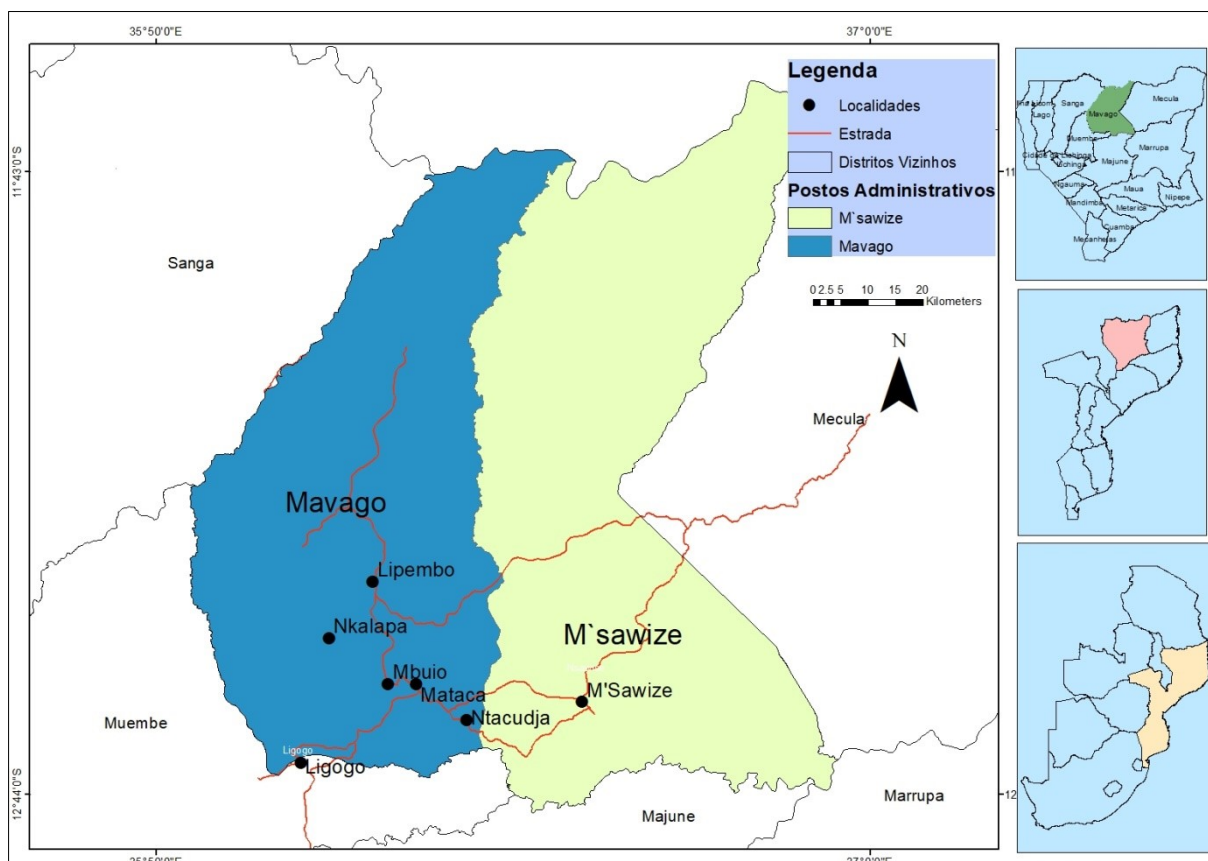


Figura 5 Localização geográfica do distrito de Mavago, com locais pesquisados

Extensos territórios do distrito se encontram dentro das áreas de conservação florestal e caça da extensa Reserva do Niassa, que é reconhecida pela sua enorme diversidade em fauna bravia, constituindo, assim, uma importante área para a prática de turismo cinegético e ecoturismo por ora pouco explorado.

O distrito de Mavago é dominado pelo clima tropical e apresenta duas estações distintas, nomeadamente, o verão quente, chuvoso e húmido entre os meses de Outubro a Abril e de inverno seco que inicia em Maio e tem o seu término em Outubro. A precipitação média anual varia de 800 a 1.200 mm, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) está entre os 1.300 e 1.500 mm. As temperaturas mais elevadas, que oscilam entre os 20 °C a 35 °C, se registam entre os meses de Outubro a Maio e as baixas vão de 15 °C a 20 °C, nos meses de Abril a Setembro. A temperatura média anual varia entre 20 e 25 °C (MAE, 2005, pag. 10).

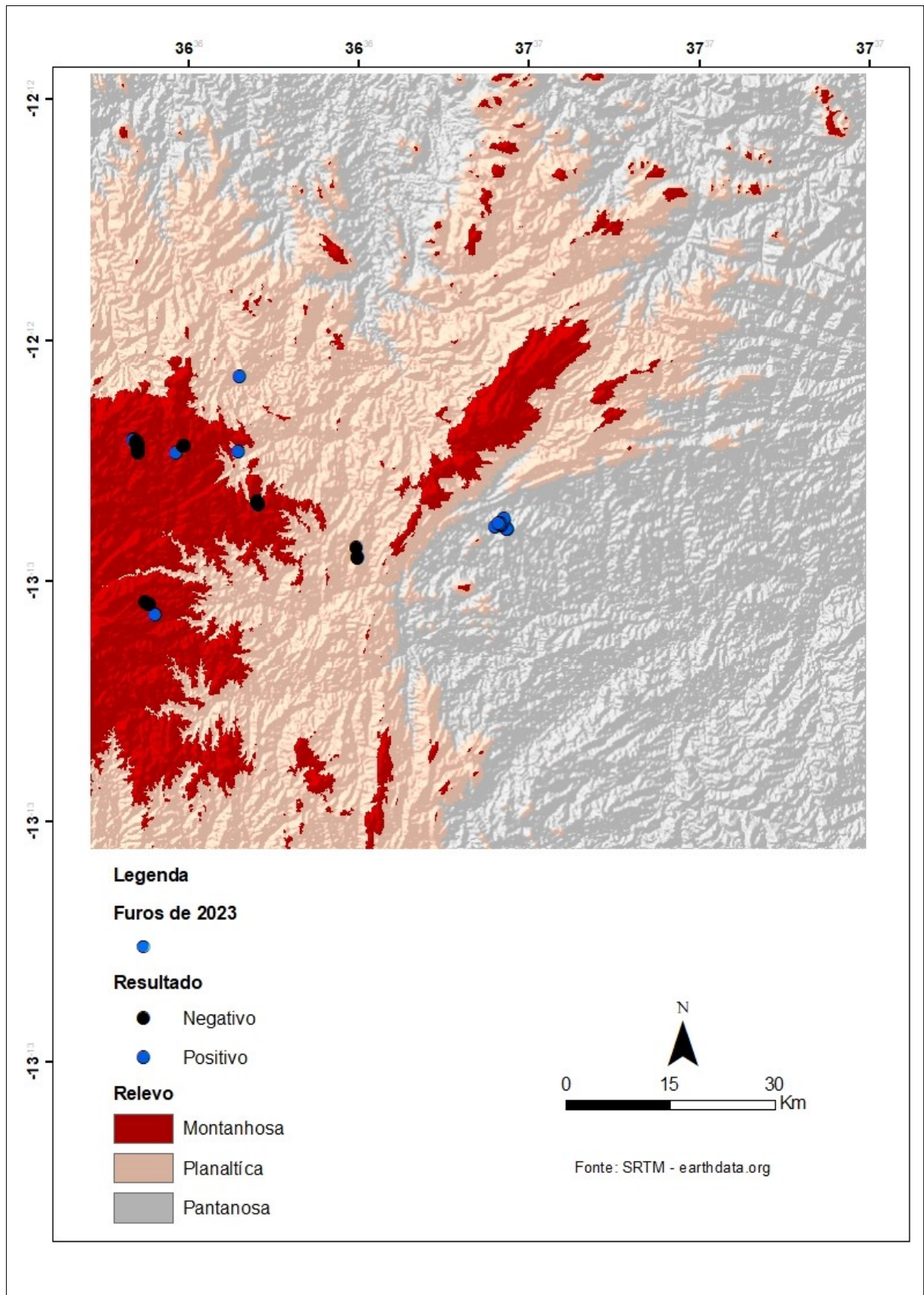


Figura 6 Características geomorfológicas do distrito de Mavago, mostrando a distribuição das sub-regiões pantanosa, planáltica e montanhosa

Em termos morfológicos, Mavago é dotado de terras de altitudes compreendidas entre os 600 e 1.200 metros, de relevo ondulado, com formações rochosas dos “insebergs” (Figura 7) e dividido em três sub-regiões a saber:

Sub-região Montanhosa: a de maior densidade populacional, localizada entre Chituche e o Posto Administrativo de M’sawize com altos índices de precipitação pluviométrica (Figura 7). A característica principal desta sub-região é a ocorrência de *inselbergs*, geralmente muito meteorizados, com solos desenvolvidos, mas que devido à sua posição topográfica, são sistematicamente erodidos. Estas feições, geralmente, desenvolvem muita vegetação que se torna bastante densa na época chuvosa.



Figura 7 *Inselbergs* caracterizando a Sub-região Montanhosa

Sub-região Pantanosa: região susceptível ao alagamento durante a época chuvosa dificultando o acesso a ela, que compreende a partir do Povoado de Lipembo a Milepa. Estas



Figura 8 Poços tradicionais escavados manualmente, não revestidos, aproveitados para o abastecimento público

regiões, geralmente muito húmidas, constituem o recurso seguro como fonte de abastecimento de água às populações carenciadas, particularmente, na época seca. O aproveitamento do recurso hídrico é feito a partir de poços tradicionais desprotegidos, escavados manualmente, em aquíferos livres rasos, oferecendo por conseguinte, elevado risco à saúde pública.

Sub-região Planáltica: fisiologicamente a área é constituída por uma zona planáltica baixa que, gradualmente, passa para um relevo mais dissecado com encostas mais declivosas intermédias, da sub-região planáltica. Nestas regiões ocorrem, frequentemente, nascentes de vertentes, aproveitadas pela população local para o abastecimento público (Figura 9). Contrariamente ao caso da sub-região pantanosa, nesta ocorre água de boa qualidade, porém carecendo de cuidados especiais, no que tange a forma de captação, transporte e conservação.



Figura 9 Sub-região planáltica com ocorrência de nascentes que a população explora para consumo doméstico

Os dambos (ou ndabo nas línguas locais) são formas especiais de vales, não sendo exclusivo de uma zona agro-ecológica está presente de forma considerável na região. São depressões hidromórficas suaves ou vales extensos, não profundos, sem escoamento de água na forma de uma linha de drenagem ou mesmo leito de um rio. A fisiografia é dominada pela alternância de interflúvios e vales dos rios que, devido a sua largura, profundidade e posição (em relação aos rios) poderão alternar os dambos. Os vales dos rios são dominados por solos aluvionares, escuros, profundos, de textura pesada a média. Existem também solos hidromórficos, de textura variada, desde arenosos de cores cinzentas, arenosos sobre argila a

solos argilosos estratificados, de cor escura (Mollic, Gleyic e Dystrtic Gleysols e Haplic e Luvic Phaeozems) (MAE, 2005, pag. 11).

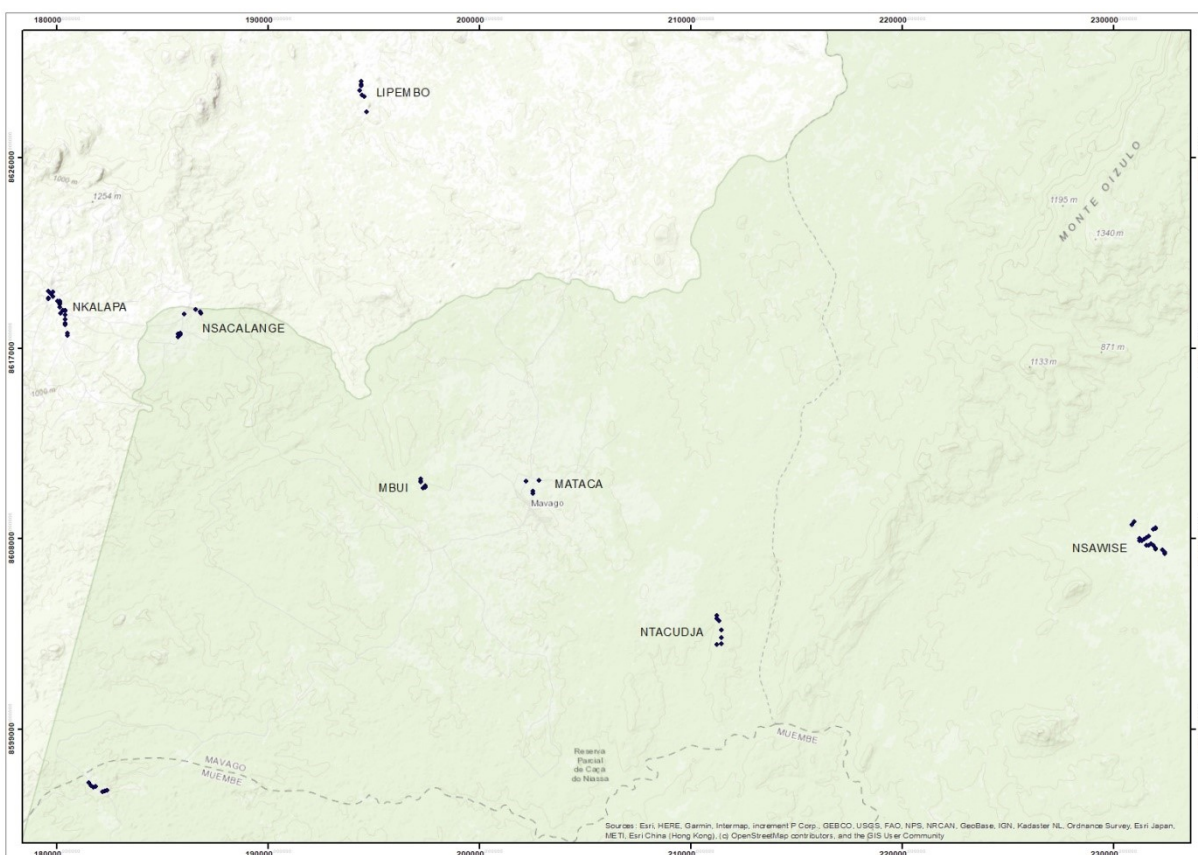


Figura 10 Tendência para o alinhamento das SEVs, espelhando o padrão de assentamento das comunidades que situam-se ao longo das principais vias de acesso

No mapa da Figura 10 pode-se notar a tendência para as SEVs se disporem em linha recta, o que espelha o padrão dos assentamentos populacionais que se concentram ao longo das vias de acesso, em todo o distrito, condicionados, por um lado pela geomorfologia do território, bastante acidentado, bem como as políticas implantadas na então República Popular de Moçambique, logo após a independência nacional, que encorajava a concentração das populações em áreas mais próximas possível das vias de acesso para permitir melhor organização, controle e escoamento de excedentes agrícolas.

Os topos e encostas superiores dos interflúvios são dominados por complexos de solos vermelhos e alaranjados (Rhodic Ferralsols, Chromic Luvisols), e amarelos (Haplic Lixisols e Haplic Ferralsols). A maioria dos solos apresentam texturas média a pesada, sendo profundos e moderadamente bem drenados. Nas encostas intermédias dos interflúvios os solos variam de cor, desde pardo-acastanhada a castanho-amareladas, moderadamente bem drenados, com textura argilosa (MAE, 2005, pag. 11).

2.3 Quadro geológico-estrutural e geotectónico regional

2.3.1 O Complexo de Base de África

O complexo cristalino de África compreende rochas metassedimentares, metaígneas e ígneas de idades que variam desde o Arcaico ao Cenozóico. Nos blocos cristalinos precâmbrios, cinturões de granitos-gnáisso-rochas verdes do núcleo cratónico arcaico estão cercados essencialmente por províncias orogénicas do Proterozóico, frequentemente referidos como cinturões móveis. Uma parte do basamento cristalino são intrusões ígneas associadas a um magmatismo anorogénico, que incluem grandes intrusões Proterozóicas tais como o Complexo Ígneo de Bushveld, embora muitos deles tenham sido alojados desde o Paleozóico Médio (Figura 11).



Figura 11 Províncias Tectónicas da África Austral (modificado de Tankard et al., 1982 apud Lachelt, 2004)

Moçambique está subdividido em duas regiões geológico-estruturais diferentes (AFONSO, 1978) que compreendem um embasamento pré-câmbrico cobrindo uma área de superfície de cerca de 534.000 km² e uma região fanerozóica de 237.000 km² (LACHELT, 2004). O Pré-câmbrico é subdividido em:

- Unidades cratónicas arcaicas parcialmente cobertas por depósitos proterozóicos;
- Cinturões móveis arcaicos, cobertas por depósitos proterozóicos e fanerozóicos;
- Unidades proterozóicas.

A área de estudo jaz, maioritariamente, sobre o Complexo de Unango (Figura 12), que, segundo GRANTHAM *et. al* (2011) domina a região ocidental da província do Niassa e estende-se desde a fronteira com a Tanzânia, onde é sobreposta por rochas do Karoo do Graben de Maniamba até 15°30' S, e desde o Lago Niassa e fronteira com o Malawi no ocidente até 36°30' E, nordeste de Mavago, onde é cavalgado pelo Complexo de Marrupa e recoberto por um *klippen* que consiste dos Complexos de Muaquia e N'sawize. A sul deste *nappe* faz contacto com o Complexo de Marrupa, que foi colocado estruturalmente sobre o Complexo de Nampula durante a orogenia Pan-Africana. A fronteira entre estes dois complexos é uma complexa série de zonas de cisalhamento com orientação NE-SW, anastomosada e íngreme, raramente expostas.

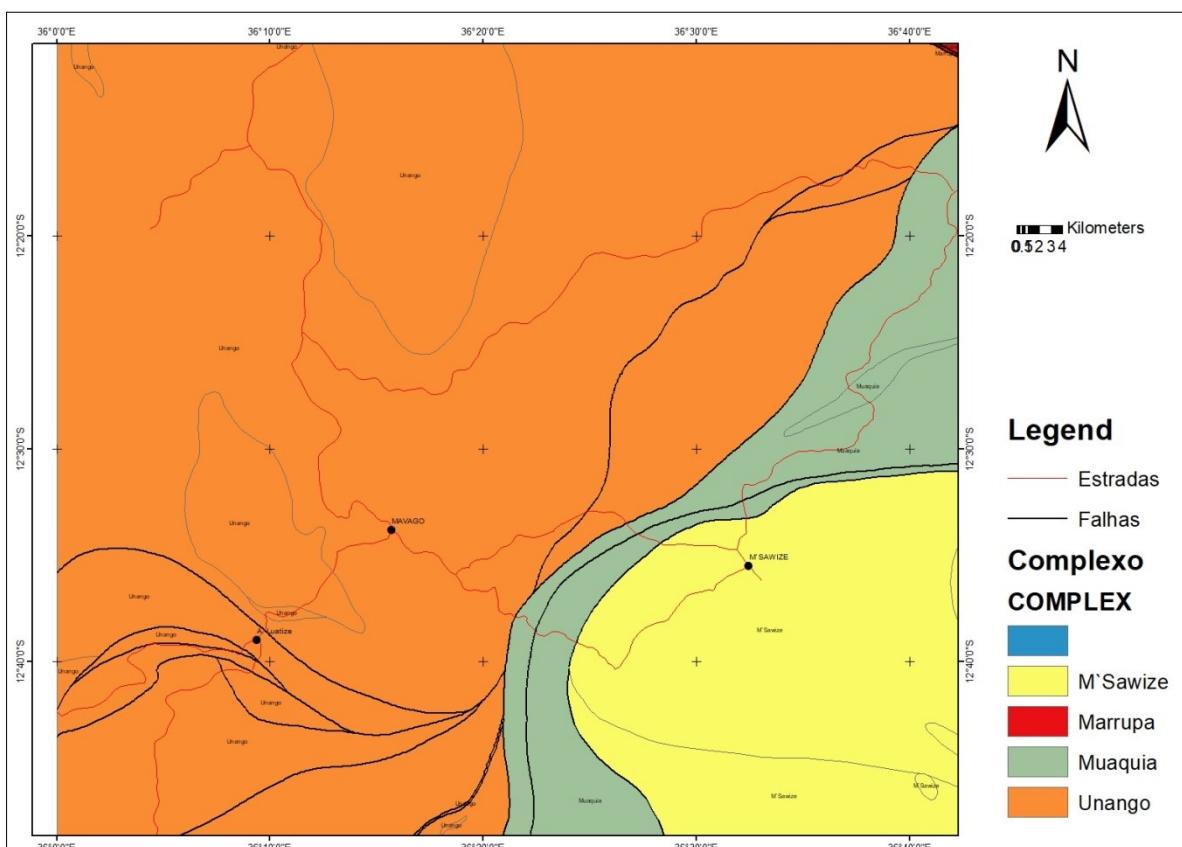


Figura 12 Complexos que atravessam a área de estudo

Ao longo da costa oriental do Lago Niassa, região NW de Moçambique, estão representados extensos granulitos e charnockitos de Idade moçambicana, 1.100 - 900 m.a., retrabalhados na margem ocidental durante a orogenia pan-africana, 500 ± 100 m.a. Os granulitos moçambicanos originaram-se de uma separação do manto da crosta, sendo

principal representante o Complexo de Unango composto por ortognaisses granulíticos de composição alcalina ou toleítica (CILEK, 1989), ácidos a intermédios, parcialmente de domínio metamórfico granulítico e retrógrado (Norconsult, 2007). A migmatização de carácter variado é extensiva. Alguns componentes mostram poucas indicações de terem sido expostos ao metamorfismo da fácies granulítica. Muitas das rochas granodioríticas caem no campo dos granitos do tipo I e cerca de 50% dos granitos têm composições similares às rochas do tipo I fraccionadas, enquanto outros granitos caem no campo do tipo A, juntamente com rochas sieníticas. As rochas monzodioríticas a monzoníticas ocorrem tanto no domínio dos granitos fraccionados do tipo I como do tipo A. Os paragnaisses de alto grau predominam localmente no oeste ao longo da fronteira com o Malawi. Muitas das unidades dentro do complexo são delimitadas por elementos em uma rede de zonas de cisalhamento anastomosadas. Dez amostras de vários ortognaisses do Complexo Unango variam em idade de intrusão de 1065 ± 16 a 975 ± 33 Ma. Adicionalmente, três amostras de paragnáisse foram datadas por um método diferente com destaque para fácies de anfibolito a granulito de metamorfismo Pan-Africano entre 553 ± 13 e 525 ± 9 Ma. Localmente, predominam paragnáisses de alto grau, ao longo da fronteira com o Malawi (Norconsult, 2007).

O Complexo de Unango é subdividido nas seguintes unidades litológicas supracrustais: gnáisse migmatítico bandado, gnáisse granulítico máfico bandado, gnáisse migmatítico, gnáisse hornobléndico, gnáisse biotítico, em parte milonítico, gnáisse quartzo-feldspático e quartzíticos, com muscovite e cianite (Grantham *et. al.*, 2011 e Norcounult, 2007).

O complexo de Nsawise compreende quatro grandes unidades: Gnaisse granodiorítico a gabroico (P3SWgd), Metatonalita (P3SWto), Metagabro e anfibolito (P3SWgb) e migmatito bandado com pouco granito migmatítico e anfibolito (P3SWmi). As fronteiras norte e oeste do Complexo de M'Sawize estão aparentemente relacionadas a várias zonas de cisalhamento que cruzam a região a partir do nordeste, fazendo uma curva acentuada para o sul em cerca de UTM 220000, 8600000 na folha 1236 Mavago.

Esta mudança de direcção das zonas de cisalhamento é coincidente com a borda, e pensa-se que esteja relacionada com a "curvatura" dos planos de falha perto do Complexo Unango no oeste. Isso mudará o movimento relativo nas falhas do tecto normal em direcção sul-sudeste nas partes leste e central do complexo, para cisalhamento destrai em zonas íngremes ao longo da borda oeste.

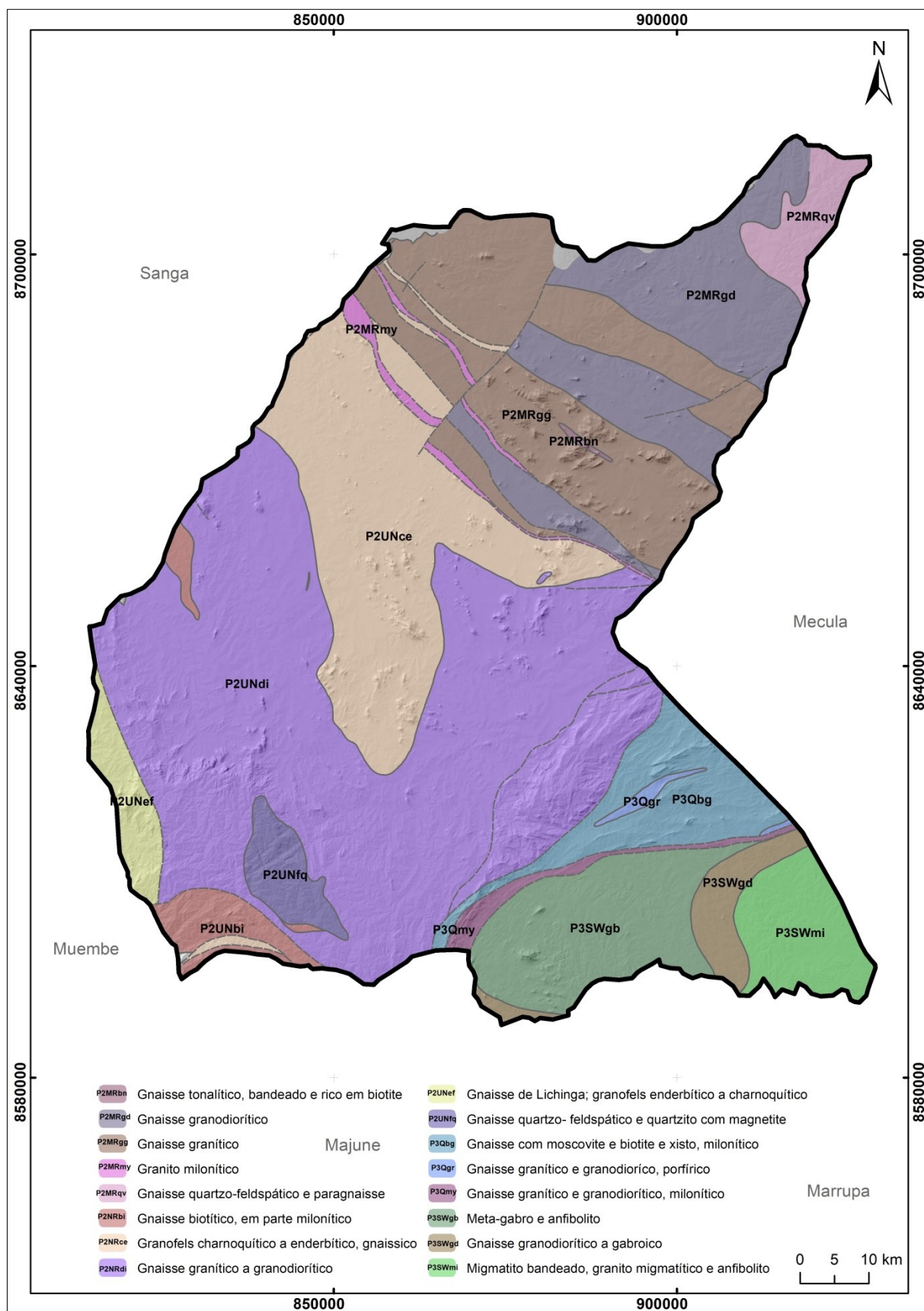
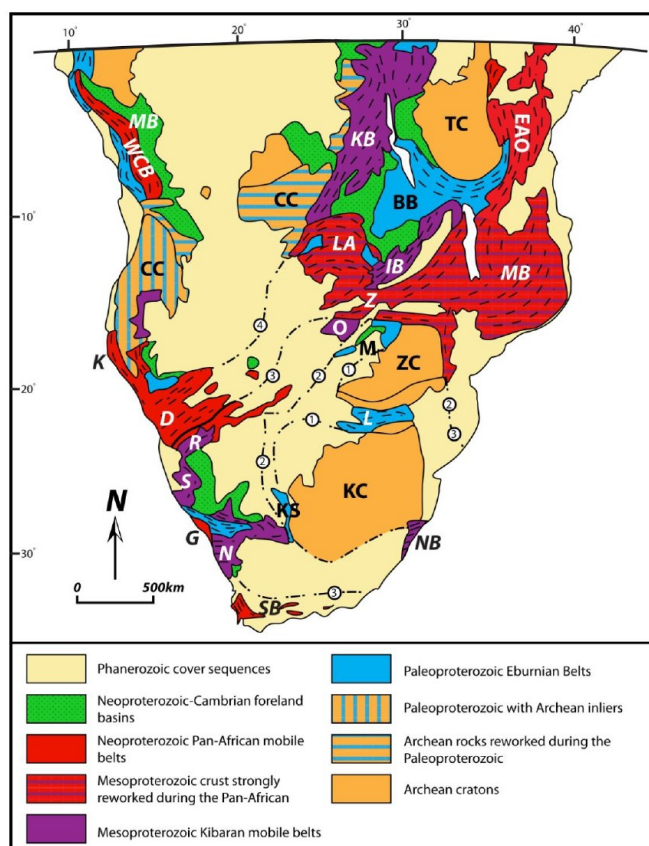


Figura 13 Principais unidades geológicas do distrito de Mavago

As falhas e as zonas de cisalhamento sob o Complexo M'Sawize são possivelmente falhas antitéticas no mesmo sistema de extensão, uma vez que têm mergulho oposto à falha principal no sul. Neste caso, o falhamento e o cisalhamento relacionado são posteriores aos movimentos de empurrão dos complexos orientais sobre o Complexo Unango a oeste, possivelmente representando uma estrutura de colapso por gravidade. A deformação da parte oeste das superfícies de falha pode ser uma contracção transversal para a extensão noroeste-sudeste. Alternativamente, a deformação pode ser devida ao dobramento de um plano de empurrão inicial que mais tarde foi reactivado como um plano de falha. Poucas zonas de cisalhamento são expostas nas bordas do complexo, mas em uma localidade isolada dentro dele, uma zona de cisalhamento bem desenvolvida é exposta. Isso indica que as zonas de cisalhamento ao longo das bordas norte e oeste também podem passar pelo Complexo M'Sawize e possivelmente explicar por que a unidade de metagabro e anfibolito é dividida em duas, uma (muro) na folha 1236 Mavago e uma (tecto) na folha 1336 Majune (Norcounsult, 2007).



2.4 Quadro hidrogeológico regional

As rochas do Complexo de Base Cristalino ocorrem extensivamente em África e experimentam uma variada gama de condições climáticas. Em grande parte do continente a evapotranspiração excede a precipitação e, por conseguinte, o escoamento superficial é limitado. Consequentemente, a maior parte do continente sofre de escassez de água,

Figura 14 Mapa tectono-estratigráfico regional da SADC ilustrando a localização das regiões dos Cratões Arqueanos em volta de faixas móveis Proterozóicas e recobertas por sequências de camadas Fanerozóicas: KC = Cratão de Kaapvaal, ZC = Cratão do Zimbabwe, TC = Cratão da Tanzânia, BB = Bloco de Bangweulu, CC = Componentes do Cratão de Congo, R = Cinturão de Rehoboth, L = Cinturão do Limpopo, KS = Cinturão de Kheis, M = Cinturão Magondi, S = Cinturão Sinclair, N = Província Metamórfica de Namaqua, NB = Província de Natal, IB = Cinturão Irumide, KB = Cinturão Kibaride, MB = Cinturão de Moçambique, D = Cinturão Damara, K = Cinturão Kaoko, G = Cinturão Gariep, SB = Cinturão Saldanha, EAO = Orogenia da África Oriental, LA = Arco de Lufilian, Z = Cinturão de Zambeze, WCB = Cinturão de Congo Ocidental, 1 = Extensão dos Cratões de Kaapvaal e Zimbabwe, 2 = Extensão do Cratão de Kaapvaal-Limpopo-Zimbabwe, 3 = Extensão do Cratão Calahari, 4 = Extensão austral do crat do Congo (modificado de Hanson, 2003)

por isso torna-se vital o conhecimento sobre o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas por esta importante região da África ser de capital importância para o seu desenvolvimento (Hazell *et al.* 1992).

As rochas cristalinas geralmente têm baixa porosidade primária e permeabilidade. Consequentemente, os aquíferos que nelas ocorrem, o que inclui litologias específicas e sistemas de fraturas, tendem a ser função de deformação frágil a nível da crosta superior (Greenbaum, 1992). Sequências de meteorização, quer as mais antigas ou modernas, providenciam a formação de aquíferos rasos mais importantes. A característica litológica seguinte contribui mais para as características do perfil de meteorização de modo a influenciar as propriedades dos aquíferos: tamanho dos grãos, estrutura e composição mineralógica e toda a química da rocha. As rochas que mais facilmente se alteram tendem a gerar grãos maiores, mal fracturadas e ricas em minerais (ferromagnesianos) de alta temperatura, com as alterações mais profundas geralmente sobre as maiores fracturas.

Existe relação directa entre a composição química do aquífero e a composição da litologia hospedeira devido as reacções rocha-mineral. É importante anotar a interface basamento/cobertura, especialmente se se preservar o paleosolo alterado, também é um aquífero importante (que pode ser explorado até 150 m). O basamento actua como um aquíclodo com a água subterrânea sendo entrapada na rocha de cobertura sobredjacente. Neste contexto o hidrogeólogo está mais preocupado com a profundidade até ao basamento e com a natureza do material de cobertura (Key, 1992). A **Error! Reference source not found.** representa a distribuição das rochas cristalinas no contexto da África Austral.

O trabalho de FERRO e BOUMAN (1987) descreve a Hidrogeologia de Moçambique recorrendo ao conceito de Províncias Hidrogeológicas, compreendendo grandes áreas com características geológicas, climáticas e hidrogeológicas comuns e localização geográfica separada. Assim, considerando este conceito, foram definidas 7 Províncias Hidrogeológicas, compreendendo o Complexo de Base, Terrenos Vulcânicos e 5 Bacias Sedimentares (Figura 15). As Províncias Hidrogeológicas, são subdivididas, por sua vez, em 3 classes, 9 grupos e 32 unidades, representados por cores, tonalidades e litologia e estratigrafia respectivamente.

1. O Complexo de Base, pré-Câmbrico, ocupa cerca de 57% do território nacional, distribuído pela faixa ocidental da região Centro do País e quase toda a região Norte do Zambeze (Figura 15). Ao Complexo de Base correspondem áreas montanhosas, altiplanaltos e planaltos médios e uma faixa de terras baixas, na parte oriental do país, a norte do Zambeze, correspondendo, esta última, a formas de relevo de acumulação,

enquanto que as outras são caracterizadas por formas de relevo de erosão – desnudação. A maior parte dos planaltos apresenta característicos relevos residuais, os “inselbergs”.

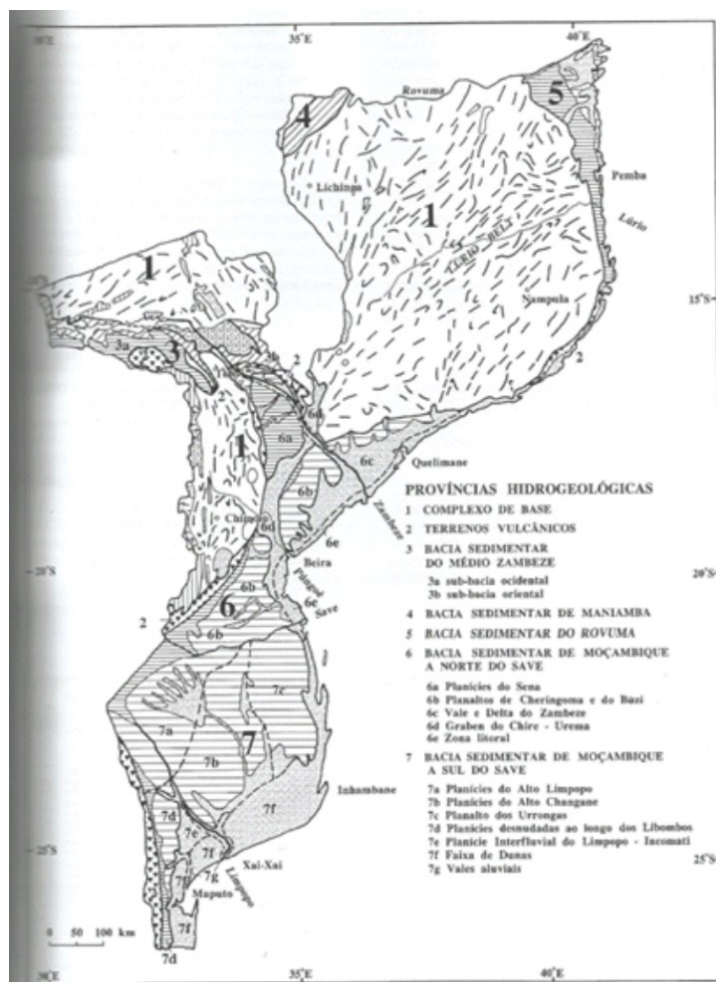


Figura 15 Carta Hidrogeológica de Moçambique a escala 1:1.000.000, mostrando as 7 Províncias Hidrogeológicas (FERRO e BOUMAN, 1987)

Nos planaltos, as rochas podem estar profundamente meteorizadas, desenvolvendo-se, então, espessos mantos de alteração, se o material desagregado não tiver sido removido por processos erosivos. Típicamente, num perfil de meteorização em rochas ácidas, de tipo granítico ou gnáissico, o grau de meteorização diminui do topo a base do perfil. Em rochas básicas contendo minerais ferromagnesianos, o perfil de meteorização é, em geral, bastante argiloso. Solos lateríticos são comuns (Ferro e Bouman, 1987). Demonstra-se que a capacidade específica dos aquíferos está relacionada tanto a litologia como a intensidade de meteorização das rochas formadoras do aquífero (Hazell *et. al*, 1992).

A precipitação é alta nas áreas montanhosas, variando de 1.200 a 2.000 mm/ano e média nos planaltos, pelo que, apesar de os terrenos serem muito desfavoráveis, as possibilidades de recarga são muito boas. O regime dos rios é permanente nas zonas chuvosas e sazonal nas zonas mais secas (Ferro e Bouman, 1987).

Geologicamente, a área de estudo compreende formações do pré-Câmbrico Superior ou do “Mozambique Belt”, que constitui a maior parte do Complexo de base, atingida por varios ciclos metamórficos e formada predominantemente por rochas granito-gnáisso-migmatíticas, alternando-se com metassedimentos e charnoquitos.

Estruturamente, o Cinturão de Moçambique, orienta-se de N-S, com várias orientações secundárias locais de NE-SW, ENE-WSW e NW-SE (Ferro e Bouman, 1987), coerente com o trabalho de GREENBAUM (1992) na região cratónica do sul do Zimbabwe, claramente manifestadas superficialmente pela rede de drenagem superficial. Trata-se de formações hidrogeologicamente pouco produtivas, descontínuas e de extensão limitada (Figura 16). A sua produtividade depende, principalmente, da espessura do manto de alteração meteórica, sendo a ocorrência da água subterrânea associada à zonas de fraqueza crustal, cuja compartimentação e desintegração em blocos limitados por juntas, fracturas e diaclases está na origem da formação dos aquíferos. Estas zonas de fraqueza estão relacionadas com estruturas geológicas particulares tais como dobras, falhas e fracturas cuja permeabilidade é relativamente alta, classificando-se nos grupos C2, C3 e, só localmente, C1 (Figura 16).

2. **Terrenos Vulcânicos**, do Karoo e pós-Karoo, que compreendem cerca de 3% do território, ocorrendo nas zonas de transição entre o Complexo de Base e as Bacias Sedimentares, em particular ao longo do limite oriental do Cratão do Zimbabwe e do Cratão do Kaapvaal (Cadeia dos Libombos), que compreende essencialmente basaltos, riolitos e lavas alcalinas.
3. **Bacias Sedimentares do Karoo**, ocupando cerca de 40% do território nacional, sendo as principais, a Bacia do Médio Zambeze, em Tete com cerca de 35.000 km² de superfície e a Bacia de Maniamba, no nordeste do Niassa com cerca de 7.000 km². Estas estão rodeadas por formações do Complexo de Base e formam depressões planas, com raros montes e terraços individuais, relíquias de ciclos de erosão antigos. A bacia de Maniamba é bastante chuvosa, com cerca de 1.100 e 1.400 mm/ano (Ferro e Bouman, 1987) e, juntamente com a Bacia do Rovuma, constituem as mais importantes bacias na área de estudo.

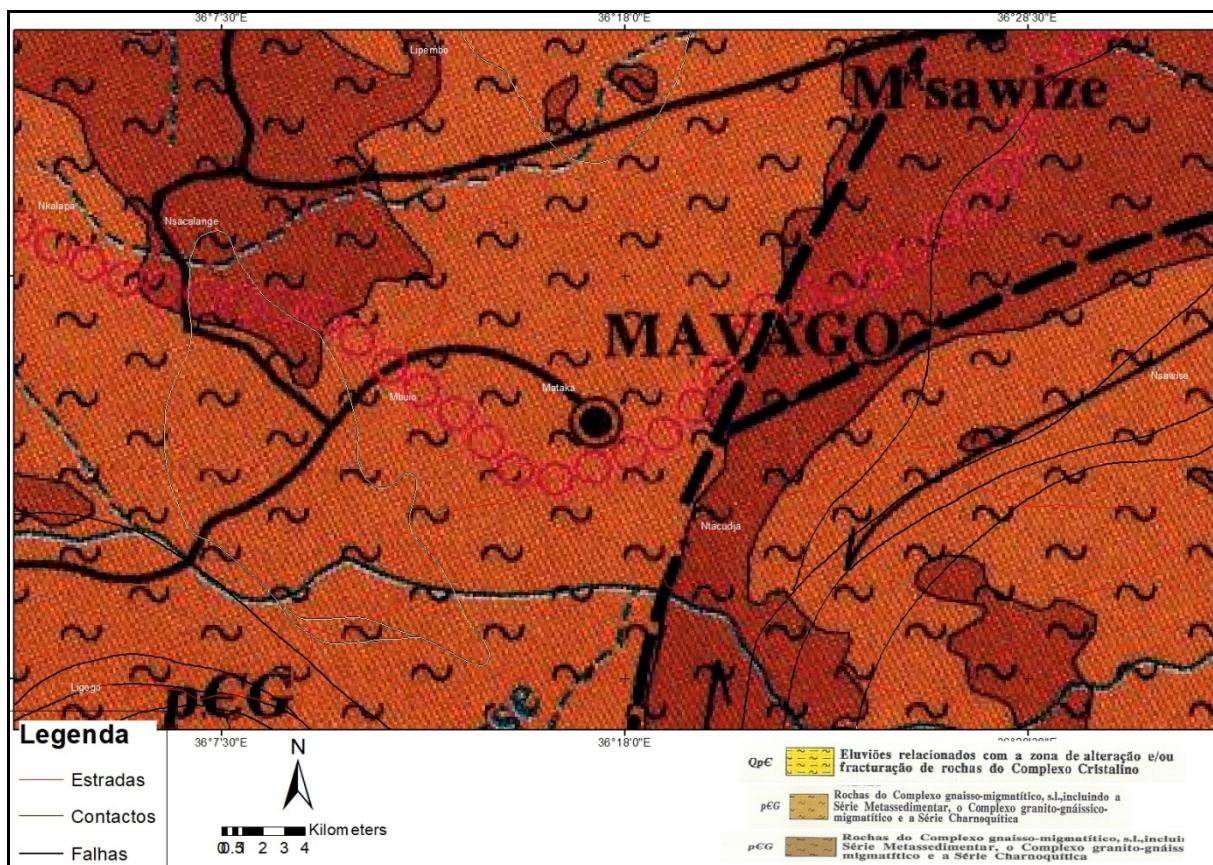


Figura 16 Principais Unidade Hidrogeológicas Regionais

A bacia de Maniamba corresponde a uma estrutura sinclinal simétrica cujo eixo mergulha para SW e cuja profundidade máxima é calculada em mais de 2.000 metros. Faz parte da série de Lunho que compreende da base para o topo grés conglomeráticos, pelitos, xistos carbonosos e siltitos, xistos com troncos silicificados, xistos com concreções calcárias e grés argilosos friáveis. Hidrogeologicamente, esta sequência é dominada por rochas de textura fina, de baixa produtividade, classificadas na Carta Hidrogeológica de Moçambique, como dos Grupos C2 ou C3, sendo os caudais típicos inferiores a 3 m³/h (Ferro e Bouman, 1987). A qualidade da água é bastante variável, com mineralizações variando de 400 a 800 mg/l, na maioria dos casos, podendo atingir noutras regiões 1.400 a 2.500 mg/l ou ainda superiores a 7.000 mg/l (Ferro e Bouman, 1987, apud DNA, 1987b). São comuns coberturas finas do quaternário, compreendendo coluviões, terraços aluviais, eluviões e possivelmente areias eólicas, localmente, com potencial para poços rasos (Ferro e Bouman, 1987).

2.5 Histórico de projectos de perfuração na área de estudo

Não existe registo histórico oficial de perfuração ao nível do distrito de Mavago. Os factos históricos aqui relatados são uma pobre reconstrução feita a base dos registos do

Serviço Distrital de Infraestruturas (SDPI) de Mavago.

Os furos mais antigos foram construídos entre 1994 e 1998, em número de 4, num contexto do princípio de oferta (PO). Mais 8 furos de captação da água subterrânea foram construídos até 2006, numa altura em que já vigorava o princípio de procura (PP) plasmado na Política de Água, aprovada por resolução governamental de agosto de 1995. O banco de dados do SDPI de Mavago comportava, antes da actual campanha, 43 furos mecânicos e 2 poços rasos para o abastecimento público urbano e rural.

O primeiro projecto estruturado e integrado de abastecimento de água e saneamento rural, foi o Projecto de Abastecimento de Água para Nampula e Niassa (ASNANI, 2003-2008), do Governo de Moçambique (GM) financiado pelo Banco Africano do Desenvolvimento (BAD). Este implementou pela primeira vez o ciclo completo de projectos de abastecimento de água em Moçambique respeitando o PP e incorporando aspectos de sustentabilidade de infraestruturas de abastecimento de água e saneamento rurais. Além do ASNANI, a WaterAid e a JICA contribuíram com a construção de vários furos novos e reabilitações para manter funcionais os furos existentes ao longo do período em referência.

A partir das lições aprendidas do ASNANI, o GM desenhou o Programa Nacional de Água e Saneamento Rural (PRONASAR) que vigora desde 2008, no âmbito do qual foi desenvolvida esta pesquisa, que resultou em 25 furos positivos adicionais, das 46 tentativas efectuadas, correspondentes a uma taxa de sucesso de 54.35% .

Segundo o Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Mavago (PEDDM, 2019-2029), as águas subterrâneas estão distribuídas por todo o distrito, mas com profundidade variada. O potencial hídrico ainda não é aproveitado, devido à falta de meios para a sua exploração.

O PEDDM faz uma projecção para a necessidade de construção de 68 novas fontes de abastecimento de água e reabilitação de 19 existentes para atender à demanda até 2022. A rede de Infra-estruturas de Água é composta de 43 furos mecânicos, 2 poços com bombas manuais e 1 Sistema de Abastecimento de Água com uma taxa de cobertura de 43%. Isto significa que mais de metade da população recorre a outras fontes de água como poços sem bomba, rios, entre outros.

Mavago enfrenta problemas de insuficiência de água potável, devido a factores hidrogeológicos, tais como a profundidade do nível do lençol freático, pelo que um dos grandes desafios que se coloca no sector é a necessidade de reabilitação, abertura de novos furos e manutenção das fontes, na perspectiva de aumentar os níveis de cobertura permitindo maior acesso a água potável a todos os cidadãos.

A rede hidrográfica do distrito compreende os seguintes rios principais: Rovuma, Lugenda, Lucheringo, Luatize, M'sawize, Lussanhando, Lilasi, Lucuise, Nkalapa, Liwonde, Namacuate, Nsacalanje, Licundi, Mussafa, Ligogo, Mbeseca, Ngongolo, Chipuata, Mbetano, Lutuesi, Mbulugo, Nacalanga e Namajati.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Sistemas de armazenamento e transmissão da água subterrânea em maciços cristalinos

Os sistemas de armazenamento e transmissão da água são os aquíferos e aquícludes. Segundo KRUSEMAN & RIDDER (1994), aquíferos são unidades geológicas do sub-solo saturadas de água subterrânea, que sejam suficientemente permeáveis para gerar caudais economicamente viáveis em fontes de captação, tais como furos, poços e nascentes, sendo exemplos mais comuns sedimentos não consolidados como a areia, cascalho e seixos. Também podem constituir aquíferos, arenitos e calcários permeáveis e rochas ígneas e metamórficas, quando suficientemente fracturadas. Aquícludes, por sua vez, representam unidades geológicas com capacidade para armazenar e transmitir água subterrânea, mas cuja exploração não justifica caudais economicamente viáveis, tal como acontece com argila arenosa (Kruseman & Ridder, 1994 e USGS, 2006). Os aquícludes podem ser subdivididos em aquitardos, que armazenam mas transmitem quantidades insignificantes de água, tais como argilas, margas e xistos; e aquífudos, que não armazenam nem transmitem água, tais como granito compacto (Kruseman e Ridder, 1994).

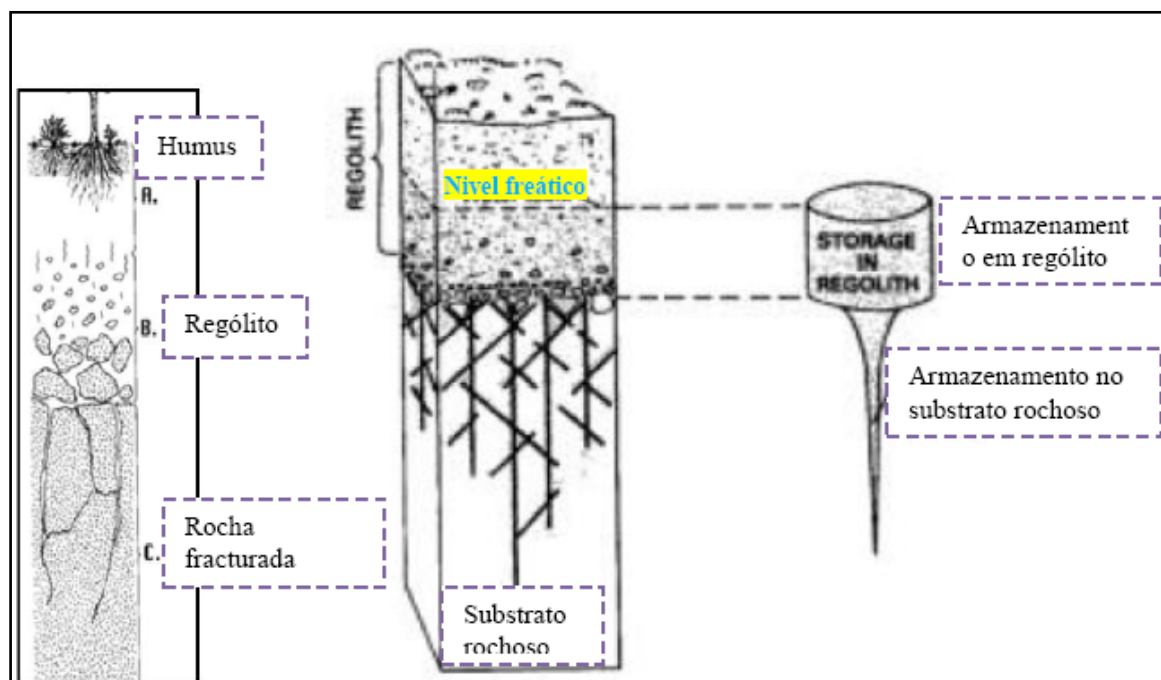


Figura 17 Sistemas de armazenamento e transmissão da água subterrânea em meio de porosidade dupla

O modelo hidrogeológico conceitual dos maciços cristalinos comporta um padrão de porosidade dupla, associados aos aquíferos fracturados. Este foi proposto pela primeira vez em 1960 por BARENBLATT *et. al.* (1960), entendendo-se como meio de porosidade dupla

(Figura 17). aquele em que existem dois sistemas entrosados, um de blocos porosos, com permeabilidade baixa, mas com elevada capacidade de armazenamento, e outro de fracturas, com permeabilidade mais elevada, mas com escassa capacidade de armazenamento (De Paula, 2015).

A caracterização estrutural de um aquífero fracturado é essencial para o entendimento de sua dinâmica de fluxo, por vezes constituindo uma actividade desafiadora, devido à intensa anisotropia e heterogeneidade desses meios. DOMENICO & SCHWARTZ (1990) e ODLING (1997), nos casos em que as fracturas são o principal conduto para o transporte da água subterrânea, elegem como os principais condicionantes de fluxos, factores geométricos tais como abertura, densidade, conectividade, natureza das intersecções de fracturas e distribuição espacial de comprimento das fracturas (Sartório *et. al.*, 2021).

Os factores condicionantes da hidrogeologia de aquíferos fracturados estão relacionados, qualitativa e quantitativamente, com factores exógenos e endógenos (Reginato e Strieder, 2006). Os factores exógenos são características climáticas da região, a hidrografia, o relevo, a vegetação e os solos. Os factores endógenos estão representados pela litologia e sistema estrutural predominante nas rochas (Reginato e Strieder, sd). Compreender a interacção desses factores e o padrão de armazenamento e circulação da água subterrânea, bem como a sua integração com os sistemas superficial e atmosférico, é fundamental para a explorabilidade da água subterrânea. LEITE (2023) caracteriza 4 factores geométricos de sistemas fracturados que condicionam o armazenamento e circulação da água subterrânea e, por via disso, a produtividade dos aquíferos.

Tamanho da abertura das fracturas

O tamanho da abertura das fracturas vai influenciar na porosidade secundária, podendo esta ser tanto maior quanto maiores forem os tamanhos das aberturas de fracturas individuais numa massa rochosa. Assim, havendo maior espaço poroso, haverá maior capacidade de armazenamento da água em sistemas de fracturas.

Espaçamento entre as fracturas

O espaçamento entre as fracturas ou densidade das fracturas caracteriza quão próximas ou afastadas as fracturas estão uma das outras, ou seja o número de fracturas ou o seu comprimento total numa determinada área. Pode-se depreender da Figura 18 que a área da direita que é equivalente a da esquerda, contem mais fracturas, condição na qual um projecto de perfuração teria maior probabilidade de sucesso.

Interconectividade entre as fracturas

A interconectividade entre sistemas de fracturas favorece a circulação da água entre sistemas de aquíferos localizados em zonas diferentes. A circulação é tanto mais ampla quanto maior for a interconectividade entre os diferentes sistemas de fracturas de uma área em particular.

Orientação das fracturas

A orientação é o último dos 4 factores apontados por LEITE (2023) como sendo determinantes para o armazenamento e circulação da água subterrânea e produtividade de aquíferos. Fracturas sub-horizontais transmitem a água lateralmente enquanto as sub-verticais permitem a circulação da água para horizontes mais profundos. Se combinadas com uma boa interconectividade, num sistema onde ocorrem, em simultâneo, fracturas sub-horizontais e fracturas sub-verticais, ocorrerá ampla circulação da água subterrânea, tornando os furos bastante sustentáveis. A vantagem comparativa oferecida pelos sistemas de fracturas sub-horizontais reside no facto de aumentar a possibilidade de intersectar mais do que uma fractura durante a perfuração.

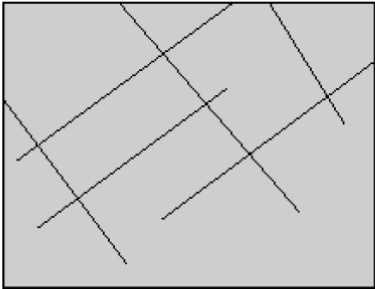
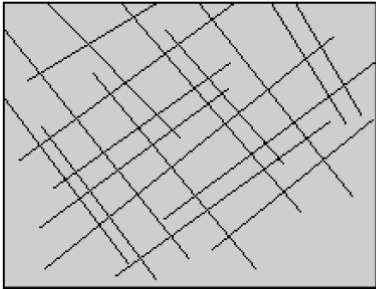
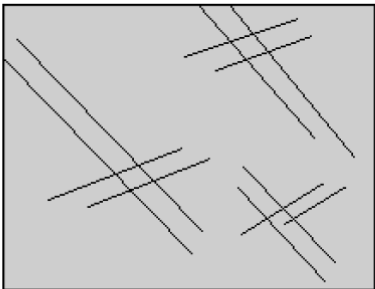
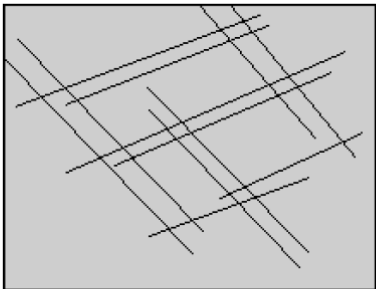
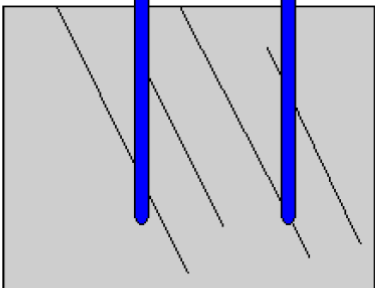
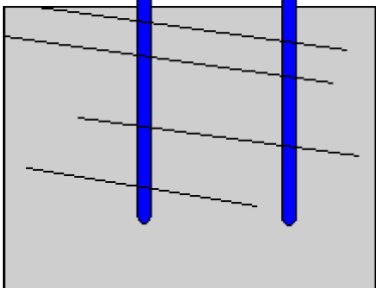
armazenamento de água	armazenamento de água
Desfavoráveis	Favoráveis
Espaçamento entre as fracturas	Espaçamento entre as fracturas
 muito espaçadas - risco maior de um poço seco	 pouco espaçadas - menor risco de captação de uma fractura seca
Interconecção	Interconecção
 Fracturas pouco conectadas - baixa circulação de água	 Fracturas muito conectadas - maior circulação de água
Orientação	Orientação
 Alta inclinação (mergulho) - Os poços interceptam poucas fracturas	 Baixa inclinação (mergulho) - Os poços interceptam várias fracturas

Figura 18 Condições favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para água subterrânea: espaçamento, interconexão e orientação (LEITE, 2023).

3.2 Electrorresistividade (ER) aplicada à caracterização hidrogeológica de maciços cristalinos

Os métodos de ER exploram as diferenças de várias propriedades eléctricas das rochas e minerais (Musset & Khan, 2009), em ambiente sub-superficial que podem ser exploradas electricamente ou electromagneticamente (Parasnis, 1986). Os métodos eléctricos utilizam correntes directas ou correntes alternadas de baixa frequência para investigar as propriedades eléctricas da sub-superfície, em contraste com os métodos electromagnéticos que usam

campos electromagnéticos alternados de frequência mais alta para esse fim (Kearey *et. al.*, 2002).

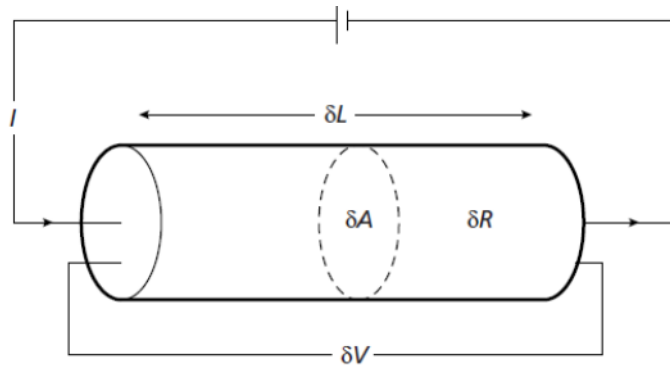


Figura 19 Parâmetros usados na definição da Resistividade (Kearey *et. al.*, 2002)

O método da resistividade é utilizado no estudo de discontinuidades horizontais e verticais nas propriedades eléctricas do solo, e também na detecção de corpos tridimensionais de condutividade eléctrica anómala (Kearey *et. al.*, 2002). A resistividade das rochas geralmente depende do volume da água subterrânea presente e do teor de sais dissolvidos nela, mas também diminui com a presença de muitos minérios e temperaturas (Musset & Khan, 2009).

A resistividade de um material é definida como a resistência em ohms entre as faces opostas de um cubo unitário do material. Para um cilindro condutor de resistência δR , comprimento δL e área de seção transversal δA (Figura 19), a resistividade ρ é dada por (KEAREY *et. al.*, 2002):

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad (1)$$

A unidade SI de resistividade é o ohm-metro (ohm.m) e o recíproco da resistividade é denominado condutividade (unidades: siemens (S) por metro; $1 \text{ Sm}^{-1} = 1 \text{ ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}$; o termo 'mho' para inverso ohm é algumas vezes encontrado).

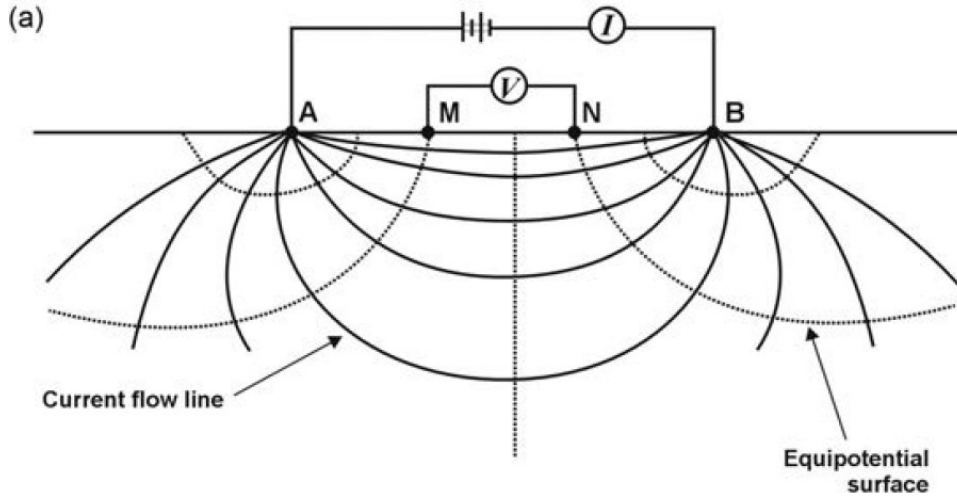


Figura 20 Fluxo de corrente (linhas contínuas) entre os eletrodos A e B e superfícies equipotenciais (linhas pontilhadas, ortogonais às linhas de corrente) em um semi-espço homogêneo e queda de tensão. O potencial V é medido entre os eletrodos M e N, posicionados (neste caso) em um arranjo de WENNER (MILSOM & ERICKSEN, 2011).

Para as medidas de campo são usados 4 electrodos em linha recta, 2 para a injeção da corrente (A e B) e 2 para a leitura da diferença de potencial (M e N). O resultado de qualquer medição com qualquer arranjo dos 4 eléctrodos pode ser interpretado como devido a um solo homogêneo com resistividade constante. Os fatores geométricos usados para calcular essa resistividade aparente, ρ_a , podem ser derivados aplicando, a cada par corrente-eletrodo/tensão-eletrodo, a fórmula que define o potencial elétrico a uma distância “a” de um eléctrodo pontual na superfície de um semi-espço uniforme (solo homogêneo) de resistividade, ρ (Milsom & Ericksen, 2011).

$$V = \rho I / 2\pi a \quad (2)$$

Considere um elemento de material homogêneo mostrado na Figura 19. Uma corrente I que passa pelo cilindro, causa uma queda de potencial $-\delta V$ entre as extremidades do elemento. A lei de Ohm relaciona a corrente, diferença de potencial e resistência de forma que $-\delta V = \delta R I$, e da equação (1) $\delta R = r \delta L \delta A$. Para solos homogêneos a resistividade será calculada por (Kearey *et. al.*, 2002):

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) - \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \right\}} \quad (3)$$

A resistividade é uma das propriedades físicas mais variáveis. Certos minerais, como metais nativos e grafite, conduzem electricidade através da passagem de electrões. A maioria dos minerais formadores de rocha são, no entanto, isoladores, e a corrente eléctrica é transportada através de uma rocha principalmente pela passagem de iões nas águas dos poros. Assim, a maioria das rochas conduz electricidade por processos electrolíticos em vez de electrónicos. Segue-se que a porosidade é o principal controlo da resistividade das rochas, e que a resistividade geralmente aumenta à medida que a porosidade diminui. No entanto, mesmo rochas cristalinas com porosidade intergranular desprezível são condutoras ao longo de fracturas e fissuras (Kearey *et. al.*, 2002).

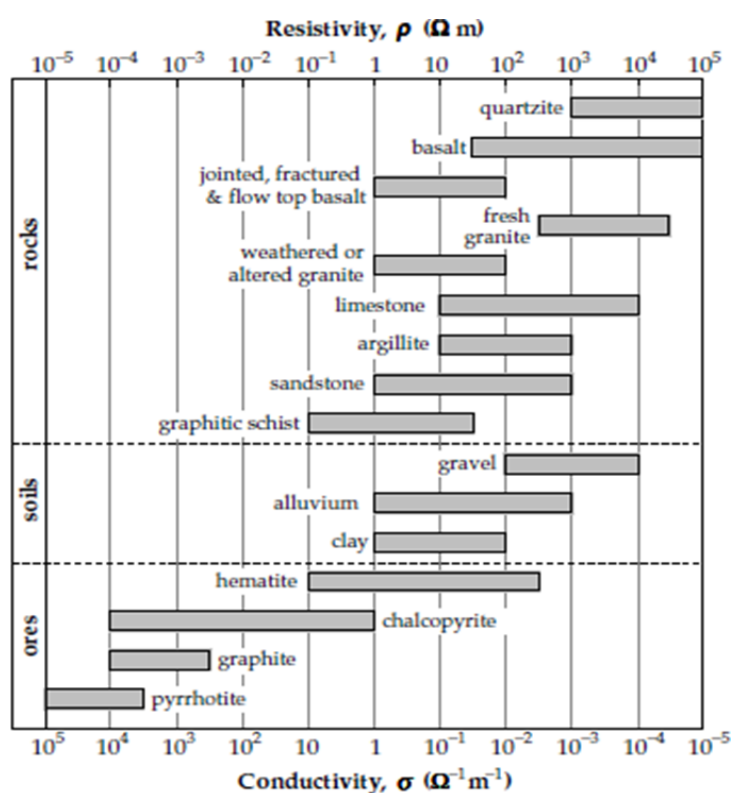


Tabela 1 Resistividades de algumas rochas e minerais (Musset & Khan, 2009)

A resistividade efectiva também pode ser expressa em termos de resistividade e volume da água intersticial presente de acordo com uma fórmula empírica dada por Archie (1942).

$$\rho = a\phi^{-b}f^{-c}\rho_w \quad (2)$$

onde ϕ é a porosidade, f a fracção de poros contendo água de resistividade ρ_w e a , b e c são constantes empíricas. ρ_w pode variar consideravelmente de acordo com as quantidades e condutividades dos materiais dissolvidos (Kearey *et. al.*, 2002).

Como na realidade os solos são heterogéneos, a resistividade calculada é designada de resistividade aparente, pa que será função da heterogeneidade (Kearey *et. al.*, 2002).

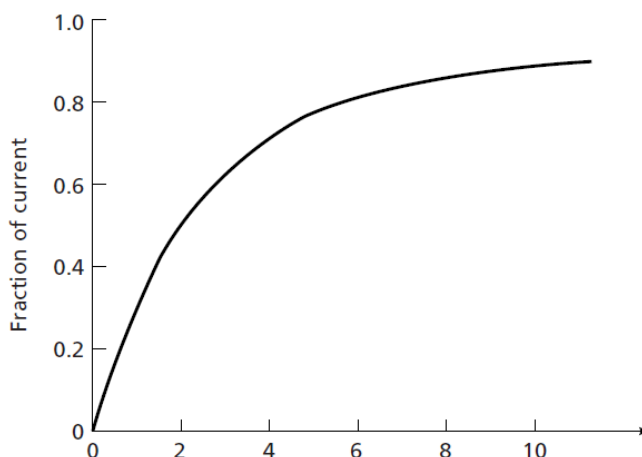


Gráfico 1 Fracção da corrente que penetra abaixo da profundidade Z para um espaçamento de eléctrodos de corrente L (Kearey *et. al.*, 2002)

O Gráfico 1, TELFORD *et. al.* (1990), mostra que a proporção da corrente que flui abaixo de uma determinada profundidade Z , é a razão entre o espaçamento entre os eléctrodos e o incremento da profundidade. Quando $L = Z$, cerca de 30% da corrente flui abaixo de Z , e quando $L = 2Z$, 50% da corrente flui abaixo do Z .

O trabalho de KEAREY *et. al.* (2002) aponta para dois procedimentos principais empregues nos levantamentos com a resistividade: Sondagem Eléctrica Vertical (SEV) e Perfilagem Eléctrica, que neste estudo é designada por Perfilagem de Resistividade Horizontal (PRH).

A sondagem eléctrica vertical (VES), também conhecida como ‘perfuração eléctrica’ ou ‘sonda de expansão’ (Musset & Khan, 2009), é usada principalmente no estudo de interfaces horizontais ou quase horizontais. Os eléctrodos de corrente e potencial são mantidos no mesmo espaçamento relativo e toda a extensão é progressivamente expandida em torno de um ponto central fixo. Consequentemente, as leituras são feitas à medida que a corrente atinge profundidades progressivamente maiores. A técnica é amplamente utilizada em levantamentos geotécnicos para determinar a espessura do estéril e também em hidrogeologia para definir zonas horizontais de estratos porosos (Kearey *et. al.*, 2002).

O deslocamento de separação constante (CST), também conhecido como "perfil eléctrico" ou ainda caminhamento eléctrico (Kearey *et. al.*, 2002 e Braga, 1997) é usado para determinar variações laterais de resistividade. Os eléctrodos de corrente e potencial são mantidos em uma separação fixa e movidos progressivamente ao longo de um perfil. Este método é empregado

na prospecção mineral para localizar falhas ou zonas de cisalhamento e para detectar corpos localizados de condutividade anómala. Também é usado em levantamentos geotécnicos para determinar variações na profundidade do leito rochoso e a presença de descontinuidades íngremes. Os resultados de uma série de PRH's com um espaçamento de eléctrodo fixo podem ser empregados na produção de mapas de contorno de resistividade (Kearey *et. al.*, 2002).

A diferença básica entre uma sondagem eléctrica vertical e um caminhamento eléctrico, diz respeito ao centro do arranjo entre os eléctrodos ABMN (centro de investigação). Enquanto na SEV, o centro do arranjo AMNB, não importando as posições dos eléctrodos na superfície do terreno, permanece fixo ao longo de todo o desenvolvimento do ensaio; no CE, o centro do arranjo AMNB se desloca constantemente, ao longo da superfície do terreno, durante o desenvolvimento do ensaio (Braga, 2006).

A interpretação dos dados geoelectricos passa por uma análise da morfologia das curvas de SEVs para a determinação do número de horizontes que constituem o perfil de meteorização no ponto estudado e avaliação das características resistivas relativas das camadas. De acordo com SANTOS (2009), devem ser feitas análises qualitativas e quantitativas. A análise qualitativa baseia-se na caracterização de domínios geoelectricos observando a morfologia da curva de campo que representa as características comuns da geologia e hidrogeologia local com o objectivo de identificar, diferenciar e delimitar zonas anómalas em dados de resistividade eléctrica (Figura 21). Tal procedimento é feito com o apoio de cartas de famílias de curvas auxiliares e, segundo Braga, 2006, é uma das etapas mais importantes da interpretação das SEV's, pois é com base nesta que o intérprete define, de maneira qualitativa, o modelo geoelectrico da área estudada, daí que há necessidade de se familiarizar com as diferentes morfologias das curvas de campo.

De acordo com AL-AMRI (2018) em função do número de camadas geoelectricas e das variações verticais da resistividade identificadas, as colunas geoelectricas podem ser dos tipos:

- ✓ Quando se tem duas camadas, a curva é do tipo ascendente nos casos em que $\rho_1 < \rho_2$ e descendente caso $\rho_1 > \rho_2$;
- ✓ Onde estão presentes três camadas horizontais, as curvas de resistividade aparente são mais complexas podendo-se ter: curvas do tipo **K** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$), do tipo **H** ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$); **A** ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$) e, **Q** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$);

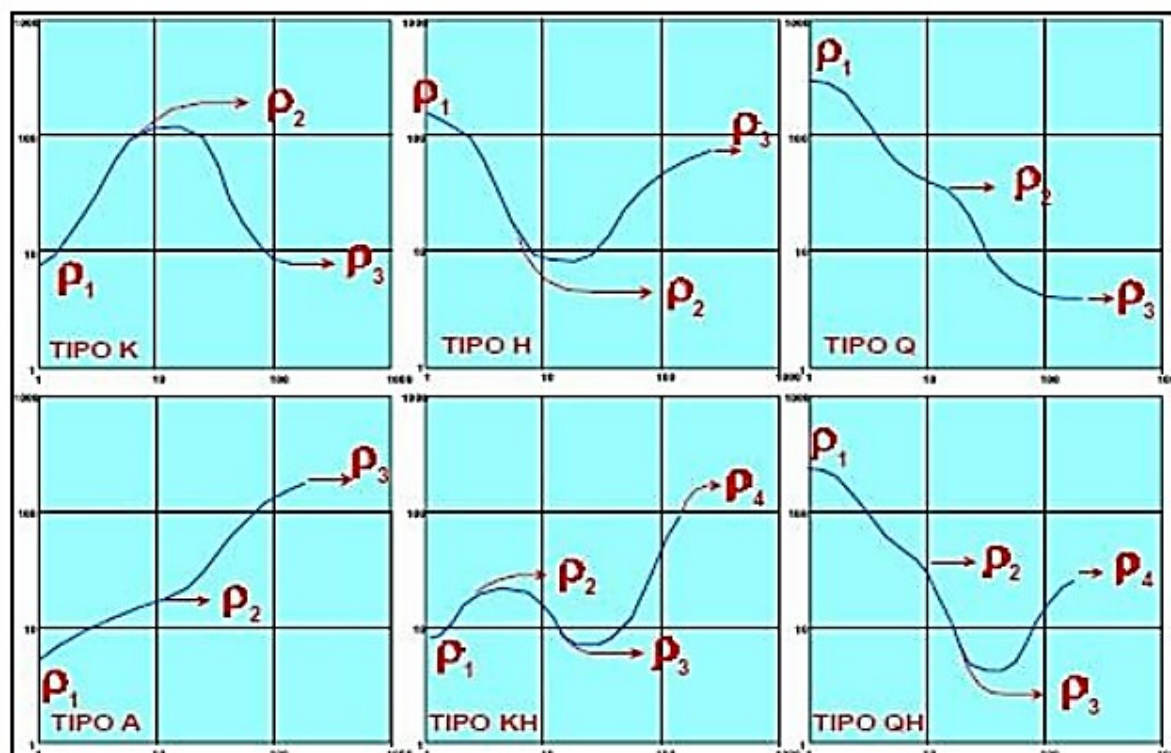


Figura 21 Morfologia das curvas de Campo (Braga, 2008)

A presença de quatro ou mais camadas aumenta a complexidade das curvas de resistividade aparente, uma vez que estas são obtidas através de combinações de curvas de três camadas, que pode ser: curvas do tipo **KH** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$), **QH** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$).

O método de inversão matemática assume um modelo de subsuperfície plano estratigráfico, constituído por n-camadas horizontais homogêneas e isotrópicas onde a resistividade varia apenas em profundidade. E através de uma tentativa de ajuste da resposta do modelo aos dados observados, procura-se gerar modelos cujas resistividades calculadas se aproximem em algum grau aos valores medidos, dentro de um limite de erro pré-estabelecido (Braga, 2009).

Assim sendo, a resposta do processo de inversão (o modelo gerado nesse caso), nunca será única, isto é, existirá mais de uma solução que satisfará os dados observados. A interpretação de dados de SEV sofre da não unicidade gerada por problemas conhecidos como equivalência e supressão de camadas.

O problema da equivalência baseia-se no facto de que curvas idênticas de resistividade poderem ser obtidas para diferentes modelos de camadas, ao passo que o problema da supressão de camadas é ilustrado nos casos em que existe uma camada de resistividade intermediária quando comparada às das camadas limitantes, esta, por sua vez, causa um pequeno desvio horizontal da curva sem no entanto alterar a sua forma geral. Na interpretação

de dados de campo com um certo ruído, tal camada intermediária pode não ser detectada (Coelho, 2009).

De acordo com KIRSCH (2009) um outro efeito que se faz sentir é a anisotropia eléctrica que é devida ao facto da resistividade das rochas ser pouco paralela a estratificação quando comparada a resistividade transversal às estruturas.

Para reduzir as ambiguidades, torna-se necessário assegurar que os dados de campo tenham uma boa qualidade, conhecer a geologia da área de estudo e que o intérprete se familiarize com os princípios teóricos básicos do método e da técnica a ser utilizada, assim como, que se executem SEV's de calibração (Braga, 2006).

3.3 Modelo Geoeléctrico-Geológico

As análises qualitativas (análise morfológica) e quantitativas (inversão) das SEVs produzem modelos que descrevem as características georesistivas da área estudada. Estas características precisam ser representadas em termos litológicos localmente. Para esse efeito, são necessárias ferramentas adicionais para o sucesso desta etapa: o conhecimento prévio das características geológicas da área, experiência do investigador e tabelas de resistividades dos materiais rochosos. É crucial que tal seja feito, com eficácia e eficiência, para que possa se determinar com elevado nível de precisão a camada geológica que pode constituir um potencial aquífero e a sua potencialidade hidrogeológica.

4. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.1 Procedimento Metodológico da Aquisição de Dados

Conforme foi estabelecido pelo projecto, o estudo geofísico tinha a finalidade de analisar as estruturas de resistividade do subsolo para estimar as condições hidrogeológicas na área de estudo e alocar pontos favoráveis à captação da água subterrânea para o abastecimento público através de sistemas de abastecimento de água (SAA) e furos dispersos (FD).

Tendo em conta a maior demanda dos SAA que devem ser alimentados com o caudal cumulativo de 10 m³/h e que deveriam ser alcançado com até 4 furos, as abordagens foram ligeiramente diferentes, conforme o fluxograma (Figura 22):

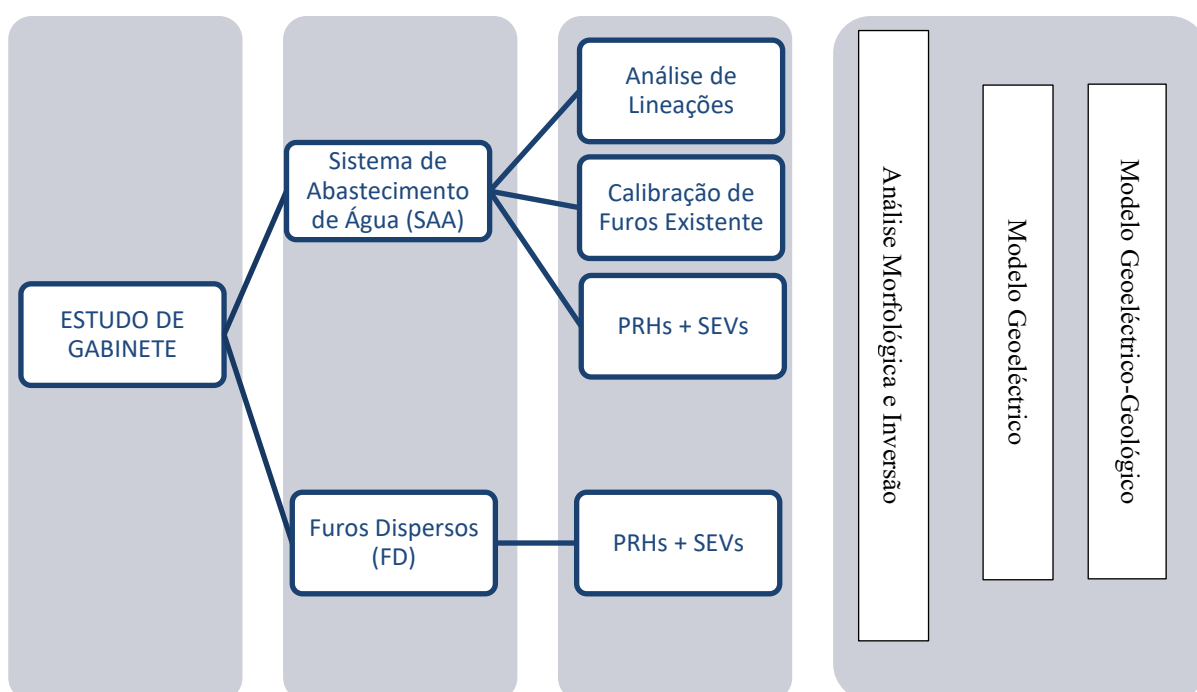


Figura 22 Fluxograma mostrando o Procedimento Metodológico da Aquisição de Dados

Conforme o fluxograma da Figura 22, a aquisição de dados começou com um trabalho pré-campo (estudo de gabinete) que consistiu da planificação e pesquisa bibliográfica para o conhecimento das características geológico-estruturais e hidrogeológicas da área de estudo. No campo, após a familiarização com a área onde se pretendia alocar os furos de sistema, foi feita a análise de lineamentos para definição da orientação dos PRHs. Foi feita a calibração de um furo existente, artesiano, localizado na sub-região pantanosa, feito em 2018, cujo caudal estimou-se em 10 m³/h. Este furo foi construído para alimentar o SAA da Vila de Mavago, visando alargar a cobertura da população servida com água potável.

No total, foram seleccionadas 13 comunidades prioritárias (Tabela 2), das quais uma foi preterida por ausência da população, na altura de verificação física, que, segundo o SDPI se tinha deslocado para as zonas de produção agrícola, como acontece todos anos quando chega a época agrícola. Estava prevista a construção de 25 furos dispersos.

Tabela 2 Lista de comunidades beneficiárias do projecto de abastecimento de água através de furos dispersos no distrito de Mavago e o número de furos por comunidade

MAVAGO								
Código	Posto Administrativo	Comunidade-Alvo	Popul.	Nr. de fonte existente	Popul. sem água segura	Prioridade	Resultado Seleção	Fontes a Construir
MV-01	Msawize	Mangupenge	2,166	2	1,566	1	Projecto	3
MV-02	Mavago Sede	Lucuissi	1,662	1	1,362	2	Projecto	2
MV-03	Msawize	Mbangala	1,482	1	1,182	3	Projecto	2
MV-04	Mavago Sede	Ntacudja	1,170	0	1,170	4	Projecto	2
MV-05	Mavago Sede	Mbuio	1,200	1	900	5	Projecto	2
MV-06	Msawize	Matukuta	1,390	2	790	6	Projecto	2
MV-07	Mavago Sede	Matumbi	1,352	2	752	7	Projecto	2
MV-08	Mavago Sede	Nsacalange	1,018	1	718	8	Projecto	2
MV-09	Mavago Sede	Mitacala	1,015	1	715	9	Projecto	2
MV-10	Mavago Sede	Lipembo	912	1	612	10	Projecto	2
MV-11	Mavago Sede	Ntambu	903	1	603	11	Projecto	2
MV-12	Mavago Sede	Ligogo	1,445	3	545	12	Projecto	2
MV-13	Mavago Sede	Luatize	População Inexistente				Excluído	-
Total								25

4.2 Planificação

A planificação foi feita de acordo com as metas definidas para o projecto. Para o Primeiro Grupo-Alvo (Tabela 3), que previa a construção de um Sistema de Abastecimento de Água, foram planificados um total de 1.200 metros de perfilagem geoelectrica e 6 sondagens eléctricas verticais.

Tabela 3 Primeiro Grupo-Alvo: Sistema de Abastecimento de Água para a Vila

No.	Nome do Local (Vila)	Distrito	PRH (Perfil de Resistividade Horizontal – comprimento em metros)	SEV (No. de pontos)	Observação
1	Mavago	Mavago	200 m x 6 Linhas = 1,200 m	6	O comprimento de cada PRH poderá variar de acordo com as condições locais, mas sem exceder o comprimento total.
Total			1,200 m	6	

Para o Segundo Grupo-Alvo (Tabela 4) foram planificados 18.000 m de PRH e 90 SEV, com o objectivo de identificar pontos para a construção dos 25 furos dispersos nas 12 comunidades beneficiárias.

Tabela 4 Grupo-Alvo 2: Furos Dispersos em 12 Comunidades do Distrito de Mavago

No.	Nome do Local (Vila)	Distrito	PRH (Perfil de Resistividade Horizontal – comprimento em metros)	SEV (No. de pontos)	Observação
1	Mavago	Mavago	200 m x 3 linhas/local x 30 locais=18,000 m	3 x 30 locais=90	O comprimento de cada PRH poderá variar de acordo com as condições locais, as sem exceder o comprimento total.
Total			18,000 m	90	

4.2 Extracção de Lineamentos

A extracção de lineamentos locais foi feita manualmente, através da observação de imagens do *Google Earth* e, tal como pode deduzir-se do Protocolo dos Procedimentos Metodológicos, esta incidiu apenas sobre a vila-sede de Mavago, aonde as demandas das captações a serem construídas são mais exigentes, em razão do aglomerado e densidade populacional serem maiores. Foi analisado igualmente o mapa topográfico de base em ArcMap 10.8, que forneceu dados regionais das linhas de água, predominantemente, orientadas de N-S. A planificação da pesquisa em Mavago-Sede, levou em conta os furos, negativos e positivos, da campanha anterior, de 2018, num total de 5 tentativas.

Tendo em conta um elevado número de furos negativos durante a campanha de perfuração, foram, a posterior, extraídos lineamentos, com base nos procedimentos metodológicos de Santos *et al.* (2000) e Bricalli (2011), a partir dos produtos de Modelos Digitais de Terrenos (MDT), adquiridos através da Nasadem pelo site: <https://www.earthdata.nasa.gov>. A seguir foram gerados os *hillshades*, onde foram aplicadas 4 ângulos de iluminação artificial, nomeadamente 000°, 045°, 090° e 315° (Bricalli, 2011). Assim, foram visualizados os dados de elevações topográficas, rectilíneas e alinhamento de cristas, seguimentos rectilíneos de drenagem e depressões significativas que fazem parte da topografia que coincidem com vales ou base de encostas. Depois, os dados de orientação dos lineamentos (azimute) foram extraídos com o auxílio do software *Azimuth Finder 1.1* e, posteriormente, organizados em diagramas de rosetas construídos com o apoio da ferramenta OpenStereo 1.4.

4.3 Perfilagem de Resistividade Horizontal (PRH)

Consistiu de caminhamento eléctrico ao longo de 7 linhas perfazendo 2.800 m para SAA e 63 linhas que perfizeram 12.600 m. No total foram 70 linhas de PRH, as quais foram programadas de tal forma que atravessassem perpendicularmente às direcções das principais

lineações da área de estudo, por forma a mapear variações laterais das condições subsuperficiais e identificar as zonas anómalas provocadas por zonas de fracturamento, rególito espesso ou contactos geológicos, potenciais estruturas portadoras de água subterrânea. Isso nem sempre foi possível devido aos diferentes tipos de obstáculos, tais como casas, vedações, montanhas, florestas ou áreas truncadas com encostas íngremes.



Figura 23
Resistivim



Figura 24 Pesquisa em curso: PRH na imagem a esquerda e SEV na imagem a direita

Foi usada a configuração de Schlumberger com $\frac{1}{2}AB$ de 90 m e $\frac{1}{2}MN$ de 20 m, por forma a ter um alcance de profundidades de 60 m (Kearey, 2002), com recurso ao resistivímetro da ABEM, o Terrameter SAS 300C para a medição de resistividades das rochas, as bobinas que, conectadas aos eléctrodos metálicos ajudam na injeção da corrente no subsolo, a bússola geológica para medidas da orientação das lineações e PRHs e o GPS para a localização dos pontos de início e fim dos perfis e das SEVs.

Os dados foram processados em programas excel concebidos pela WE Consult, gerando modelos 2D dos PRHs, que produziram várias anomalias, de cuja análise foram seleccionados 81 pontos para as SEVs. O conhecimento prévio da área de estudo jogou um papel fundamental e decisivo na selecção dos alvos para investigação com as SEVs, tendo facilitado sobremaneira a interpretação das anomalias dos PRHs.

4.4 Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)

As SEVs foram levadas a cabo para mapear as variações verticais, por forma a identificar a interface entre o rególito e o basamento, espessura do rególito e profundidade do embasamento, inferir as características litológicas do rególito, bem como descontinuidades no basamento, que podem ser interpretadas como sistemas de fracturas ou falhas tectónicas. As SEVs não só complementam os dados de PRHs e contribuem para reduzir o problema de não unicidade da interpretação de dados geoelectricos, mas também estende a imagem da subsuperfície dando resistividades de horizontes mais profundos (Ebong *et. al.*, 2021). Também foi usada a configuração de Schlumberger com o $\frac{1}{2}AB$ (eléctrodos de corrente) variando de 1.5 até 180 m, onde fosse possível, e $\frac{1}{2}MN$ (eléctrodos de potencial) de 0.5, 5, 10 e 20 m, de tal forma a avaliar as resistividades tanto dos horizontes rasos quanto dos profundos (Ebong *et. al.*, 2021). A variação dos eléctrodos de potencial visava o aumento da potência do sinal injectado, com aumento da profundidade-alvo. Foram feitas 4 SEVs para SAA e 77 para FD perfazendo 81 SEVs, 7 das quais de calibração de furos existentes, as quais se fizeram necessárias para se perceber as características de um furo positivo e ajudar na modelação 1D, interpretação e decisão de recomendar ou não a perfuração.

Os dados de campo, além de serem lançados em gráficos XY manualmente e para ter melhor precisão, foram transferidos em folhas do programa *excel* que dava uma primeira aproximação da morfologia da curva de SEV e número de horizontes no perfil de meteorização. A inversão foi feita em WINSEV 6.4 da Geosoft (versão grátis), gerando modelos 1D que permitiram a determinação da espessura dos diferentes horizontes do perfil

de meteorização. Poços rasos, abertos quer para captação da água subterrânea rasa ou construção de latrinas tradicionais, foram particularmente úteis na caracterização dos horizontes rasos, bem como zonas de transição, onde o embasamento é raso. As curvas foram classificadas quanto a sua morfologia, segundo a classificação de Braga (2008), e de seguida foi feita uma análise estatística para avaliar a frequência de cada tipo morfológico.

Depois destas análises, qualitativa e quantitativa, que na fase posterior juntou dados levantados no estudo anterior em 2007, foram concebidos os modelos geolétrico-geológicos, cuja integração gerou os modelos das 12 comunidades estudadas, tendo daí se inferido o modelo geolétrico-geológico do distrito de Mavago.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Planificação dos Levantamentos Geoelectricos para furos do SAA

A área-alvo de pesquisa (rectângulo branco na Figura 25) foi definida tendo em conta os resultados da campanha de 2018, que deu em furo produtivo em MAV-05, na região pantanosa, descartando áreas onde foram registados furos negativos, tal como são os casos de MAV-02 e MAV-03, tudo tendo em vista a consecução de, pelo menos, mais um furo positivo. A campanha de 2018 resultara em 4 furos negativos (bolinhas vermelhas) e 1 positivo (bolinha azul), com caudal de 10 m³/h, o que era suficiente para a demanda estabelecida, mas o projecto pretendia instalar mais um furo para criar redundância, tendo em conta o crescimento demográfico esperado nos próximos anos.



Figura 25 Área alvo de pesquisa (rectângulo branco), PRHs planificadas (linhas vermelhas) e PRHs executadas (linhas verdes), SEVs propostas (bolinhas brancas), SEVs efectuadas (triângulos amarelos), furos de 2018 (negativos - bolas vermelhas e positivo-bola azul)

Como se pode depreender da Figura 25 **Error! Reference source not found.**, as linhas de PRH planificadas não coincidiram com as executadas, o que decorre das limitações relacionadas com as condições adversas no campo, tais como zonas inundadas, pista de aterragem de aeronaves e vales com flancos muito íngremes. Em alguns casos, casas e vedações.

Importa ainda anotar que os perfis que se encontram muito distantes da área demarcada, a NE e SW, resultam da segunda planificação feita para suprir um aparente fraco potencial da área demarcada para a locação de mais um ponto de captação da água subterrânea. Entretanto, os pontos considerados mais favoráveis acabaram sendo MAV-02 e

MAV-03 localizados dentro da área planificada, onde dois furos foram positivo, com 4 e 5 m³/h.

5.2 Distribuição dos Pontos de Amostragem para Furos Dispersos

O estudo incidiu sobre a região sul do distrito de Mavago (Figura 26), ao longo da qual foram feitas 70 linhas de PRH, que produziram inúmeras anomalias favoráveis, das quais foram seleccionadas 79 para a investigação com as SEVs, localizadas nos 2 PAs, nomeadamente Mavago-Sede e Msawise (Figura 26), com, respectivamente, 52 SEVs em 9 comunidades de Mavago-Sede e 27 SEVs em Msawise. Das 79 SEVs, 7 foram de calibração.

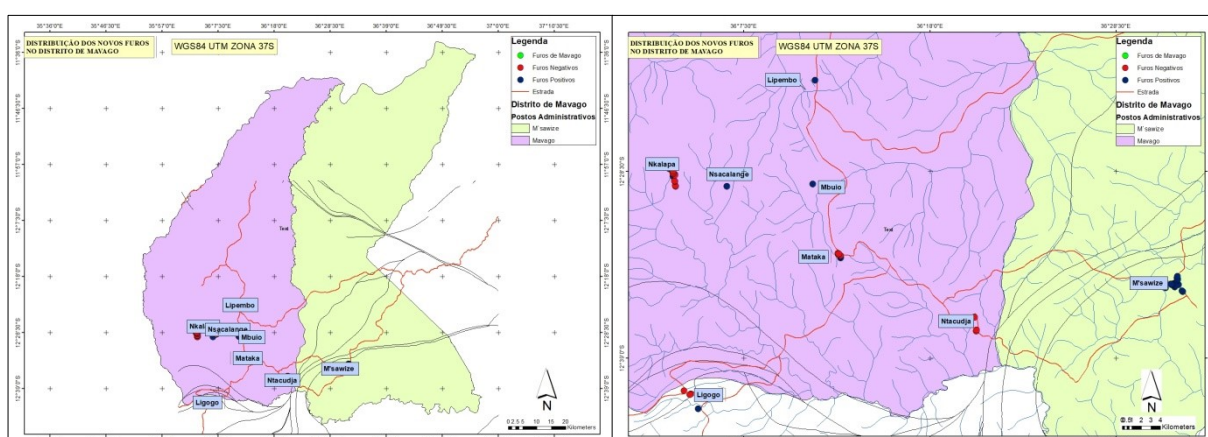


Figura 26 Distribuição geográfica das SEVs

As posições dos furos lançados sobre o Mapa de Lineamentos (**Error! Reference source not found.**), não evidencia qualquer sobreposição dos furos com os lineamentos, indicando não haver correlação entre a posição dos furos positivos e seu posicionamento sobre algum lineamento.

Os diagramas de rosetas resultantes da análise da orientação dos lineamentos extraídos a partir de do método de vectorização de linhas a partir do *hillshade* (Figura 28a), mostram duas orientações preferenciais dos lineamentos: NW-SE e NE-SW. Adicionalmente, outros lineamentos traçados pelo Método de vectorização da rede hidrográfica (Figura 28b), mostram três orientações preferenciais: N-S, NE-SW e NNW-SSE. Com excepção da direcção NNW-SSE, todas as outras, corroboram com as de Ferro e Bauman (1987).

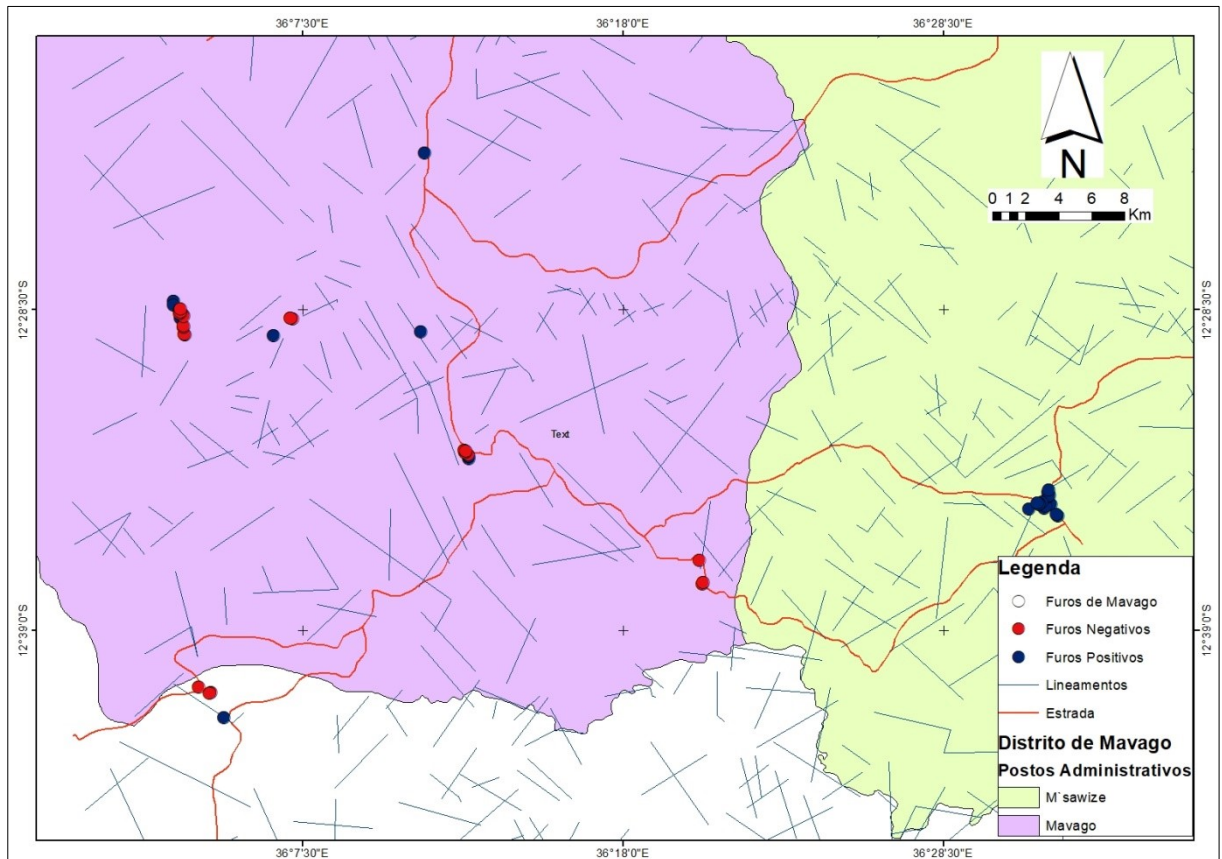


Figura 27 Lineamentos mapeados na área de estudo

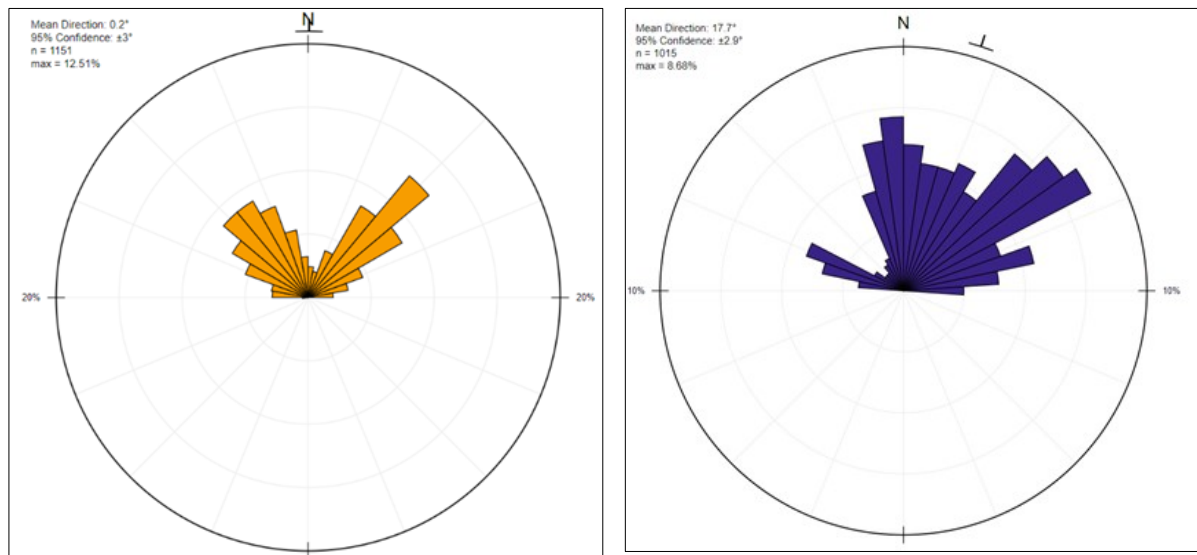


Figura 28 Diagrama de rosetas mostrando orientações preferenciais dos lineamentos do distrito de Mavago, sendo de NW-SE e NE-SW em (a) e N-S, NE-SW e NNW-SSE, em (b).

A análise integrada dos dados topográficos (Figura 29, direito), espessuras do rególito e profundidade do substrato (Figura 29, esquerda), mostra que a região ocidental onde se encontram as comunidades de Nkalapa, Nsacalange e Ligogo, apresenta cotas mais elevadas,

variando dos cerca de 2000 aos 900 m de altitude (sub-região montanhosa). A região central, compreendendo as comunidades de Lipembo, Mbuio, Mavago-Sede e Ntacundja (sub-reigão planáltica), com cotas intermédias, que vão dos 900 aos 700 m de altitude e, por último, a região oriental, com cotas que vão dos 700 a 400 m de altitude, onde jazem as comunidades do PA de Nsawise (sub-região pantanosa). Esta variação da topografia parece ser consistente com a variação das espessuras do rególito nas sub-regiões montanhosa, planáltica e pantanosa, mas inconsistente com a variação das profundidades do substrato rochoso.

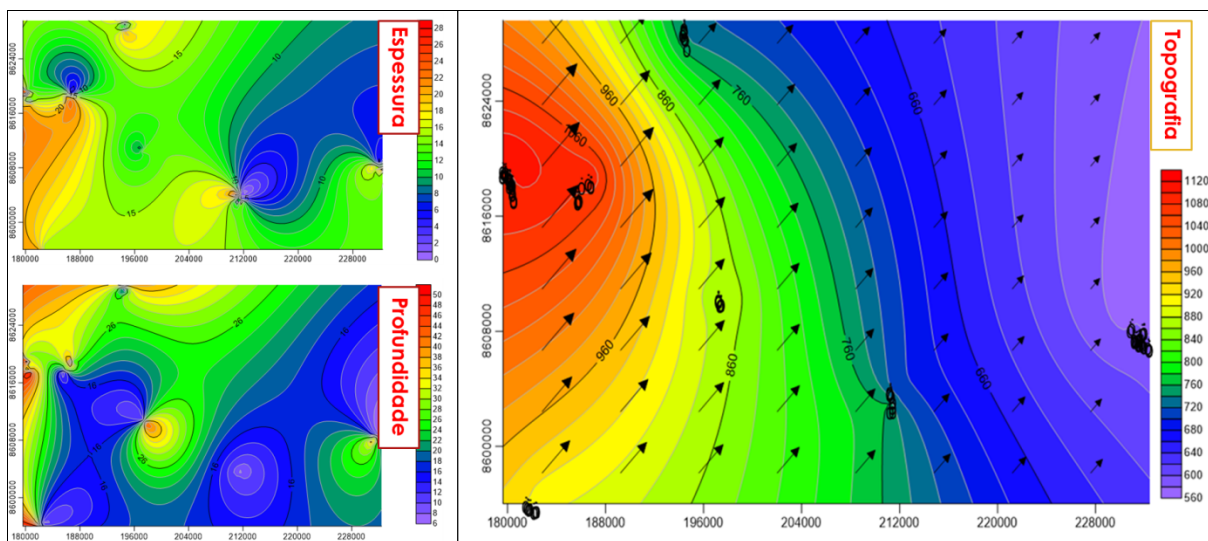


Figura 29 Cruzamento de dados topográficos, espessura do rególito e profundidade do substrato

5.3 Integração de modelos geoelectricos 2D e 1D

Os PRH buscam alvos tais como contactos geológicos, zonas de rególito espesso, e sistemas fracturados, considerados locais favoráveis a ocorrência e circulação da água subterrânea (WE Consult, 2007). Nesta secção vamos analisar alguns modelos geoelectricos em 2D, que representam estas situações.

No Gráfico 2 está representado um modelo geoelectrico em 2D de um PRH efectuado no povoado de Nsacalange e outro de Lucimbese. A análise que se segue refere-se apenas ao modelo de Nsacalange, da qual ficará clara a interpretação do modelo de Lucimbese. O PRH tem extensão total de 340 m e orientação de 020/200 (NNE-SSW). O intervalo entre as estações é de 10 m, indicando, por exemplo, que a posição da NSA-07 está a 100 m do ponto inicial do levantamento com PRH e NSA-06, a 310 m. É evidente que o ponto 10 divide o modelo geoelectrico em duas secções, sendo a primeira que vai entre as estações 0 a 8, bastante resistiva com a média de resistividades situando-se em cerca de 3200 Ωm . A outra secção, que vai desde a estação 11 até a estação 34, menos resistiva, estimando-se a média de resistividades em 1540 Ωm . Esta grande diferença das médias de resistividades, estimada em cerca de 1500 Ωm , entre as duas secções permite inferir dois contextos geológicos diferentes,

podendo então a secção entre as estações 8 e 11, com centro em 10, ser interpretada como uma anomalia provocada por uma zona de transição da secção altamente resistiva para outra menos resistiva, definindo um contacto entre os dois contextos geológicos distintos (Kearey, *et. al*, 2002).

No Gráfico 3 estão representados dois modelos geoelectricos de PRH em 2D, efectuados nos povoados de Ntacudja (a) e Mangupenje (b). A análise morfológica das anomalias indica que elas apresentam-se em forma de V entre as estações 0 e 3; 21 e 24, em Ntacudja, podendo indicar que foi cruzada perpendicularmente uma linha ou zona de fractura ou falha (Kearey, *et al* 2002). Porém, a morfologia em V perfeito não é claramente reconhecida em Mangupenge, podendo ser explicada pela intersecção oblíqua ou simplesmente não perpendicular, em MAN-01. Em MAN-02, a larga anomalia de cerca de 100 m, sugere uma zona de rególito espesso e com larga continuidade lateral, ou potencialmente mineralizada com minerais condutores (Kearey, *et al.*, 2002).

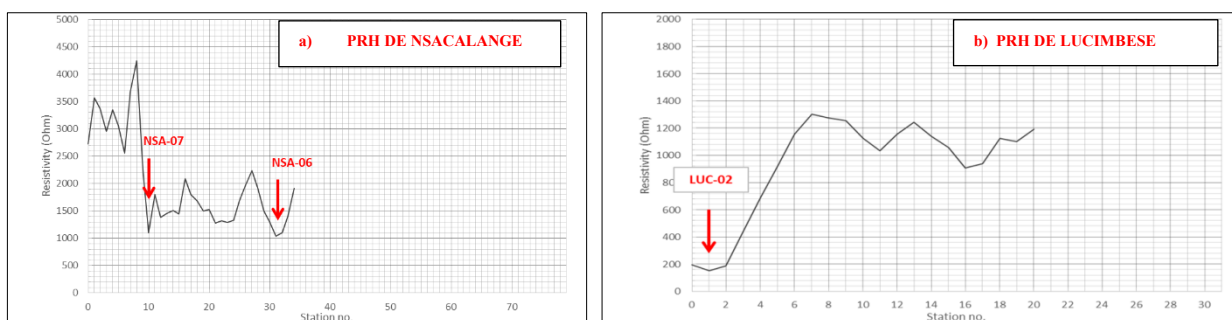


Gráfico 2 Modelos geoelectricos 2D de PRHs em Nsacalange (a) e Lucimbese (b), mostrando os locais seleccionados para a realização das SEVs: sendo NSA-06, provavelmente um sistema fracturado e NSA-07 e LUC-02 claramente contactos geológicos.

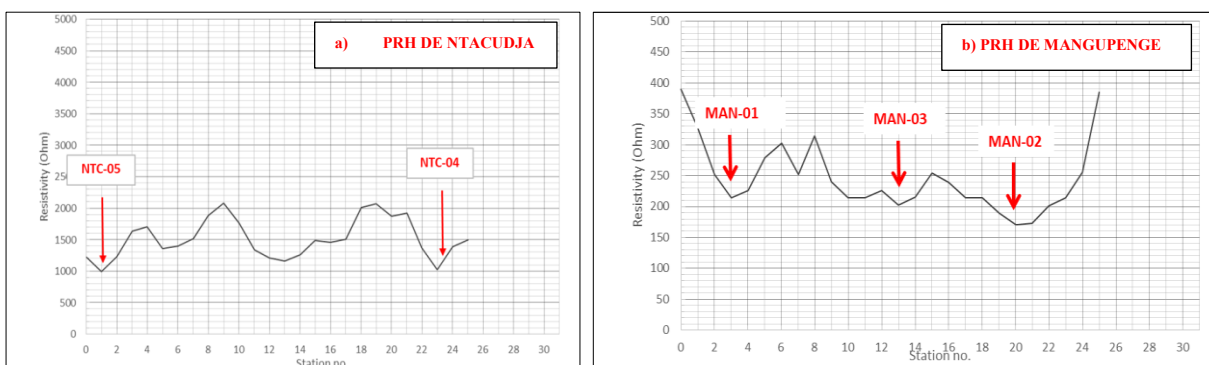


Gráfico 3 Modelos geoelectricos 2D de PRHs em Ntacudja (a) e Mangupenge (b), mostrando os locais seleccionados para a realização das SEVs: sendo NTC-05 e NTC-06, provavelmente sistemas fracturados e MAN-02, provavelmente zona de rególito espesso.

As PRHs foram seguidas de SEVs realizadas nos pontos de anomalias mais favoráveis à ocorrência e circulação da água subterrânea, que foram marcados nos modelos 2D e, assim foram construídos modelos 1D, que segundo Orelana (2012), dará melhores resultados em ambientes cristalinos. Foram executadas, no total, 4 SEVs para o SAA na vila-Sede de

Mavago e 75 para FD ao longo dos 2 PAs. A distribuição geográfica das SEVs pelo distrito é mostrada na Figura 26.

Os modelos 1D representados por curvas de SEVs foram analisados em termos morfológicos e classificados, segundo Orellana (1972). Foram identificados 6 tipos morfológicos de curvas de SEVs, nomeadamente: Tipo H, Tipo KH, Tipo HKH, Tipo A, Tipo HA e Tipo QH. O tipo H é o que, teoricamente, melhor representa a tipologia litológica de um perfil de meteorização em ambientes de embasamento cristalino, e tal como ficou demonstrado neste estudo (Gráfico 4a), mais de 40% das SEVs são do Tipo H e 34%, do tipo KH, para um total de 12 comunidades do distrito de Mavago. Na pesquisa de 2007, as estatísticas apontam para 48% e 42%, respectivamente, de um total de 31 curvas de SEVs efectuadas em 9 comunidades do distrito.

Nesta pesquisa foram calibrados 7 furos, cujos resultados mostram claro predomínio dos Tipos HKH e A (Gráfico 4b), com mais de 65% os dois juntos, contrariando a tendência demonstrada pelos dados de 2007, com 67% do Tipo H e 33% do Tipo KH, dos 6 furos então calibrados. Em termos numéricos, na presente pesquisa, a diferença é de apenas 1 para 2, ou seja, não há predomínio saliente de um tipo morfológico sobre os outros.

5.4 Inferição de modelos geofísicos-geológicos

Os modelos geoeléctricos precisaram ser interpretados em termos de modelos geológicos para que permitam a inferição dos Modelos Hidrogeológicos Locais que, por integração, vão gerar o Modelo Hidrogeológico Regional. São os modelos geológicos que têm maior interesse para o sector produtivo do que os modelos geoeléctricos, daí a importância deste exercício.

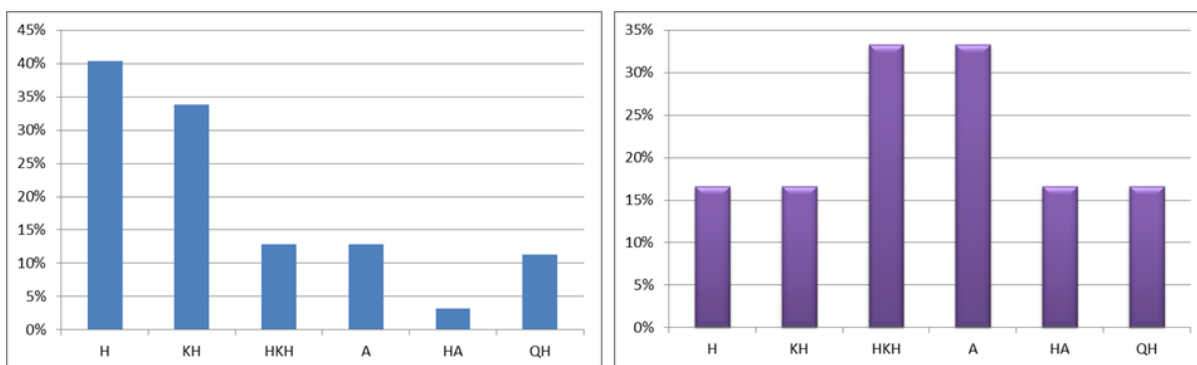


Gráfico 4 Estatística dos dados de SEVs (a) e Furos Calibrados (b) em 2021

O Gráfico 5a representa um modelo de 3 camadas, típico de ambientes cristalinos Tipo QH, com um rególito bastante espesso, compreendendo entre 20 e 30 m de espessura, que jaz sobre uma zona de transição constituída por uma rocha alterada (matações), com

espessura moderada, sobredjacente a um substrato de rocha cristalina sem sinais evidentes de fracturamento. Trata-se de um levantamento feito no povoado de Mangupenge, no PA de Msawise, com aquíferos granulares que ocorrem em rególito e zona de transição, como sendo os mais expressivos e cujo nível freático é raso, dando lugar a construção de captações por poços tradicionais rasos, escavados manualmente.

O Gráfico 5b representa um modelo de 3 camadas Tipo QH, típico de ambientes cristalinos, com um rególito de espessura moderada, compreendendo entre 10 e 15 m, que jaz sobre uma zona de transição constituída por uma rocha alterada (matacões), com espessura também moderada (~ 10 m), sobredjacente a um substrato de rocha cristalina com grande descontinuidade, a qual pode ser interpretada como sendo provocada por um sistema expressivo de fracturas ou falhas, acima dos 60 m. Este é um caso do povoado de Lipembo, no PA de Mavago-Sede, em parte com aquíferos granulares que ocorrem em rególito e zona de transição, como sendo os mais expressivos e cujo nível freático é raso, dando lugar a construção de captações por poços tradicionais rasos, escavados manualmente.

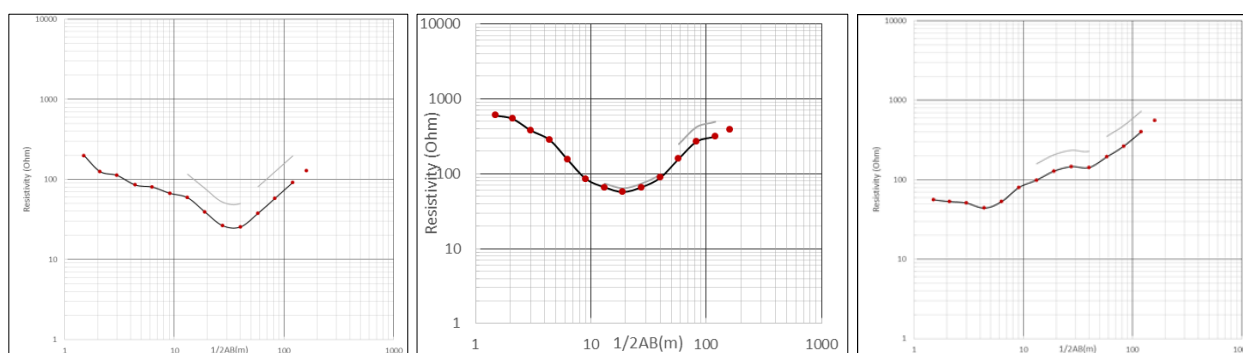


Gráfico 5 Modelo geoelectrico de 3 camadas com: a) 1. Rególito espesso (20-30 m); 2. Rocha Alterada / Zona de Transição (<10 m); 3. Substrato rochoso intacto. b) 1. Rególito raso (10-15 m); 2. Rocha Alterada / Zona de Transição espessa (15 - 30 m); 3. Substrato rochoso fracturado à profundidades entre 80 e 100 m. E c) Modelo geoelectrico de 3 camadas com: 1. Rególito delgado (5-6 m); 2. Rocha Alterada / Zona de Transição delgada (2 - 3 m); 3. Substrato rochoso profundamente fracturado

O Gráfico 5c representa um modelo de 3 camadas, típico de ambientes cristalinos, com um rególito delgado, de até 5 m de espessura, que jaz sobre uma zona de transição constituída por uma rocha alterada (matacões), com espessura insignificante (2-3 m), sobredjacente a um substrato de rocha cristalina com grandes descontinuidades, que podem ser interpretadas como sendo provocadas por um sistema expressivo de fracturas ou falhas, que vai desde os 10 a 25 m, sendo mais expressivo dos 25 a 40 m. Este é um levantamento feito no povoado de Ligogo, no PA de Mavago.

Os três exemplos descritos nos Gráfico 5a-c explicam os 3 principais alvos visados pela prospecção geofísica em estudos virados à alocação de pontos favoráveis à captação da água subterrânea: o rególito, a zona de transição e o substrato rochoso fracturado. É desejável

que o rególito tenha boa espessura (>20 m), para permitir o armazenamento de mananciais de água subterrânea significativos para alimentar furos produtivos; e que seja suficientemente permeável para permitir uma boa circulação da água (Hazell et al, 1995).

Quanto à interface rególito/substrato, esta deve ser transicional (maior espessura) e não brusca (menor espessura), para permitir a circulação de água em volumes que possam alimentar fontes de captação, especialmente nos casos em que o substrato não está fracturado (Hazell et al, 1995).

As características desejáveis do substrato é a presença expressiva de sistemas de fracturas e ou falhas interconectada entre si e com a cobertura sobrejacente à rocha, providenciando ampla circulação da água subterrânea no sistema aquífero, horizontal e verticalmente (Hazell et al, 1995). Tudo isso fica mais fácil de vislumbrar quando transformamos os modelos geoelectricos em geológicos, constituindo os Modelos Geoelectrico-Geológicos, que são apresentados na Figura 30, que representa o modelo representado pelo Gráfico 5a.

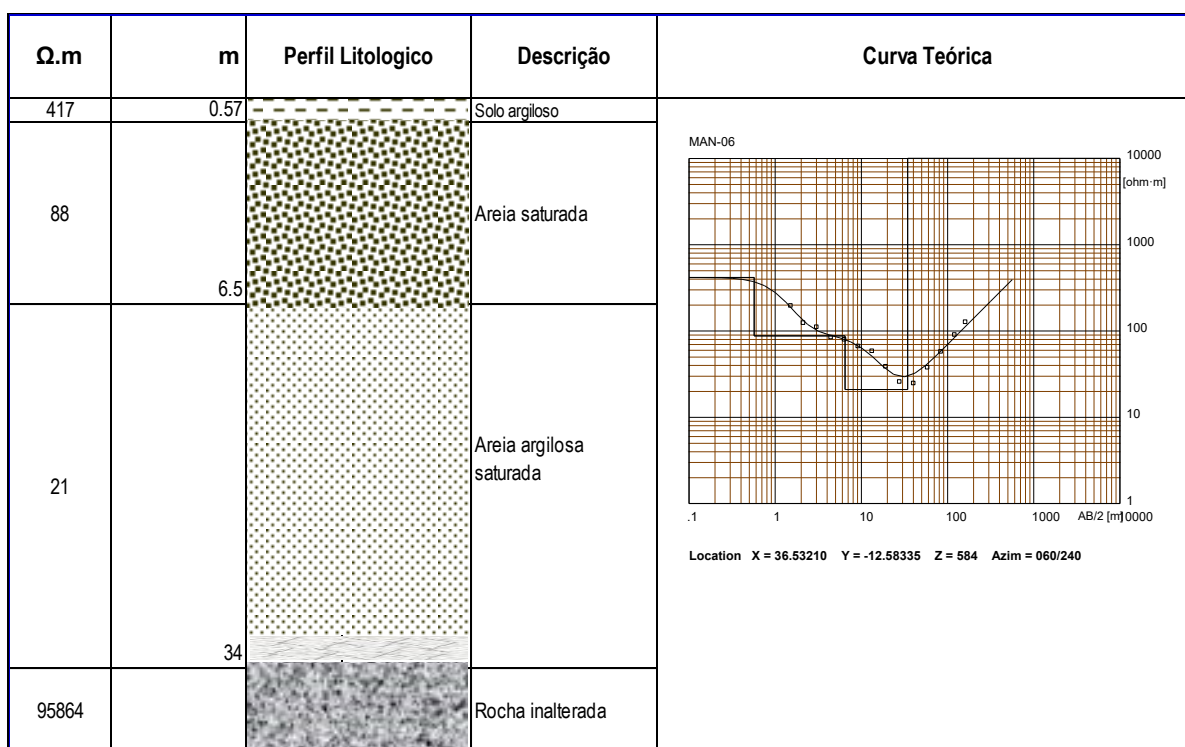


Figura 30 Modelo Geoelectrico-Geológico do ponto 6 em Mangupenge, inferido a partir da respectiva curva teórica

5.5 Integração dos modelos qualitativo-quantitativos com dados hidrogeológicos

O SDPI de Mavago apresenta um banco de dados com 45 entradas, das quais duas

correspondentes a poços rasos e 43 a furos dispersos. O distrito apresenta ainda dois sistemas de abastecimento de água, sendo um alimentado por um dos poços rasos e outro por um furo. Embora o BdD apresente importantes informações de ordem social, este, do ponto de vista hidrogeológico, apenas tem registo de profundidades dos furos, que situam-se no intervalo dos 30 a 50 m, sendo a média de 44.63 m. o BdD não apresenta dados quantitativos de caudais e qualidade da água, o que torna impossível a avaliação da potencialidade hídrica subterrânea destas formações.

Os dados disponíveis mostram que as profundidades da maioria dos furos variam dos 45 a 50 m, perfazendo 65% do total dos furos, seguidos de furos com profundidades de 40 a 45 m, que perfazem 21%. Os restantes 14%, correspondem aos furos com profundidades entre os 30 e 40 m. Foram registados 2 poços rasos, de 6 e 10 m, respectivamente, o primeiro dos quais alimenta o SAA da vila-sede do distrito, localizado próximo da zona pantanosa, onde os aquíferos são granulares, livres e rasos.

No concernente às resistividades nas 8 zonas estudadas, é notável, da leitura do mapa da Figura 31, que 60% dos furos estão em zonas condutoras a semicondutoras, apesar de as resistividades típicas, no geral, serem relativamente elevadas, se comparadas com a maioria das outras áreas do país e do mundo, conforme literatura diversa. Estas zonas condutoras apresentam geralmente um manto de alteração mais desenvolvido, constituído por solos argilosos a argilo-arenosos, resultantes da alteração residual do gnaiss subdjacente. Por vezes, estes solos são muito compactos e secos.

Das 45 entradas encontradas no Banco de Dados do SDPI do distrito de Mavago, são consideradas para esta análise 41 entradas. Foram invalidadas duas entradas por serem poços rasos (com 6 e 10 m de profundidade, respectivamente) e duas por terem coordenadas incorrectas.

A análise da distribuição espacial dos 41 furos existentes em 2021, conforme o Banco de Dados do distrito de Mavago, indica uma considerável presença de furos produtivos em toda a extensão do distrito de Mavago, incluindo nas zonas resistivas a altamente resistivas (Figura 31). Isto também acontece com os poços rasos, em que um se encontra na zona pantanosa, outro na zona montanhosa e tantos outros em zona planáltica. Há ocorrência frequente de nascentes nas zonas montanhosas, indiciando a considerável produtividade nessas áreas.

O tipo morfológico mais comum nas zonas montanhosas é o Tipo HKH, frequentemente com um pequeno horizonte de rególito e larga espessura de rocha meteorizada (matações), particularmente em Nkalapa, Lipembo e Ligogo. Algumas comunidades de

Nkalapa, porém, apresentam rególito muito espesso, com zona de transição ora brusca ora transicional. As restantes zonas são representadas por curvas dos Tipos KH e H e, raramente, Tipos A, QH e HA.

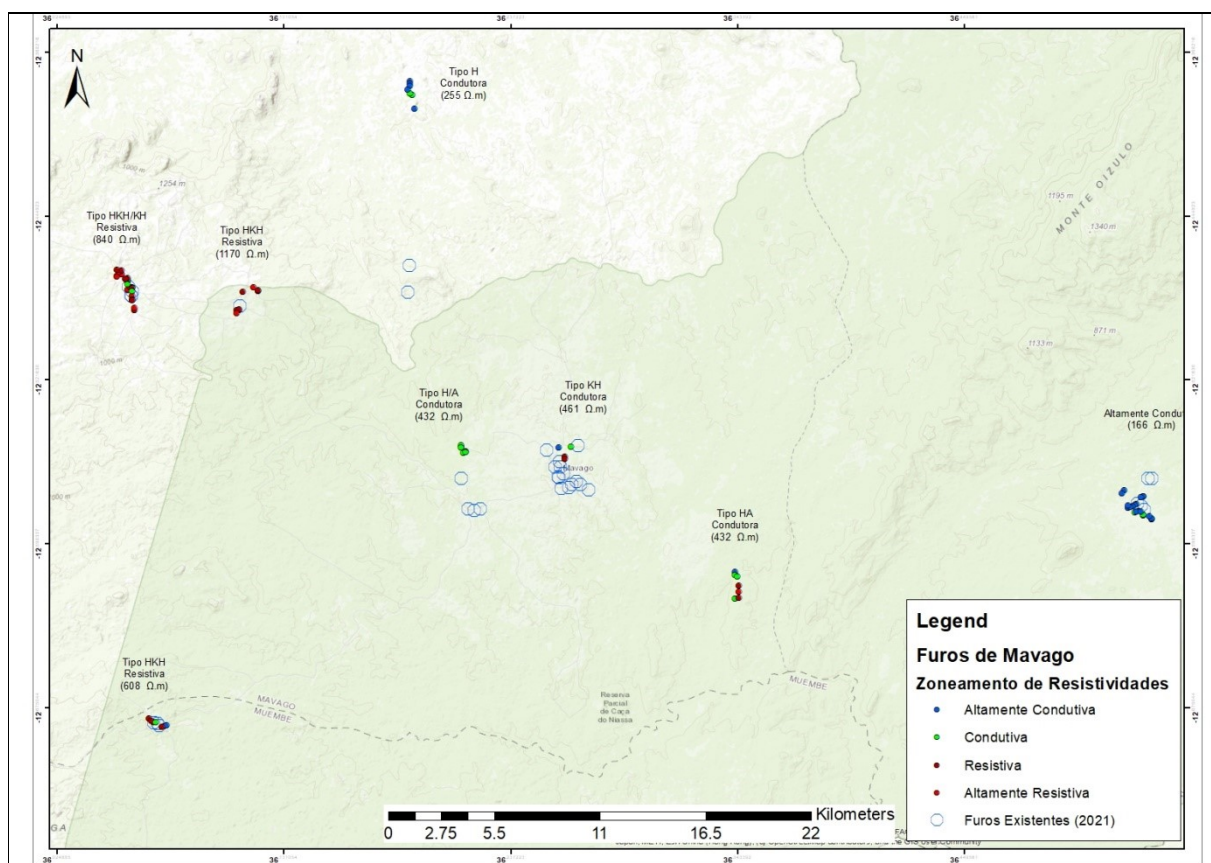


Figura 31 Distribuição espacial dos furos existentes, das zonas resistivas e tipologia morfológica

As elevadíssimas resistividades registadas na sub-região montanhosa estão relacionadas provavelmente com massas do gnaiss granítico do Complexo de Base Pan-Africano, raso em muitos pontos, porém, frequentemente aflorante e formando *inselbergs*, bastante meteorizados, em toda a extensão do distrito de Mavago. Estes gnaisses graníticos são produtos de metamorfismo de fácies anfíbolítica a granulíticas, ou seja, médio a alto grau, de idades entre 553 ± 13 e 525 ± 9 Ma (Lachelt, 2004). Muitas das unidades dentro do complexo são delimitadas por elementos em uma rede de zonas de cisalhamento anastomosadas, deformações que permitiram a intrusão de quartzitos frequentemente encontrados na área de estudo, constituindo zonas de resistividades relativamente baixas (Lachelt, 2004). A intensa alteração residual, perpetrada pela intensa interacção com a água meteórica que percola nas zonas de fraqueza, tais como fracturas, falhas e contactos com diques granodioríticos, doleríticos e veios de quartzitos, bastante frequentes nas zonas planálticas permitiu a formação de um perfil de alteração, algo espesso, que providencia zonas relativamente

bastante condutoras e formação de aquíferos granulares rasos, que podem ser explorados por poços escavados manualmente.

5.6 Análise comparativa dos dois postos administrativos

O posto administrativo de Nsawise é dominado pelas curvas tipo KH, QH e H. Entretanto, o único furo calibrado apresenta uma curva tipo A. As figuras 31 e 32 representam os 4

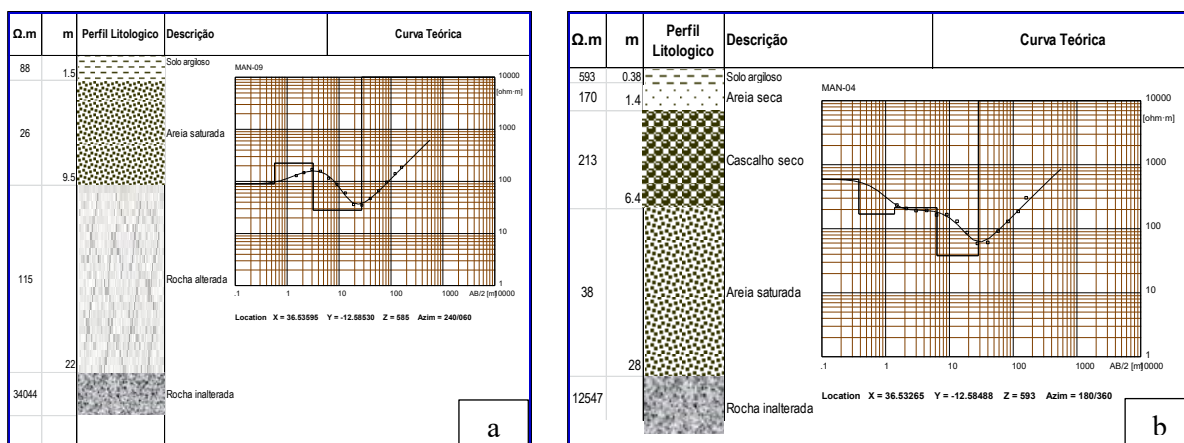


Figura 32 Curvas tipo KH e QH representativas do perfil geológico de Nsawise

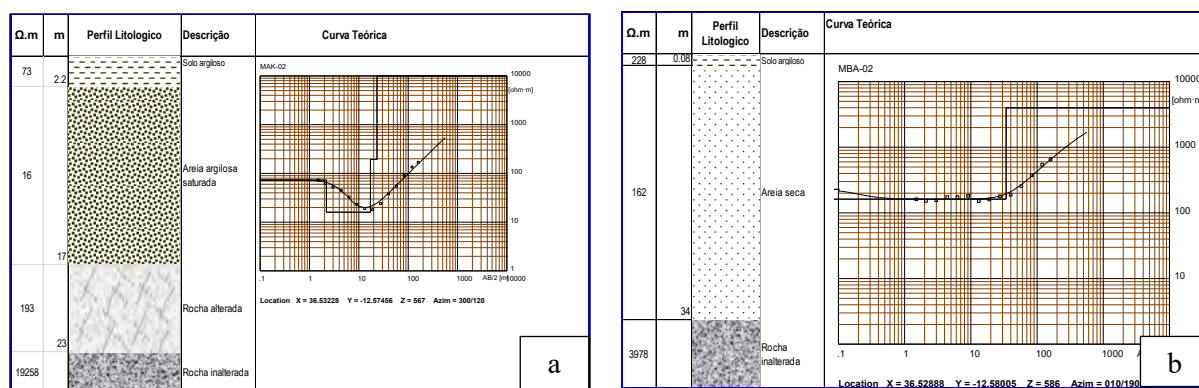


Figura 33 Curvas tipo H e A representativas do perfil geológico de Nsawise

modelos geoeletrico-geológicos da região de Nsawise, sendo 31a um modelo de 4 camadas tipo KH, 31b um modelo de 5 camadas tipo QH. A Figura 32^a representa um modelo de 4 camadas tipo H e 32b um modelo de 3 camadas tipo A. Este último representando o furo calibrado. A primeira nota que importa destacar é a profundidade da rocha cristalina nos 4 pontos, que espera-se aos 22 m em 31a e 34 m em 32b. Dando uma significativa espessura de meteorização que poderá providenciar um bom armazenamento. Estas zonas são bastante condutivas (Figura 31) e a morfologia das curvas das SEVs não sugere um fracturamento significativo do embasamento, podendo-se inferir, então, que o manto de alteração controla a

ocorrência e circulação da água subterrânea nessa região. As 3 áreas de Nsawise onde foram feitos os levantamentos geoelectricos jazem numa zona plana aonde vão confluir as águas meteóricas captadas a montante, nas sub-regiões planáltica e montanhosa, providenciando boas condições de recarga. Nestas áreas os aquíferos são claramente granulares e contínuos, daí a ocorrência de vários poços tradicionais precários nos pátios da população local (Figura 34), com o mínimo de protecção. Por experiências doutras áreas do país, furos construídos em áreas com essa natureza têm pouca ou nenhuma sustentabilidade.



Figura 34 Poço tradicional raso em Nsawise

No posto administrativo de Mavago, por sua vez, as comunidades beneficiárias estão muito dispersas, podendo agrupar-se em 4 regiões: (1) Mataca, Ntacadja e Mbuio que estão na sede do distrito e sua periferia; (2) Lipembo; (3) Ligogo; (4) Nsacalange e Nkalapa (**Error! Reference source not found.**). As últimas 3 comunidades estão na sub-região montanhosa, que é altamente resistiva. As 3 primeiras situam-se nas sub-regiões planáltica e pantanosa, variando as suas resistividades entre as das áreas resistivas e condutivas. As áreas condutivas apresentam praticamente os mesmos tipos de curvas que Nsawise (H, KH, A), enquanto as áreas resistivas são tipificadas por curvas tipo HKH e KH. Todos outros exemplos foram abordados no caso de Nsawise, nesta abordagem nos cingimos ao tipo HKH,

que é o dominante nesta zona, em comparação com o tipo H do furo calibrado (Figura 33b).

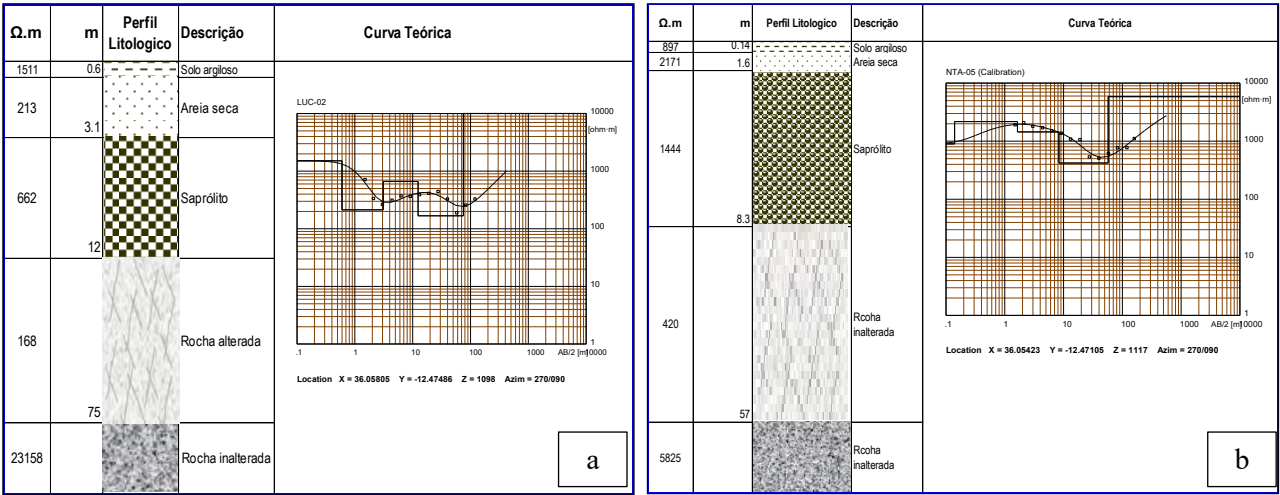


Figura 35 Curvas tipo HKH e H representativas do perfil geológico de Lucimbese



Figura 36 *Inselberg* rodeado de vegetação com alguns blocos decolados e rolados para sua base

Da interpretação destes perfis litológicos fica evidente a grande similaridade entre si. Trata-se de modelos de 5 camadas, que diferem ligeiramente nas suas espessuras e resistividade.

Ambas estão na zona resistiva, com espesso manto de alteração e a rocha dura com fortes evidências de fracturamento. Mas, em termos de resistividade da 3ª camada, o potencial aquífero, a SEV desta pesquisa é muito melhor tornando-a recomendável para a perfuração.

Porém, nesta zona tem, historicamente, sido registado o maior número de furos negativos, com muitos cursos de água sazonais e bastante escassez de água, o que eleva a consciência da população para os aspectos de sustentabilidade das suas infra-estruturas de abastecimento de água. Trata-se da zona de captação das águas pluviais que correm pelas vertentes indo recarregar os aquíferos das sub-regiões planaltos e pantanosas.

Estruturadamente, o Cinturão de Moçambique, orienta-se de N-S, com várias orientações secundárias locais de NE-SW, ENE-WSW e NW-SE (Ferro e Bouman, 1987), coerente com o trabalho de GREENBAUM (1992) na região cratónica do sul do Zimbabwe, claramente manifestadas superficialmente pela rede de drenagem superficial.

A precipitação é alta nas áreas montanhosas, variando de 1.200 a 2.000 mm/ano e média nos planaltos, pelo que, apesar de os terrenos serem muito desfavoráveis, as possibilidades de recarga são muito boas (Ferro e Bouman, 1987).

Nestas condições a recarga na sub-região montanhosa pode ser garantida pelo imenso fracturamento desde a superfície dos *inselbergs*, onde podem ser observados blocos de rocha soltos com muita vegetação circundando-o, criando condições adequadas para baixo fluxo superficial das águas pluviais e para a recarga dos aquíferos. A orientação diversificada das fracturas descritas pelo Ferro e Bauman (1987) dá a possibilidade de uma ampla circulação da água subterrânea, cujos fluxos correm em direcção a leste. Portanto, a água recarregada na sub-região montanhosa pode, através da infiltração e percolação aos sistemas de falhas e fracturas profundas e aí ser armazenada ou iniciar um fluxo subterrâneo para as sub-região planáltica, onde pode ser armazenada ou emerge em forma de nascentes, ou ainda o fluxo subterrâneo pode desembocar na zona pantanosa, recarregando os aquíferos locais. Portanto, a zona de transição controla a circulação da água na sub-região montanhosa, juntamente com os sistemas de fracturas com que pode estar em contacto.

Comparativamente, Nsawise tem melhor potencial hídrico que Mavago, devido a possibilidade que tem de ter recarga directa das águas pluviais e indirecta ao receber água de outras regiões, a qual fica armazenada em aquíferos granulares contínuos, geralmente rasos.

As falhas e as zonas de cisalhamento sob o Complexo M'Sawise são possivelmente falhas antitéticas no mesmo sistema de extensão, uma vez que têm mergulho oposto à falha principal no sul. Neste caso, o falhamento e o cisalhamento relacionado são posteriores aos movimentos de empurrão dos complexos orientais sobre o Complexo Unango a oeste,

possivelmente representando uma estrutura de colapso por gravidade (Ferro e Bauman, 1978).

5.7 Resultados da campanha de perfuração de 2023

A prospecção geoelectrica realizada em 2021 recomendou 25 pontos de perfuração mais 5 pontos alternativos para as 13 comunidades beneficiárias do projecto. A meta do projecto era alcançar 25 furos positivos. Entretanto, tendo em conta os altos riscos hidrogeológicos do distrito, foram alocados 5 pontos adicionais.

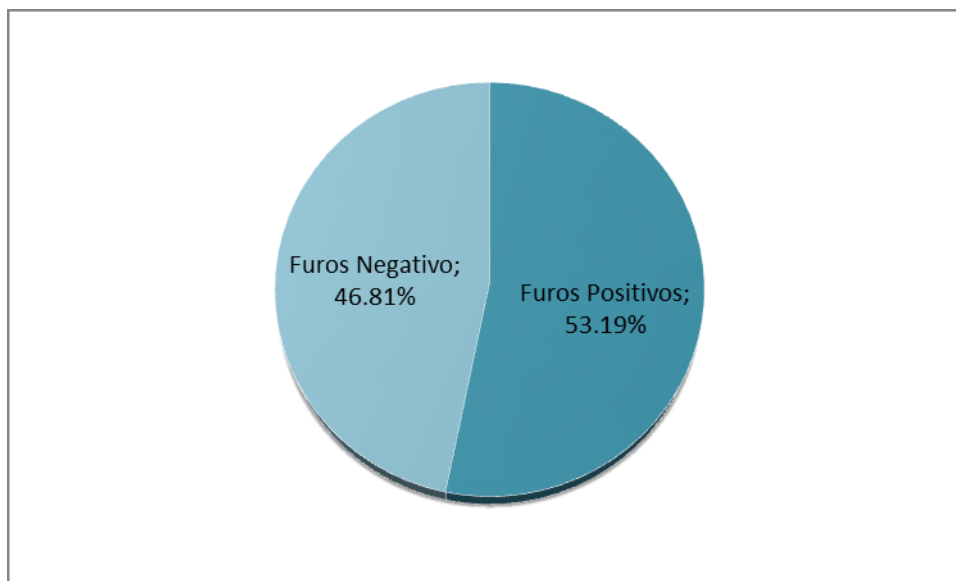


Gráfico 6 Taxa de sucesso do projecto de perfuração em Mavago da JICA, 2023.

A campanha de perfuração, que teve lugar entre os meses de Julho e Setembro de 2023, compreendeu 47 tentativas de perfuração para se alcançar a meta dos 25 furos positivos, o que corresponde a uma taxa de sucesso de 53.19% e 22 furos negativos que correspondem a 46.81% (Gráfico 6). Estes resultados podem ter sido influenciados pelo início tardio da perfuração (2 anos após a prospecção), numa altura em que já não havia marcos na maioria das comunidades. A localização dos pontos foi, então, feita através do GPS e, problemas de precisão, levou a que a localização da grande maioria dos furos fosse deslocada do ponto recomendado pela prospecção geofísica.

Os resultados Figura 31 mostram que grande parte dos furos negativos está localizada nas zonas altamente resistivas, portanto, na sub-região montanhosa. Dos 22 furos negativos registados, 40.91% estão nas comunidades da localidade de Nkalapa, 13.64 na comunidade de Ligogo e Nsacalange, com 13.64%, totalizando 63.64% dos furos negativos, encontrados na sub-região montanhosa. Os restantes 36.36% foram registados na sub-região planáltica, nomeadamente, 22.73% em Mataka e 13.64% em Ntacadja. Importa anotar que nenhum furo negativo foi registado nas zonas altamente condutivas localizadas nas sub-regiões planáltica e pantanosa (Figura 37).

Tabela 5 Relação entre o número de tentativas e furos positivos/negativos

Local	Positivos	% Furos Positivo	Negativos	%	Total Tentativas	%
Nkalapa	5	20.00	9	40.91	14	35.71
Nsacalange	1	4.00	2	9.09	3	7.14
Ligogo	1	4.00	3	13.64	4	7.14
Lipembo	1	4.00	0	-	1	7.14
Mbuio	1	4.00	0	-	1	7.14
Mataka	2	8.00	5	22.73	7	14.29
Ntacudja	0	-	3	13.64	3	0.00
Nsawise	14	56.00	0	-	14	100.00
Total	25	100.00	22	100.00	47	

Portanto, os furos positivos foram registados maioritariamente nas zonas altamente condutivas das sub-regiões planáltica e pantanosa, em Nsawise (56%), Mataka (8%), Mbui e Lipembo com 4% cada. Ao todo são 72% dos furos positivos localizados nas sub-regiões planáltica e pantanosa, com a média de resistividades situando-se abaixo dos 500 Ω .m (Figura 37).

Não obstante, um número significativo de furos positivos (18%) encontra-se na sub-região montanhosa, altamente resistiva, com a média de resistividades situando-se acima de 1000 Ω .m. Destes, 20% dos furos estão situados em Nkalapa e 4% para cada uma das comunidades, Nsacalange e Ligogo (Figura 37).

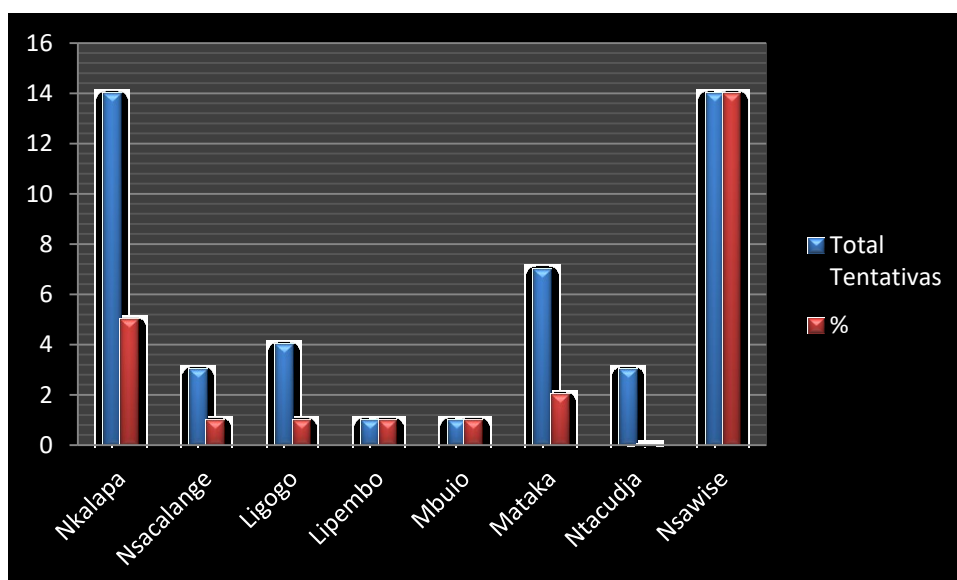


Gráfico 7 Número de tentativas vs Percentagem de Furos Positivos

Os resultados da perfuração corroboram com os resultados geofísicos (veja o sub-capítulo 5.6), pois verifica-se que, de facto, a ocorrência da água subterrânea no distrito de Mavago é controlada pelo rególito resultante da alteração da rocha de base, gnaisses graníticos, e menos

pelos sistemas de fracturas, dado que em Nsawise, Lipembo e Mbuio, onde se esperavam aquíferos granulares formados em rególito, não há registo de furos negativos.

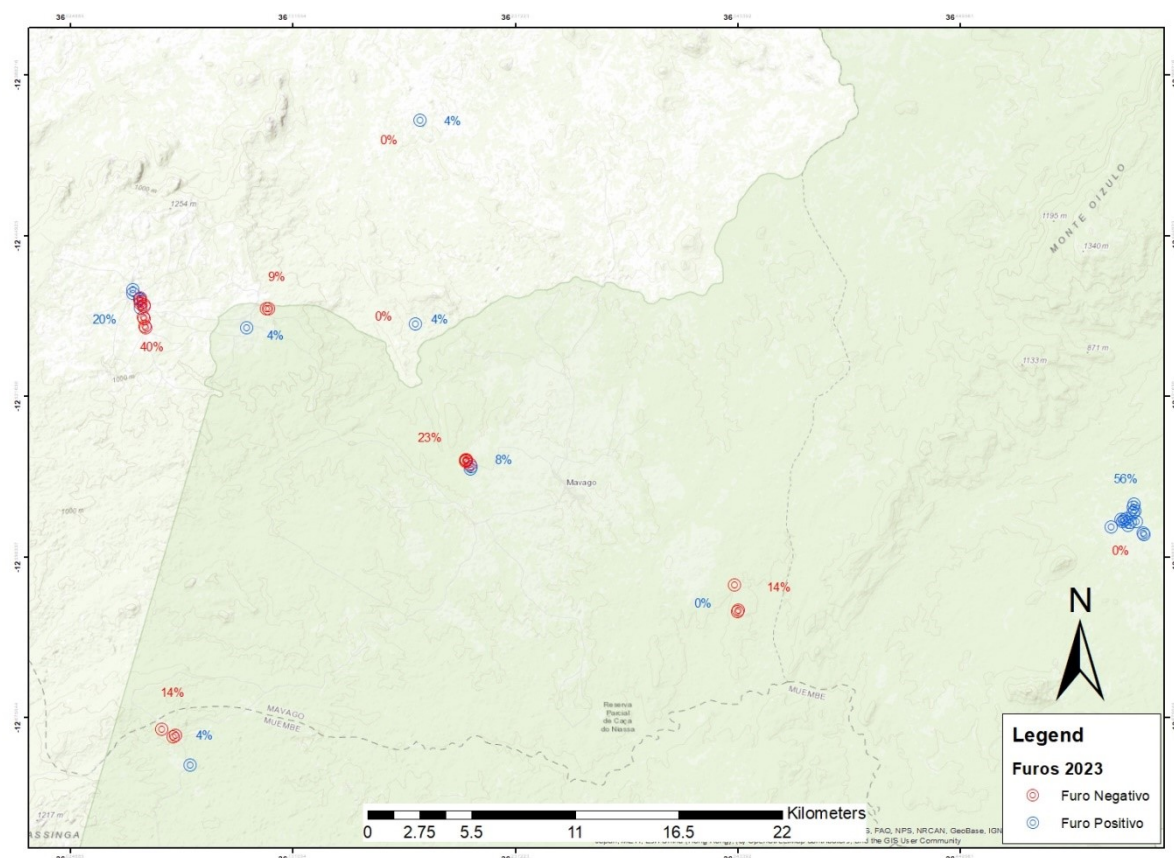


Figura 37 Distribuição Espacial dos Furos Positivos e Negativos da campanha de 2023 (com indicação de furos positivos e negativos em cada região).

Todos os furos negativos foram registados em áreas com rególito pouco espesso, onde a ocorrência e circulação da água subterrânea é controlada pelos sistemas de fracturas e falhas. Esta análise ainda é baseada nos resultados da geofísica, dado que os “logs” dos furos não foram disponibilizados, nem são descritos nos relatórios preliminares sobre os tipos de aquíferos captados. Não havendo esta informação ordem geológica dos furos, ainda não podemos ser tão conclusivos. De igual modo, não foram fornecidos ainda ao distrito relatórios de ensaios de bombagem, portanto a vazão dos furos não é conhecida. Isso comprometeu o objectivo específico 2, que pretendia avaliar a produtividade dos furos das zonas resistivas, para se perceber a correlação das altas resistividades com as vazões dos furos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Deste estudo algumas relações e influências das condições estruturais e topográficas nas condições de recarga ao longo do distrito ficaram evidentes, bem como as condições de armazenamento no rególito e embasamento fracturado. Ferro e Bauman (1987) indicam que as estruturas secundárias na área de estudo são orientadas de NE-SW, ENE-WSW e NW-SE, o que pode providenciar uma ampla circulação da água subterrânea na região que foi profundamente afectada pelo tectonismo e metamorfismo, tendo ocasionado o aparecimento de várias zonas de fraqueza que favorecem o fluxo de água. Sendo M'sawise relacionado com uma estrutura de colapso por gravidade (Ferro e Bauman, 1978) explica-se que esteja numa zona topograficamente mais baixa e seja alimentado por sistemas de fracturas e falhas interconectadas com outros sistemas mais distantes, como os da Bacia do Rovuma (a norte, a norte), com que o distrito faz fronteira, e Maniamba (a sul, a jusante), onde se encontra o Lago Niassa, o terceiro maior do continente africano. O Lago Niassa está localizado no Vale do Rift, com 580 quilómetros de comprimento e uma largura máxima de 75 quilómetros. O Lago Niassa é uma enorme massa de água com uma área superficial de 29.600 quilómetros quadrados e profundidade que pode chegar até 700 metros (<https://www.dw.com/pt-002/lago-niassa/t-36499389>).

Portanto, os aquíferos do distrito de Mavago encontram-se numa posição bastante privilegiada em termos de localização, pois pode ser recarregados a partir de uma área bastante ampla, com bacia do Rovuma ao norte e bacia de Maniamba (à sul).

Um zoneamento da topografia, espessura do rególito, profundidade do embasamento permitiu estabelecer sua relação com a morfologia típica e resistividades das SEVs das diferentes regiões. Assim, a sub-região montanhosa (Nkalapa, Nsacalange e Ligogo) é a mais resistiva, com rególito pouco espesso, profundidade da rocha geralmente rasa e topograficamente mais elevadas, variando de 2000 a 900 m de altitude. A sub-região planáltica (Mataka e Mbuio), variando de resistiva a condutiva, apresenta rególito com espessura moderada e basamento com profundidade também moderada. As suas altitudes variam de 900 – 700 m. Por sua vez, a sub-região pantanosa (M'sawise) é condutiva, com espessura do rególito elevado, com profundidade de basamento moderada a elevada, topografia baixa, com elevado potencial hidrogeológico, comparativamente as outras sub-regiões.

Dados disponíveis no SDPI de Mavago não permitem avaliar a produtividade das fontes existentes nas zonas mais resistivas, que era um dos objectivos deste estudo, porque o banco de dados não fornece dados quantitativos (caudais) dos furos existentes. Não obstante,

resultados dos furos feitos em 2023, indicam haver correlação entre zonas resistivas e a taxa de sucesso da perfuração.

A sub-região montanhosa apresentou a mais baixa taxa de sucesso, com 14 tentativas feitas, e somente 35.71% em Nkalapa 7.14% em Nsakalange e 7.14% em Ligogo tiveram sucesso. A sub-região pantanosa, apresenta a mais alta taxa de sucesso, com 100% das 14 tentativas feitas positivas. A sub-região planáltica situou-se entre as duas, onde Mbuio teve 0% e Mataka com 14.29% de furos positivos.

Os dados geológicos, tectono-estruturais, topográficos e hidrogeológicos, tornaram difícil a análise dos resultados por limitados e indisponíveis localmente. Por indisponibilidade de tempo não foi possível um levantamento estrutural que pudesse suprir essas deficiências. Cartas temáticas só estão disponíveis na capital do país, Maputo, e são de carácter regional (escala 1:250.000 a 1:1.000.000). Não obstante, é possível inferir conclusões, como as que foram indicadas no primeiro parágrafo das conclusões.

Na coleta de dados geoelectricos também foram enfrentadas dificuldades, principalmente devido a topografia, que se caracteriza por terrenos com inclinação muito acentuada, condicionando a movimentação, por vezes presença de água nos rios ou podendo mesmo afectar a qualidade dos resultados (BRAGA, 2016). Outras dificuldades estão relacionadas com a disposição das infraestruturas, cemitérios, florestas densas e afloramentos ao longo das linhas de PRH/SEV. Durante a perfuração em 2023, mesmo depois de ser concluído o projecto de abertura dos furos, ainda não era possível obter os dados dos furos. Mesmos depois destes terem sido disponibilizados vieram sem coordenadas geográficas, tornando-os inúteis para as análises adicionais necessárias. Foi necessário mobilizar recursos adicionais e, contando com a boa colaboração do Técnico do SDPI, foi possível fazer levantamento de todas as coordenadas, incluindo as dos furos negativos. Embora o relatório do SDPI não apresente dados de caudais, até o relatório oficial da JICA, foi possível correlacionar as zonas resistivas com a taxa de sucesso da perfuração. Estamos cientes que a baixa taxa de sucesso pode não reflectir toda a verdade, uma vez que muitos furos foram feitos em locais deslocados dos pontos marcados pela prospecção geofísica de 2021. A disponibilização destes dados, embora não possa avaliar o grau de produtividade dos furos nas zonas resistivas, que era um dos objectivos do projecto, permitiu tirar conclusões importantes sobre a potencialidade das zonas resistivas e condutivas.

A análise integrada dos dados geofísicos disponíveis, resultantes dos estudos de 2021 e 2007, corroboram perfeitamente com o que é teoricamente esperado da tipologia morfológica das curvas de SEVs num perfil de meteorização em zonas de embasamento cristalino. Para

levantamentos de 2021, mais de 40% das 79 SEVs são do Tipo H e 34%, do tipo KH, num total de 12 comunidades do distrito de Mavago. Nas pesquisa de 2007, que incidiram sobre 9 comunidades, tendo sido efectuadas 31 SEVs, as estatísticas apontam para 48% e 42%, respectivamente. Litologicamente, as curvas de Tipo H representam um perfil com 4 horizontes, gradualmente crescente, em termos do tamanho de partículas em direcção ao embasamento. As curvas do tipo KH e HKH, por sua vez, indicam alternância entre partículas grossas e finas, em direcção ao embasamento. No geral, a rocha cristalina de base apresenta fractuamentos e/ou falhamentos.

Por falta de dados referentes a caudais e qualidade de água no Banco de Dados do distrito de Mavago, não foi possível fazer a análise quantitativa da produtividade dos furos do distrito. Os dados de 2023 também não acrescentaram valor a esse quesito. Porém, foi feita uma análise qualitativa com os dados de 2021, tendo em conta a distribuição dos furos produtivos no distrito. Pelo menos 35% dos furos existentes estão em zonas resistivas a altamente resistivas, 23% em zonas altamente condutoras e os restantes 42% em zonas condutoras. Com adição dos furos de 2023 e a sua sobreposição com as SEVs, deu informações bastante úteis para compreensão do sistema hidrogeológico do distrito de Mavago. O modelo conceitual poderia ser descrito com tendo no topo um rególito pouco espesso nas zonas altamente resistivas e muito espesso nas zonas altamente condutivas, sendo o embasamento altamente fracturado, mas com bastante interconectividade dos sistemas de falhas e fraturas, podendo permitir ampla circulação na área. Esta deve ser a premissa que determina a ocorrência de furos produtivos em zonas altamente resistivas. Um local que circula pouca água com a rocha granito ou gnaiss próximo à superfície, terá resistividade elevada, mas se o furo captar um pequeno aquífero interconectado com outro maior, este poderá ser a fonte de alimentação do aquífero menor e do furo nele existente.

As áreas montanhosas tendem a ser resistivas a altamente resistivas enquanto as planálticas e pantanosas tendem a ser condutoras a altamente condutoras. A espessura do rególito tende a ser limitada enquanto a profundidade do embasamento tende a ser maior, graças a zona de alteração muito espessa, nas áreas montanhosas, com superfície freática profunda enquanto nas áreas planálticas e pantanosas, o rególito tende a ser espesso e a profundidade do basamento moderada com superfícies freáticas rasas, possibilitando a captação da água subterrânea por poços rasos e providenciando maior disponibilidade hídrica à população local.

As comunidades de Nsawise, Lipembo e zona pantanosa de Mataka (Mavago-Sede), dispõem de mais água que ocorrem em aquíferos granulares contínuos, rasos em rególito resultante de meteorização residual de rochas de filiação granítica do embasamento cristalino.

Em face destas conclusões a primeira recomendação vai para o distrito que precisa incluir a captação e armazenamento de dados dos furos tais como caudal, Q (m^3/h), Conduvidade Eléctrica, CE ($\mu S/cm$), parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e organolépticos, conforme recomenda o Regulamento Nacional sobre a Qualidade da Água (MISAU, 2004), bem como profundidades, níveis hidrostáticos e hidrodinâmicos. Estes dados permitem não só estudos mais completos sobre a produtividade dos aquíferos, mas também para a boa gestão do recurso hídrico. É indispensável que todos os furos, positivos ou negativos sejam devidamente georreferenciados e descritos. Para furos declarados negativos precisa acrescentar-se a informação se foram secos ou tiveram baixo caudal, com indicação onde é possível do caudal estimado.

Os próximo projectos devem seguir uma abordagem mais holística que inclua não apenas o estudo de campo, mas um extensivo trabalho de gabinete, permitindo tempo necessário aos consultores para a inclusão do sensoriamento remoto e interpretação aerogeofísica, que possam dar a focalização dos alvos mais profundos que provavelmente serão mais produtivos em áreas montanhosas, onde a taxa de sucesso se tem revelado mais baixa.

É necessários que os planificadores dimensionem correctamente o tempo entre o estudo geofísico e o início da perfuração. Dois anos passaram entre a conclusão do estudo geofísico e o início da perfuração. Isso levou a que se perdessem os marcos, tendo como resultados a incorrecta alocação dos furos, terminando, obviamente, com uma taxa de sucesso excessivamente baixa. Este resultado pode ser erróneo, uma vez que o GPS pode ter erro até 3 metros e deslocar 3 metros alocação de um furo em zona do basamento cristalino, dificilmente pode se lograr sucesso, a não ser que vá na orientação da lineação portadora da água.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, R. S.; MARQUES, J.M. & FERRARA, M. A. Evolução geológica de Moçambique, Instituto de Investigação Científica Tropical (Lisboa), Direcção Nacional de Geologia (Maputo) – Lisboa. 1998
- BJORN, A. e BJORKSTROM, T. *Geophysical Investigation in Nampula Province, Mozambique*. Thesis work for Master of Science 30 ECTS, Engineering Geology, Lund University, Minor Field Study. 2014
- BORGES, W. R. *Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicação no planeamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAGUSP*. 250p. Tese de Doutorado em geofísica - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo. 2007
- BRAGA, A. C. O. *Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: Uma abordagem metodológica e prática*. 2006. 121 p. Tese (Livre - Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2006
- BRAGA, A. C. O. *Métodos Geoelétricos em Hidrogeologia*. Geofísica Aplicada. Oficinas de Textos. 2016
- BRICALLI, L. L. Padrões de Lineamentos e Fraturamento Neotectônico no Estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil). Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011
- CILEK, V. Industrial Minerals of Mozambique. Ebook:
file:///X:/TK/TK40/TK406/TK4064/Veikko/Ind%20Min%20Moz/Ebook-version/index.htm
(1 of 5)31.7.2008 9:47:52. 1989
- COELHO, J. O. M. *Identificação e Caracterização de Zonas e Captura e Concentração de Águas Subterrâneas a Partir de Produtos de Sensoriamento Remoto*. Dissertação de Mestrado. Campus de Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 2010
- CORREIA, A. Moçambique e o Sector de Água – Desenvolvimentos no Quadro Institucional do Sector da Água em Moçambique. Pontes e Parcerias nos Países de Língua Portuguesa. Figueira da Foz. 24 de Outubro de 2017
- COSTA, A.F. *Emprego do método da eletrorresistividade na caracterização da lixeira de Porto Velho – RO assentada em meio fraturado*. 130p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2008
- D.N.A. *Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídrico*. Aprovado na 22ª Sessão do Conselho de Ministros de 21 de Agosto de 2007. Conselho de Ministro, República de Moçambique. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/moz181147.pdf>. 2007

DE PAULA, T. L. F. Comportamento Hidráulico de Aquíferos Sedimentares e Metassedimentares de Dupla Porosidade da Região do Alto Paraguai, MT. Área de Concentração: Hidrogeologia e Meio Ambiente. Dissertação de Mestrado. 2015

EBONG, D.E., ABONG, A. A., ULEM E.B. e EBONG, L.A. *Geoelectrical Resistivity and Geological Characterization of Hydrostructures for Groundwater Appraisal in the Obutu Plateau, Southeastern Nigeria. Natural Resources Research, Vol. 30, No. 3, June 2021* (© 2021). <http://doi.org/10.1007/s11053-021-09818-4>. 2021

FERRO, B.P.A e BOUMAN, D. *Notícia Explicativa da Carta Hidrogeológica de Moçambique, Escala 1:1.000.000. Projecto da Carta Hidrogeológica de Moçambique com Apoio do UNICEF. Contribuição para a “Década Internacional de Abastecimento de Água Potável e Adopção de Medidas Sanitárias (1981-1990)”*. Direcção Nacional de Águas (D.N.A.). Ministério de Construção e Águas. República de Moçambique. 1987

FREITAS, A.J. *A Geologia e o desenvolvimento económico e social de Moçambique*. Imprensa Nacional de Moçambique. Lourenço Marques. 1959

GRANDOLFO, O.C.B. *Métodos Geofísicos Aplicados à Engenharias e Geotecnia*. Palestra Apresentada na UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitectura e Urbanismo. Comunicação Técnica N° 171299. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Maio, 2012

GRANTHAM, G.H.; MARQUES, J.M.; WILSON, M.G.C.; MANHIÇA, V. & HARTZER, F.J. *Explanation Of the Geological Map of Mozambique, Scale 1:1 000 000*. Mineral Resources Management Capacity Building Project. Nordic Development Fund (NDF). World Bank. Direcção Nacional de Geologia. Ministério dos Recursos Minerais e Energia. República de Moçambique. 2011

GREENBAUM, D. *Structural Influences on the Occurrence of Groundwater in SE Zimbabwe*. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, NG12 5gg, UK. Geological Society Special Publication No. 66 . p. 77-86. 1992

HAZELL, J. R. T., CRATCHLEY, P. J. & JONES, C. R. C. *The Hydrogeology of Crystalline Aquifers in Northern Nigeria and Geophysical Techniques used in their Exploration*. Geological Society Special Publication No. 66 . p. 155-182. 1992

INE. Estudos Temáticos, Censo 2017, População 2023. Instituto Nacional de Estatística (INE). 2023.07.25 <https://www.ine.gov.mz/>. 25.07.2023

JAT. Projecto de Construção de Infraestruturas de Abastecimento de Água na Província do Niassa. DNA. PRONASAR. Japan Techno Co. Ltd. 2022

MILSOM, J. e ERIKSEN, A. *Field Geophysics*. The Geological Field Guide Series. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74984-5. 2011

KEAREY P, BROOKS, M. e HILL, I. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science Ltd. 3rd Ed. 2002

KEY, R.M. *An Introduction to the Crystalline Basement of Africa*. Highlands and Islands Research Group, British Geological Survey, Murchison House, Edinburgh, EH9 3LA, UK. Geological Society Special Publication No. 66 . p. 29-58. 1992

KIRSCH, R. *Groundwater Geophysics – A Tool for Hydrogeology*. 2nd Edition. Springer. 2009

KRUSERMAN, G.P. E RIDDER, N.A. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. 2nd Ed. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands. 1994

LACHELT, S. *Geology and Mineral Resources of Mozambique*. Mineral Resources Management Capacity Building Project financed by the WORLD BANK Credit no. 3486. Direcção Nacional de Geologia. Ministério de Recursos Minerais e Energia. República de Moçambique. 2004

LEITE, C.E.S. *Tipos de Aquíferos Parte II. Aquíferos Descontínuos* CESOL HP Hidrogeologia. <http://www.geocities.com/cesol1999/TipodeAquiferoParteII.htm>. Consultada em 28/07/2023. Mantida por Carlos Eduardo Sobreira Leite - Geólogo / Hidrogeólogo (M.Sc.). 2023

MACDONALD. A., DAVIES, R. C. e CHILTON, J. *Developing Groundwater. A Guide for Rural Water Supply*. Natural Environment Research Council. British Geological Society; Department for International Development (DFID). NERC, 2005

MOPH . Projecto Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento às Províncias de Nampula e Niassa (ASNANI). Diploma Ministerial n^o 217/2002. MOPH, República de Moçambique. 2002

MUSSETT, A. E. & KHAN, M. A. Looking into the Earth - An Introduction to Geological Geophysics. Cambridge University Press. 2000

NORCONSULT. *Explanatory Notes - Mineral Resources Management Capacity Building Project*. Republic Of Mozambique. Component 2: Geological Infrastructure Development Project. Geological Mapping – Lot . Report No. B6.f. 2007

PARASNIS, D. S. Principles of Applied Geophysics. Fourth Edition. London New York. Chapman and Hall. 1986

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. *Condicionantes Geológicos dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral e sua Relação com a Localização de Poços Tubulares*. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2006

SANTOS, A. R.; PARADELLA, W. R., VENEZIANI, P.; MORAIS, M.C. Radar aplicado ao

mapeamento geológico e prospecção mineral: aplicações. São José dos Campos: INPE/ADIMB, 103p. 2000.

SARTORIO, F.; BERTOLO, R. A.; PINO, D. S.; SARAIVA, F. A. *Caracterização estrutural em top-down de aquíferos fraturados: exemplo em Barra Mansa, Rio de Janeiro*. Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS/USP), São Paulo, SP. Revista Águas Subterrâneas. ABAS. 2021

SILVA, R. W. *Aplicação do método da electrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios - o exemplo do cemitério da Vila de Rezende, Iracicaba/SP*. Rio Claro. 2008

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. 2nd Edition. Cambridge University Press. 770p

WE CONSULT. *Pesquisa Hidrogeológica para a Construção de Furos Mecânicos de Água no Distrito de Mavago*. Projecto 2007/03. HidroÁfrica, Maputo, Moçambique. 2007

WRIGHT, E. P. e BURGESS, W. G. *The hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa*. Geological Society Special Publication No. 66. 1992

ANEXOS & APÊNDICES

TABELA DE RECOMENDAÇÕES
(WE Consult)

MAVAGO: PONTOS DA GEOFISICA						Prioridade de Perfuração			
						1: Há possibilidade de água subterrânea			
						2: 2a. Opção em caso do 1o. der negativo			
Nr. Comunidade	Posto Administrativo	Nome da Comunidade	ID SEV	Espessura da zona alterada/	Profundidade embasamento	Prioridade	Coordenada		
							Latitude	Longitude	Altitude
MV-1(1)	Msawize	Mangupenge	VES01	15	20		-12.58270	36.53072	581
MV-1(1)	Msawize	Mangupenge	VES02	10	20	2	-12.58343	36.52943	578
MV-1(1)	Msawize	Mangupenge	VES03	20	25	1	-12.58322	36.52995	579
MV-1(2)	Msawize	Mangupenge	VES04	20	25	1	-12.58488	36.53265	593
MV-1(2)	Msawize	Mangupenge	VES05	25	25	2	-12.58449	36.53326	584
MV-1(2)	Msawize	Mangupenge	VES06	20	25		-12.58335	36.53210	584
MV-1(3)	Msawize	Mangupenge	VES07	15	20	2	-12.58682	36.53711	588
MV-1(3)	Msawize	Mangupenge	VES08	20	20		-12.58637	36.53678	577
MV-1(3)	Msawize	Mangupenge	VES09	25	30	1	-12.58530	36.53595	585
MV-2(1)	Mavago Sede	Lucuissi	VES01	20	40	2	-12.47544	36.05828	1096
MV-2(1)	Mavago Sede	Lucuissi	VES02	20	50	1	-12.47486	36.05805	1098
MV-2(2)	Mavago Sede	Lucuissi	VES03	5	30	1	-12.47413	36.05789	1104
MV-2(2)	Mavago Sede	Lucuissi	VES04	10	30	2	-12.47441	36.05732	1072
MV-3(1)	Msawize	Mbangala	VES01	20	50		-12.57954	36.52976	583
MV-3(1)	Msawize	Mbangala	VES02	20	40	2	-12.58005	36.52888	586
MV-3(1)	Msawize	Mbangala	VES03	15	50	1	-12.58062	36.52786	584
MV-3(2)	Msawize	Mbangala	VES04	20	50		-12.58133	36.52591	583
MV-3(2)	Msawize	Mbangala	VES05	20	30	1	-12.58119	36.52712	581
MV-3(2)	Msawize	Mbangala	VES06	20	30	2	-12.58022	36.52644	597
MV-4(1)	Mavago Sede	Ntacudja	VES01	10	10	1	-12.61148	36.34192	717
MV-4(1)	Mavago Sede	Ntacudja	VES02	5	10		-12.61271	36.34218	722
MV-4(1)	Mavago Sede	Ntacudja	VES03	5	10	2	-12.61365	36.34267	712
MV-4(2)	Mavago Sede	Ntacudja	VES04	5	10		-12.62375	36.34225	760
MV-4(2)	Mavago Sede	Ntacudja	VES05	20	10	1	-12.62356	36.34386	733
MV-4(2)	Mavago Sede	Ntacudja	VES06	5	10		-12.62086	36.34378	733
MV-4(2)	Mavago Sede	Ntacudja	VES07	5	5	2	-12.61771	36.34383	726
MV-5(1)	Mavago Sede	Mbuio	VES01	20	40	2	-12.55491	36.21563	877
MV-5(1)	Mavago Sede	Mbuio	VES02	15	25	1	-12.55563	36.21525	871
MV-5(1)	Mavago Sede	Mbuio	VES03	10	50		-12.55538	36.21622	879
MV-5(2)	Mavago Sede	Mbuio	VES04	5	5	2	-12.55288	36.21428	869
MV-5(2)	Mavago Sede	Mbuio	VES05	10	10	1	-12.55202	36.21429	870
MV-5(2)	Mavago Sede	Mbuio	VES06	10	30	Amostra	-12.55322	36.21429	840
MV-6(1)	Msawize	Matukuta	VES01	10	15	2	-12.57314	36.52385	572
MV-6(1)	Msawize	Matukuta	VES02	15	20	1	-12.57456	36.52328	567
MV-6(2)	Msawize	Matukuta	VES03	10	15	2	-12.57608	36.53348	572
MV-6(2)	Msawize	Matukuta	VES04	5	10	1	-12.57593	36.53292	572
MV-6(2)	Msawize	Matukuta	VES05	5	10		-12.57652	36.53247	576
MV-7(1)	Mavago Sede	Matumbi	VES01	20	50	1	-12.48882	36.06105	1098
MV-7(1)	Mavago Sede	Matumbi	VES02	10	50	2	-12.48805	36.06069	1098
MV-7(1)	Mavago Sede	Matumbi	VES03	5	25		-12.48212	36.05996	1098
MV-7(2)	Mavago Sede	Matumbi	VES04	15	20	2	-12.48383	36.06012	1094
MV-7(2)	Mavago Sede	Matumbi	VES05	10	15	1	-12.48435	36.06035	1094
MV-8(1)	Mavago Sede	Nsacalange	VES01	5	50		-12.47836	36.11662	1098
MV-8(1)	Mavago Sede	Nsacalange	VES02	20	40	1	-12.48009	36.11899	1098
MV-8(1)	Mavago Sede	Nsacalange	VES03	5	15	2	-12.47957	36.11872	1096
MV-8(2)	Mavago Sede	Nsacalange	VES04	20	10	3	-12.48914	36.10981	1083
MV-8(2)	Mavago Sede	Nsacalange	VES05	15	10	1	-12.48899	36.10931	1082
MV-8(2)	Mavago Sede	Nsacalange	VES06	20	30	2	-12.48854	36.10978	1079
MV-8(2)	Mavago Sede	Nsacalange	VES07	20	10		-12.49026	36.10925	1077
MV-8(2)	Mavago Sede	Nsacalange	VES08	20	30	Amostr a	-12.48045	36.11241	1090
MV-9(1)	Mavago Sede	Mitakala	VES01	20	35	1	-12.47811	36.05972	1101
MV-9(1)	Mavago Sede	Mitakala	VES02	20	50		-12.47947	36.05840	1096
MV-9(1)	Mavago Sede	Mitakala	VES03	30	50	2	-12.47811	36.05857	1097
MV-9(2)	Mavago Sede	Mitakala	VES04	30	50	2	-12.47699	36.05841	1100
MV-9(2)	Mavago Sede	Mitakala	VES05	30	50	1	-12.47849	36.06035	1106
MV-9(2)	Mavago Sede	Mitakala	VES06	30	50		-12.48008	36.06042	1099
MV-10(1)	Mavago Sede	Lipembo	VES01	20	15		-12.38181	36.18983	735
MV-10(1)	Mavago Sede	Lipembo	VES02	15	20	1	-12.38302	36.18975	737
MV-10(1)	Mavago Sede	Lipembo	VES03	20	30	2	-12.38392	36.18979	737
MV-10(2)	Mavago Sede	Lipembo	VES04	20	30	1	-12.39480	36.19184	741
MV-10(2)	Mavago Sede	Lipembo	VES05	5	15	2	-12.38844	36.19076	740
MV-10(2)	Mavago Sede	Lipembo	VES06	5	10		-12.38766	36.19049	744
MV-10(2)	Mavago Sede	Lipembo	VES07	15	20	Amostr a	-12.38563	36.18934	743
MV-11(1)	Mavago Sede	Ntambu	VES01	25	40	2	-12.47278	36.05268	1103
MV-11(1)	Mavago Sede	Ntambu	VES02	25	40		-12.47329	36.05320	1103
MV-11(1)	Mavago Sede	Ntambu	VES03	35	40	1	-12.47216	36.05509	1109
MV-11(1)	Mavago Sede	Ntambu	VES04	35	40		-12.47236	36.05463	1103
MV-11(2)	Mavago Sede	Ntambu	VES05	20	50	Amostr a	-12.47105	36.05423	1117
MV-11(2)	Mavago Sede	Ntambu	VES06	20	40	1	-12.46991	36.05309	1117
MV-11(2)	Mavago Sede	Ntambu	VES07	20	35		-12.47042	36.05504	1117
MV-12(1)	Mavago Sede	Ligogo	VES01	20	30	2	-12.6835	36.07532	905
MV-12(1)	Mavago Sede	Ligogo	VES02	15	10		-12.68331	36.07587	905
MV-12(1)	Mavago Sede	Ligogo	VES03	20	50	1	-12.68399	36.07435	909
MV-12(2)	Mavago Sede	Ligogo	VES04	20	40		-12.68184	36.06990	919
MV-12(2)	Mavago Sede	Ligogo	VES05	20	40	2	-12.67994	36.06836	923
MV-12(2)	Mavago Sede	Ligogo	VES06	20	40	1	-12.68115	36.06934	922
MV-12(2)	Mavago Sede	Ligogo	VES07	20	35	Amostr a	-12.68163	36.07055	918

TABELA DE FUROS EXISTENTES (2021)

Item	Localização do furo										Identificação da fonte							
	Posto Administrativo	Localidade	Aldeia	Código do Lugar	Nome ou Local exato (escola, hospital e outros)	Código da fonte	Long.	Lat.	Ano da const.	Tipo da fonte	Bomba	Prof. (m)	Q (l/h)	C.E. (µS/cm)	PH	rca da bomba	Estado	
01	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Mtumbú	01090100112014	360336	122856	2014	Furo Mecânico	manual	45m				Afridev	Operacional
02	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Lucuisse	01090100102014	360323	122819	2014	Furo Mecânico	manual	47m				Afridev	Operacional
03	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Metacalala-JICA	01090100092014	360331	122841	2014	Furo Mecânico	manual	45m				Afridev	Operacional
04	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Matumbi-Hos	01090100031994	360337	122848	1994	Furo Mecânico	manual	49m				Afridev	Operacional
05	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Matumbi-Mesquita	01090100122014	360335	122855	2014	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
06	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	Nsakalange-Hos	01090100012012	360639	122913	2012	Furo Mecânico	manual	42m				Afridev	Operacional
07	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	SACALANGE	010901019905	EP1-Nsakalange	01090100082014	361124	122805	2014	Furo Mecânico	manual	46m				Afridev	Operacional
08	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	NKALAPA	010901019906	EP1-Lipembo	01090100072014	361121	122849	2014	Furo Mecânico	manual	47m				Afridev	Operacional
09	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MILEPA	010901019901	Milepa	01090100012002	361723	114416	2002	Furo Mecânico	manual	38m				Afridev	Operacional
10	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	CHITUCHE	010901019907	Chituche-DPOPH	01090100132014	355735	124334	2014	Furo Mecânico	manual	43m				Afridev	Operacional
11	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	LIGOGO	010901019908	Ligogo Hospital	01090100012017	360423	124100	2017	Furo Mecânico	manual	30m				Afridev	Operacional
12	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	LIGOGO	010901019908	Ligogo escola	01090100052014	360420	124056	2014	Furo Mecânico	manual	42m				Afridev	Operacional
13	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	LIGOGO	010901019908	Ligogo comunidade	01090100012014	360414	124054	2014	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
14	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	IRINGA	010901019904	Iringa comunidade	01090100142014	361324	123454	2014	Furo Mecânico	manual	49m				Afridev	Operacional
15	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	IRINGA	010901019904	iringa escola	01090100062014	361313	123457	2014	Furo Mecânico	manual	47m				Afridev	Operacional
16	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	IRINGA	010901019904	iringa secretaria	01090100022012	361303	123455	2012	Furo Mecânico	manual	49m				Afridev	Operacional
17	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	IRINGA	010901019904	Iringa pantano	01090100012006	361310	123503	2006	Pogo	manual	10m				Afridev	Inoperacional
18	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MBOYO	010901019902	Mbuyo comunidade	01090100062008	361250	123304	2008	Furo Mecânico	manual	36m				Afridev	Operacional
19	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Ibo-SIDPI	01090100072008	361515	123316	2008	Furo Mecânico	manual	42m				Afridev	Operacional
20	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	EPC de Ibo	01090100012018	361537	123335	2018	Furo Mecânico	manual	42m				Afridev	Operacional
21	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	1º de Maio igreja	01090100152014	361536	123402	2014	Furo Mecânico	manual	47m				Afridev	Operacional
22	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	1º Maio Acordos Lus	01090100022006	361535	123401	2006	Furo Mecânico	manual	39m				Afridev	Operacional
23	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Lijombo	01090100032012	361612	123413	2012	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
24	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	EPC Lijombo	01090100022018	361626	123422	2018	Furo Mecânico	manual	40m				Afridev	Operacional
25	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	PT Lijombo	01090100012019	361666	123413	2019	Furo Mecânico	manual	50m				Afridev	Operacional
26	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Nakusa Spartan	01090100022019	363437	126176	2019	Furo Mecânico	manual	50m				Afridev	Operacional
27	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Maolela	01090100042012	361608	123308	2012	Furo Mecânico	manual	46m				Afridev	Operacional
28	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	E.S.J.A. Macamo	01090100062012	361605	123408	2012	Furo Mecânico	manual	47m				Afridev	Operacional
29	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Mataka-campa	01090100022003	361553	123418	2003	Furo Mecânico	manual	40m				Afridev	Inoperacional
30	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Mataka Secretario	01090100032003	361558	123413	2003	Furo Mecânico	manual	45m				Afridev	Operacional
31	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Mataka Mandusse	01090100032019	361587	123415	2019	Furo Mecânico	manual	39m				Afridev	Operacional
32	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	1º de Maio Hospital	01090100011997	361251	123403	1997	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
33	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	1º de Maio Administr	01090100021995	361544	123355	1995	Furo Mecânico	manual	49m				Afridev	Operacional
34	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	1º de Maio Mbetano	01090100042019	361540	123420	2019	Furo Mecânico	manual	33m				Afridev	Operacional
35	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Ibo Funae	01090100042003	361549	123349	2003	Pogo	manual	6m				Afridev	Operacional
36	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Ibo Mesquita	01090100032004	361539	123344	2004	Furo Mecânico	manual	42m				Afridev	Operacional
37	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Ibo Machemba	01090100062003	361518	123331	2003	Furo Mecânico	manual	43m				Afridev	Operacional
38	MAVAGO	MAVAGO	N KALAPA MAVAGO	MAVAGO	010901019903	Ibo Teie	01090100052012	361530	123344	2012	Furo Mecânico	manual	45m				Afridev	Operacional
39	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	NAMACAMB	010902019903	Namacumbale	01090200022004	363739	123539	2004	Furo Mecânico	manual	46m				Afridev	Operacional
40	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	MANGUPENI	010902019906	Hospital JICA	01090200032014	363208	123403	2003	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
41	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	MANGUPENI	010902019906	Mbangala 1 Estrada	01090200021998	363150	123445	1998	Furo Mecânico	manual	46m				Afridev	Operacional
42	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	MANGUPENI	010902019906	Mbangala 2 DPOPH	01090200032014	363214	123403	2014	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
43	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	MANGUPENI	010902019906	EPC. Msawize	01090200042014	363156	123449	2014	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
44	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	MANGUPENI	010902019906	Mangupenge	01090200022014	363202	123456	2014	Furo Mecânico	manual	48m				Afridev	Operacional
45	MAVAGO	M SAWIZE	M SAWIZE SEDE	CHILOLO	010902019904	Chilolo	01090200072014	362631	124003	2014	Furo Mecânico	manual	49m				Afridev	Operacional

TABELA DE FUROS NOVOS (2023)

<Resultados da Construção de Fontes Dispersas em Mavago>

Tabela-14 Lista a Actual Situação de Construção de Fontes Dispersas ○/×Furo
positivo/ Negativo

(Mavago em Julho)

D: Profundidade C:

Caudal

Ordem	Código do Furo	Comunidade	Resultado e Situação Actual	Positivos
1.	MV-12-2-3	Ligogo	× D: 50.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	0
2.	MV-12-2-2	Ligogo	○ D: 40.5m Approx. Q: 13ℓ/min <	1
3.	MV-12-1-3	Ligogo	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min <	1
4.	MV-12-1-1	Ligogo	× D: 50.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
5.	MV-08-1-2	Nsacalange	× D:50.0 m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
6.	MV-08-1-3	Nsacalange	× D: 50.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
7.	MV-07-4	Nsacalange	× D: 52.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
8.	MV-07-1	Nsacalange	× D:60.0 m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
9.	MV-07-3	Nsacalange	× D: 60.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	1
10.	MV-07-2	Nsacalange	× D: 50.0m Approx. C: 0 ℓ/min <	1

**Resultado : 1 furo positivo / 10 perfurados = 10.00% (Méd. 62.7% do planificado) em
Mavago**

**Total Geral: 26 furos positivos / 38 perfurados = 68.42% > (Méd. 62.7% do
planificado)**

(Mavago on Agosto)

D: Profundidade C:

Caudal

Ordem	Código do Furo	Comunidade	Resultado e Situação Actual	Positivos
11.	MV-09-1-1	Mitakala	× D: 50.0m Approx. C: 0 ℓ/min	1
12.	MV-09-2-2	Mitakala	○ D: 52.9m Approx. C: 18 ℓ/min <	2
13.	MV-11-2-1	Ntambu	○ D: 54.5m Approx. C: 181ℓ/min <	3
14.	MV-09-1-3	Mitakala	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min <	3
15.	MV-09-2-1	Mitakala	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min <	3
16.	MV-02-2	Lucuissi	○ D: 59.9m Approx. C: 14ℓ/min <	4
17.	MV-02-1	Lucuissi	○ D: 60.1m Approx. C: 12ℓ/min	5
18.	MV-08-2	Nsacalange	○ D: 44.0m Approx. C: 10ℓ/min	6

			<	
19.	MV-02-A	Lucuissi	× D: 60.0m Approx. C: 0ℓ/min	6
20.	MV-11-1-3	Ntambu	○ D: 50.0m Approx. C: 15ℓ/min	7
21.	MV-02-A2	Lucuissi	× D: 57.0m Approx. C: 3ℓ/min	7
22.	MV-10-1-2	Lipembo	○ D: 51.4m Approx. C: 12ℓ/min	8
23.	MV-05-1-2	Mbuio	○ D: 60.0m Approx. C: 15ℓ/min	9
24.	MV-10-2-1	Lipembo	○ D: 39.6m Approx. C: 31ℓ/min	10
25.	MV-05-2-2	Mbuio	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min	10
26.	MV-05-2-1	Mbuio	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min	10
27.	MV-05-2-A1	Mbuio	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min	10
28.	MV-05-2-A3	Mbuio	× D: 53.0m Approx. C: 20ℓ/min	11
29.	MV-04-1-1	Ntacudja	× D: 51.6m Approx. C: 0ℓ/min	11
30.	MV-05-2-A4	Mbuio	× D: 53.0m Approx. C: 0ℓ/min	11
31.	MV-05-2-A5	Mbuio	× D: 50.0m Approx. C: 0ℓ/min	11
32.	MV-04-2-1	Ntacudja	× D: 51.5m Approx. C: 0ℓ/min	11
33.	MV-01-3-3	Mangupenge	○ D: 43.6m Approx. C: 139ℓ/min	12
34.	MV-04-A1	Ntacudja	× D: 51.5m Approx. C: 0ℓ/min	12
35.	MV-01-1-3	Mangupenge	○ D: 43.6m Approx. C: 15 ℓ/min	13
36.	MV-01-2-1	Mangupenge	○ D: 46.1m Approx. C: 40 ℓ/min	14
37.	MV-01-A1	Mangupenge	○ D: 43.6m Approx. C: 27ℓ/min	15
38.	MV-06-1	Matucuta	○ D: 44.8m Approx. C: 75ℓ/min	16

Até 31 de Agosto de 2023

Resultado : 15 furos positivos / 27 perfurados = 55.56% > (Méd. 61.7% do planificado) em Agosto.

Total: 16 furos positivos / 37 perfurados = 43.24% < (Méd. 62.7% do planificado) em Mavago

○/×Furo positivo/Negativo

(Mavago em Setembro)

D: Profundidade C:

Caudal

Ordem	Código do Furo	Comunidade	Resultado e Situação Actual	Positivos
39.	MV-06-2	Matucuta	○ D: 45.7m Approx. C: 23 ℓ/min	17
40.	MV-01-A2	Mangupenge	○ D: 43.7m Approx.	18

			C:130ℓ/min	
41.	MV-01-A3	Mangupenge	○ D: 50.0m Approx. C: 10ℓ/min	19
42.	MV-03-1-3	Msawize	○ D: 60.0m Approx. C: 25ℓ/min	20
43.	MV-06-A1	Lugenda	○ D: 45.6m Approx. C: 25ℓ/min	21
44.	MV03-2-2	Msawize	○ D: 57.6m Approx. C: 50ℓ/min	22
45.	MV03-2-3	Msawize	○ D: 48.0m Approx. C: 50ℓ/min	23
46.	MV03-A1	Msawize	○ D: 50.0m Approx. C: 25ℓ/min	24
47.	MV06-A2	Matucuta	○ D: 45.7m Approx. C: 30ℓ/min	25

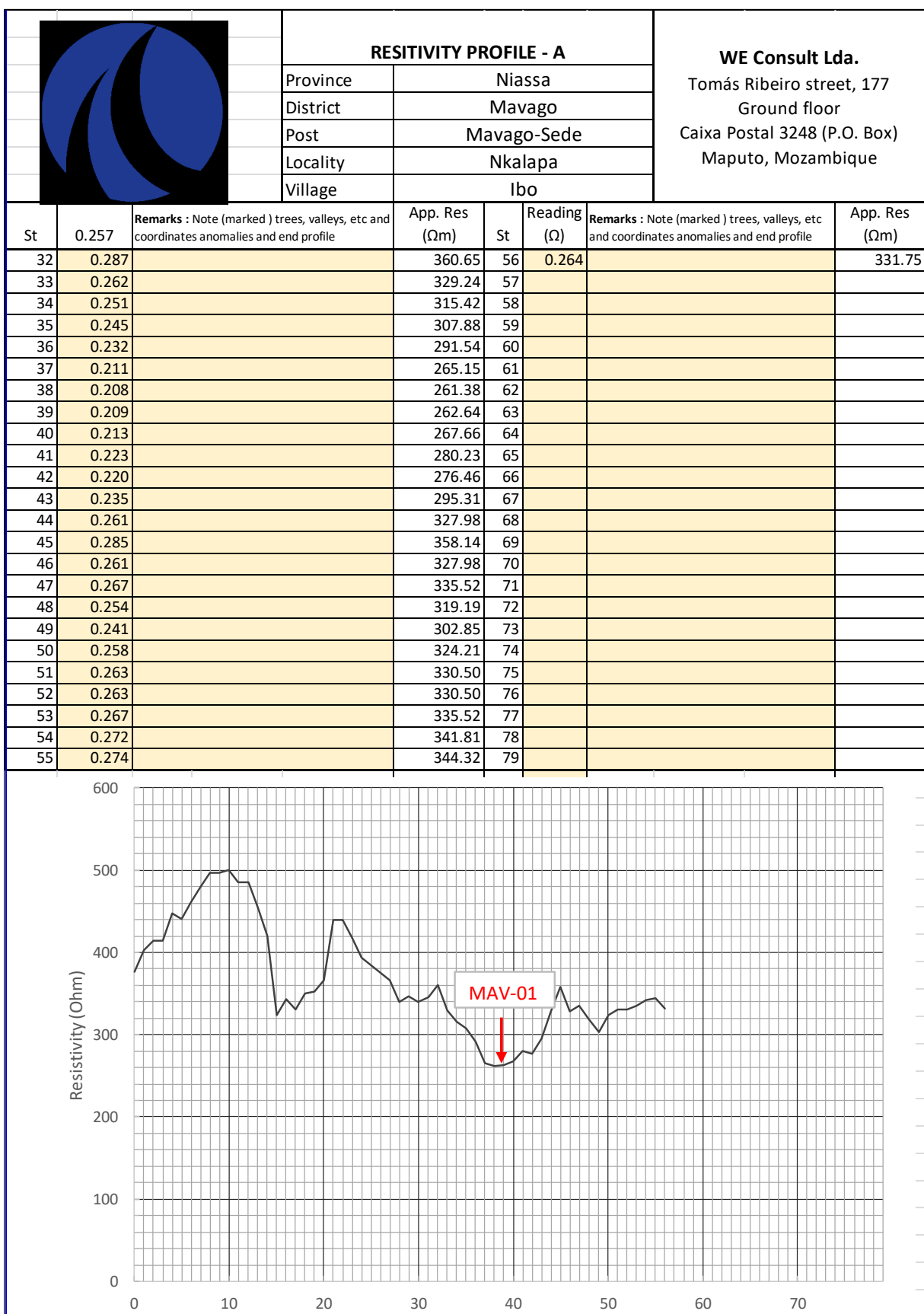
Resultado : 9 furos positivos / 9 perfurados = 100.0% > (Méd. 61.7% do planificado) em Setembro.

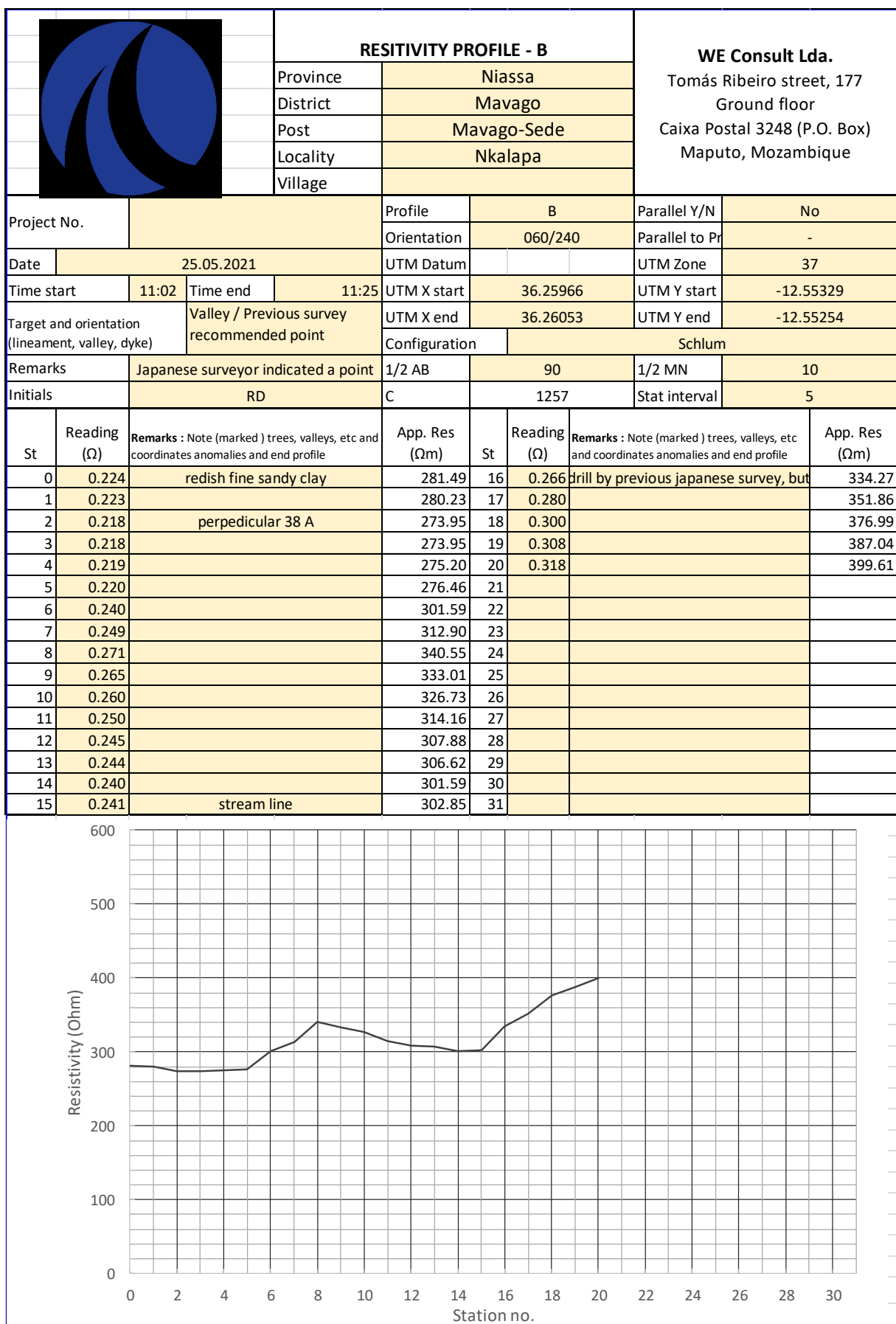
Total: 25 furos positivos / 46 perfurados = 54.35% < (Méd. 12.7% do planificado) em Mavago

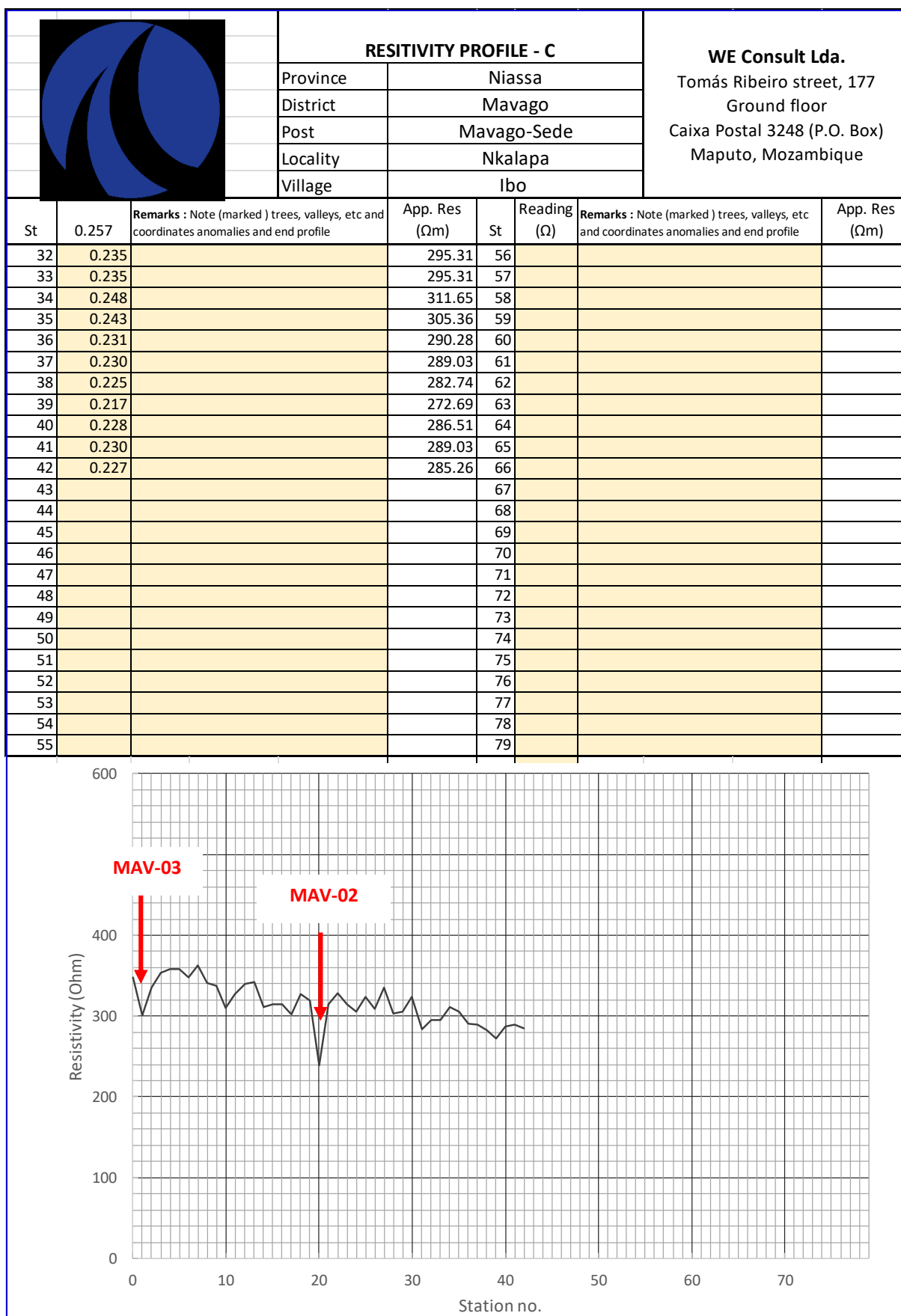
Total geral: 50 furos positivos / 74 perfurados = 67.57% > (Méd. 61.7% do planificado)

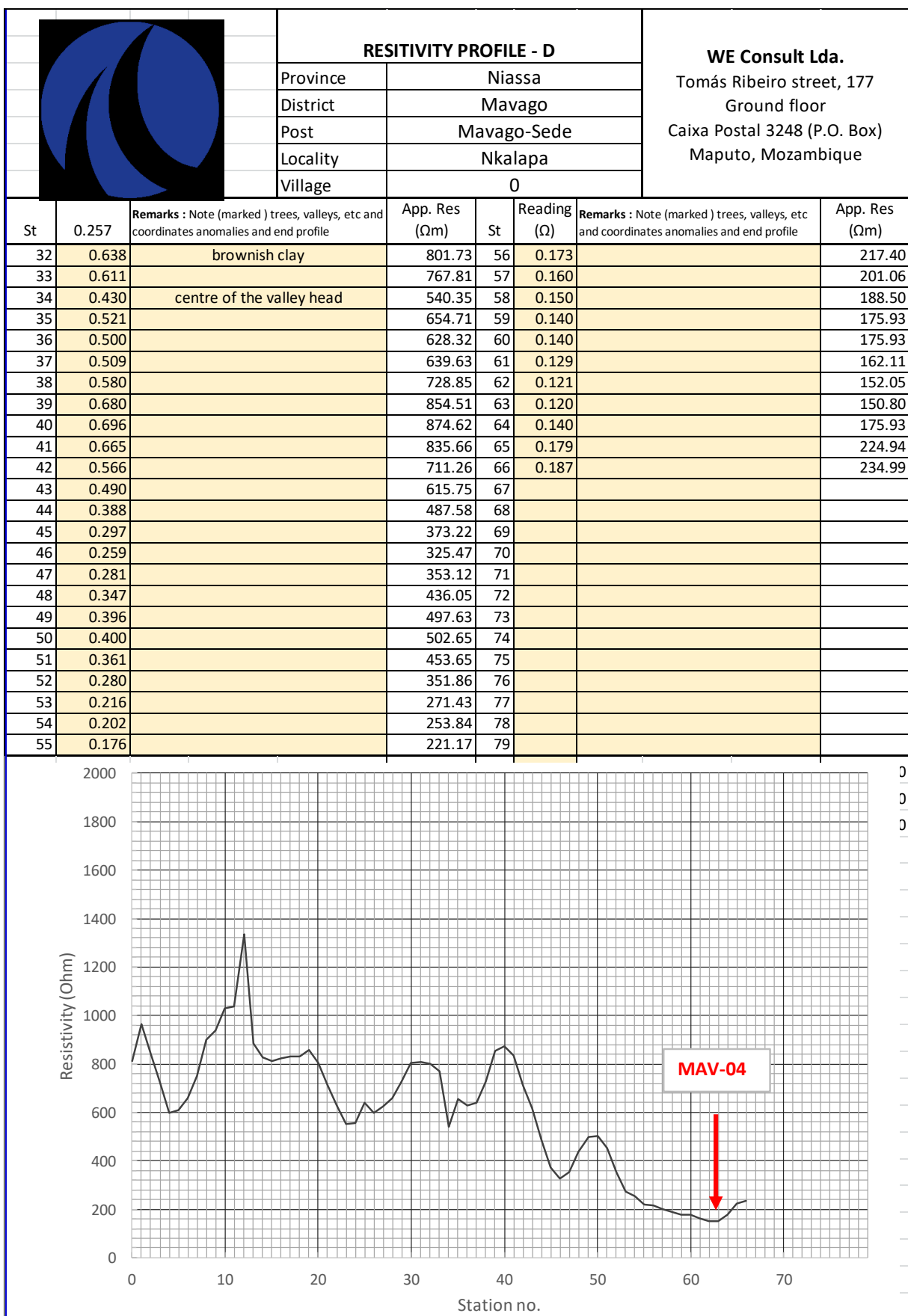
MODELOS GEOLÉCTRICOS 2D

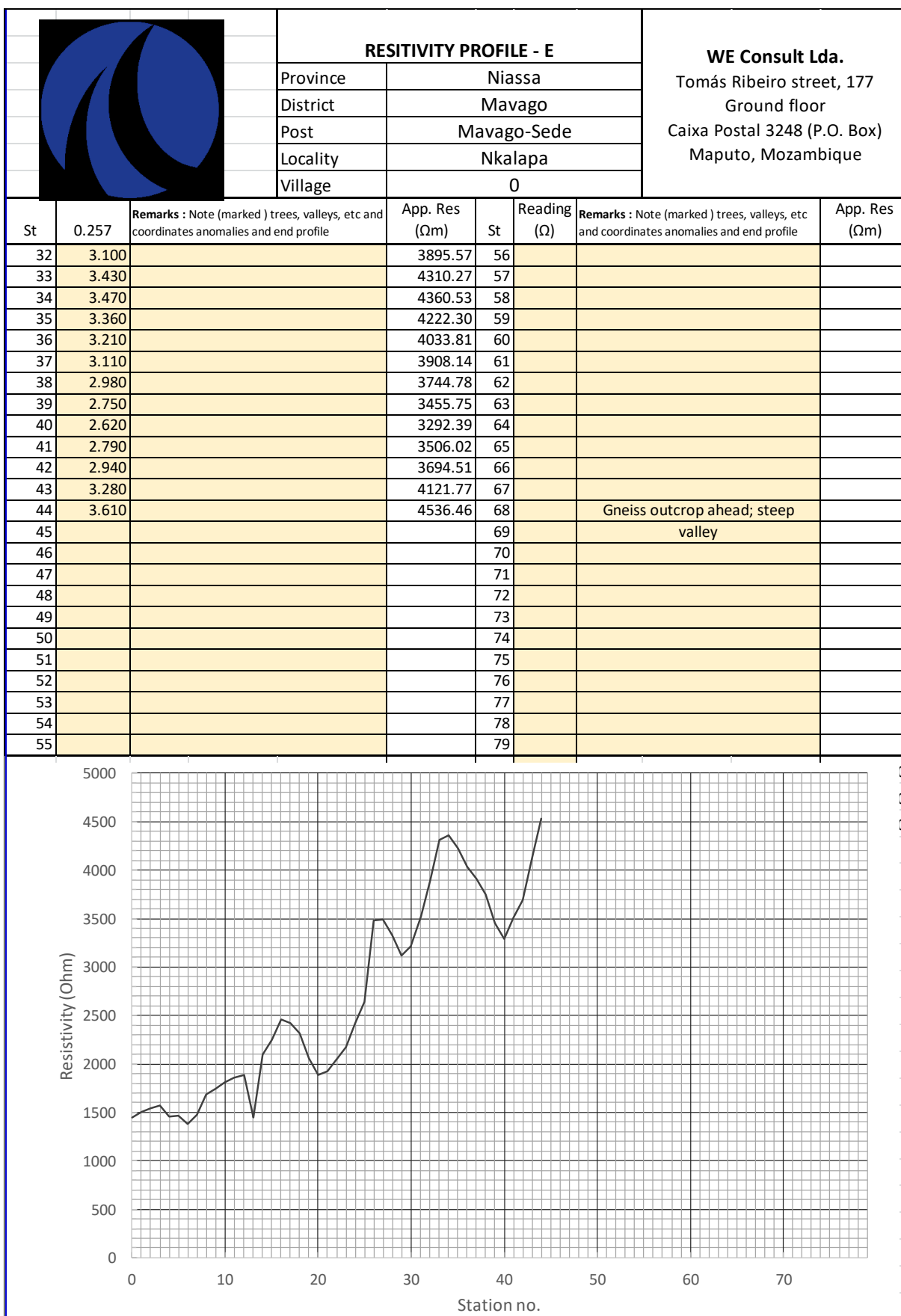
MAVAGO SEDE – PESQUISA PARA SAA

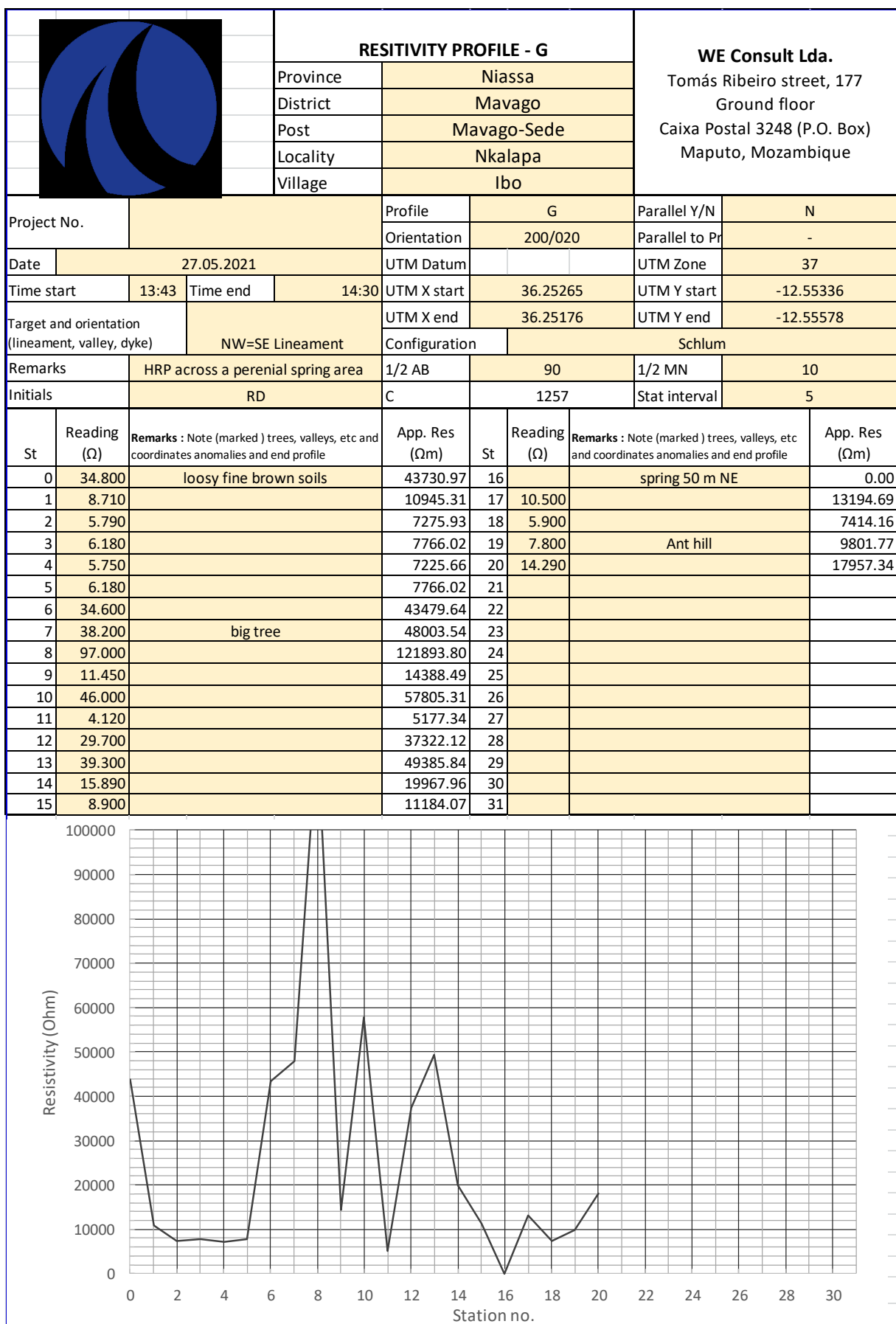






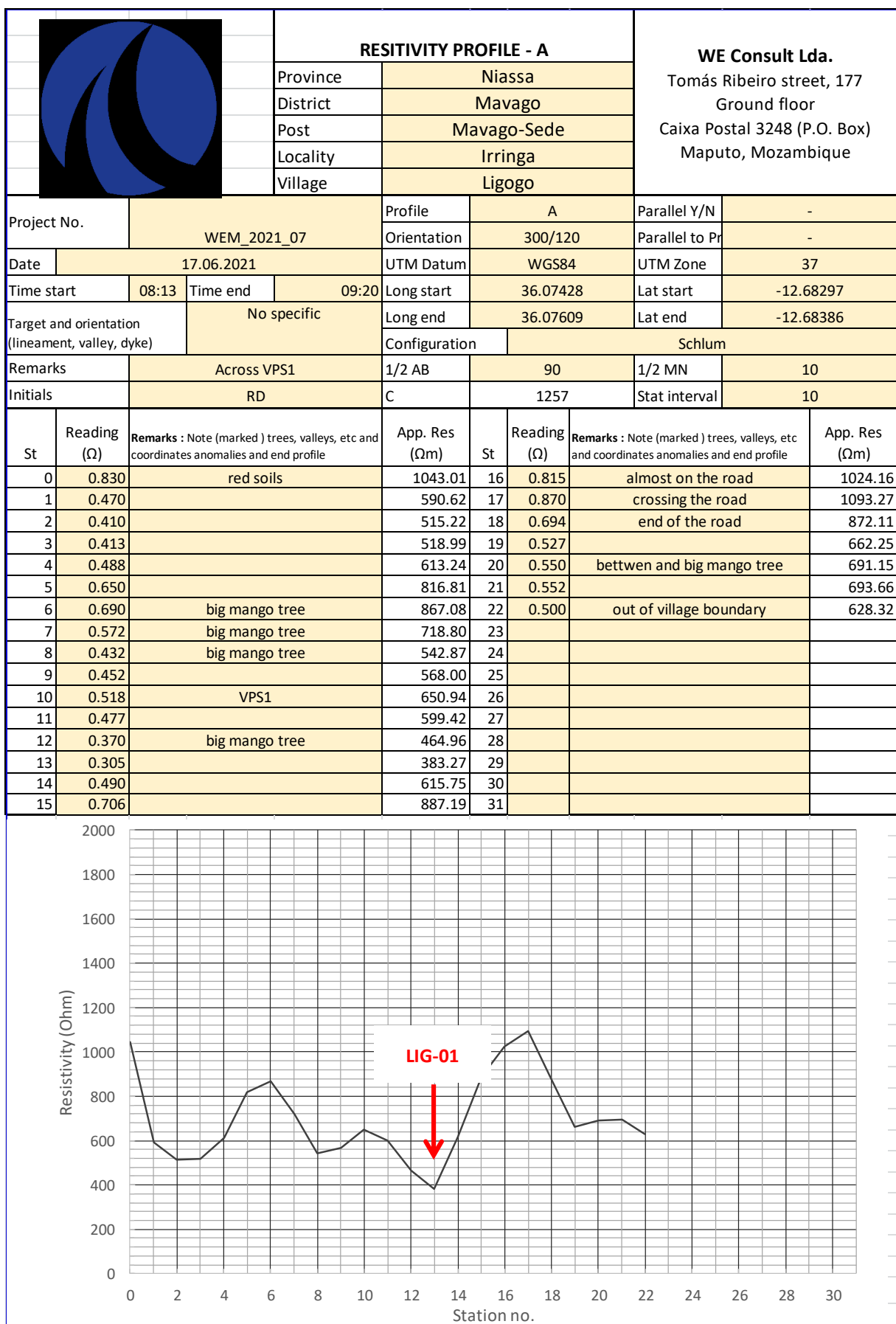


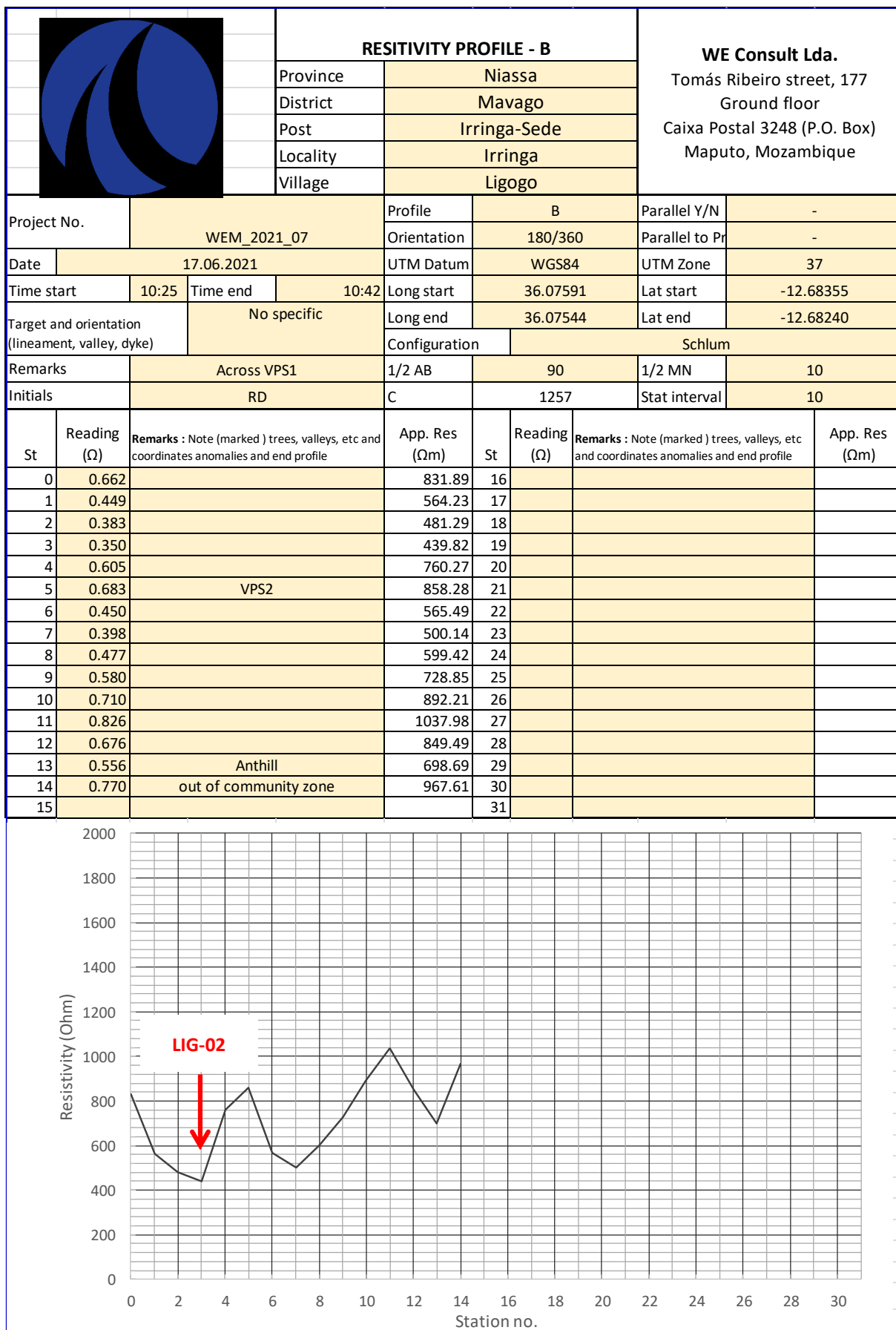


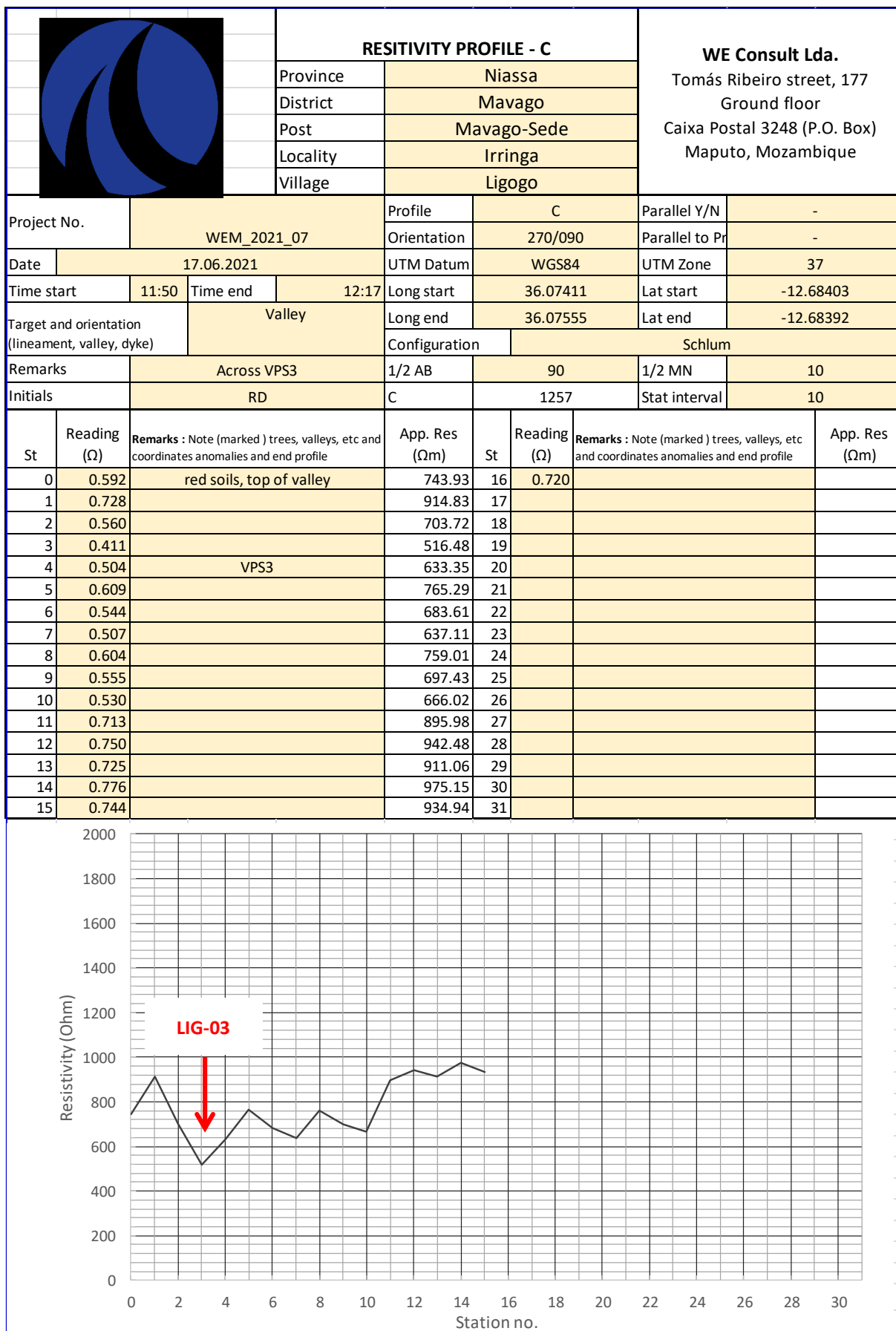


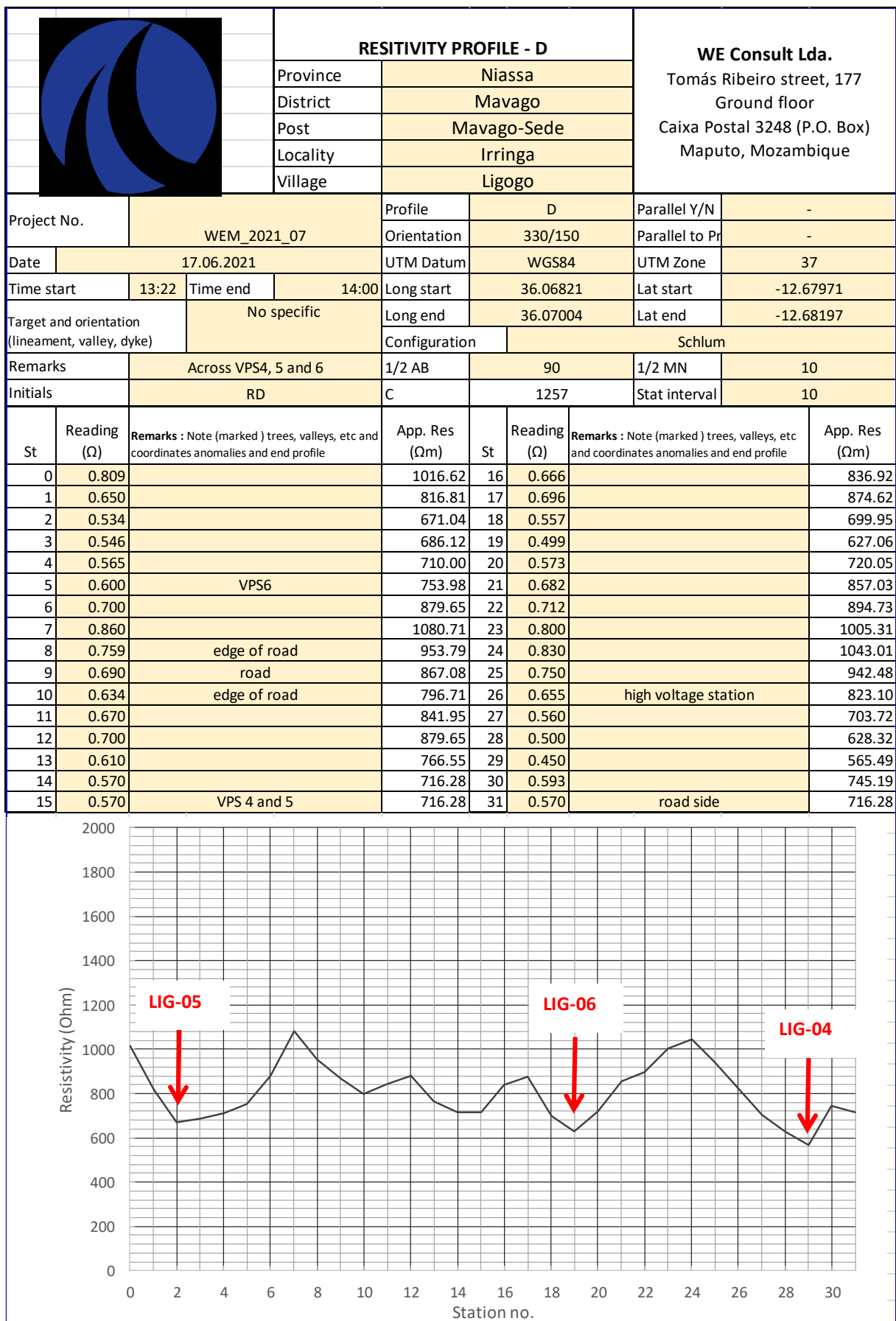
GRUPO II –FUROS DISPERSOS

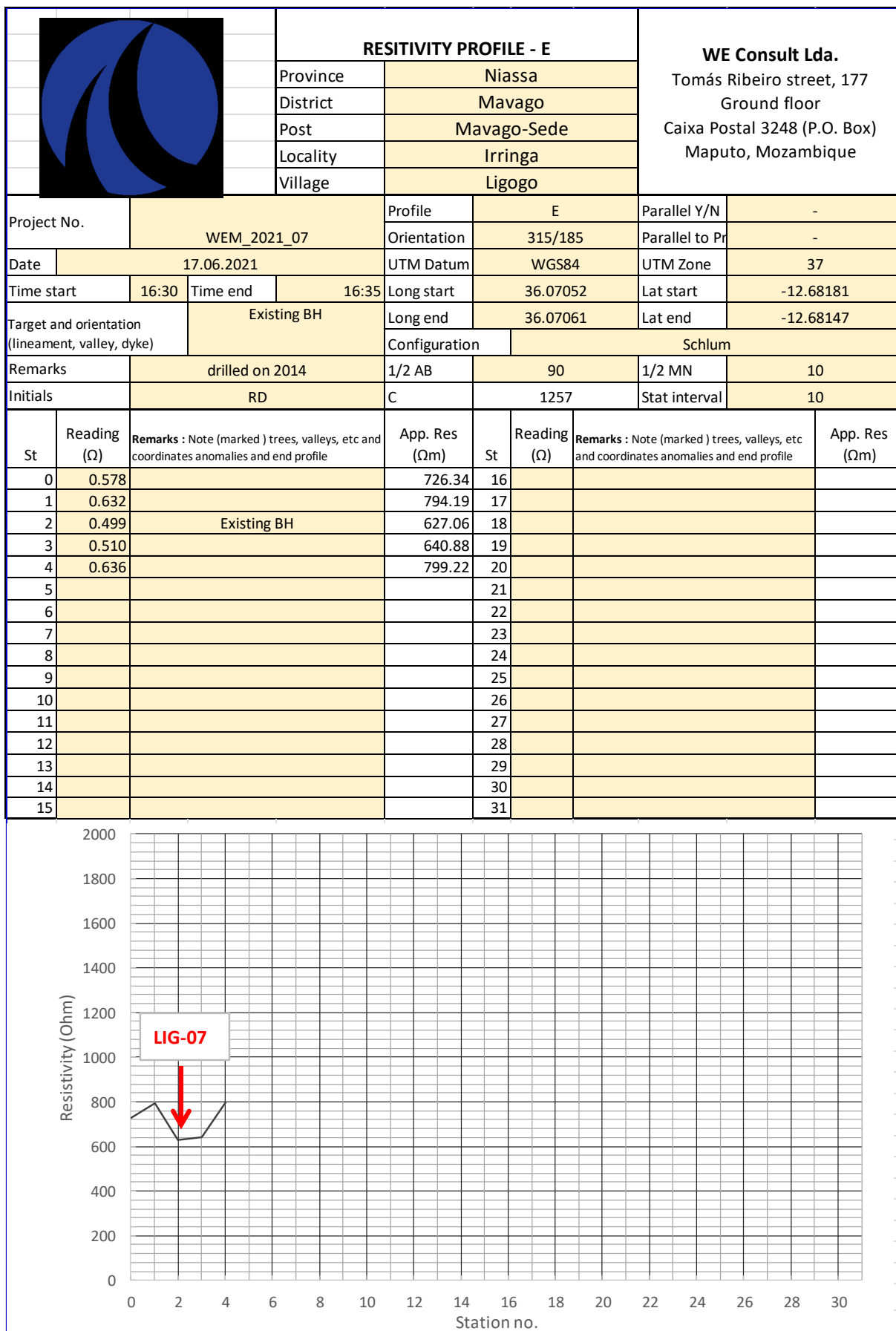
LIGOGO



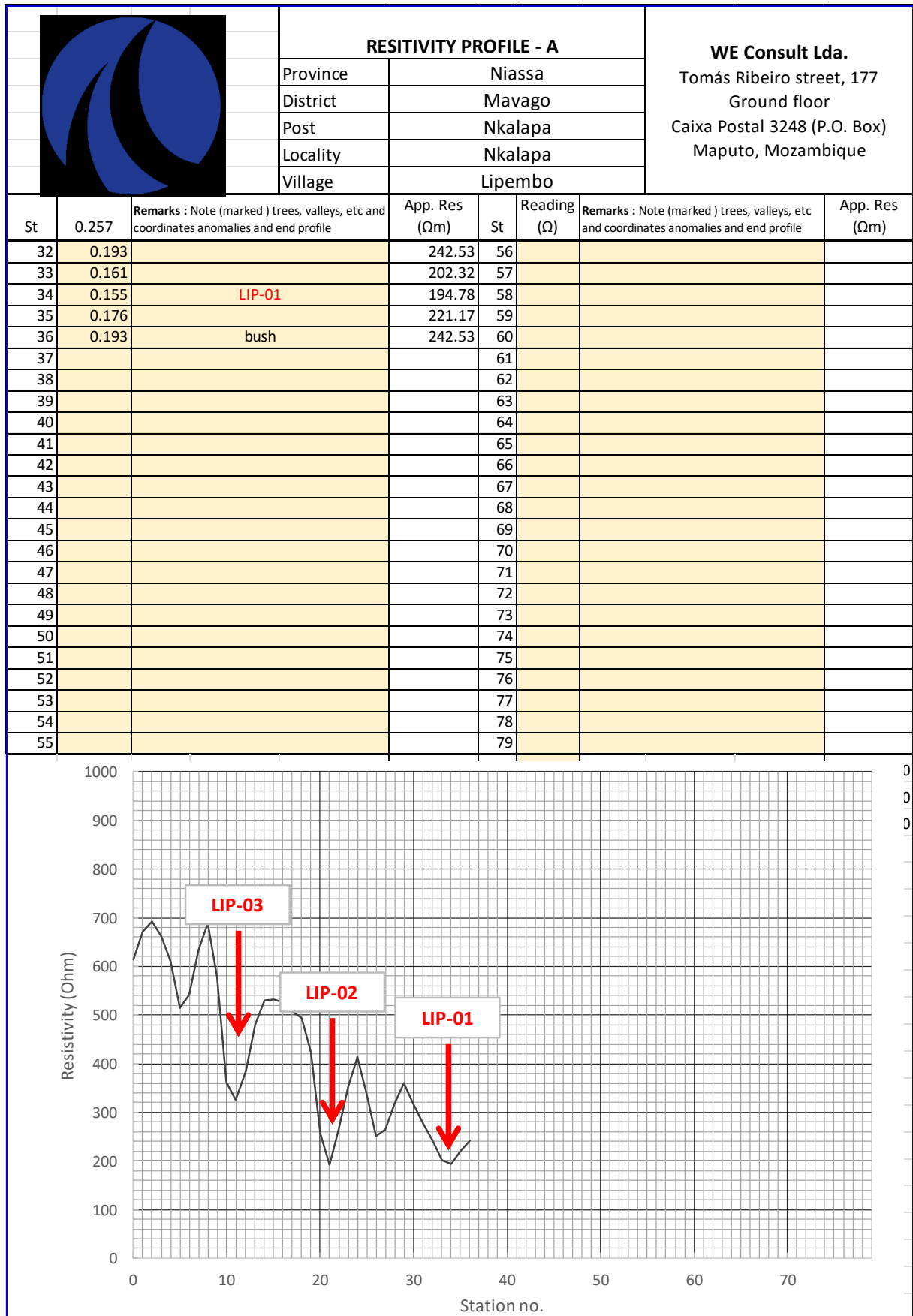


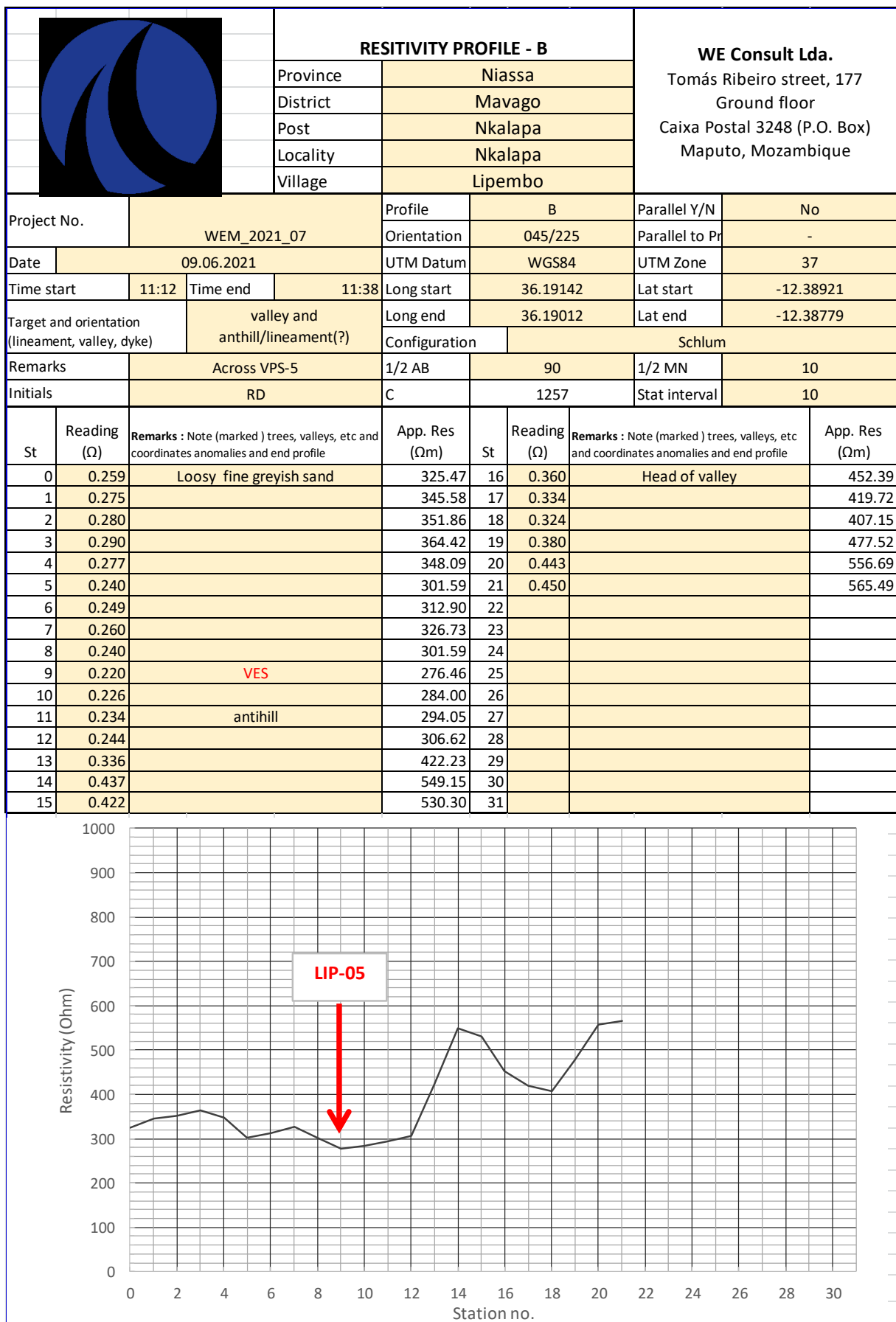


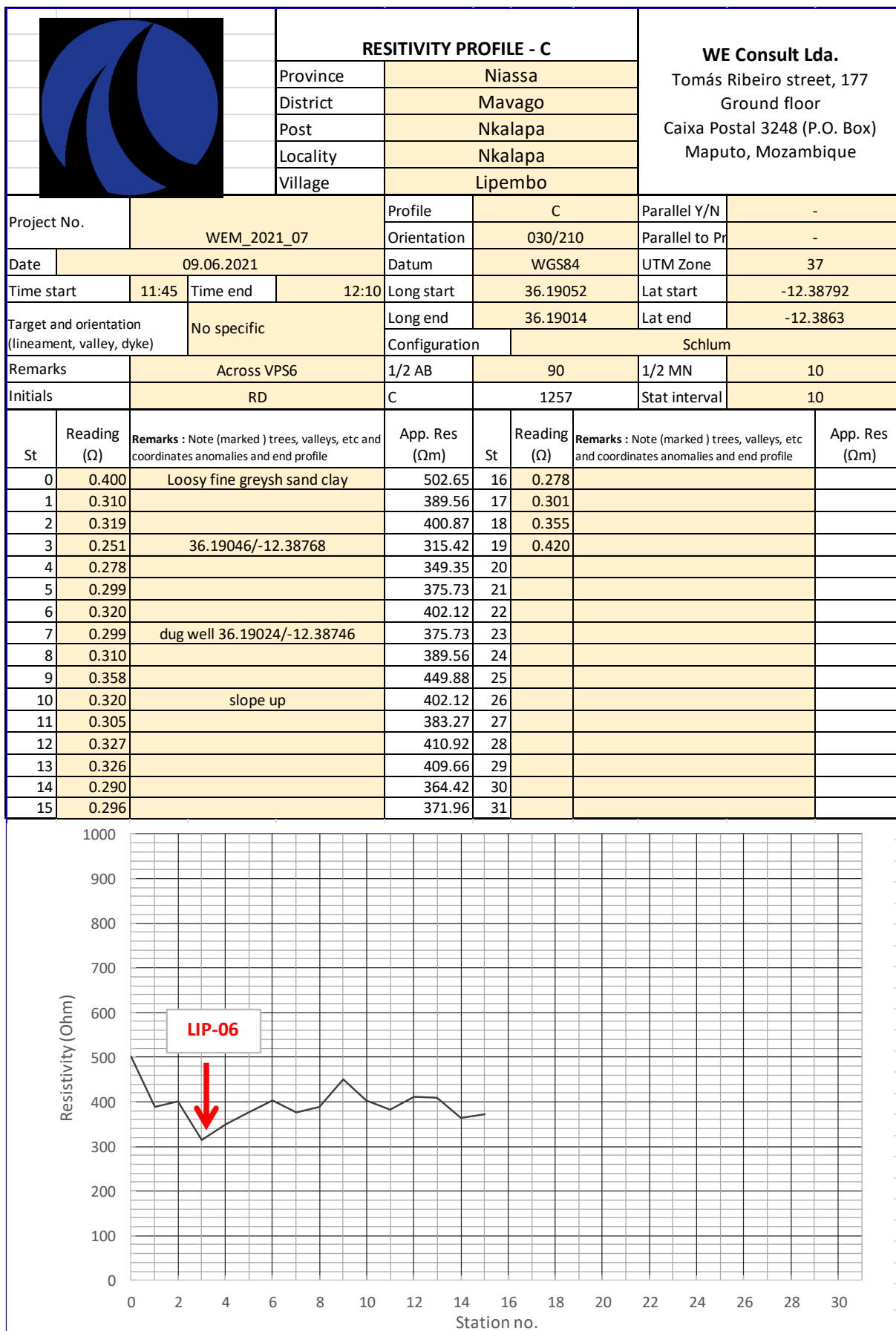


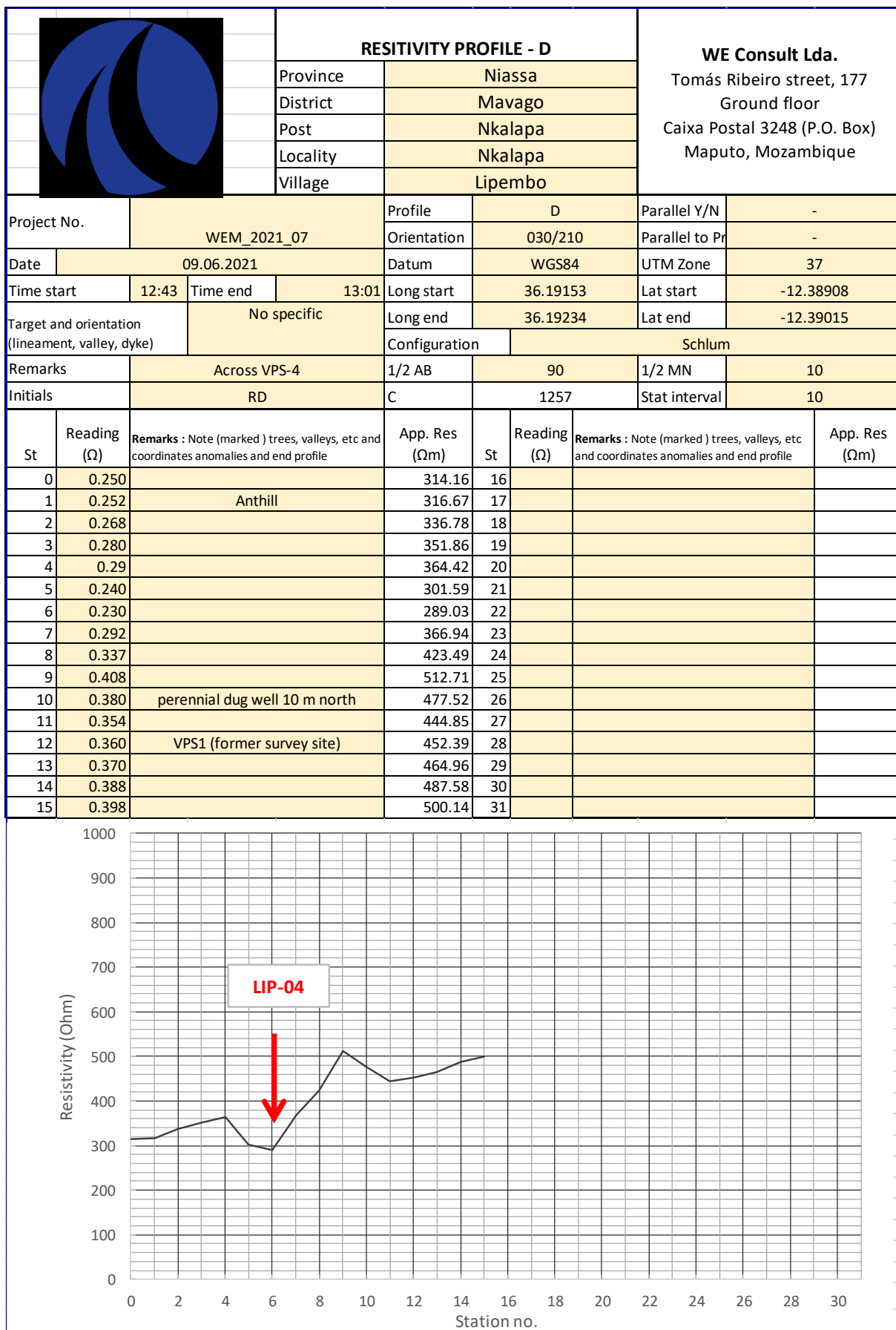


LIPEMBO

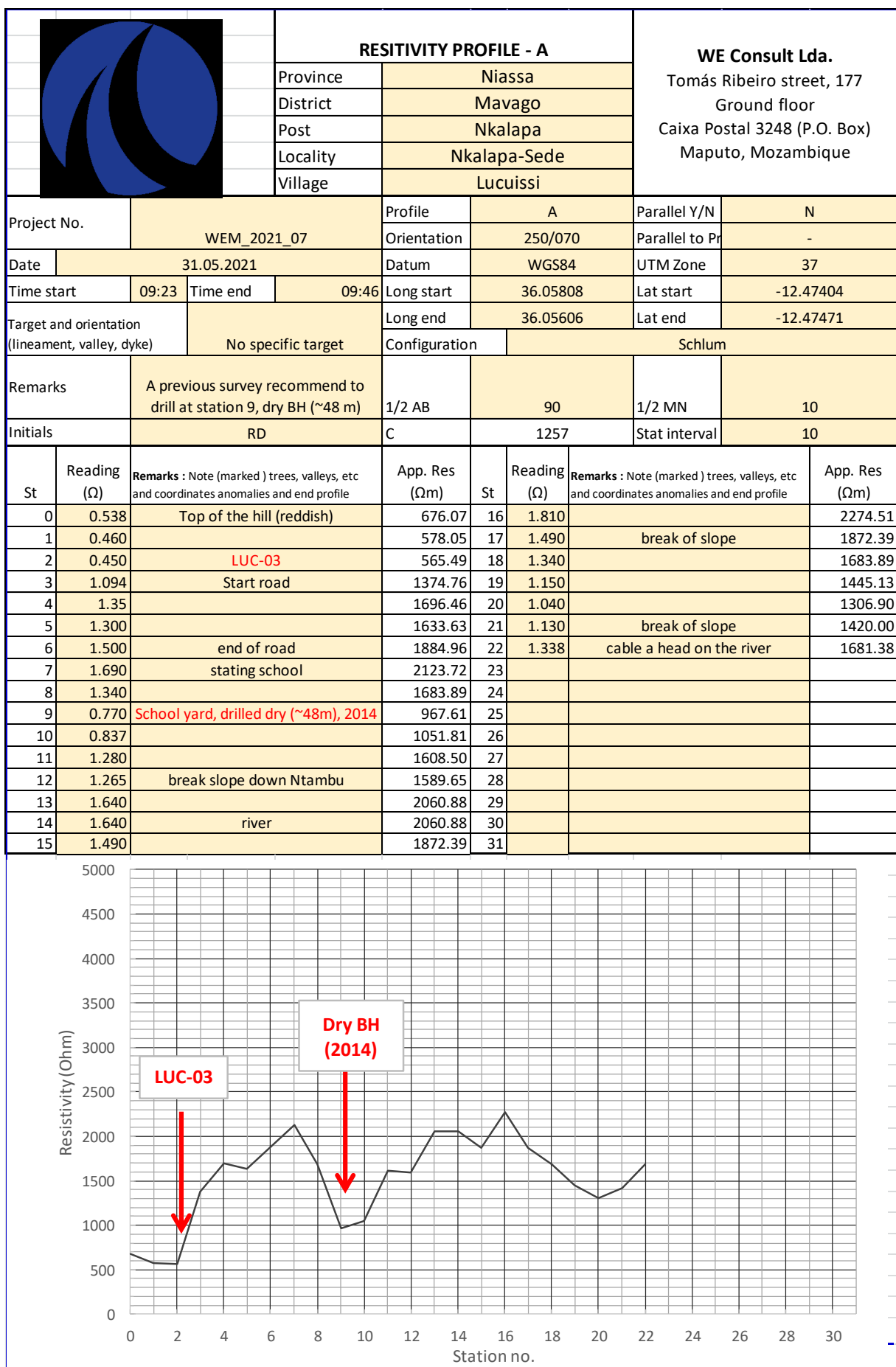


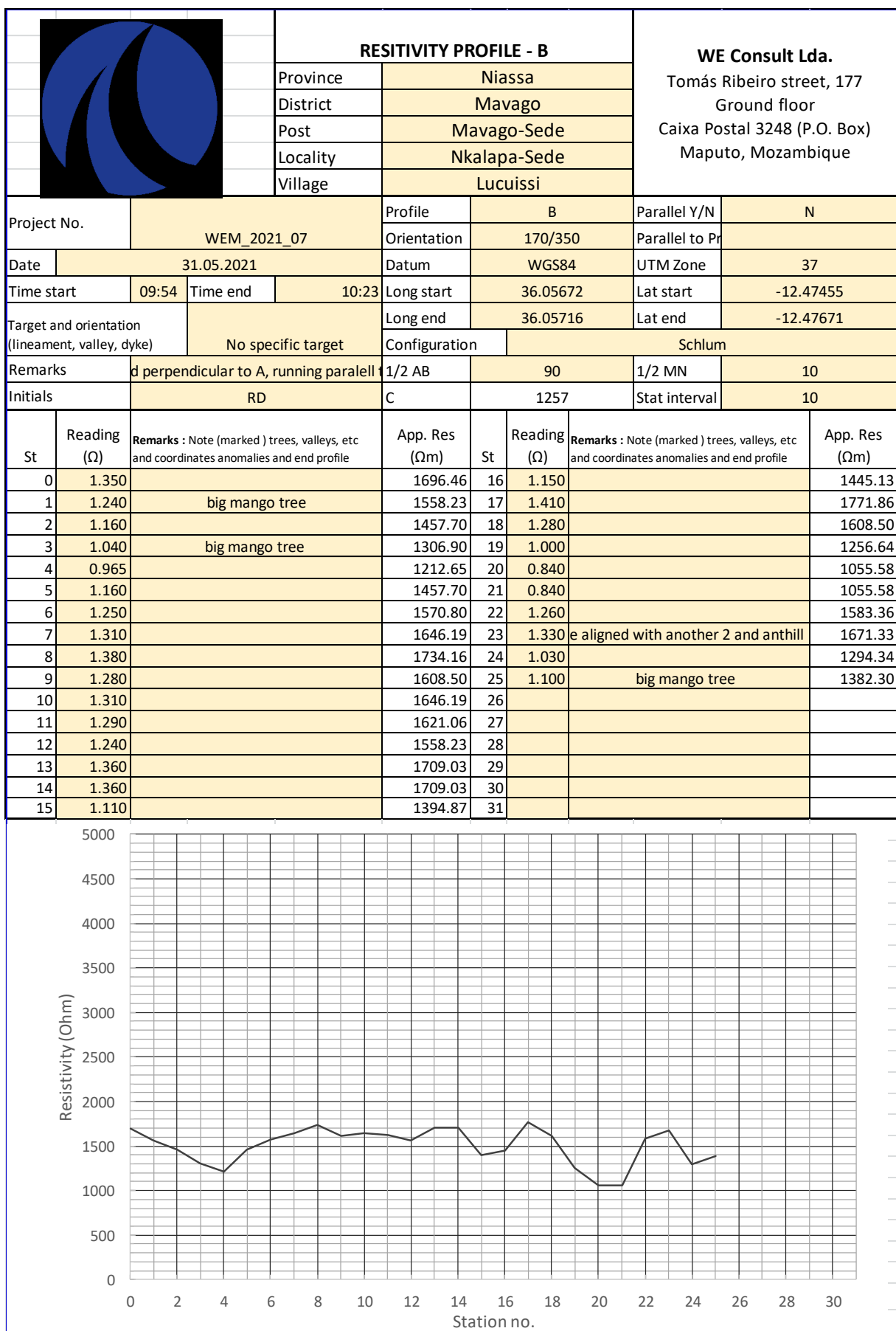


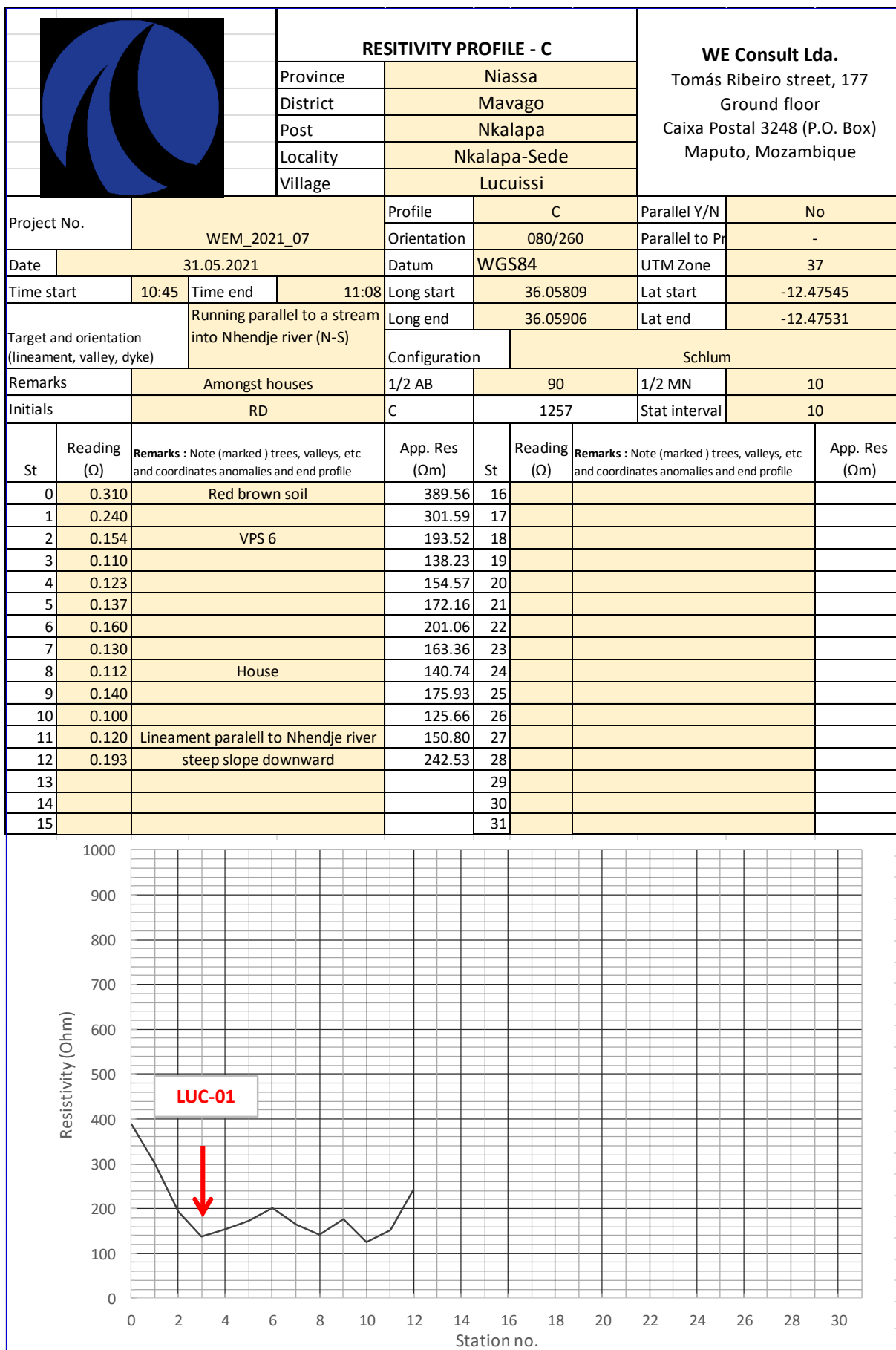


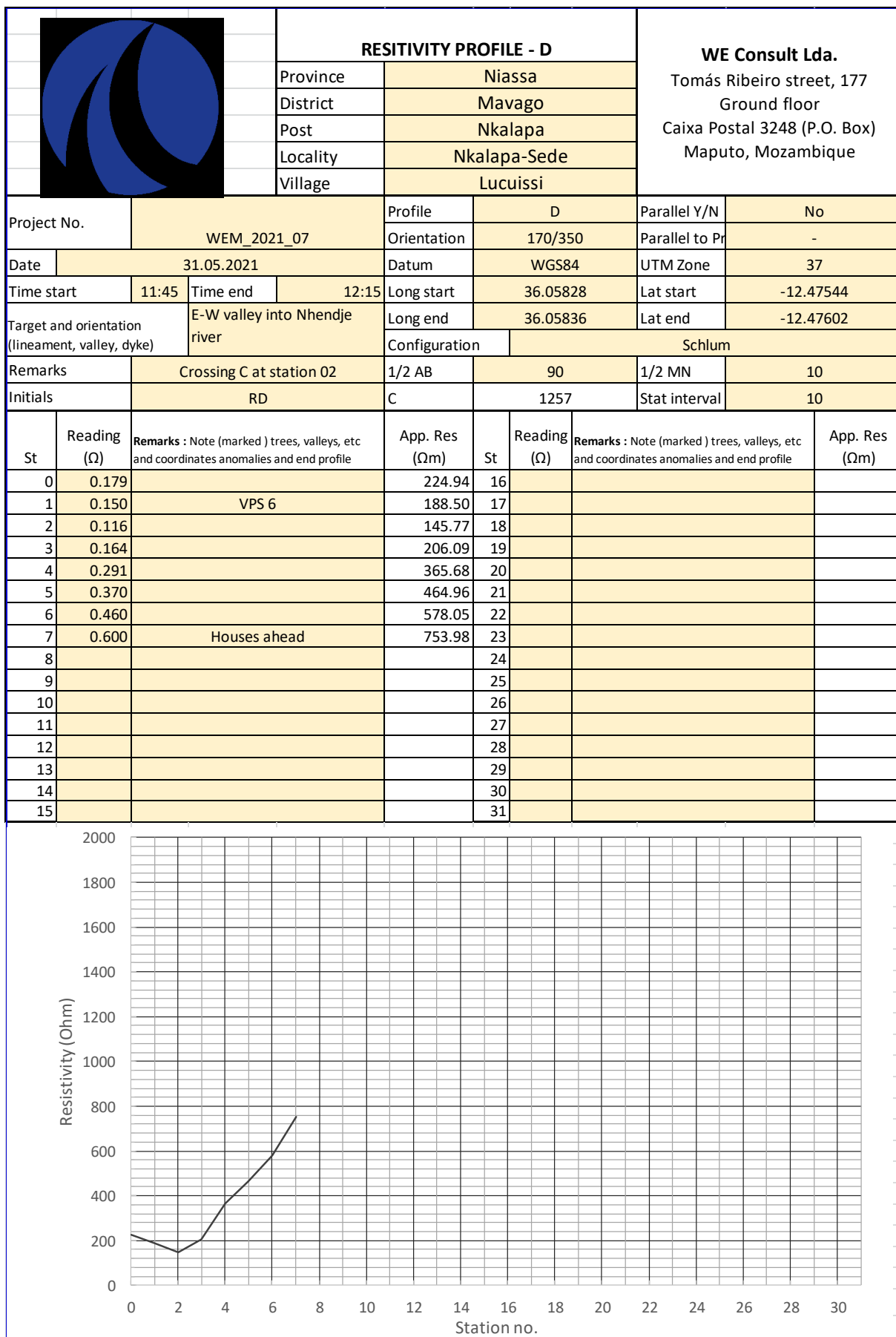


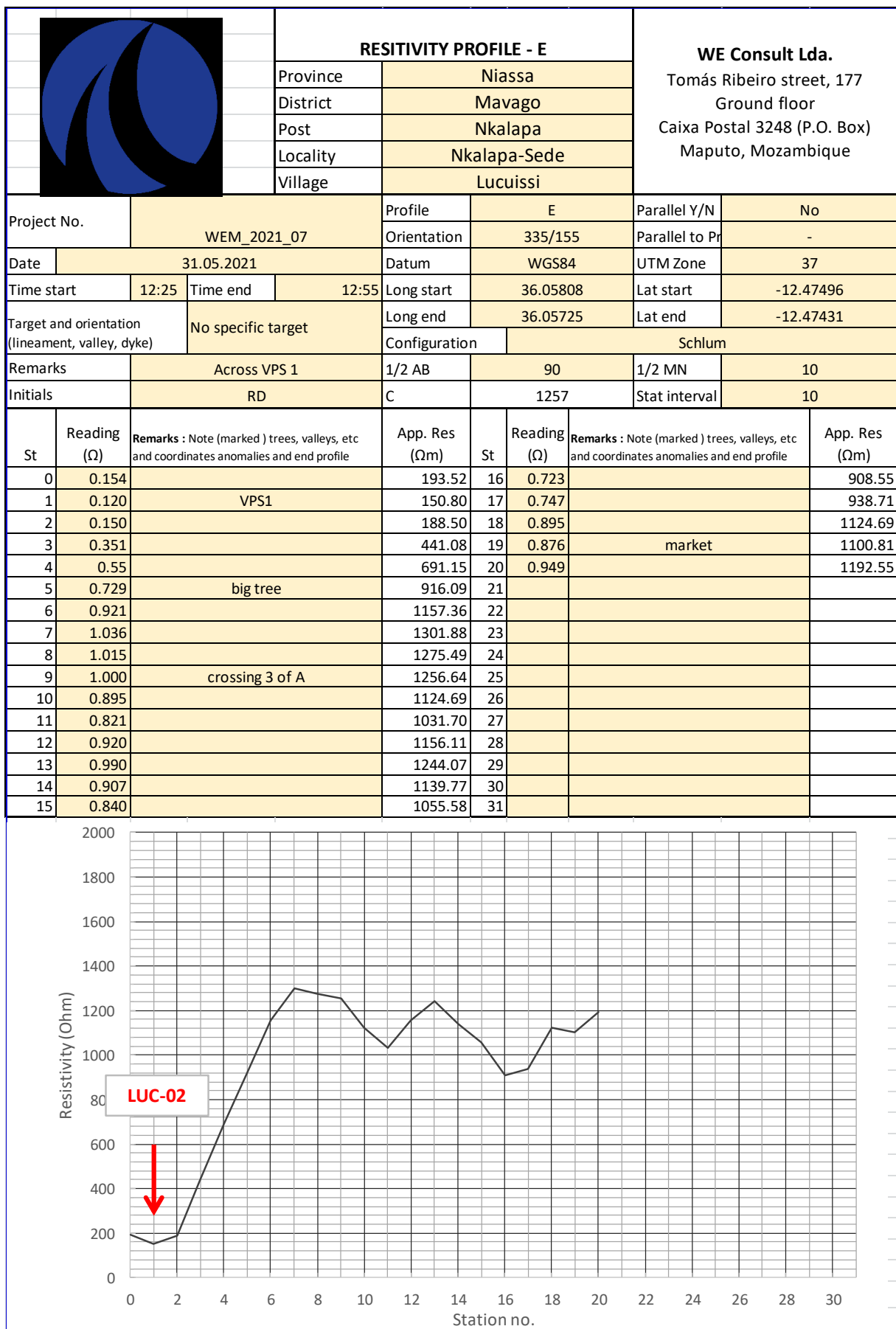
LUCUISSE



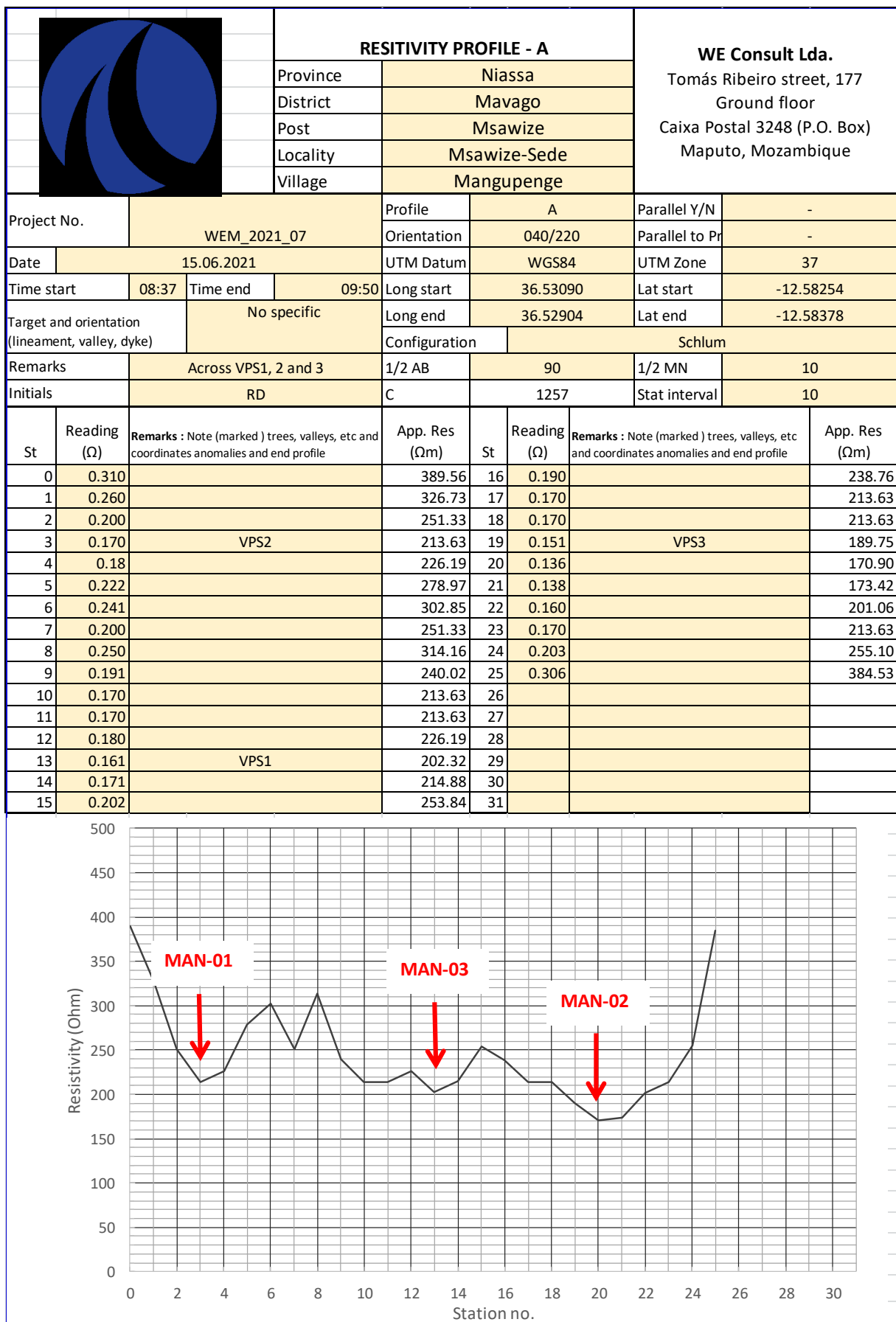


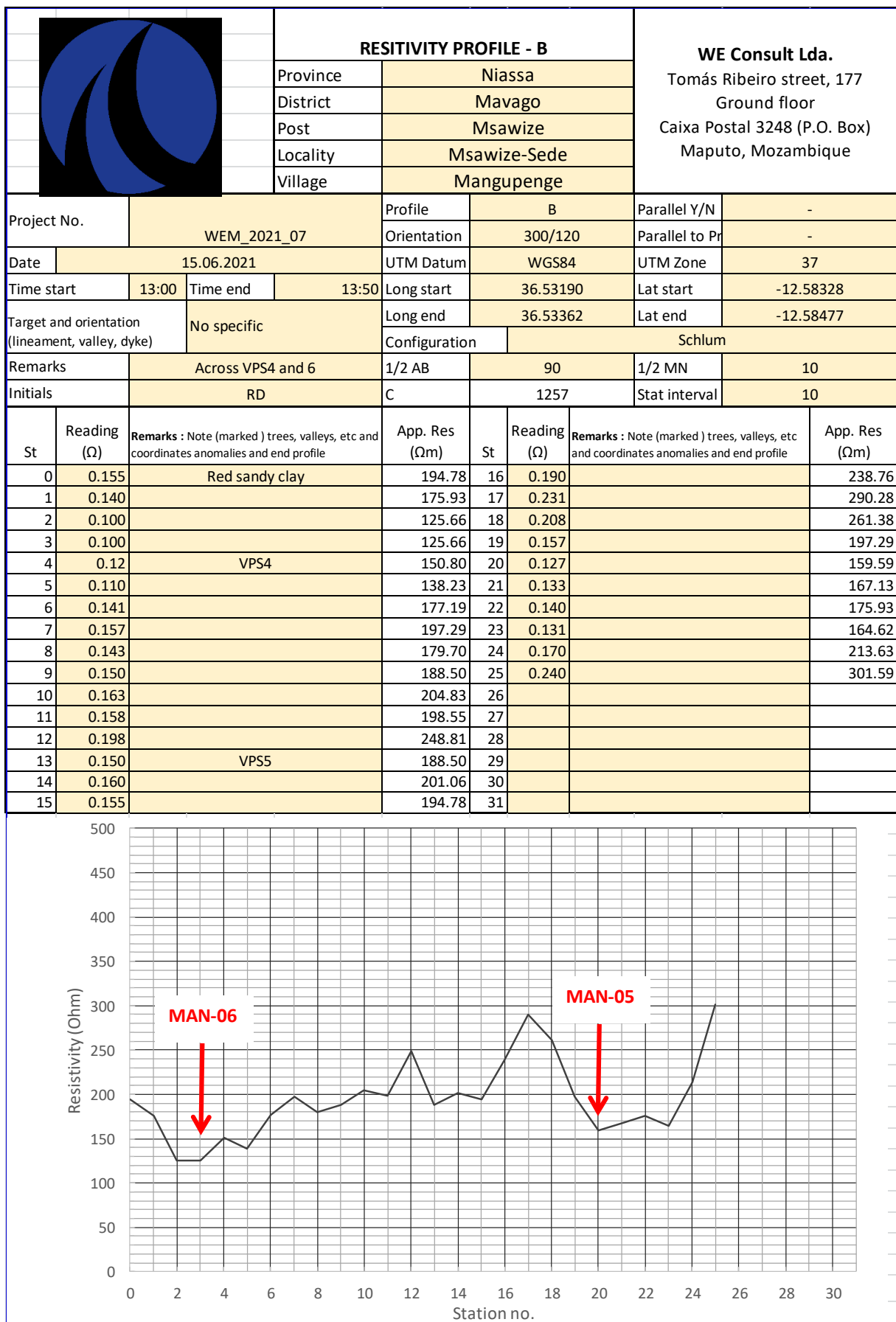


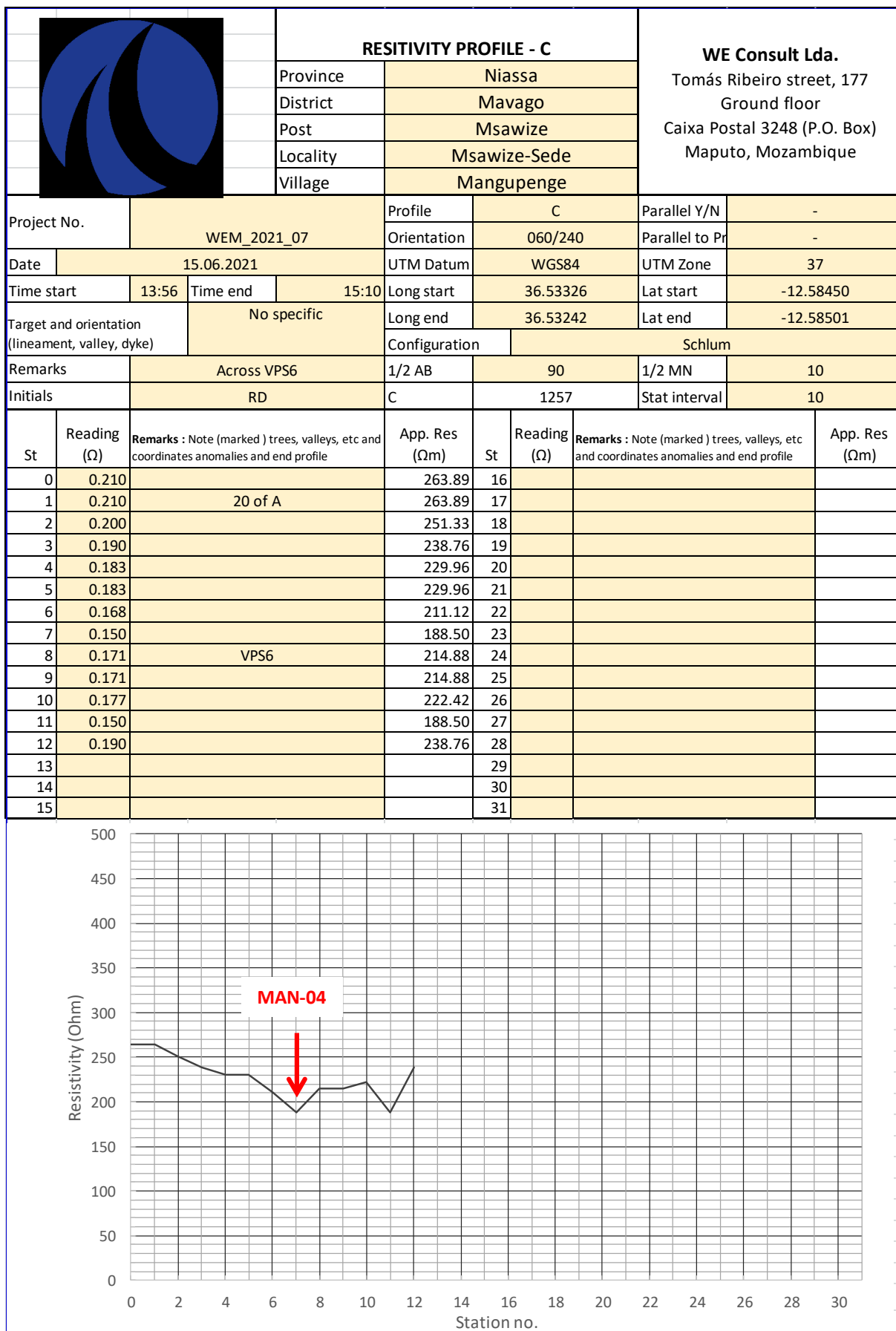


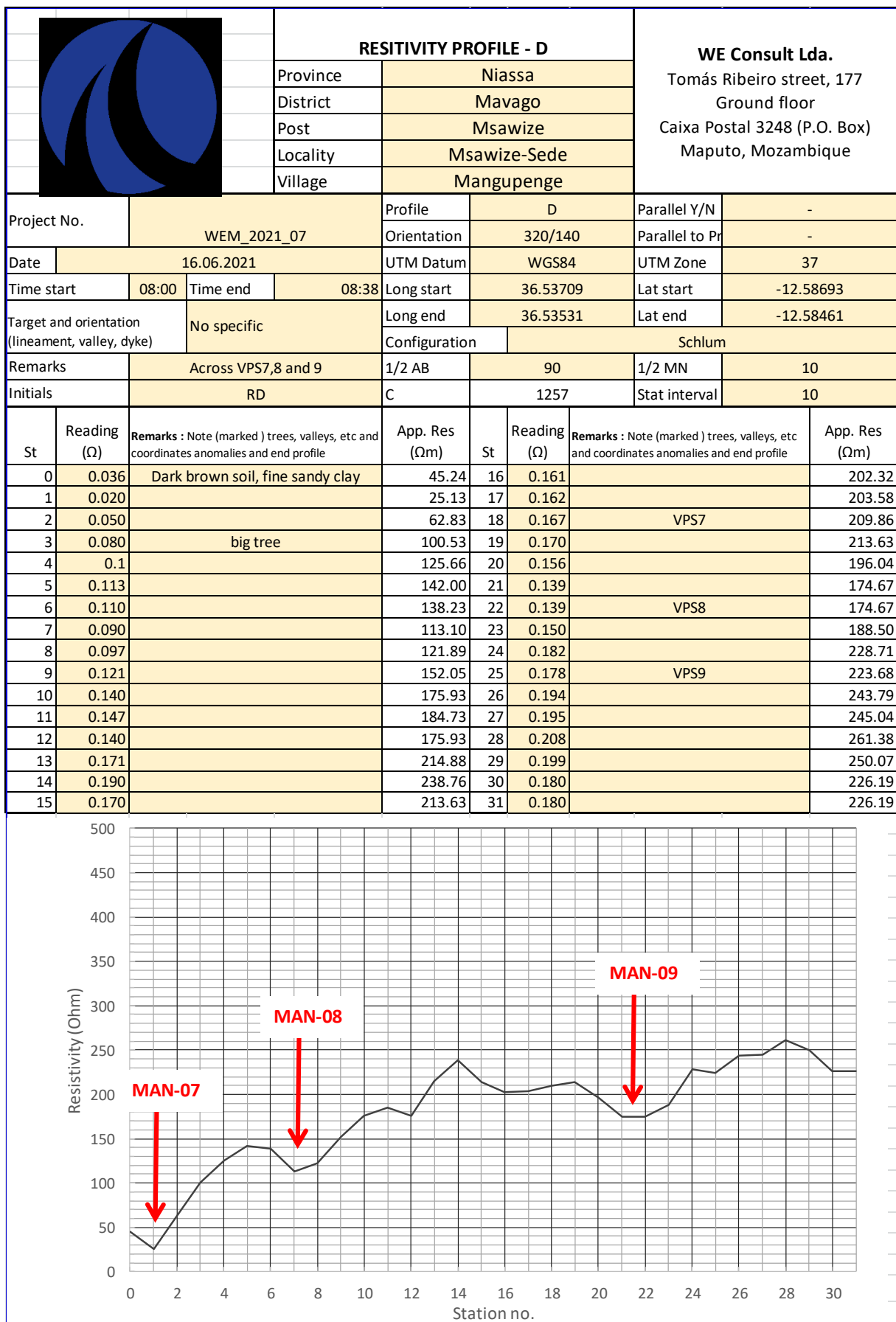


MANGUPENGE

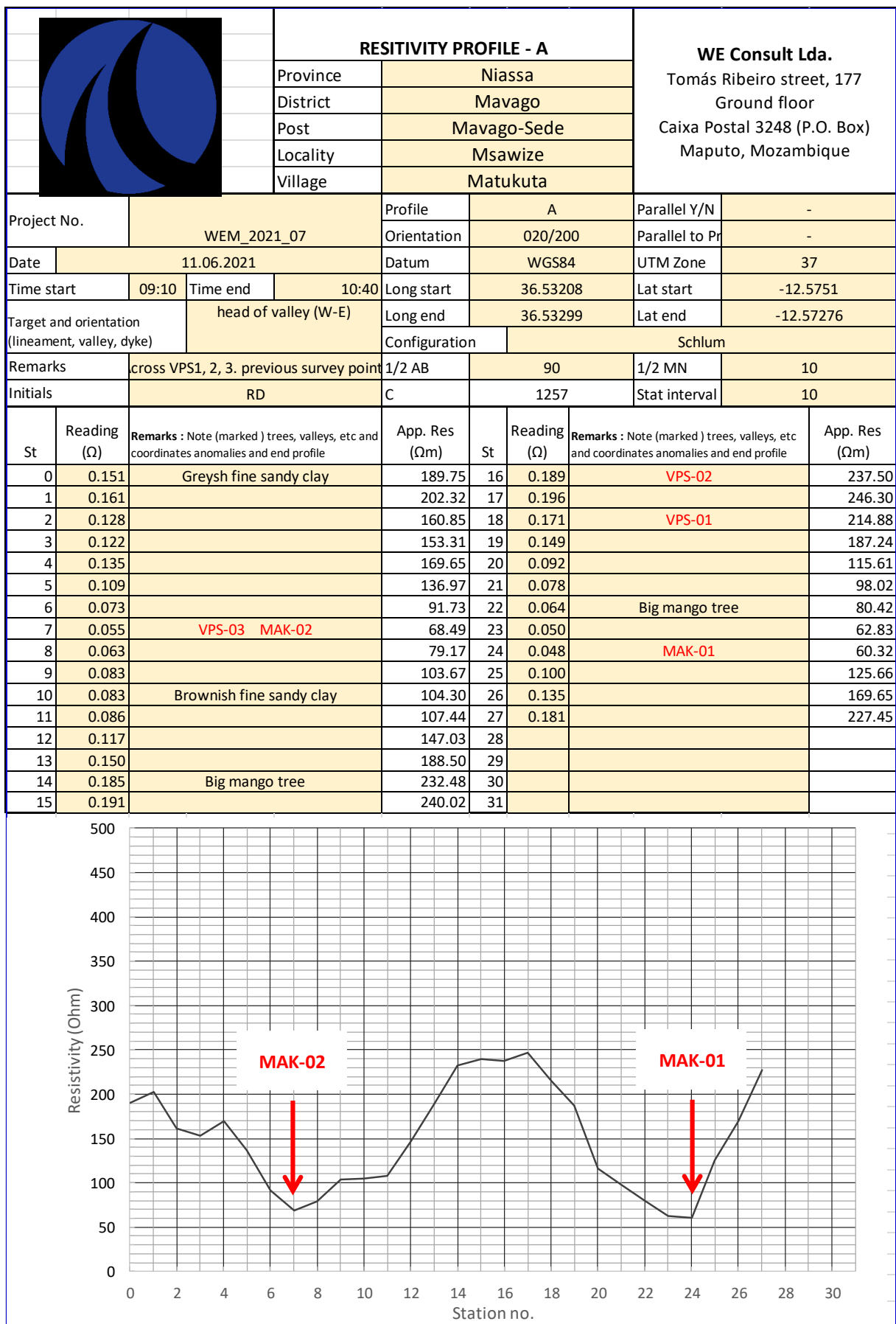


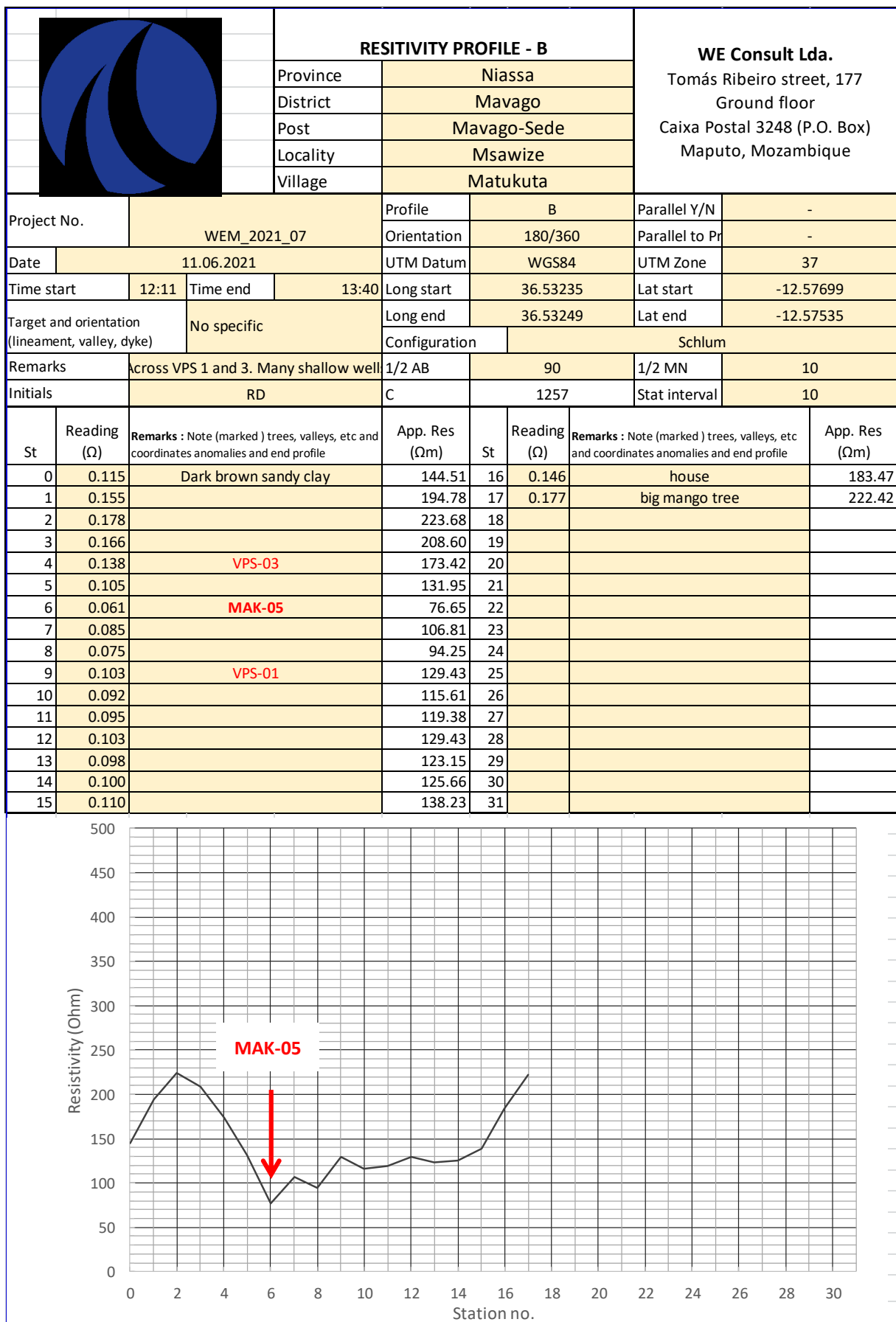


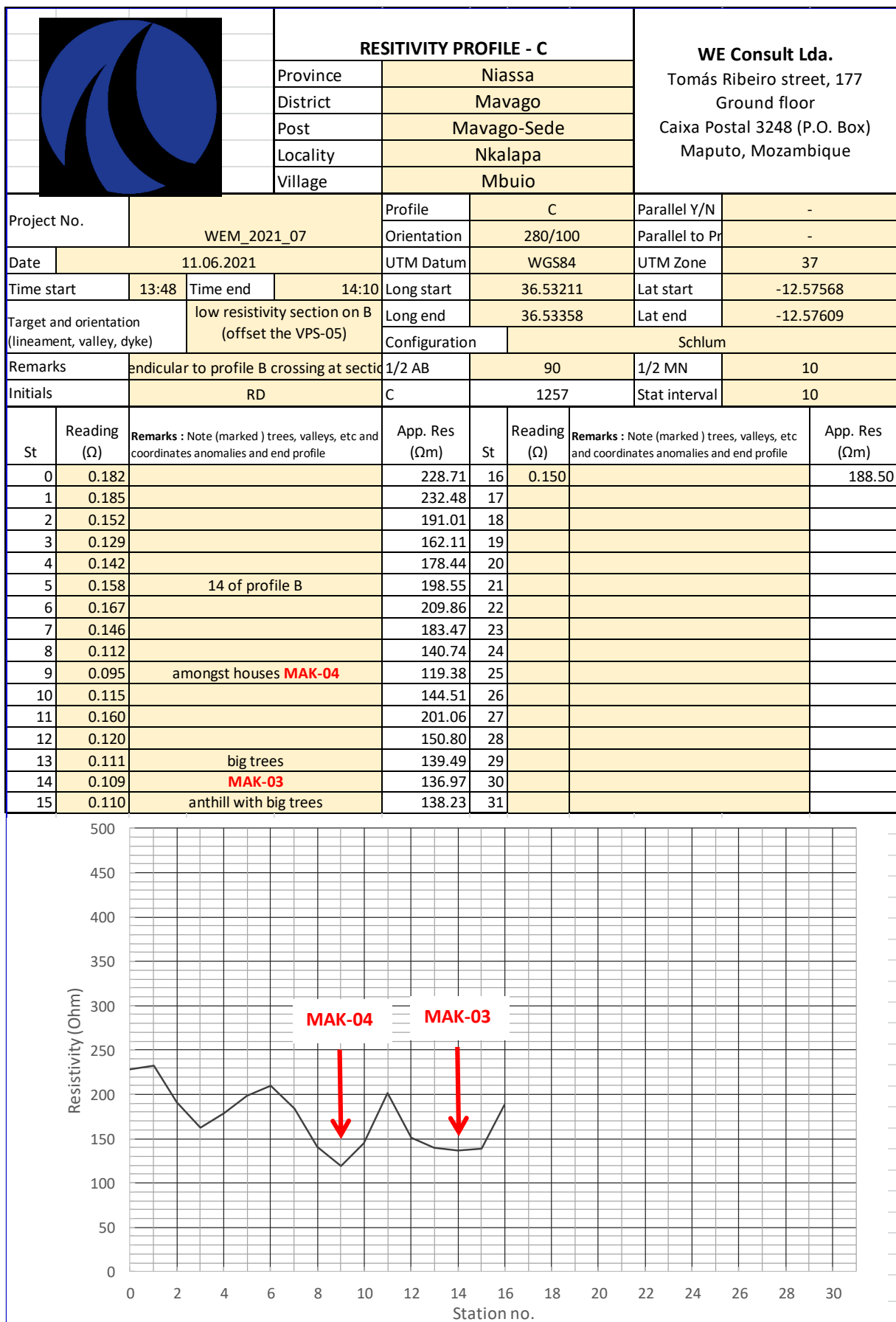




MATUKUTA

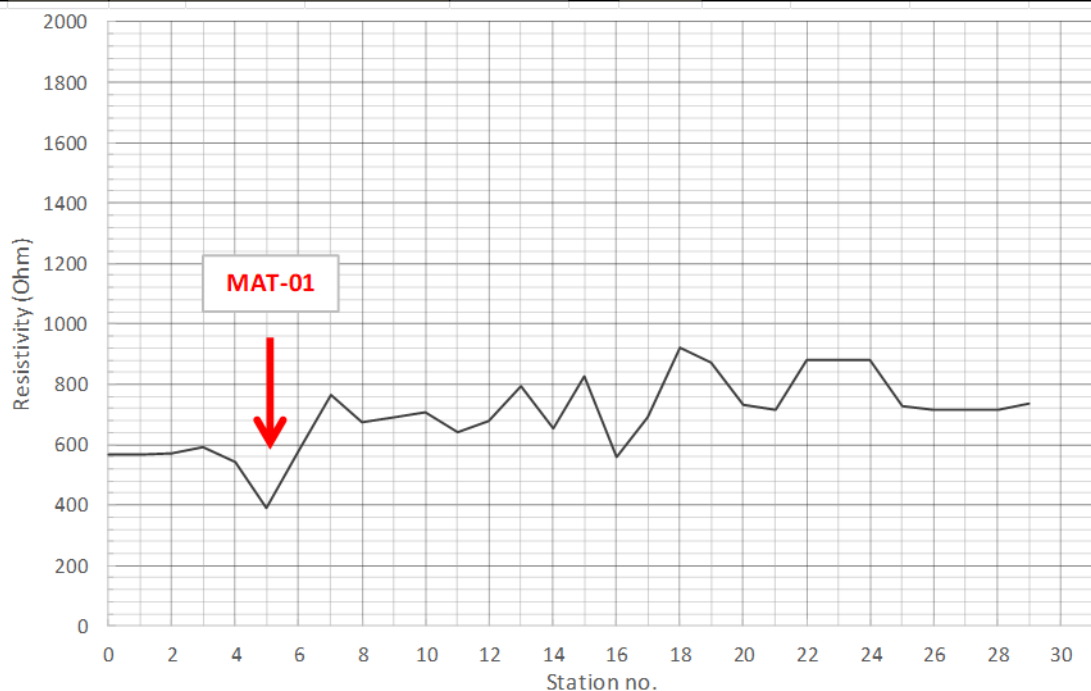


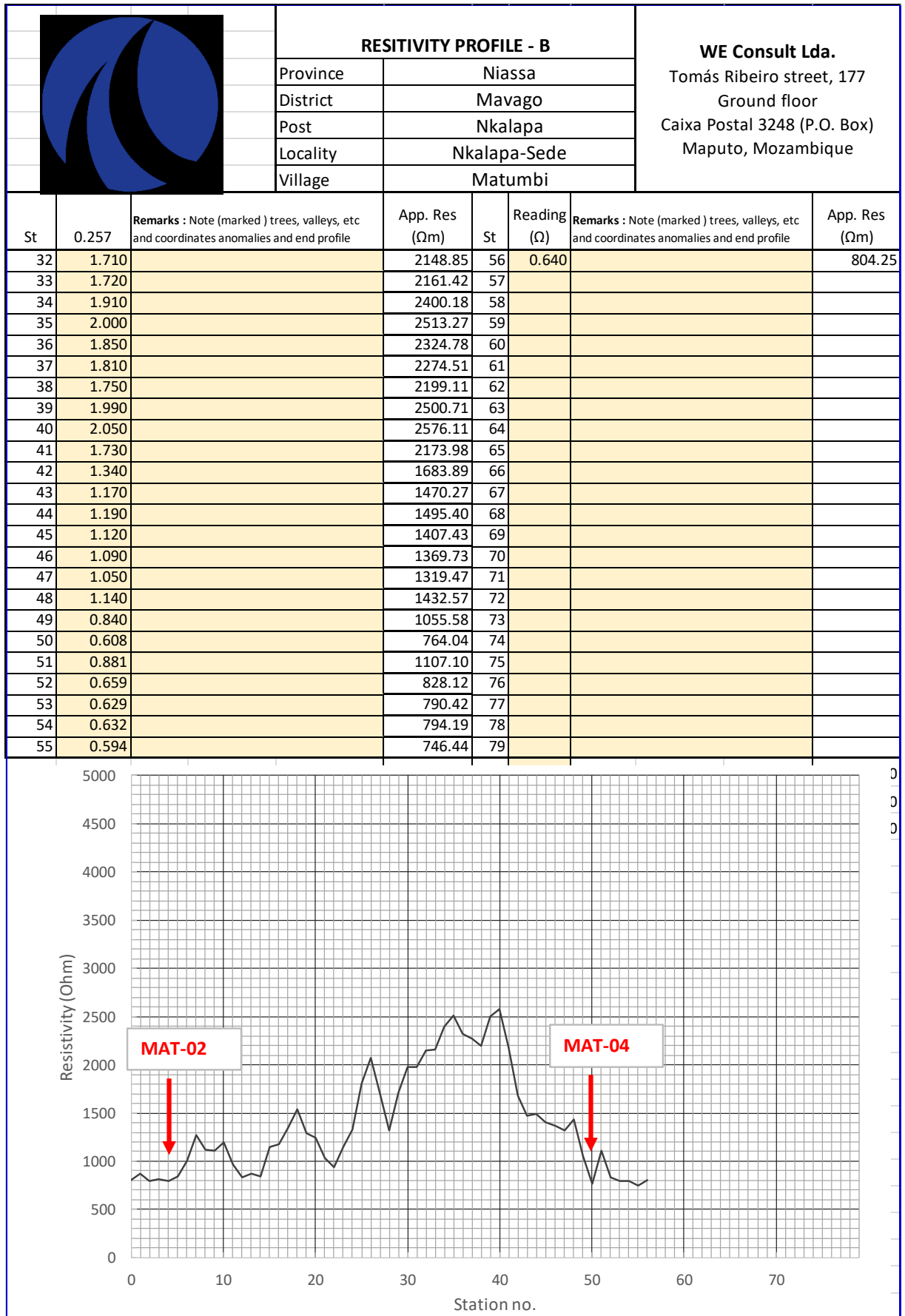


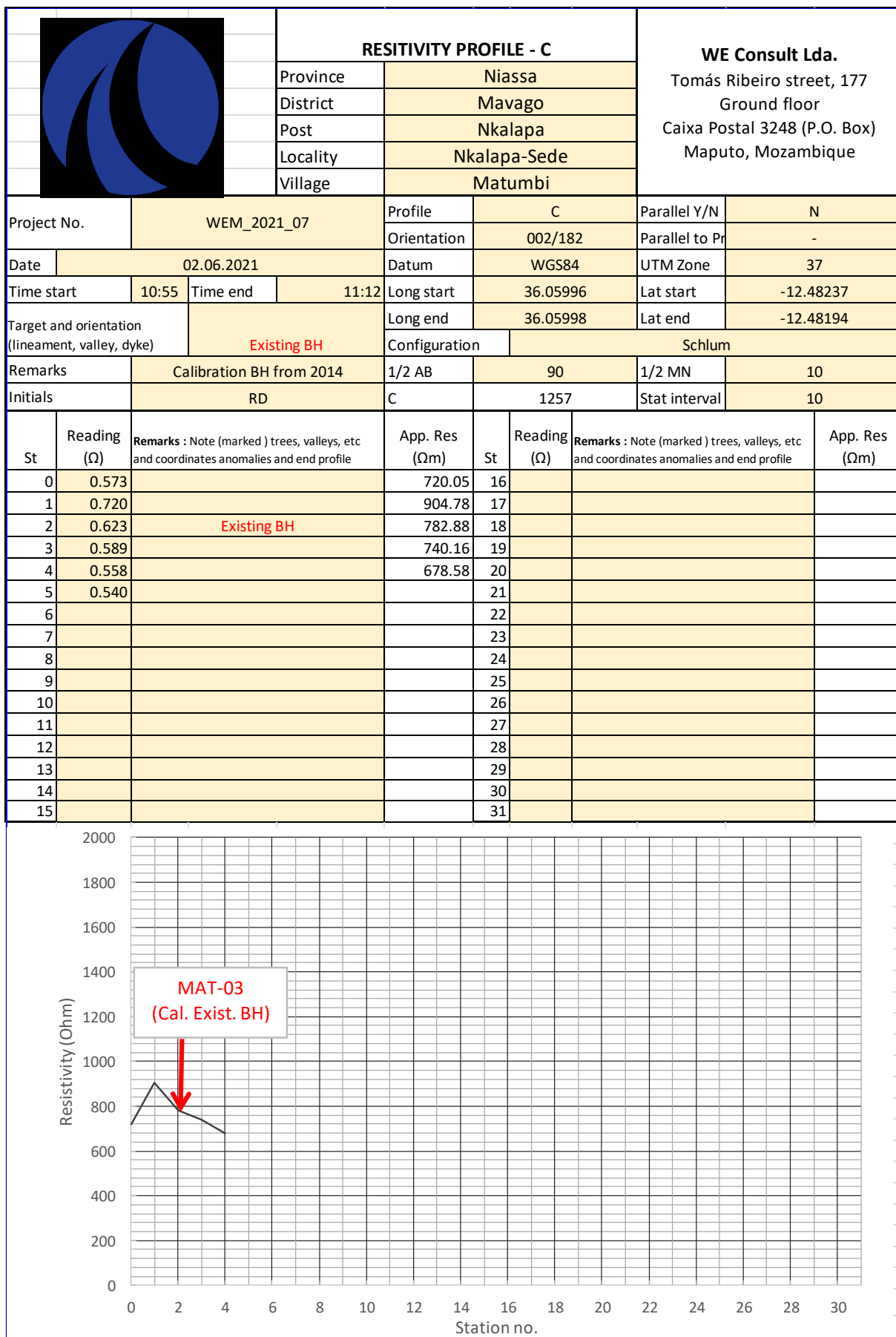


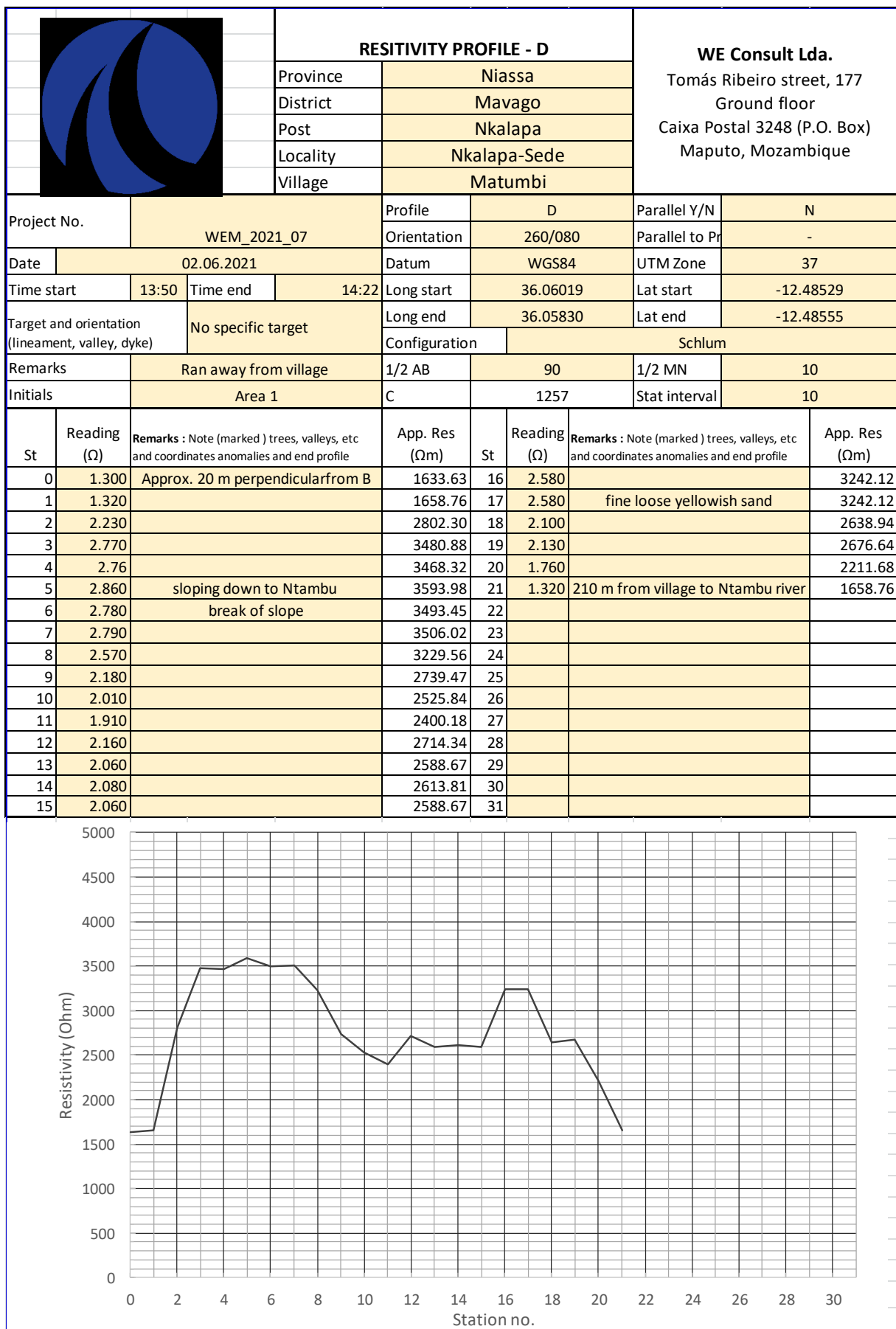
MATUMBI

				RESISTIVITY PROFILE - A				WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique			
				Province		Niassa					
				District		Mavago					
				Post		Nkalapa					
				Locality		Nkalapa-Sede					
				Village		Matumbi					
Project No.		WEM_2021_07		Profile	A		Parallel Y/N		No		
				Orientation	310/130		Parallel to Pr		-		
Date	02.06.2021			Datum	WGS84		UTM Zone		37		
Time start		08:28	Time end	09:12	Long start	36.06161		Lat start	-12.47931		
Target and orientation (lineament, valley, dyke)			Head of valley		Long end	36.05941		Lat end	-12.48743		
					Configuration		Schlum				
Remarks		Across VPS 3, Area 1		1/2 AB	90		1/2 MN	10			
Initials		RD		C	1257		Stat interval	10			
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile			App. Res (Ωm)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile			App. Res (Ωm)
0	0.450				565.49	16	0.446				560.46
1	0.451				566.74	17	0.550	sloping down			691.15
2	0.456				573.03	18	0.732				919.86
3	0.470	VPS 3			590.62	19	0.693				870.85
4	0.432				542.87	20	0.581				730.11
5	0.310	MAT-01 by a house			389.56	21	0.570				716.28
6	0.462				580.57	22	0.700				879.65
7	0.610				766.55	23	0.700				879.65
8	0.536				673.56	24	0.700				879.65
9	0.550				691.15	25	0.580	break of slope			728.85
10	0.564				708.74	26	0.568				713.77
11	0.510	head of valley			640.88	27	0.570				716.28
12	0.540	house			678.58	28	0.569				715.03
13	0.631				792.94	29	0.587				737.65
14	0.520				653.45	30					
15	0.658				826.87	31					

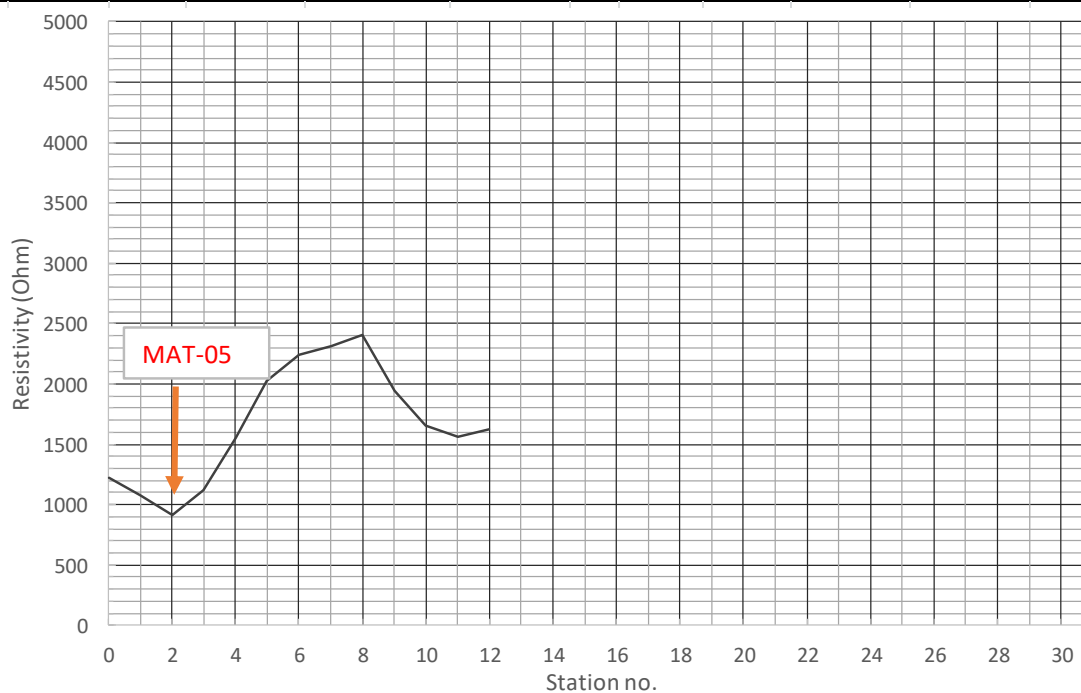




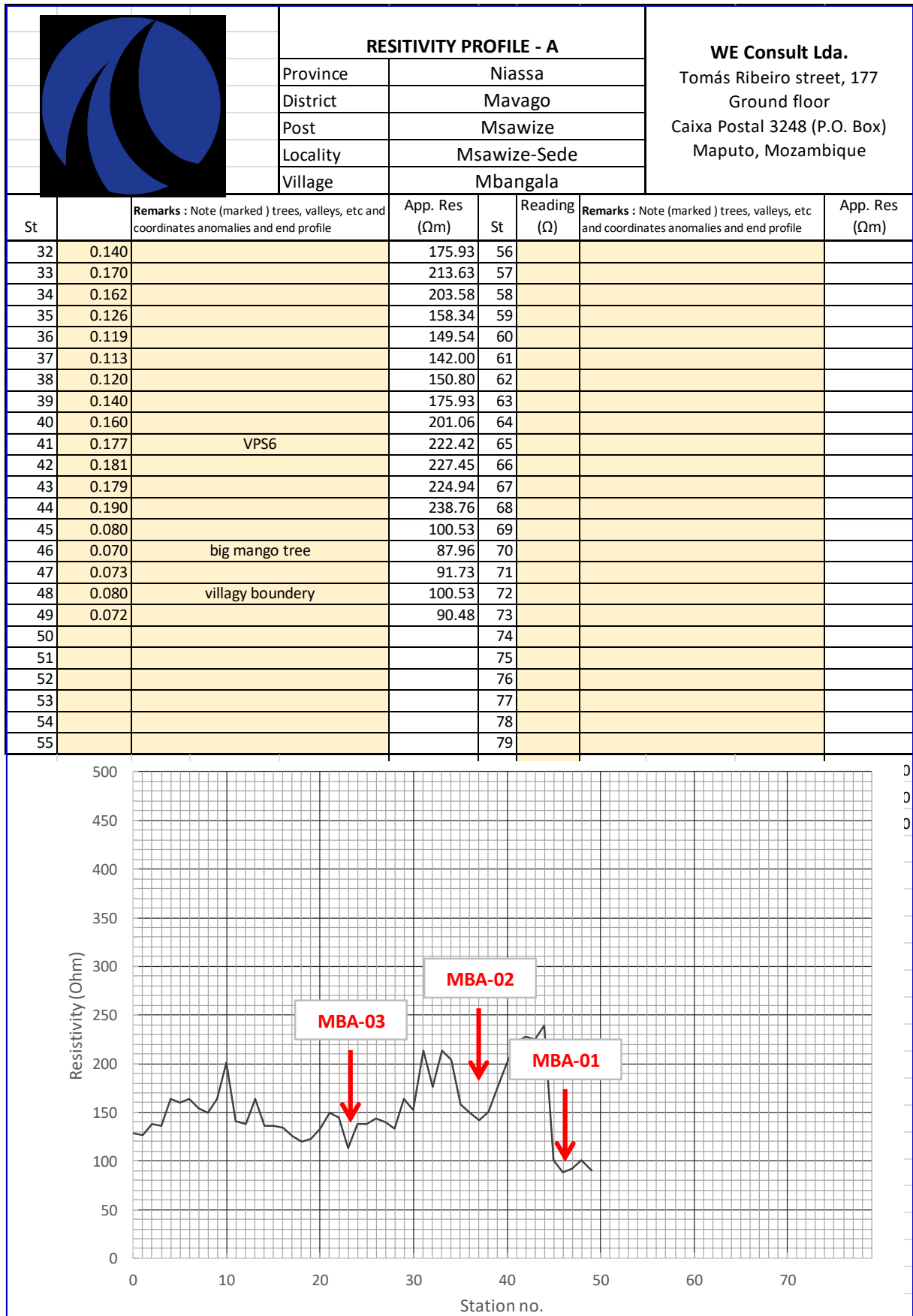


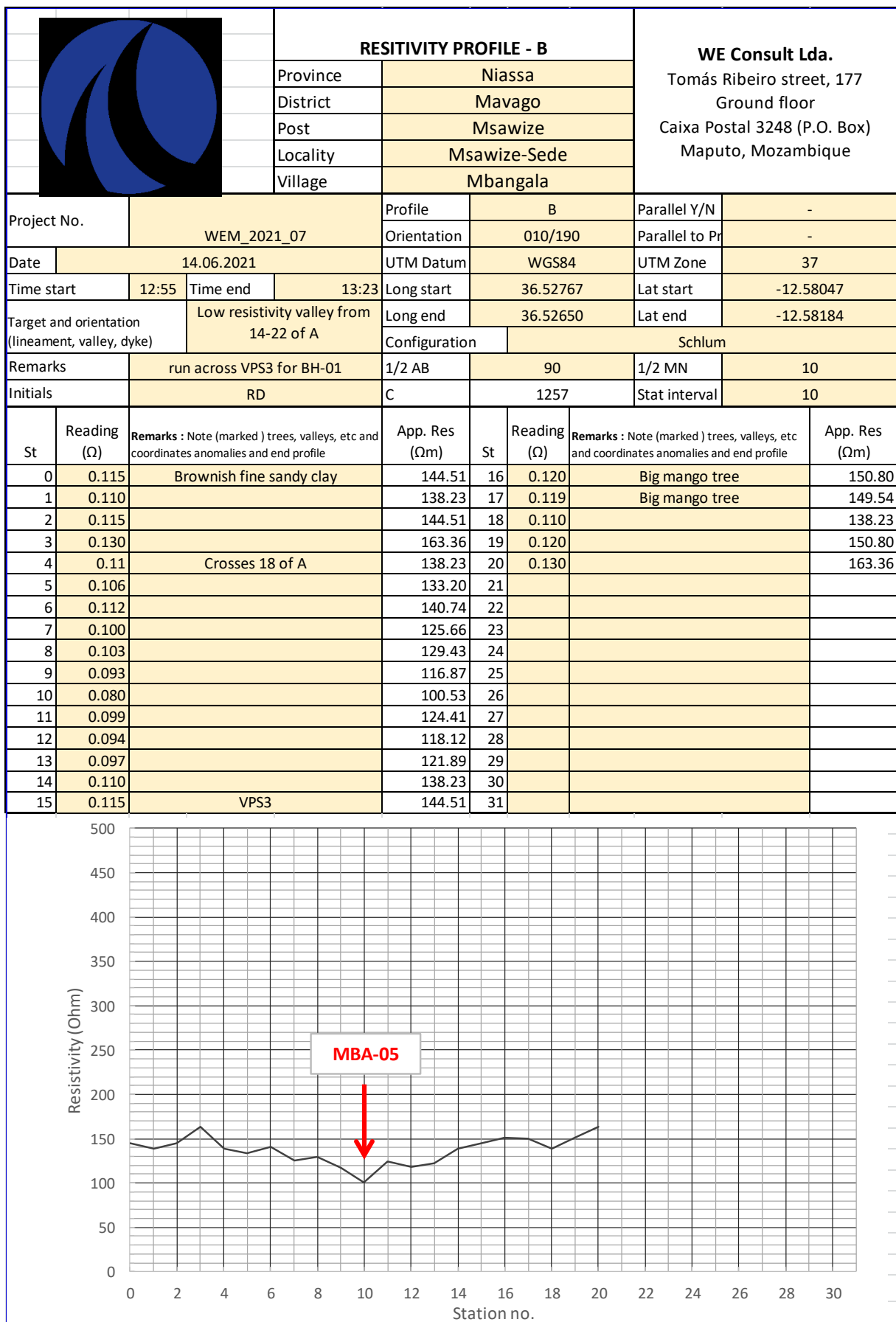


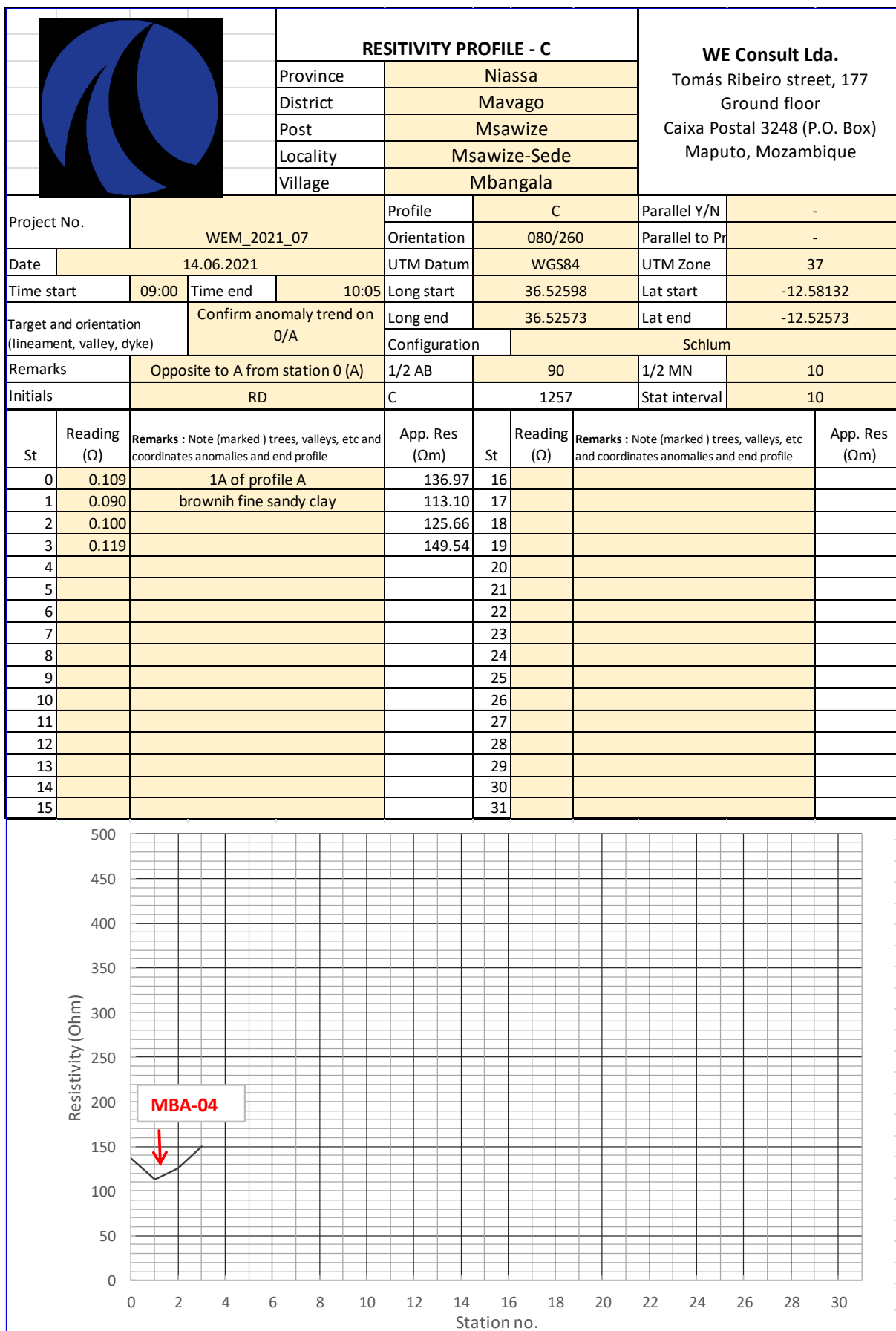
		RESISTIVITY PROFILE - E		WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique			
		Province	Niassa				
		District	Mavago				
		Post	Nkalapa				
		Locality	Nkalapa-Sede				
		Village	Matumbi				
Project No.		WEM_2021_07		Profile	E	Parallel Y/N	N
				Orientation	360/180	Parallel to Pr	-
Date	07.06.2021			Datum	WGS84	UTM Zone	37
Time start	14:20	Time end	14:55	Long start	36.06029	Lat start	-12.48418
Target and orientation (lineament, valley, dyke)		Head of valley ((anthill))		Long end	36.06081	Lat end	-12.48522
				Configuration	Schlum		
Remarks		eking for potential point for alternativ		1/2 AB	90	1/2 MN	10
Initials				C	1257	Stat interval	10
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	App. Res (Ω m)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	App. Res (Ω m)
0	0.970	Road, house	1218.94	16			
1	0.859	Red soils (clay)	1079.45	17			
2	0.730		917.35	18			
3	0.889		1117.15	19			
4	1.234	House	1550.69	20			
5	1.614		2028.21	21			
6	1.786		2244.35	22			
7	1.844		2317.24	23			
8	1.914		2405.20	24			
9	1.549	Head of valley (antihill)	1946.53	25			
10	1.316		1653.73	26			
11	1.244		1563.26	27			
12	1.288		1618.55	28			
13				29			
14				30			
15				31			



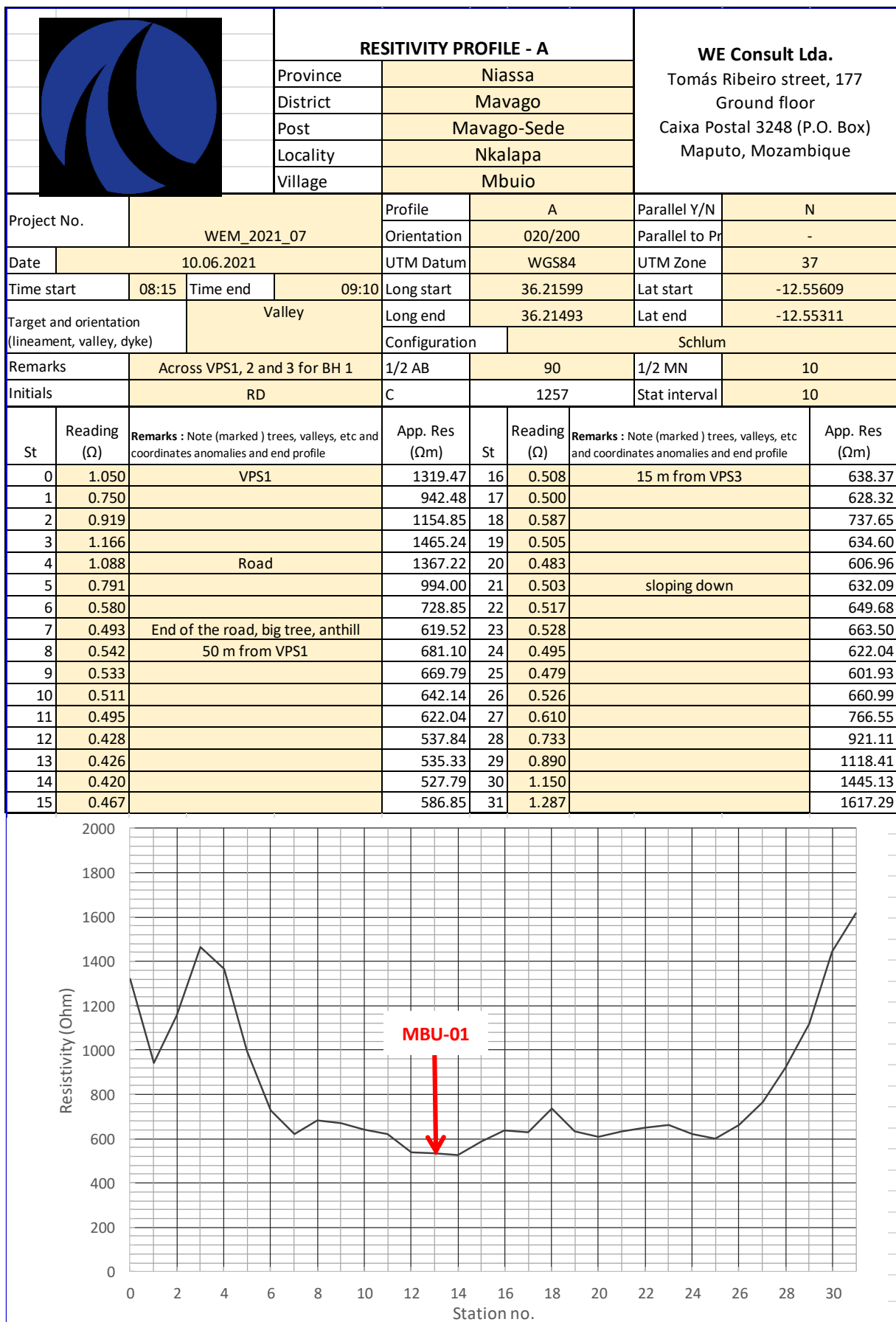
MBANGALA

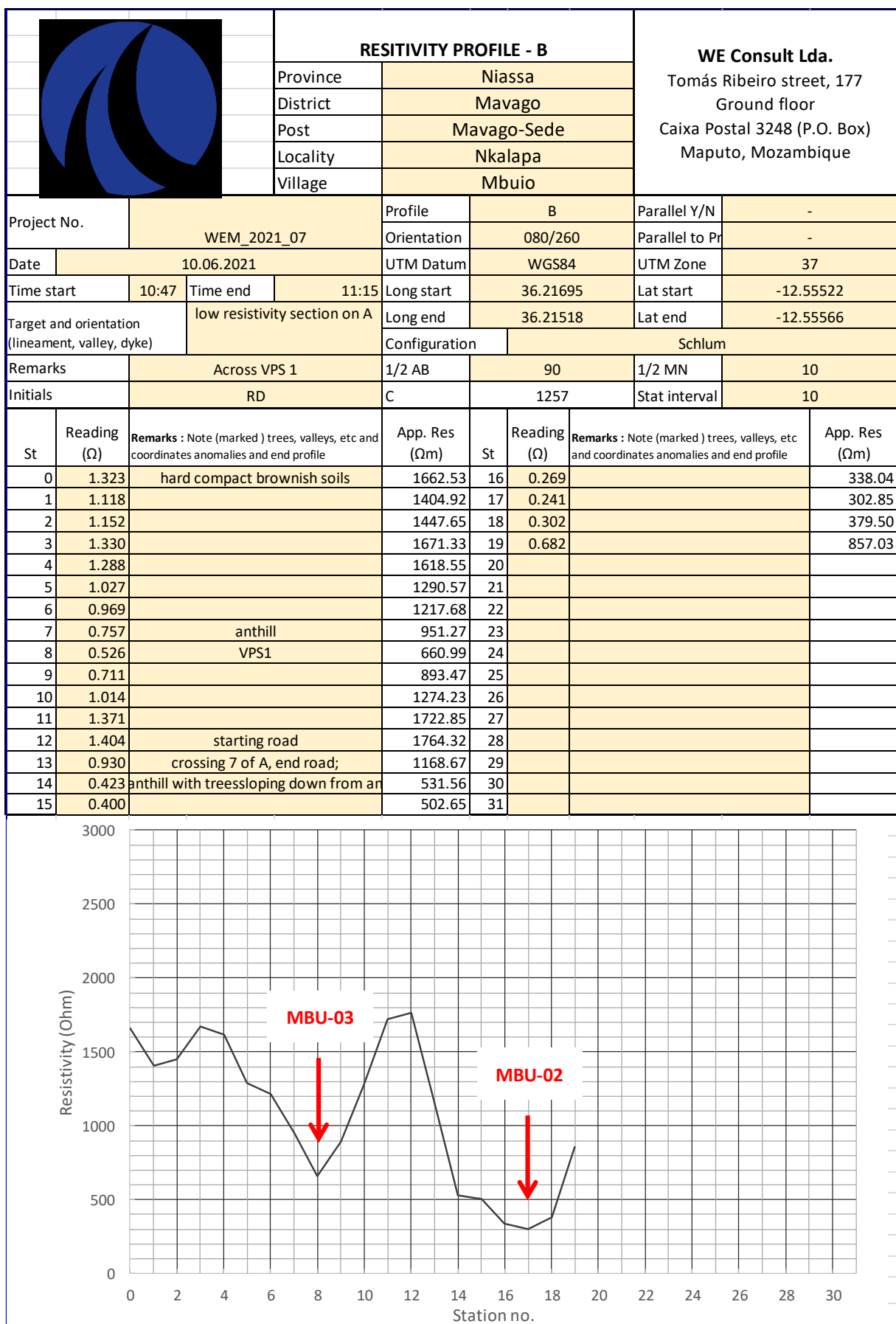


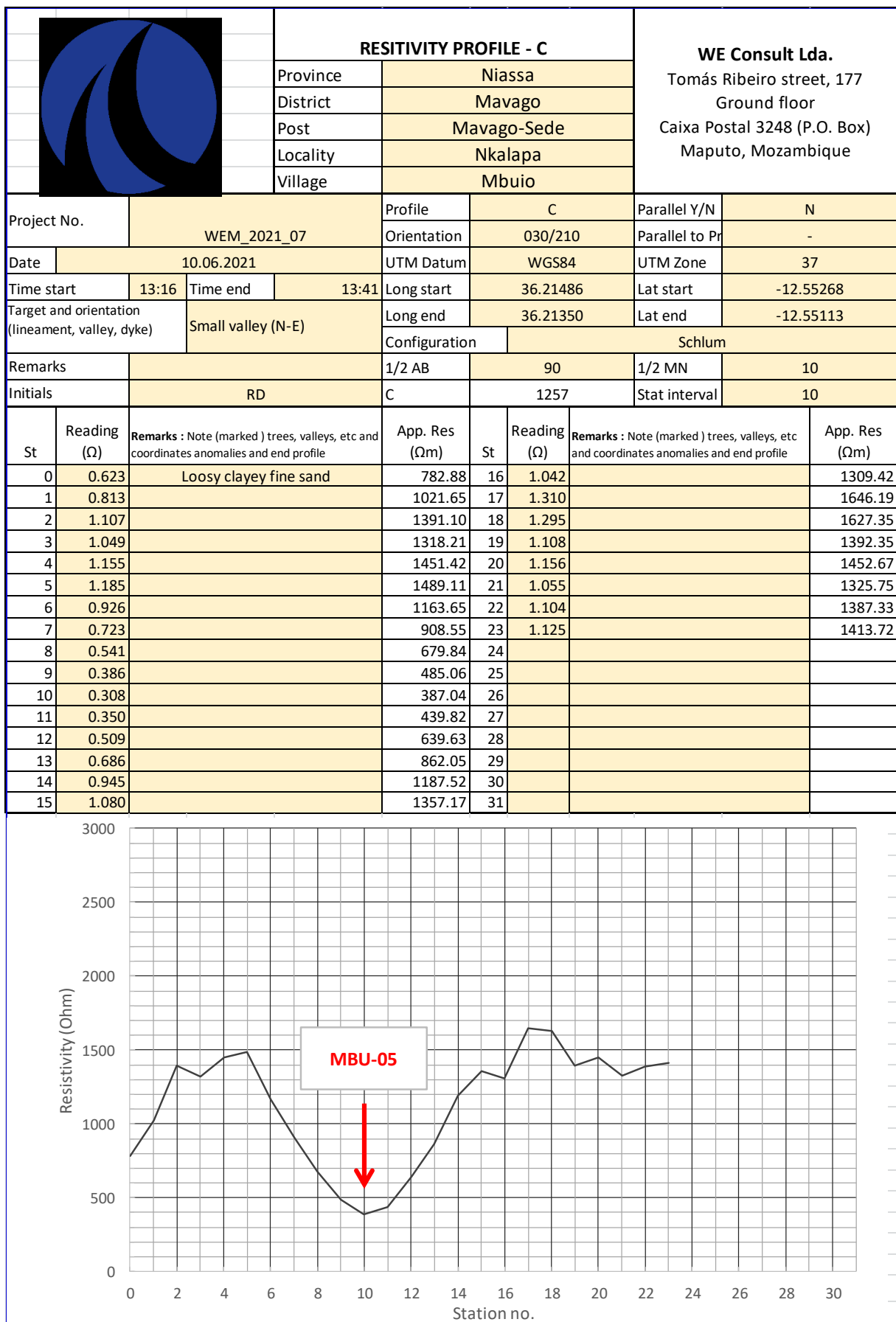




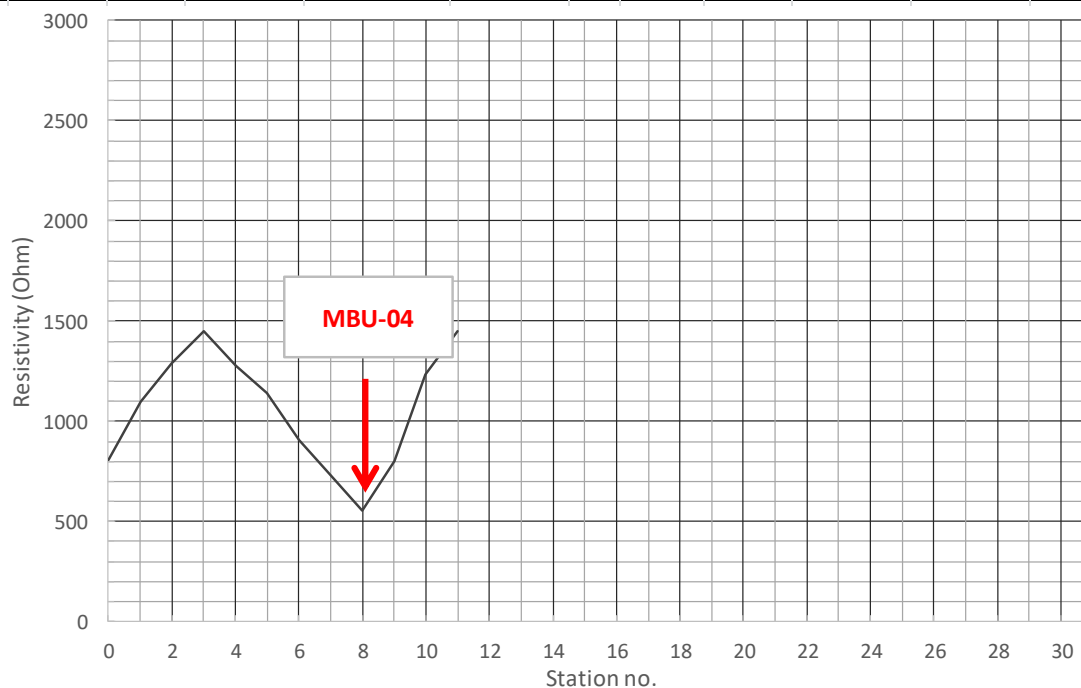
MBUIO



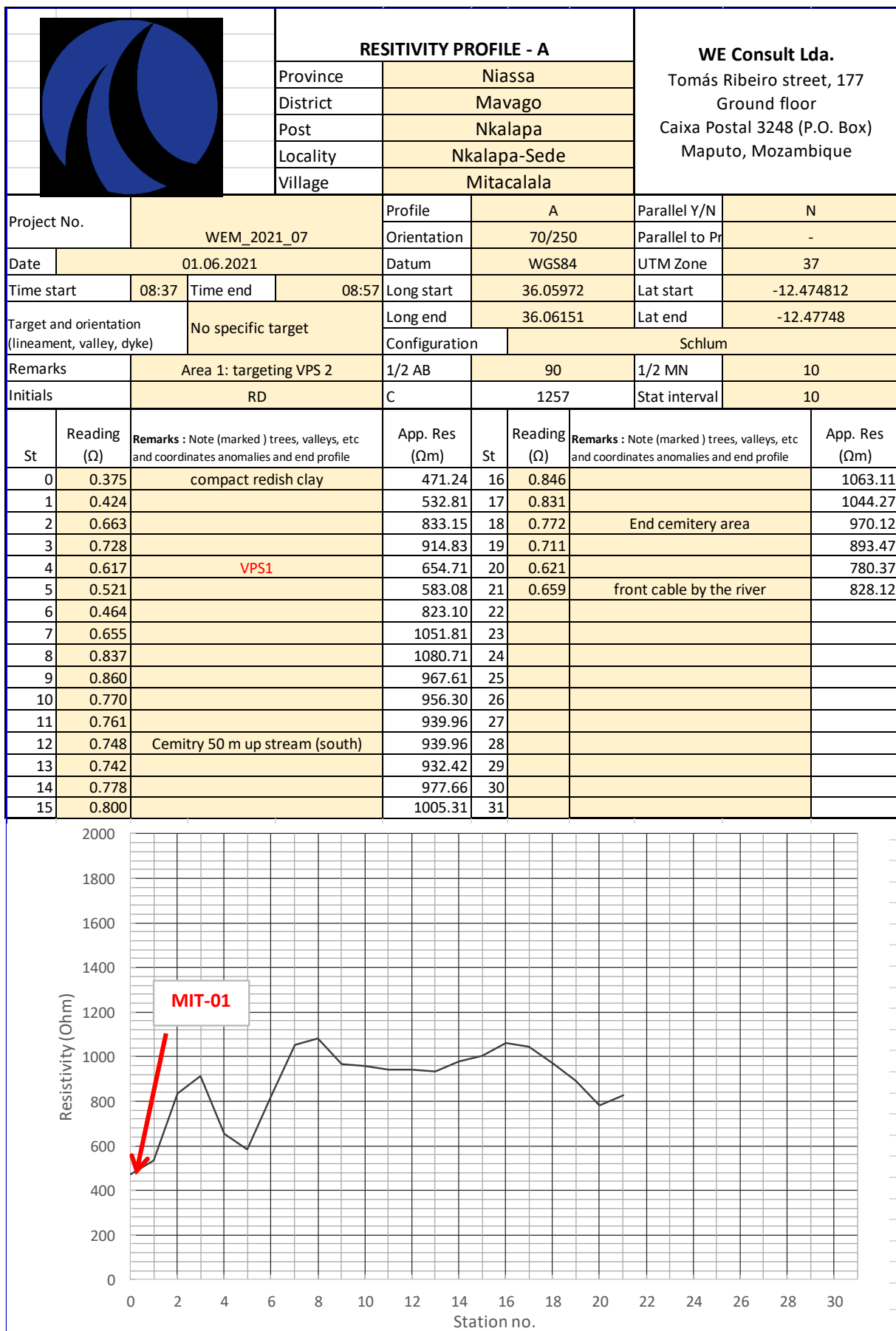


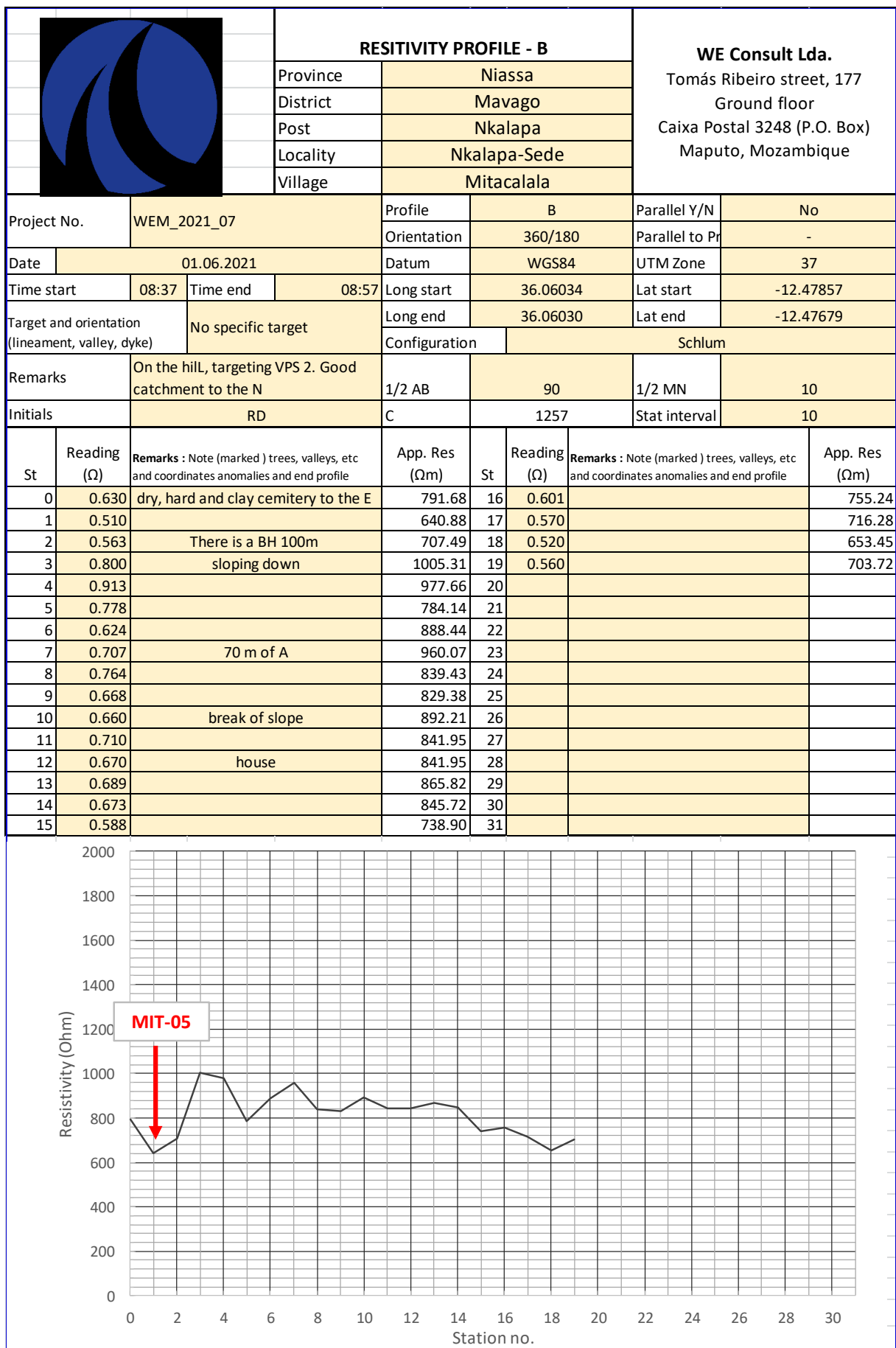


		RESISTIVITY PROFILE - D				WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique		
		Province	Niassa					
		District	Mavago					
		Post	Mavago-Sede					
		Locality	Nkalapa					
		Village	Mbuio					
Project No.		WEM_2021_07		Profile	D		Parallel Y/N	-
				Orientation	360/180		Parallel to Pr	-
Date	10.06.2021			UTM Datum	WGS84		UTM Zone	37
Time start	13:55	Time end	14:17	Long start	36.21491		Lat start	-12.55255
Target and orientation (lineament, valley, dyke)		Anthill (lineament ?)		Long end	36.21402		Lat end	-12.55299
				Configuration	Schlum			
Remarks		Highest point of village (sloping down)		1/2 AB	90		1/2 MN	10
Initials		RD		C	1257		Stat interval	10
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile		App. Res (Ωm)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	
0	0.644			809.27	16			
1	0.873	Cross profile A st. 01		1097.04	17			
2	1.026	loosy brownish sandy		1289.31	18			
3	1.154	clay by road side across		1450.16	19			
4	1.014			1274.23	20			
5	0.910			1143.54	21			
6	0.722			907.29	22			
7	0.580			728.85	23			
8	0.443	Anthill/break of slope		556.69	24			
9	0.638			801.73	25			
10	0.980			1231.50	26			
11	1.152			1447.65	27			
12					28			
13					29			
14					30			
15					31			

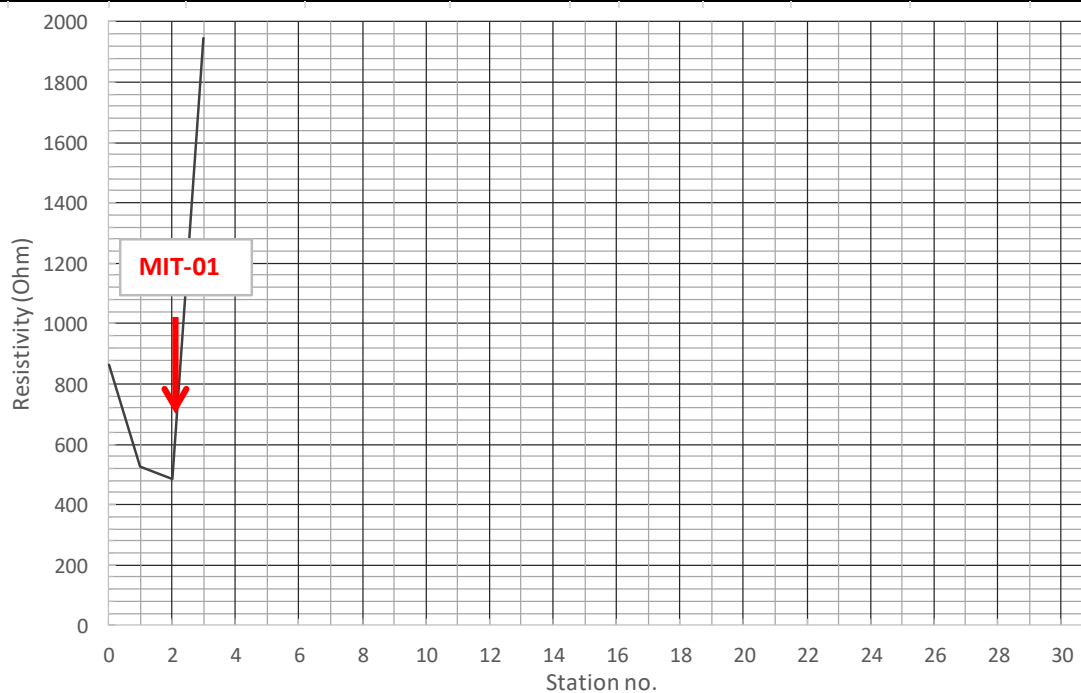


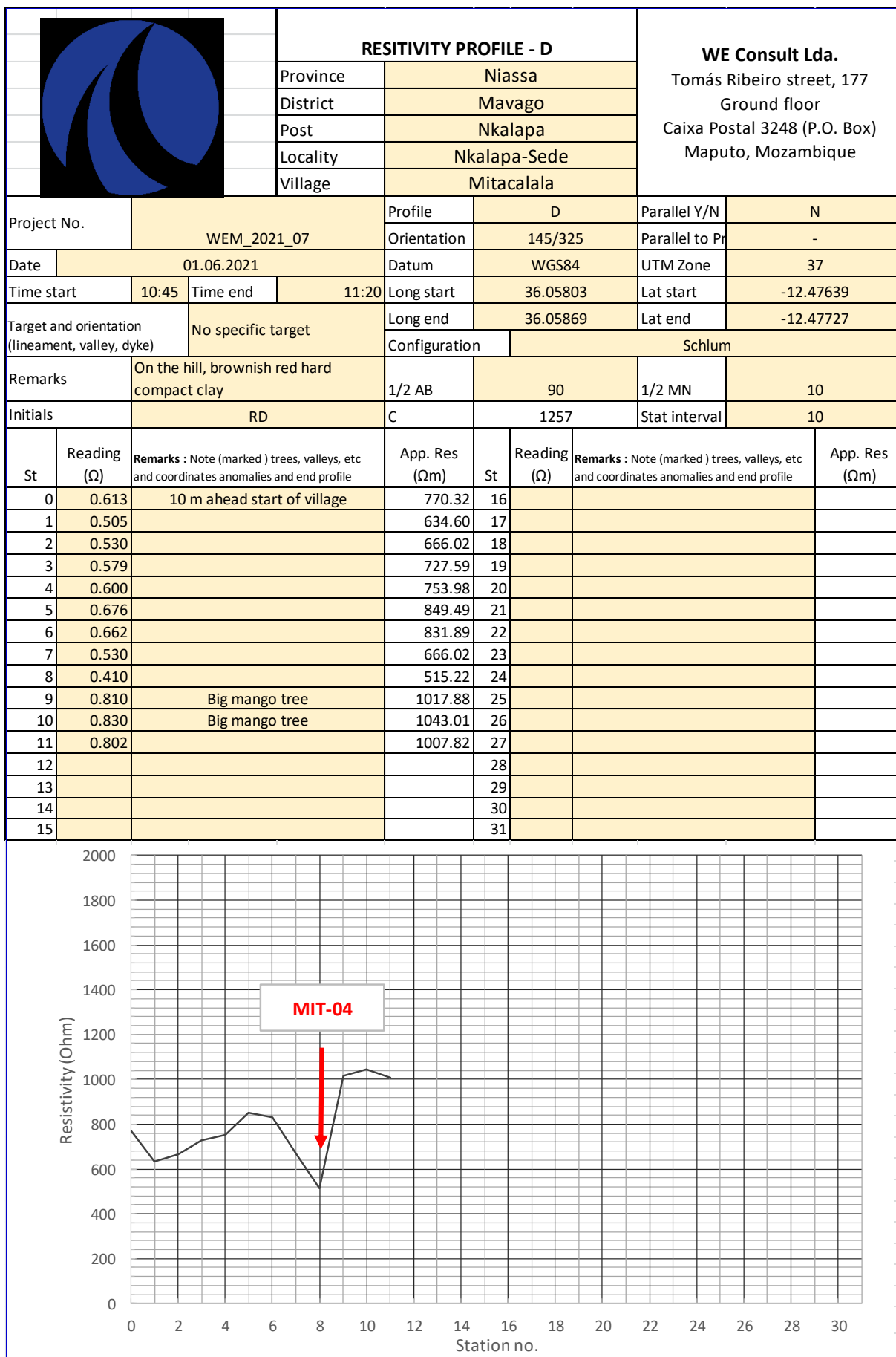
MITACALALA

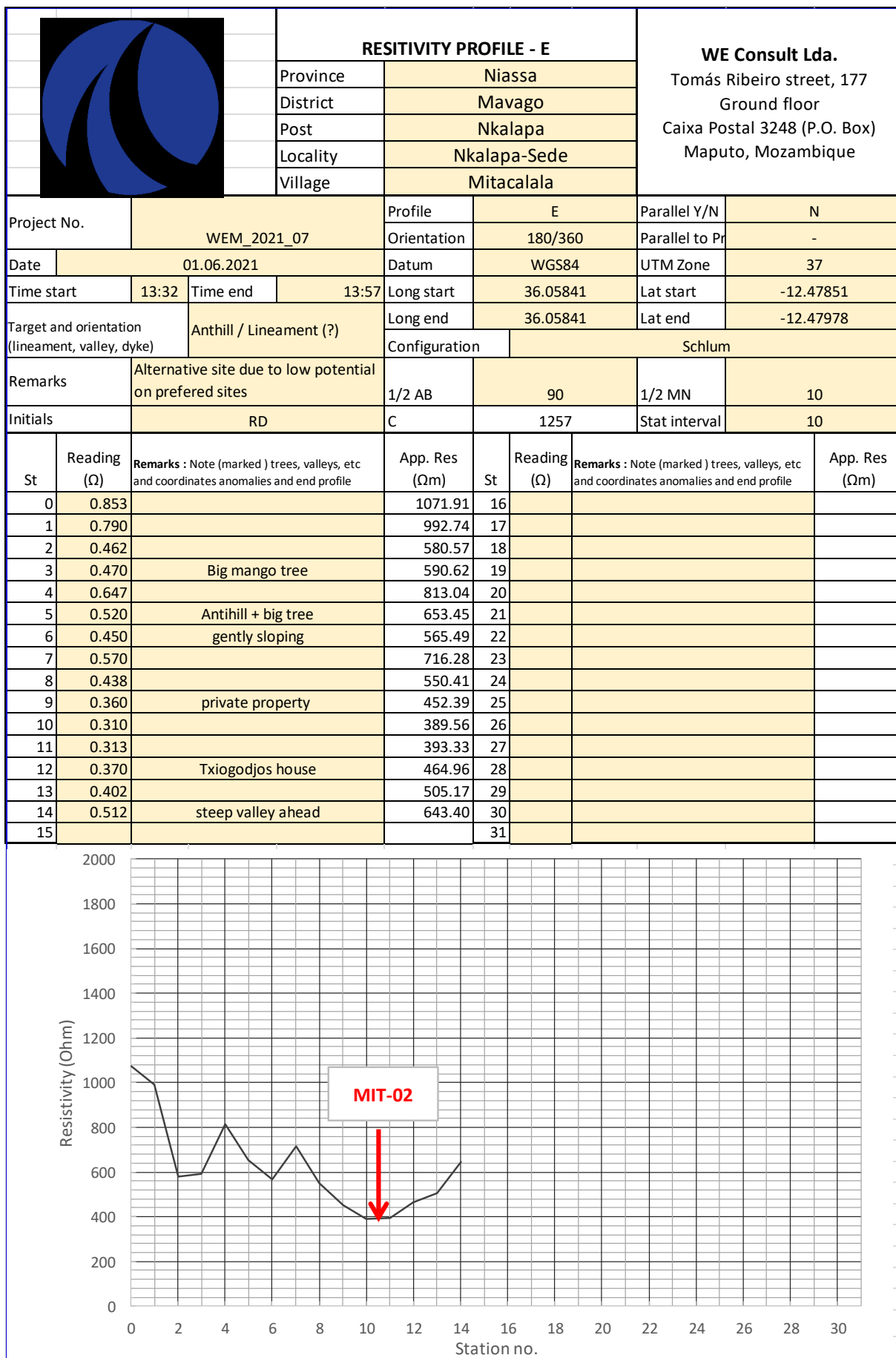


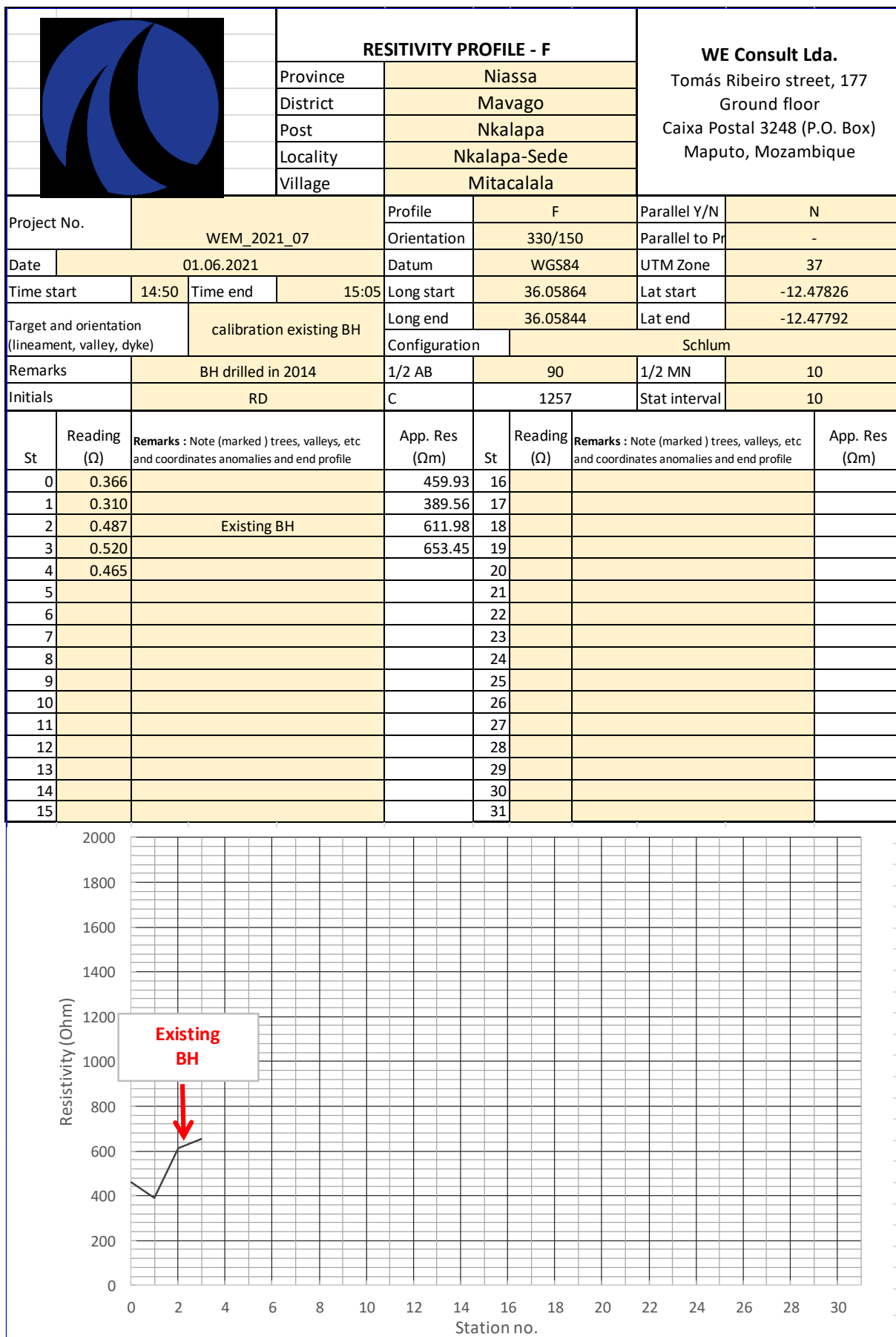


		RESISTIVITY PROFILE - C				WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique		
		Province	Niassa					
		District	Mavago					
		Post	Nkalapa					
		Locality	Nkalapa-Sede					
		Village	Mitacalala					
Project No.		WEM_2021_07		Profile	C		Parallel Y/N	N
				Orientation	250/070		Parallel to Pr	-
Date	01.06.2021			Datum	WGS84		UTM Zone	37
Time start	10:02	Time end	10:10	Long start	36.05986		Lat start	-12.47805
Target and orientation (lineament, valley, dyke)		Anomaly on station "0" of profile A		Long end	36.0595		Lat end	-12.47816
				Configuration	Schlum			
Remarks		Anomaly confirmed at statio 2		1/2 AB	90		1/2 MN	10
Initials		RD		C	1257		Stat interval	10
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile		App. Res (Ω m)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	
0	0.688			864.57	16			
1	0.420			527.79	17			
2	0.385	Station "0" of profile A		483.81	18			
3	1.550			1947.79	19			
4					20			
5					21			
6					22			
7					23			
8					24			
9					25			
10					26			
11					27			
12					28			
13					29			
14					30			
15					31			

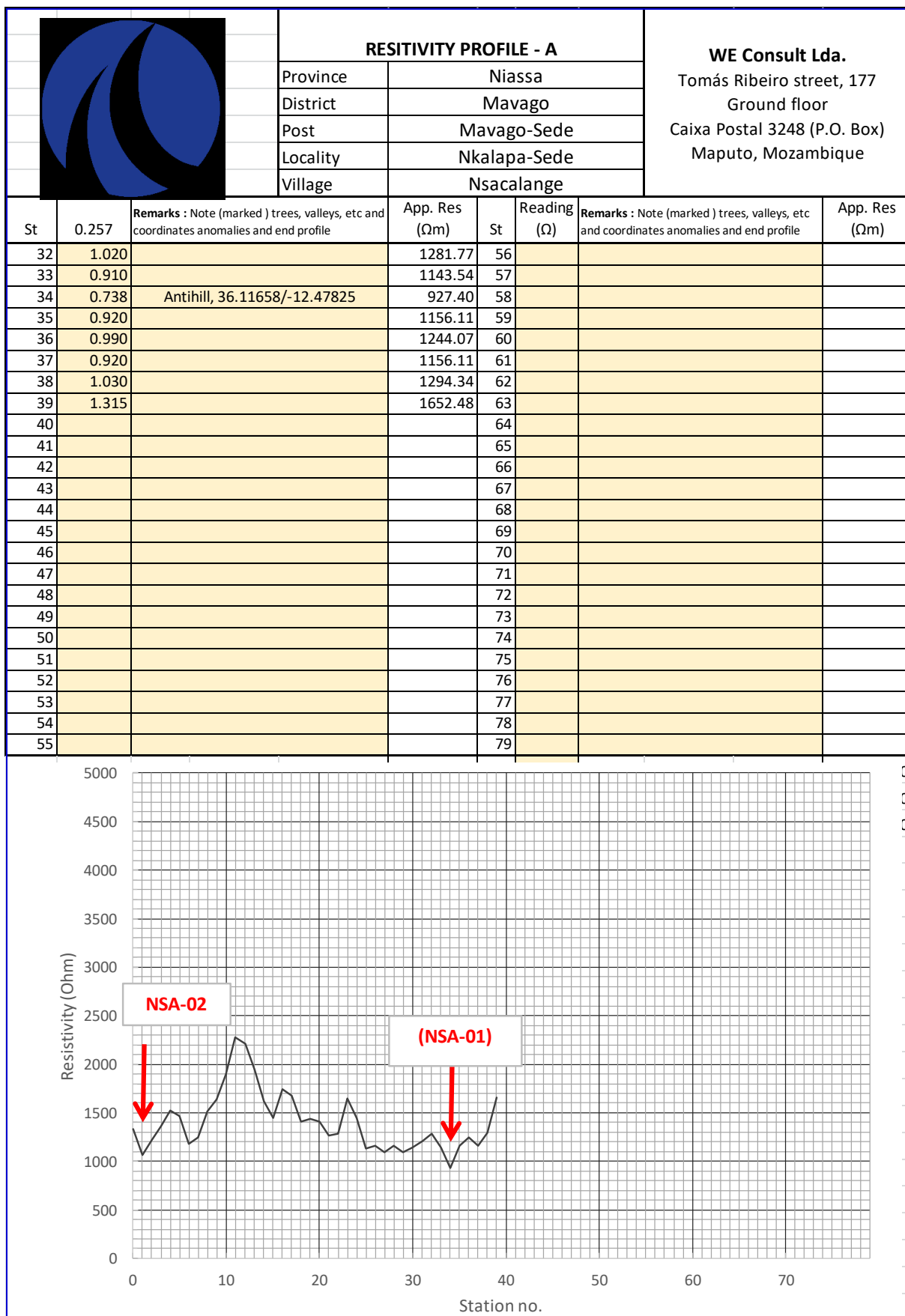


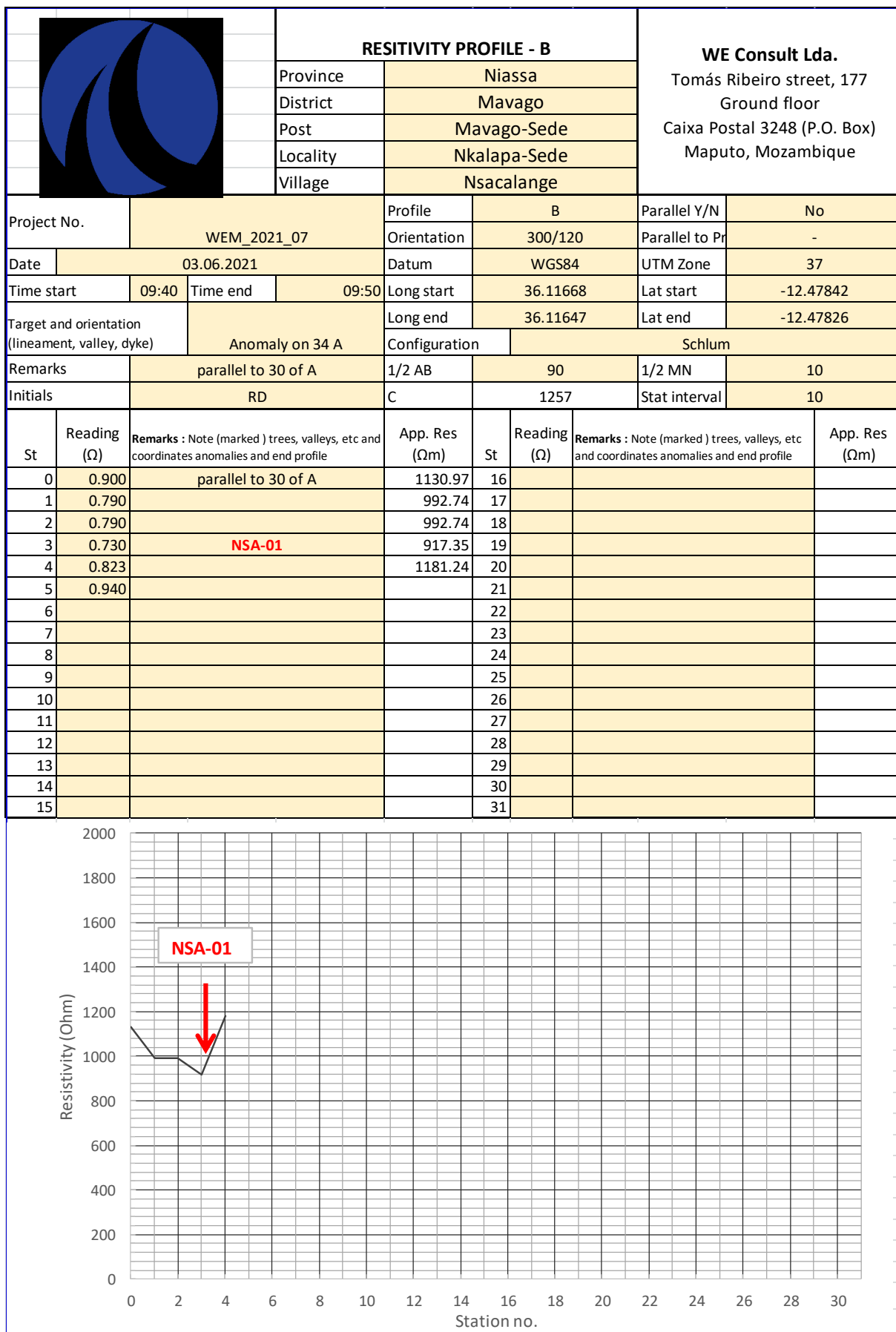


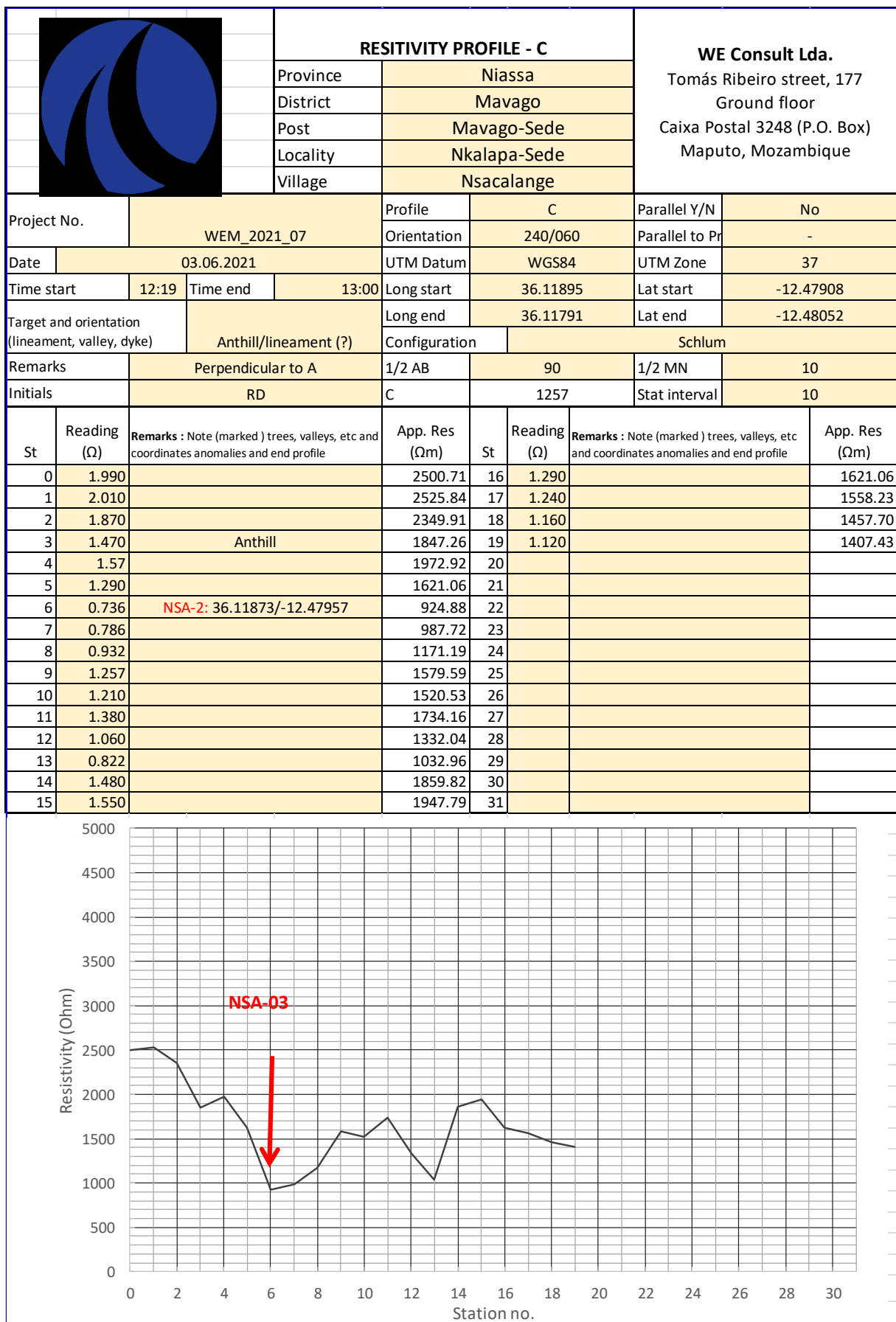


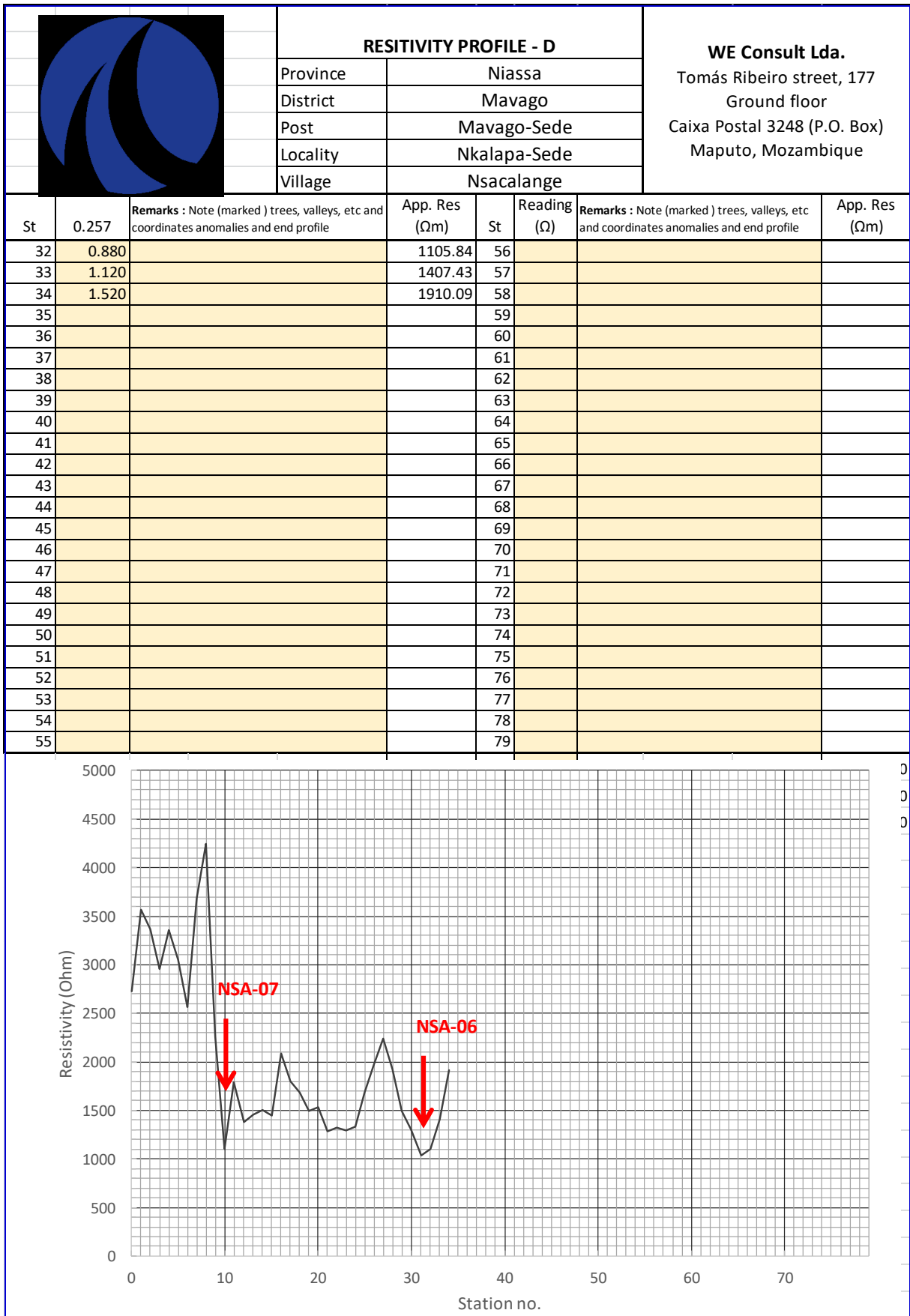


NSACALANGE

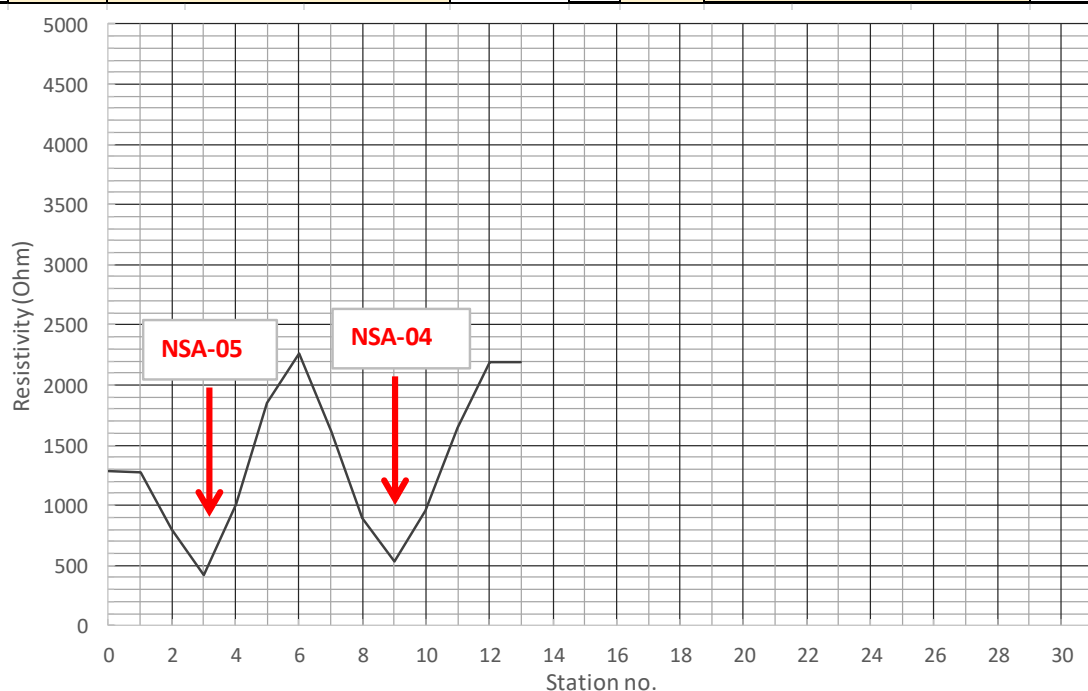




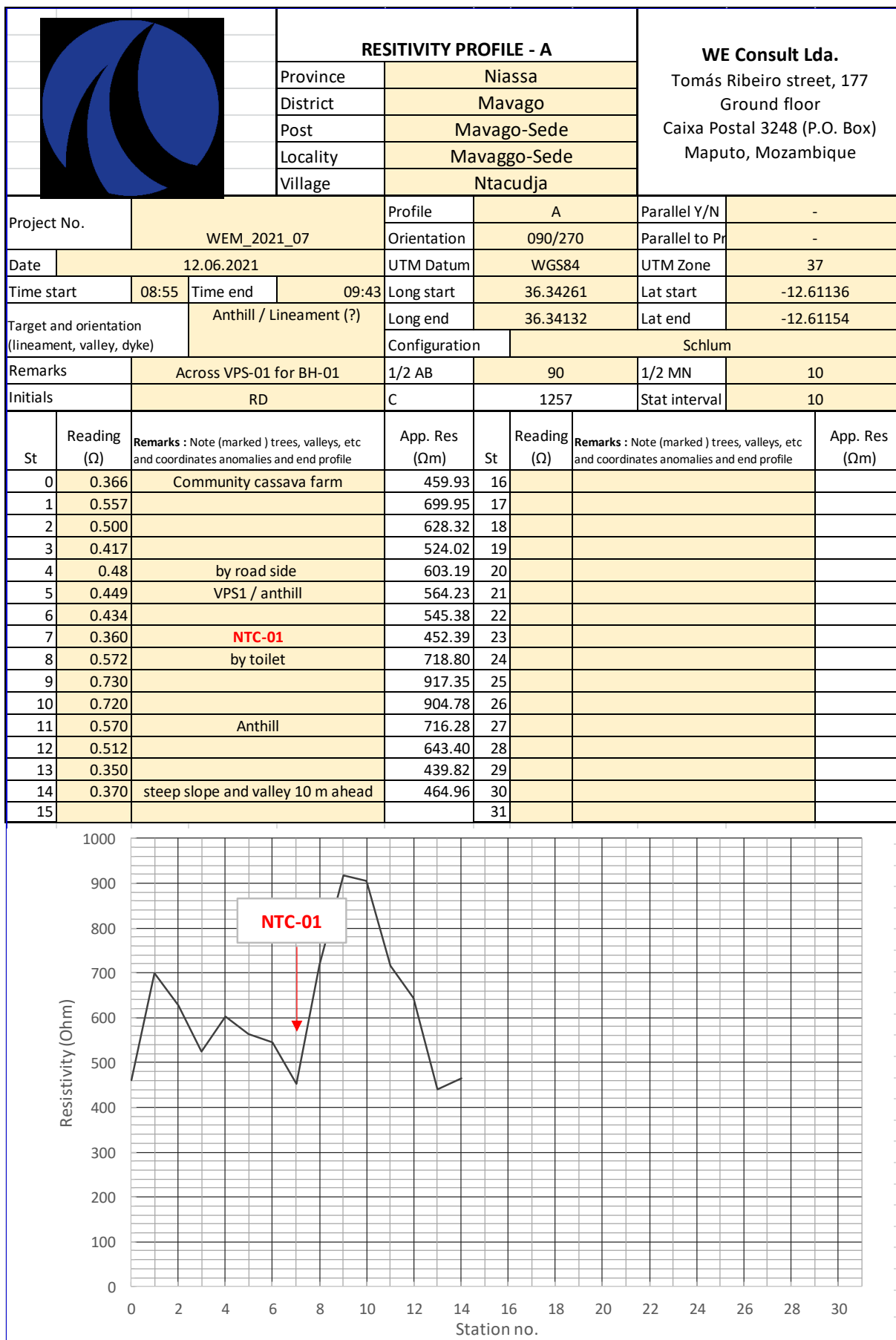




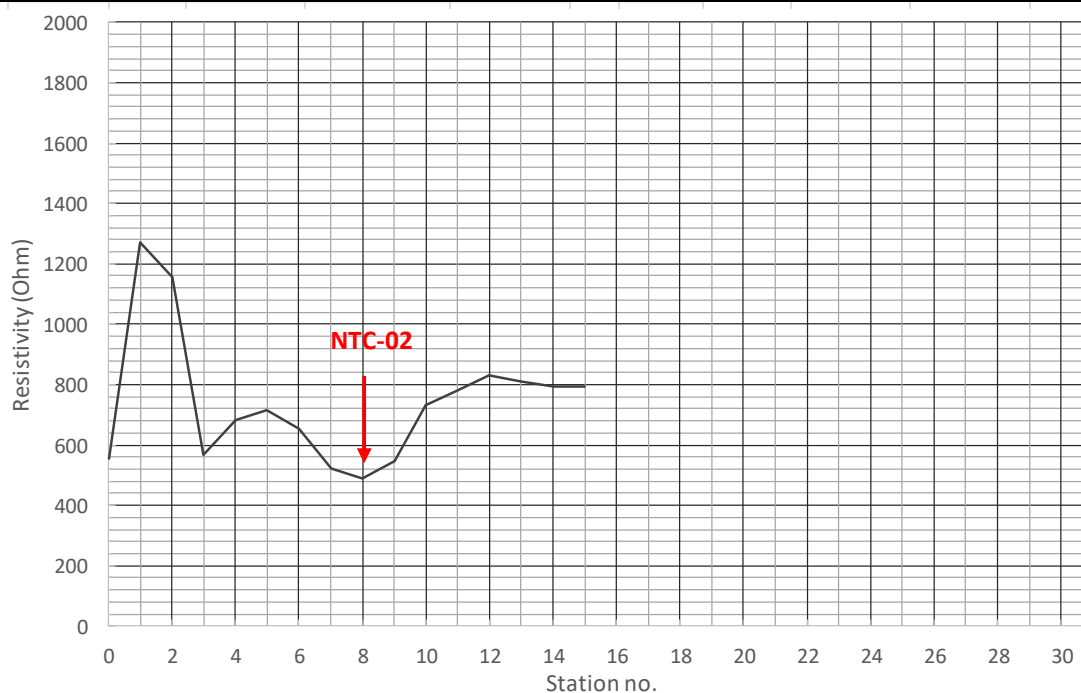
		RESISTIVITY PROFILE - E				WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique				
		Province	Niassa							
		District	Mavago							
		Post	Mavago-Sede							
		Locality	Nkalapa-Sede							
		Village	Nsacalange							
Project No.		WEM_2021_07			Profile	E		Parallel Y/N	No	
					Orientation	110/290		Parallel to Pr	-	
Date	03.06.2021				Datum	WGS84		UTM Zone	37	
Time start	15:22	Time end	15:43		Long start	36.10903		Lat start	-12.48891	
				Long end	36.1102		Lat end	-12.48924		
Target and orientation (lineament, valley, dyke)		Relatively constant resistivity section on profile D			Configuration		Schlum			
Remarks		Significant anomaly before and after crossing profile D			1/2 AB	90		1/2 MN	10	
Initials		RD			C	1257		Stat interval	10	
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile			App. Res (Ωm)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile		
0	1.024	slope up			1286.80	16				
1	1.017				1278.00	17				
2	0.634				796.71	18				
3	0.330				414.69	19				
4	0.8				1005.31	20				
5	1.470	starting road			1847.26	21				
6	1.800	road			2261.95	22				
7	1.280	cross 22/23 of D			1608.50	23				
8	0.710				892.21	24				
9	0.420				527.79	25				
10	0.760	Anthill			955.04	26				
11	1.310				1646.19	27				
12	1.740				2186.55	28				
13	1.740				2186.55	29				
14						30				
15						31				

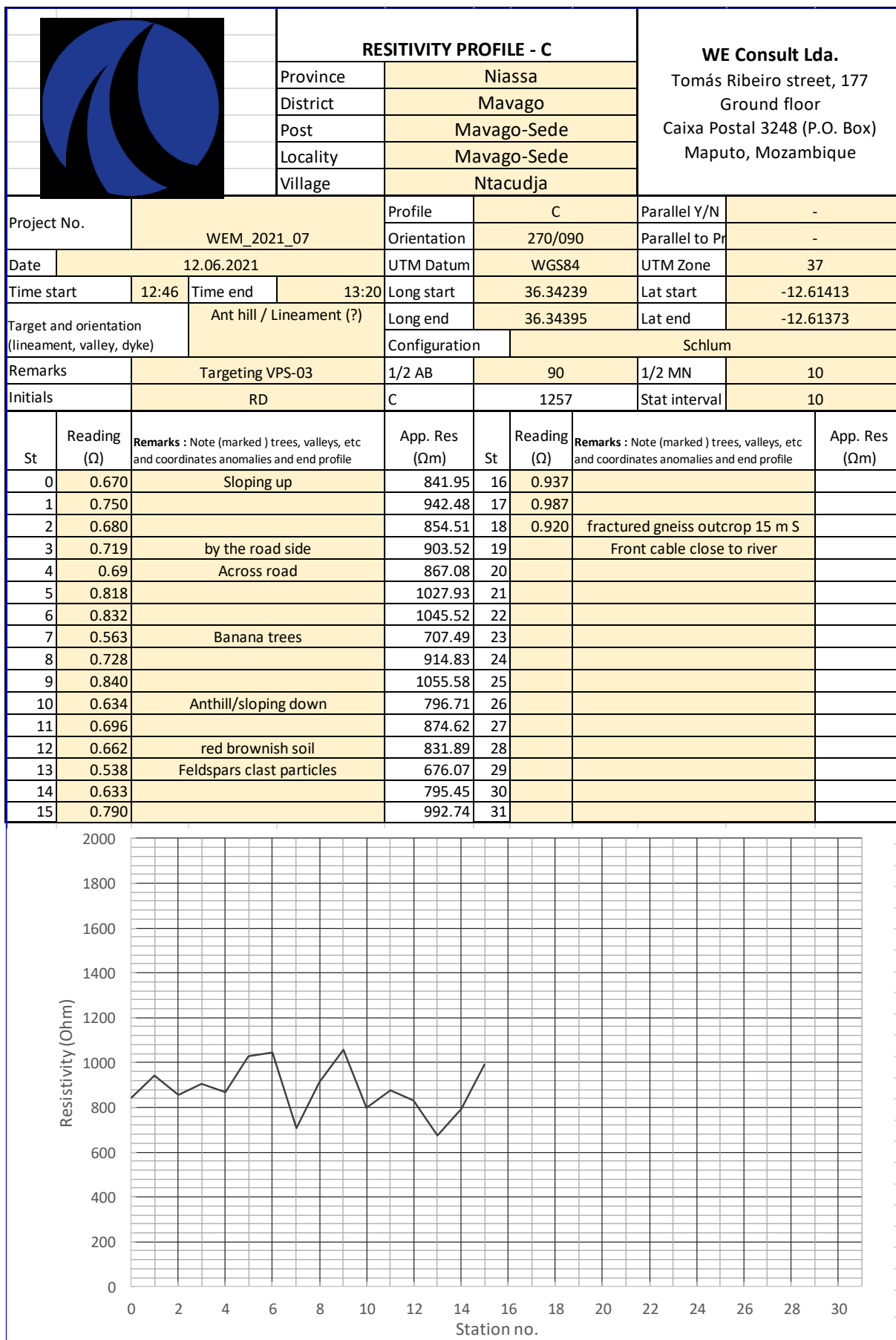


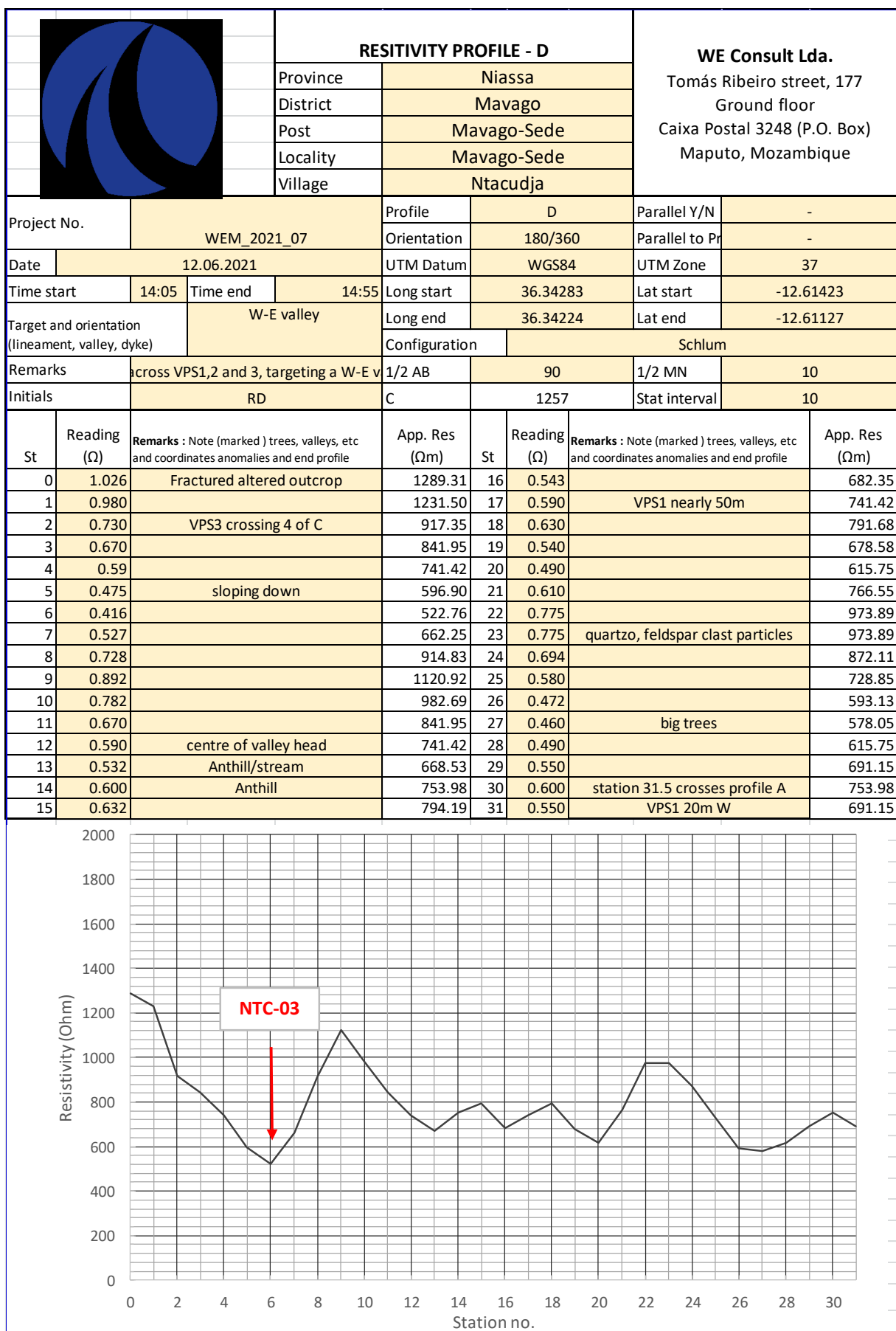
NTACUDJA

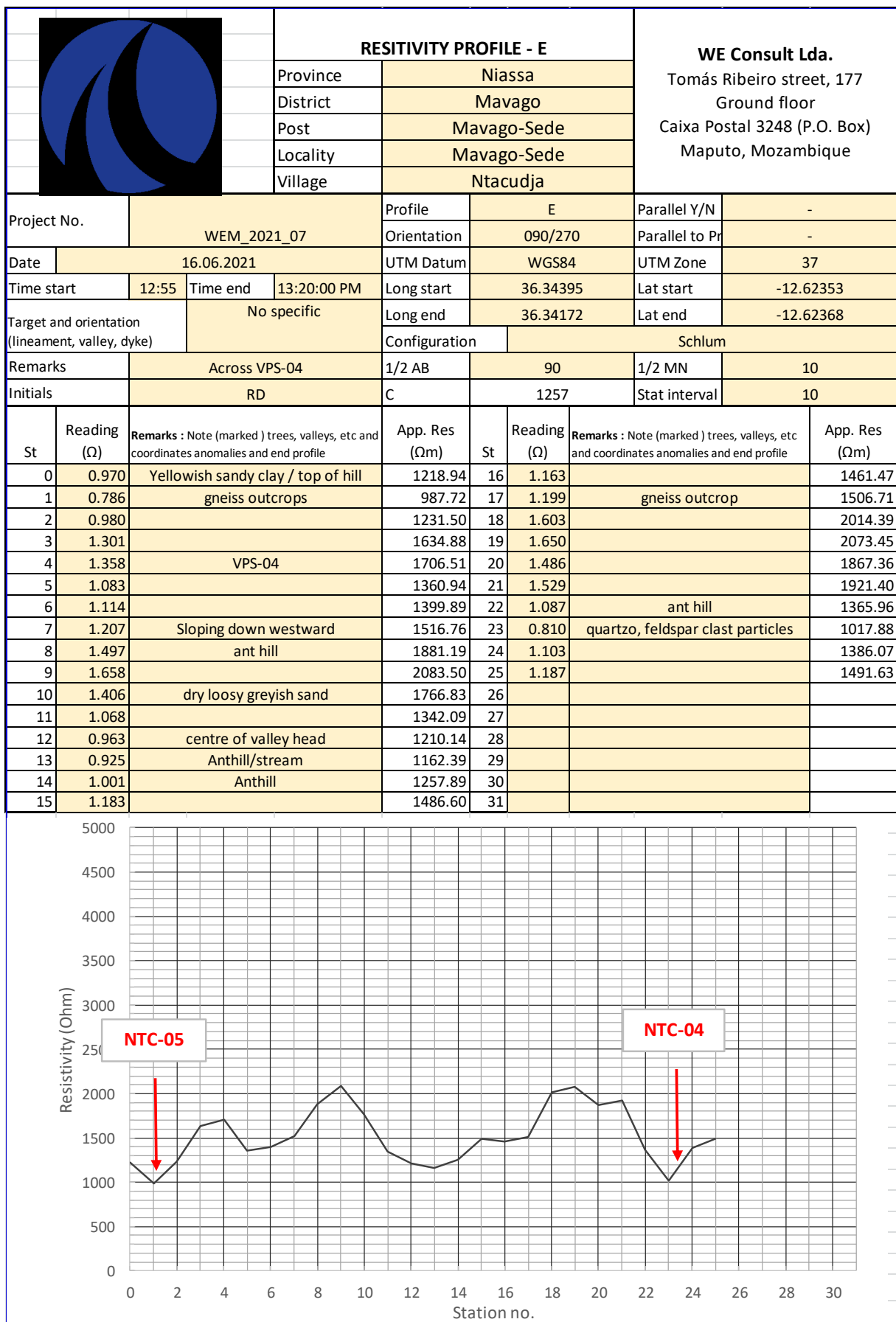


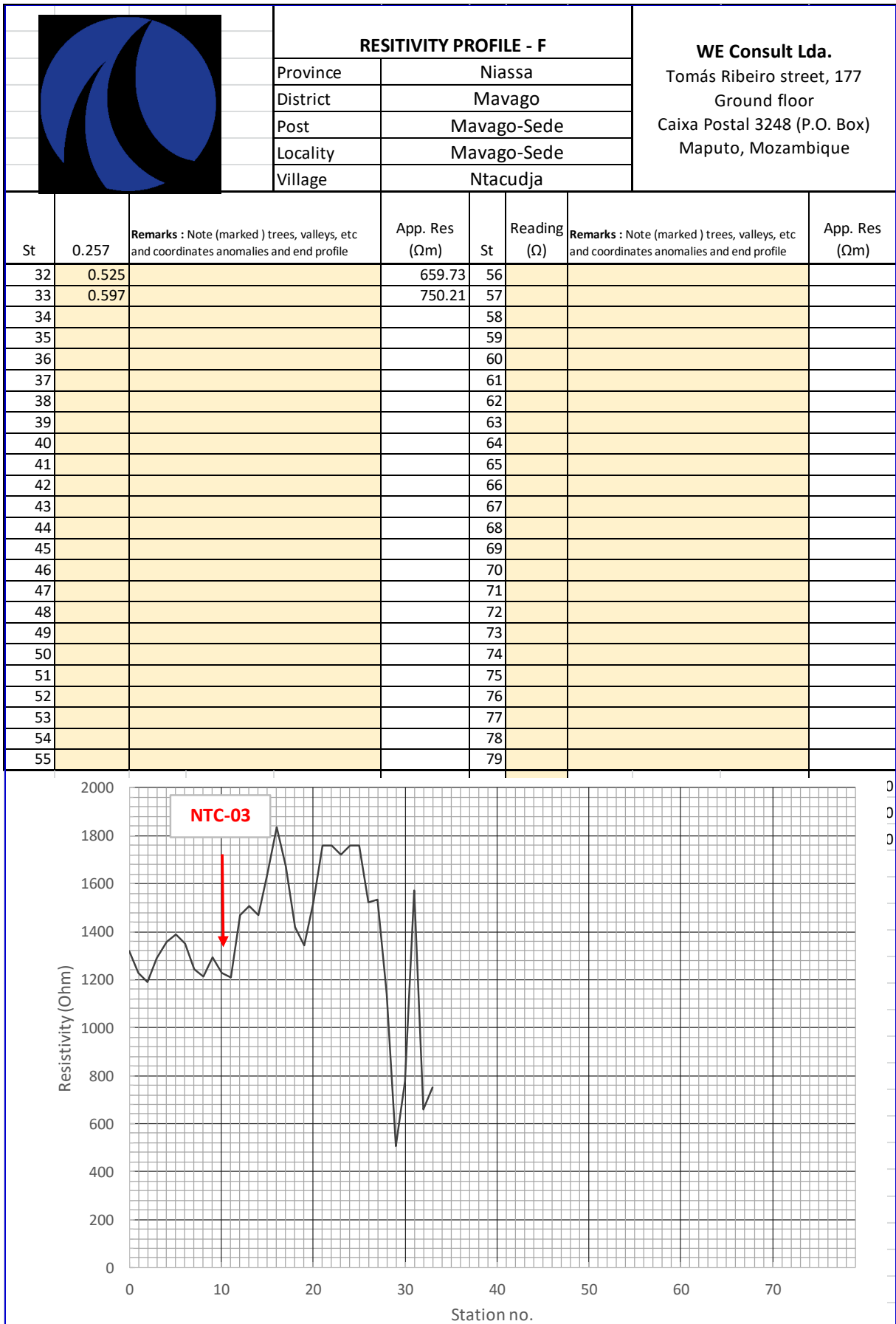
		RESISTIVITY PROFILE - B				WE Consult Lda. Tomás Ribeiro street, 177 Ground floor Caixa Postal 3248 (P.O. Box) Maputo, Mozambique		
		Province	Niassa					
		District	Mavago					
		Post	Mavago-Sede					
		Locality	Mavago-Sede					
		Village	Ntacadja					
Project No.		WEM_2021_07		Profile	B		Parallel Y/N	-
				Orientation	080/260		Parallel to Pr	-
Date	12.06.2021			UTM Datum	WGS84		UTM Zone	37
Time start	11:30	Time end	12:00	Long start	36.34298		Lat start	-12.61259
Target and orientation (lineament, valley, dyke)		Anthill / VPS2		Long end	36.34126		Lat end	-12.61283
				Configuration	Schlum			
Remarks		Across VPS-02		1/2 AB	90		1/2 MN	10
Initials		RD		C	1257		Stat interval	10
St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	App. Res (Ωm)	St	Reading (Ω)	Remarks : Note (marked) trees, valleys, etc and coordinates anomalies and end profile	App. Res (Ωm)	
0	0.440	slope up, yellow sandy clay	552.92	16	0.479			
1	1.010		1269.20	17	0.646			
2	0.919		1154.85	18	0.908			
3	0.450		565.49	19				
4	0.543	road	682.35	20				
5	0.570		716.28	21				
6	0.520		653.45	22				
7	0.415		521.50	23				
8	0.390	big tree (dry)	490.09	24				
9	0.434	Anthill / VPS-2	545.38	25				
10	0.583		732.62	26				
11	0.623		782.88	27				
12	0.660		829.38	28				
13	0.644		809.27	29				
14	0.630		791.68	30				
15	0.633		795.45	31				

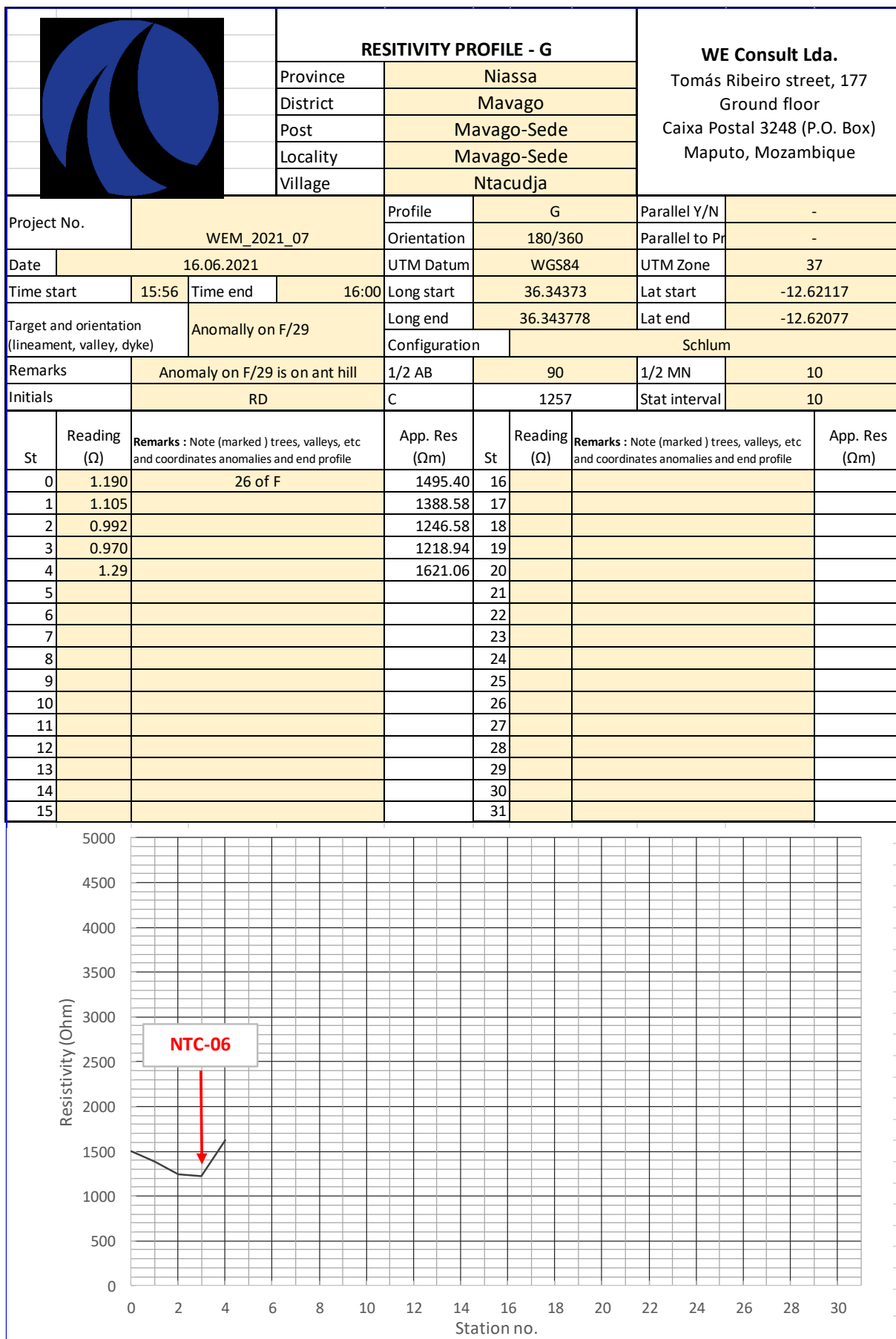


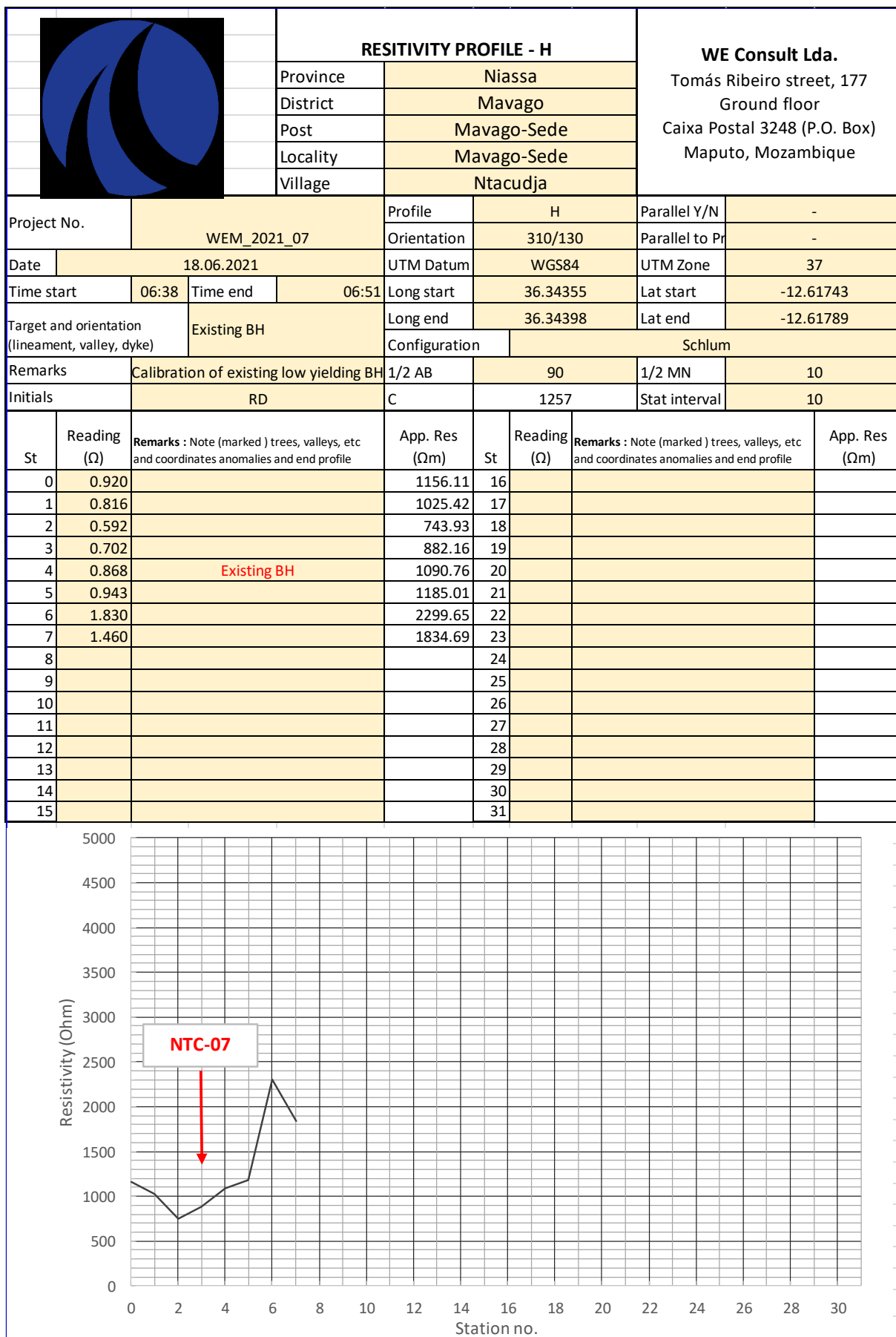




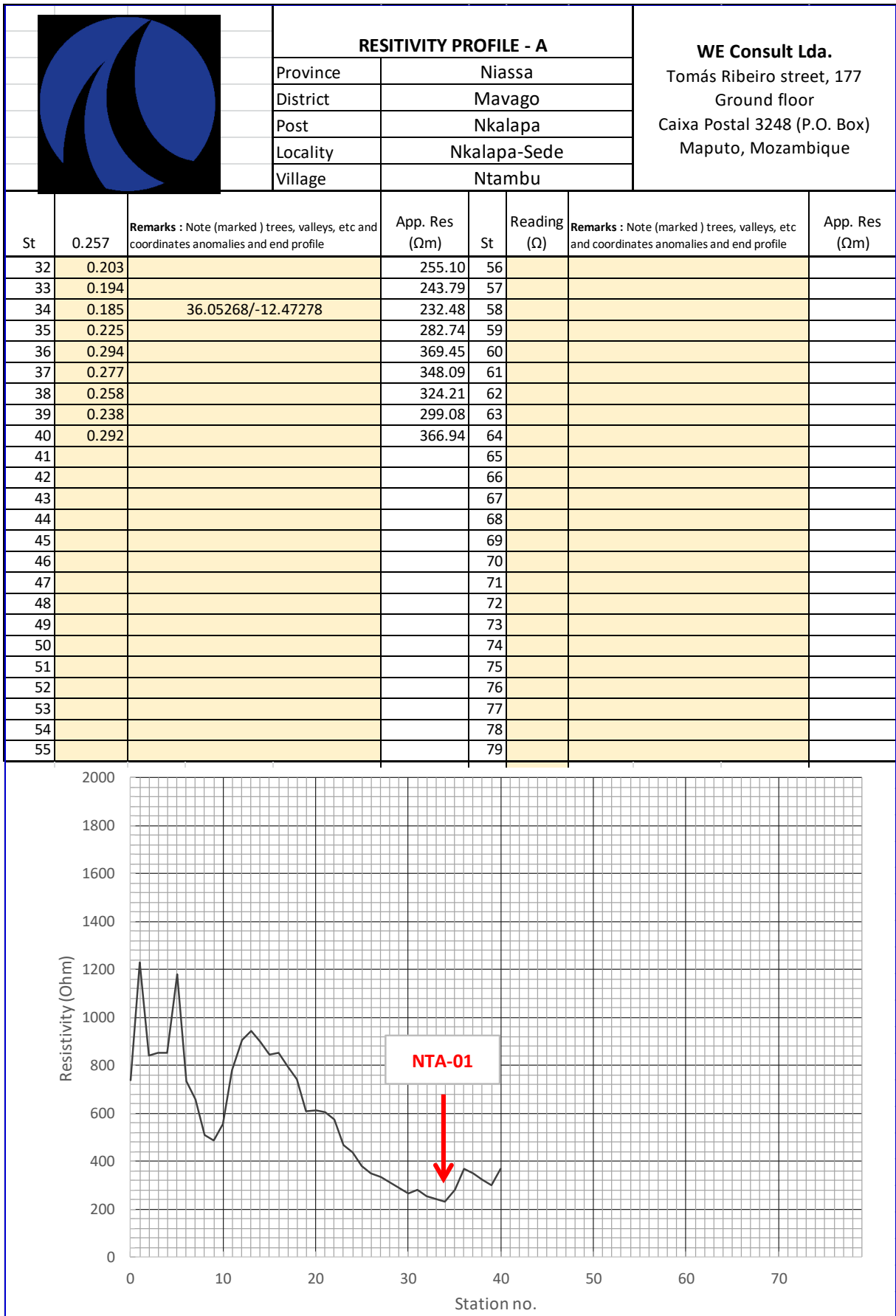


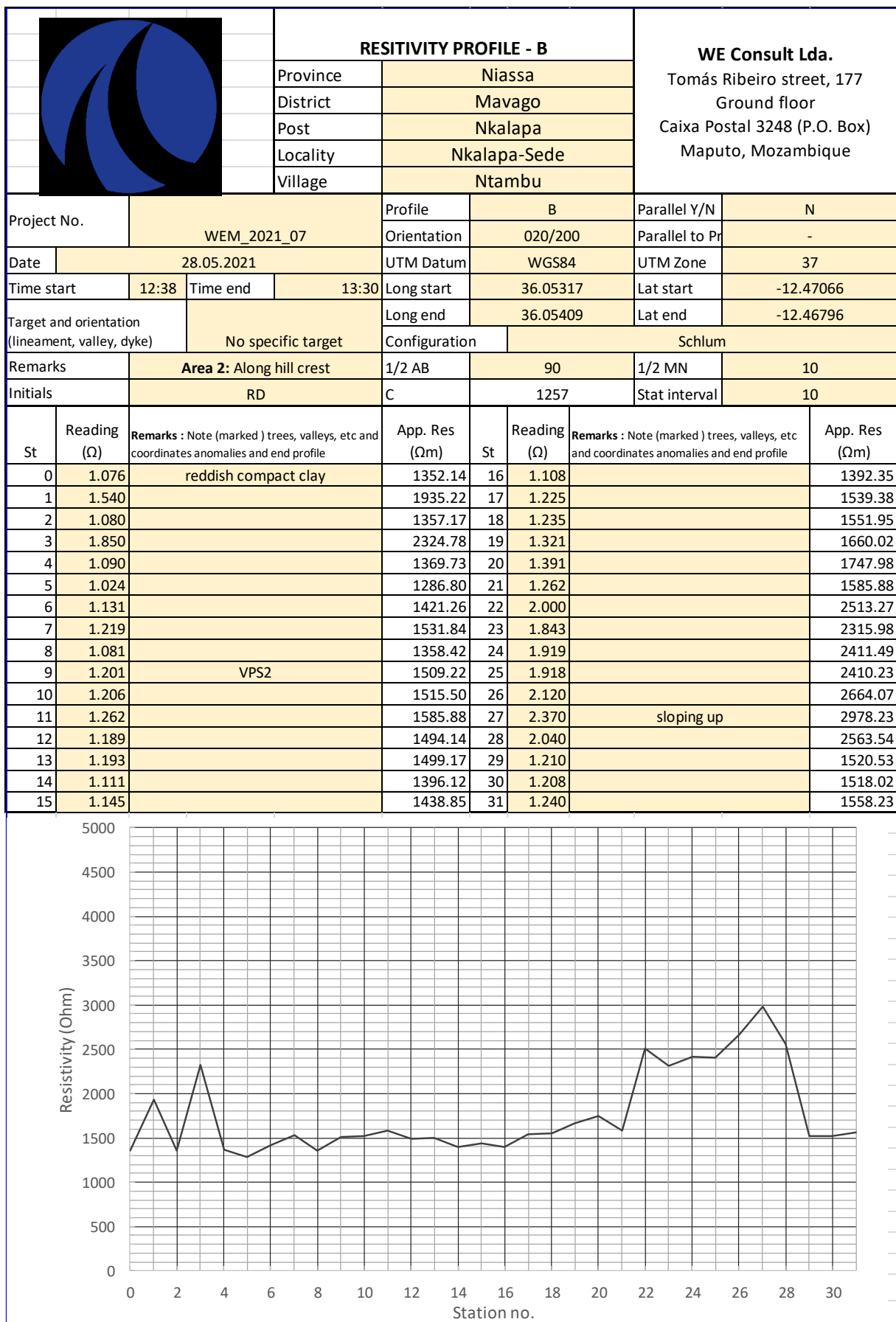


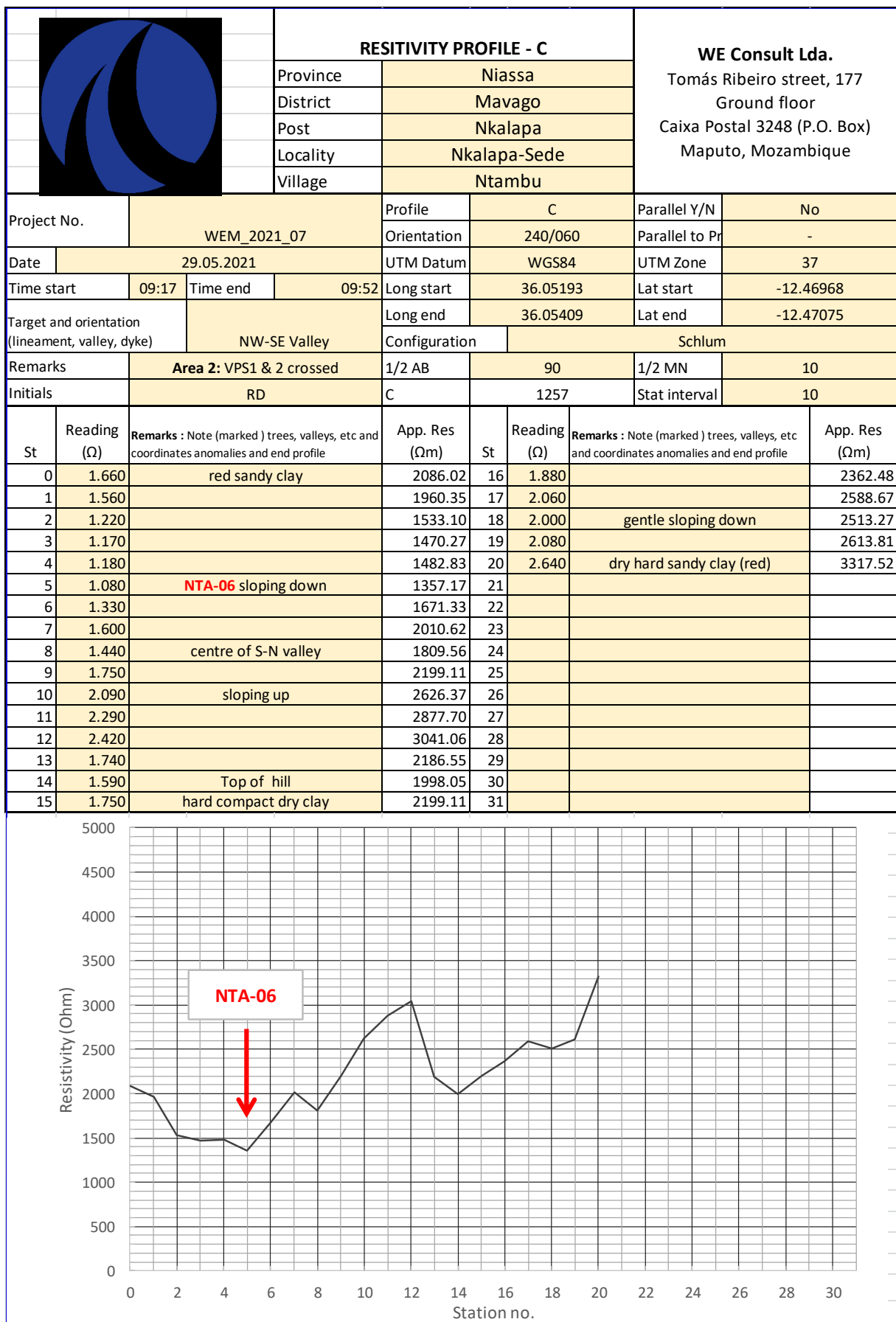


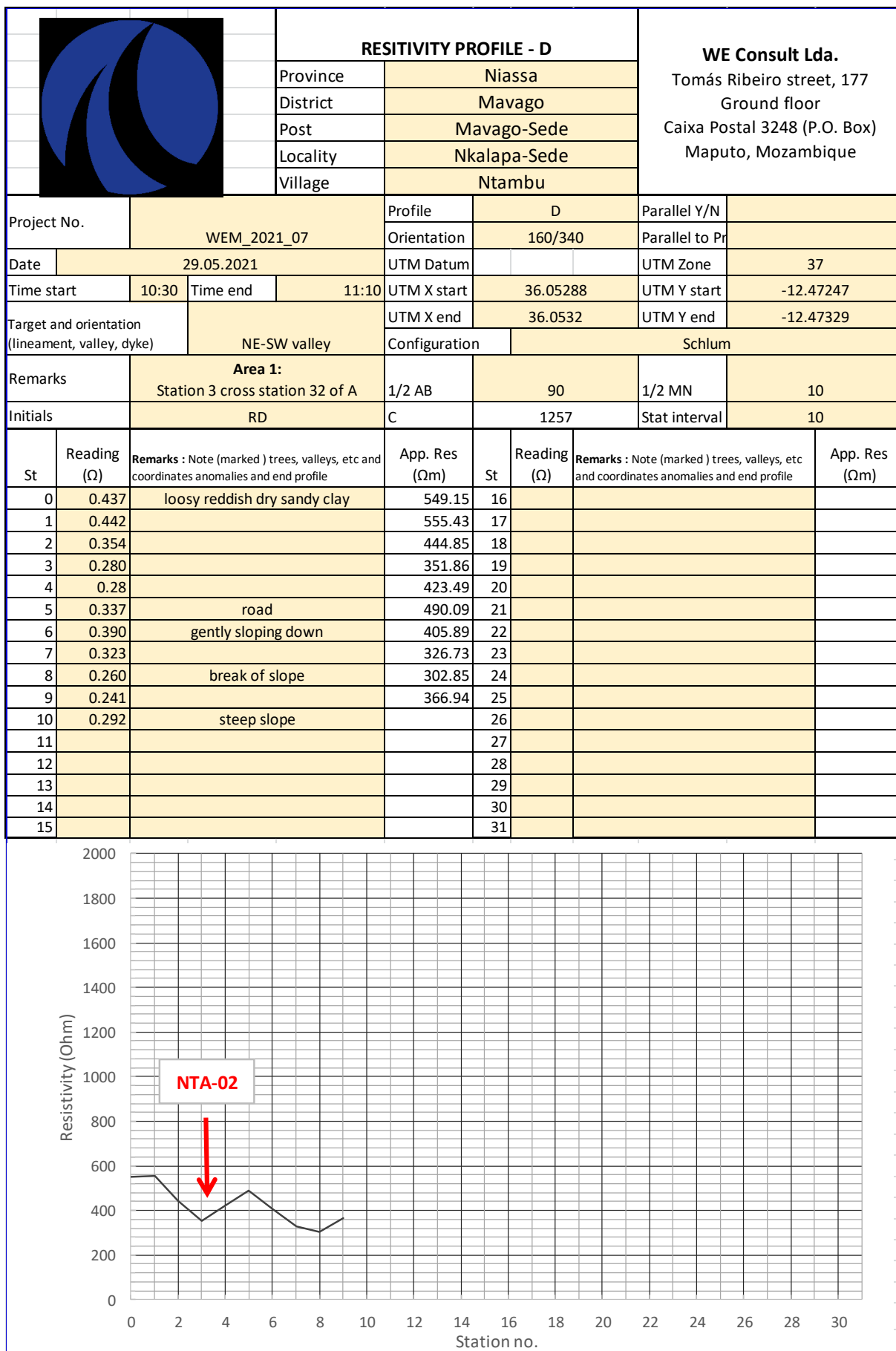


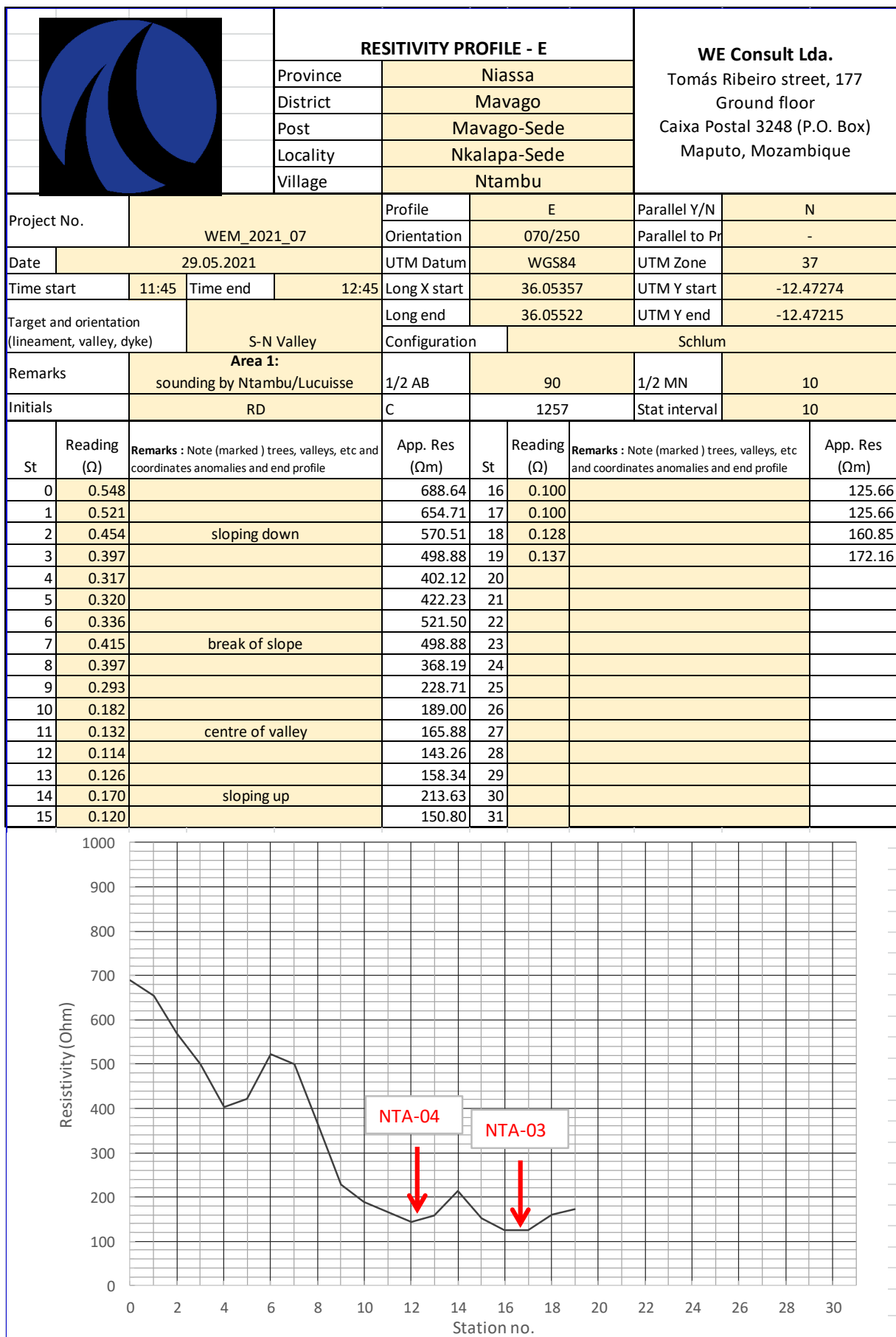
NTAMBU

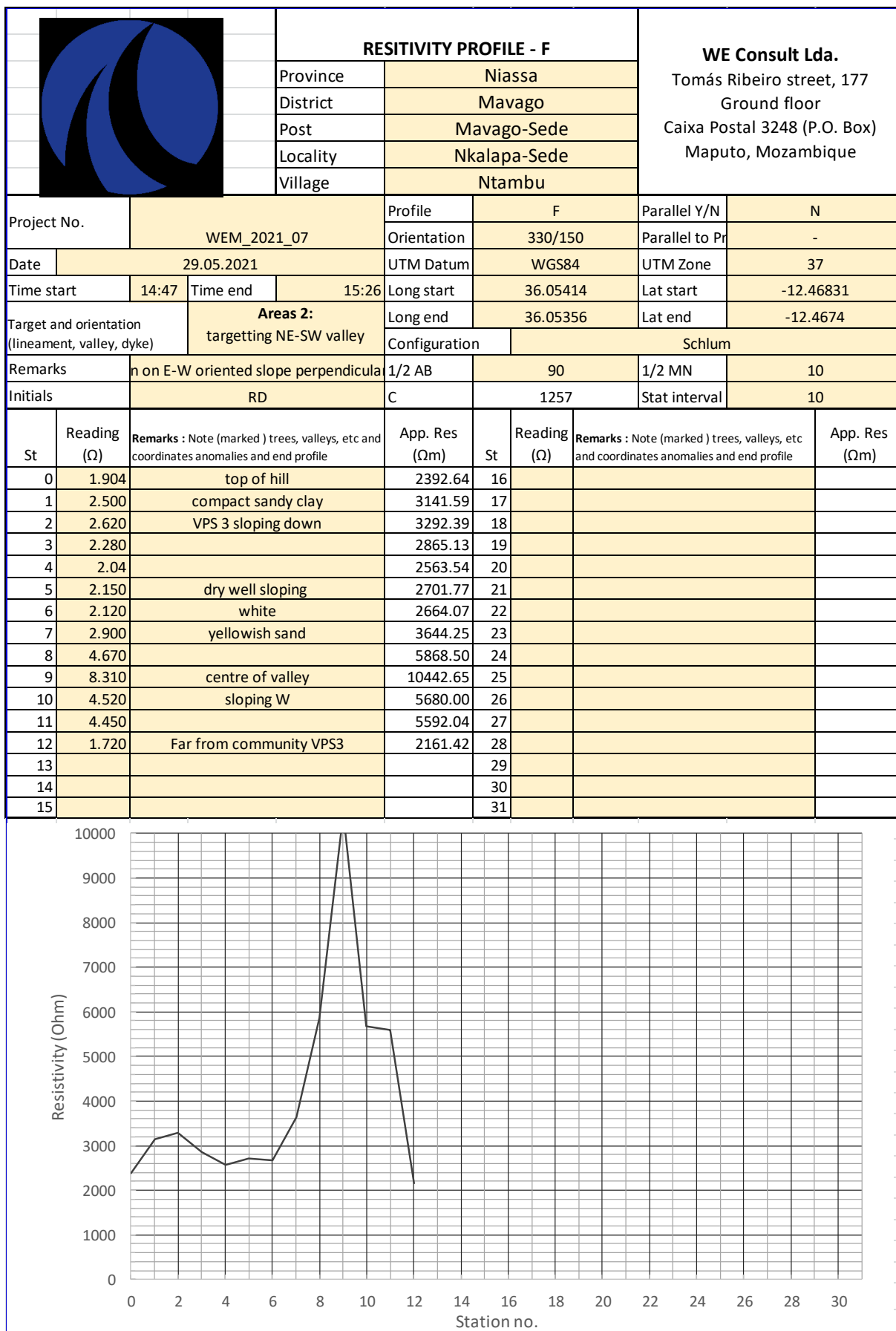


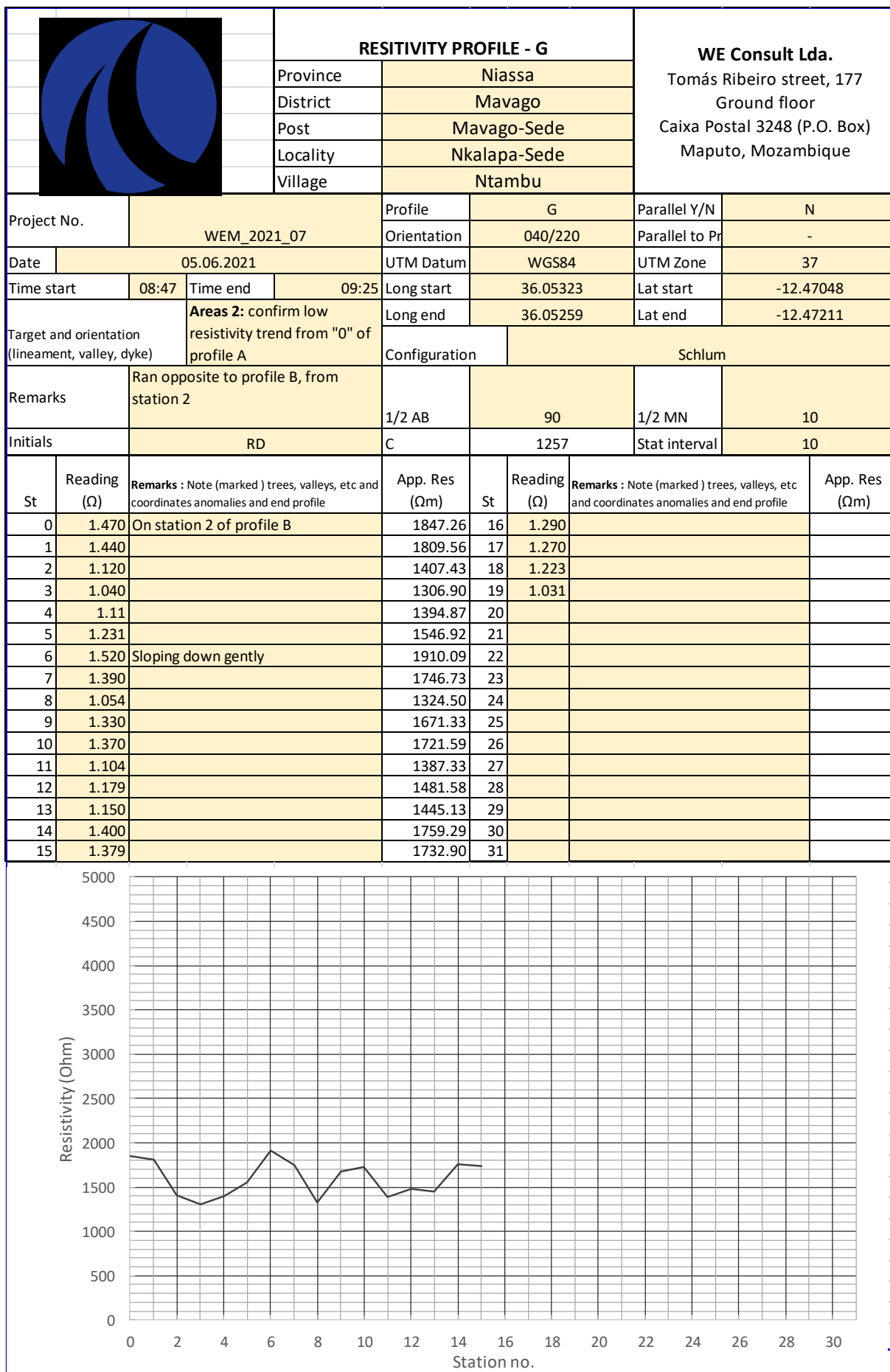


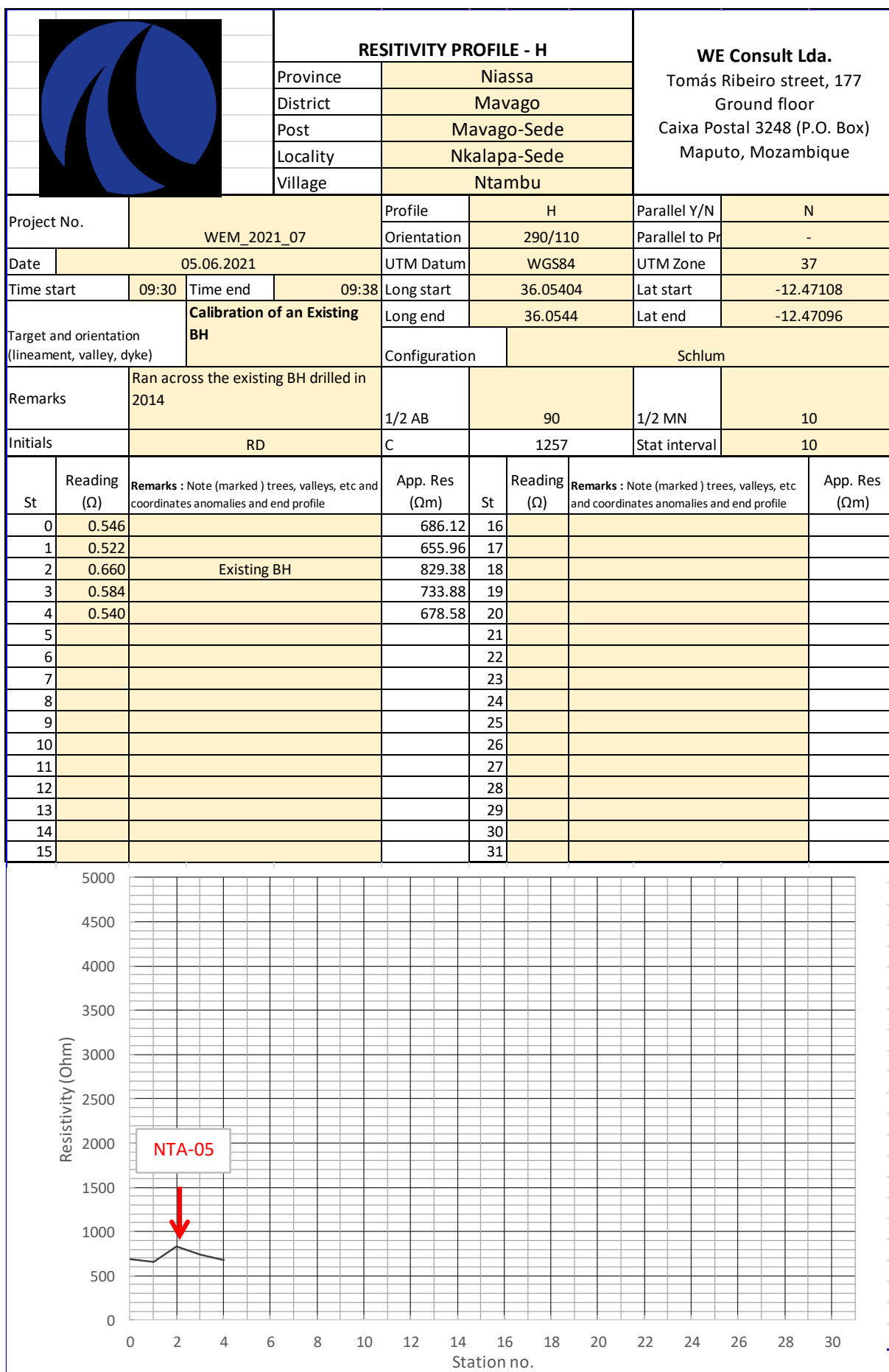


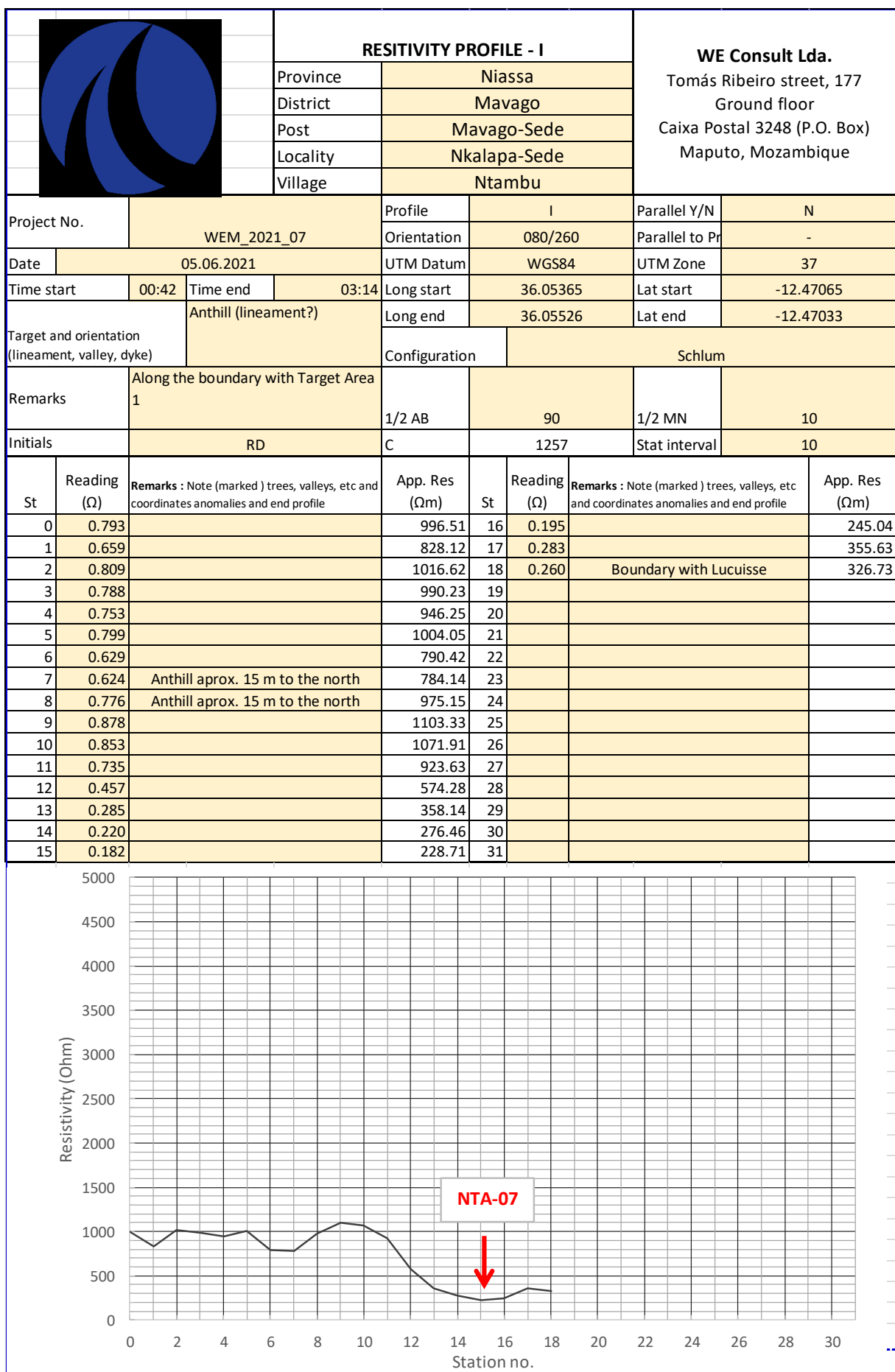






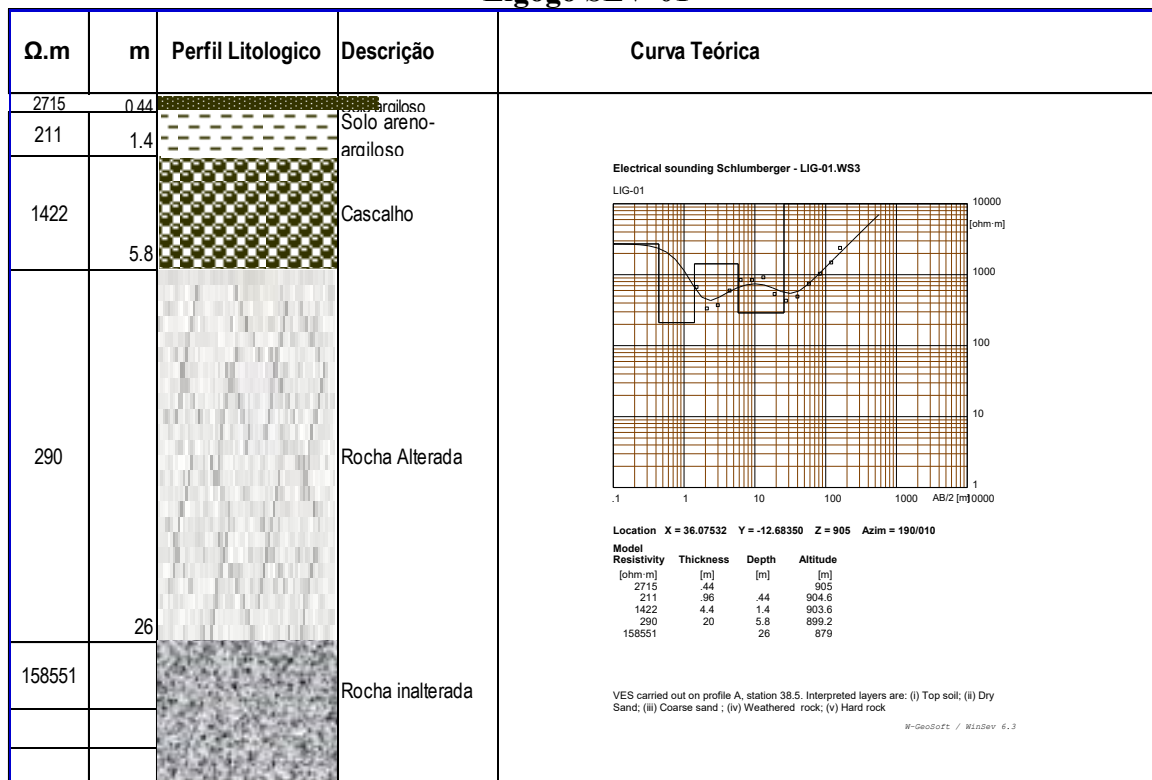




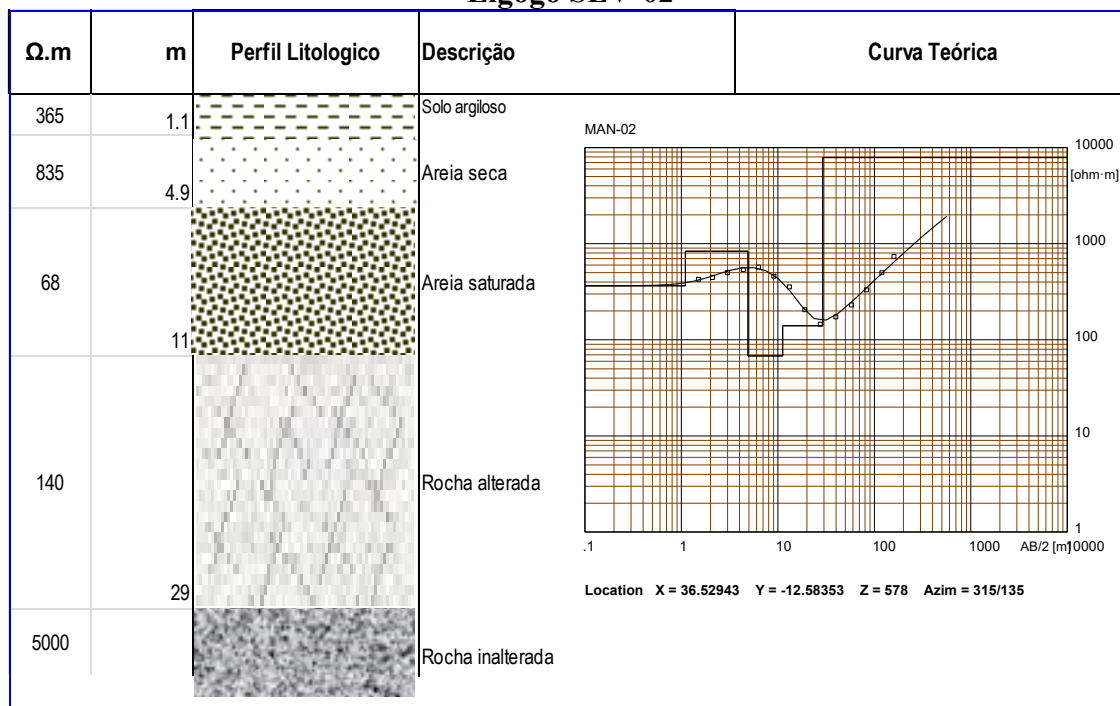


MODELOS GEOELECTRICO-GEOLÓGICOS

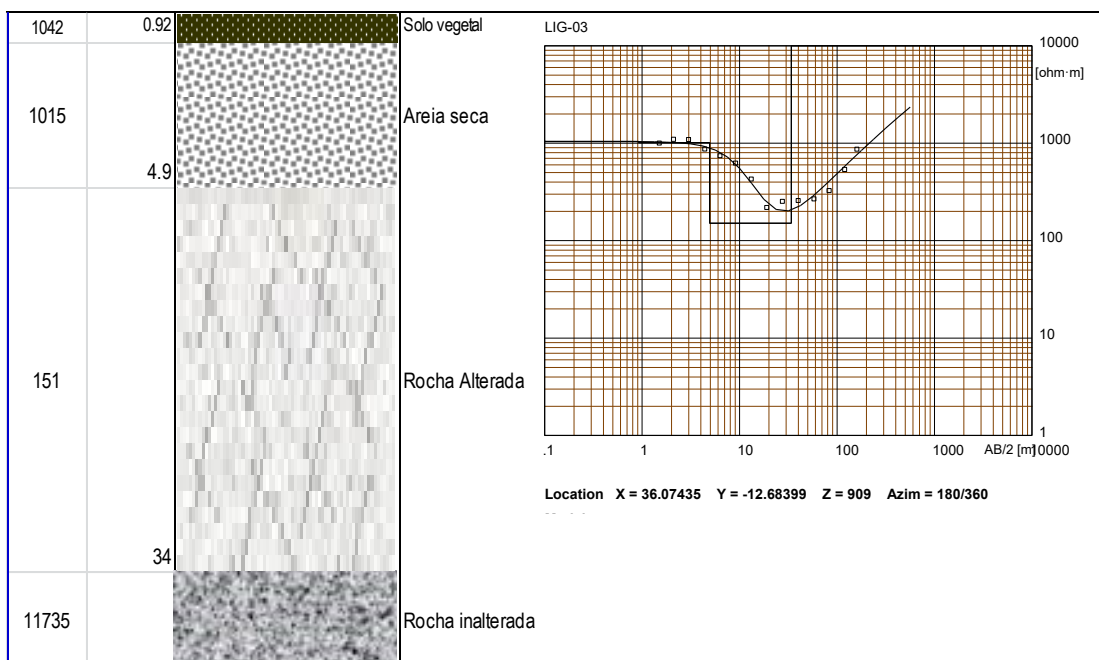
Ligogo SEV-01



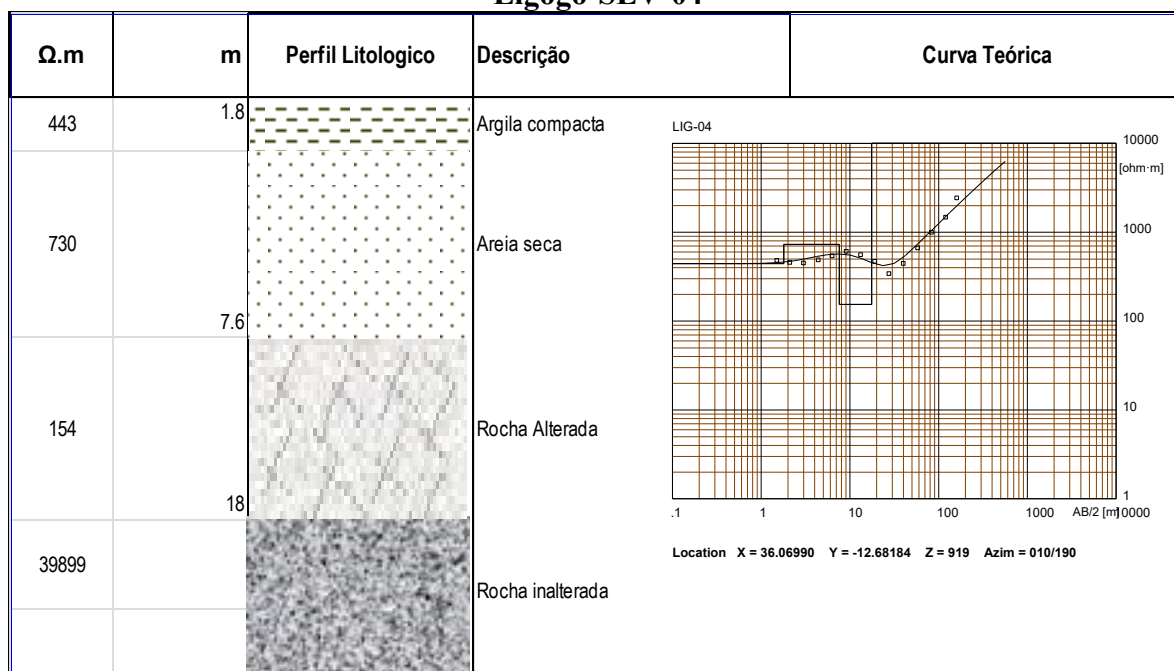
Ligogo SEV-02



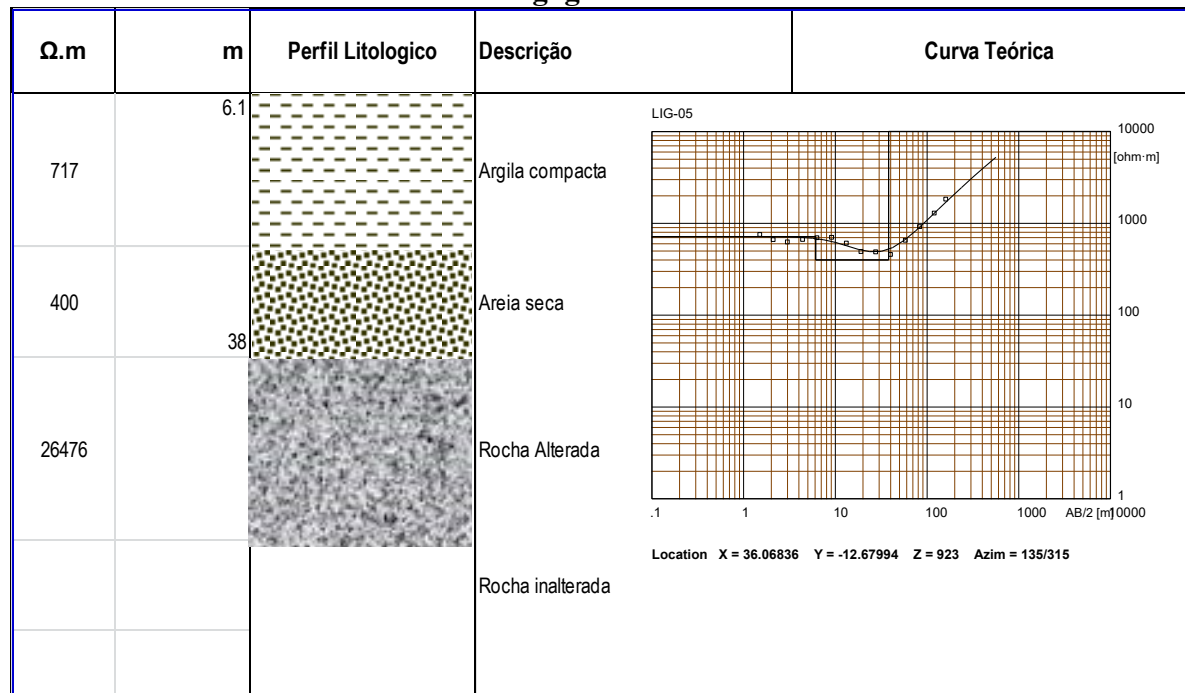
Ligogo SEV-03



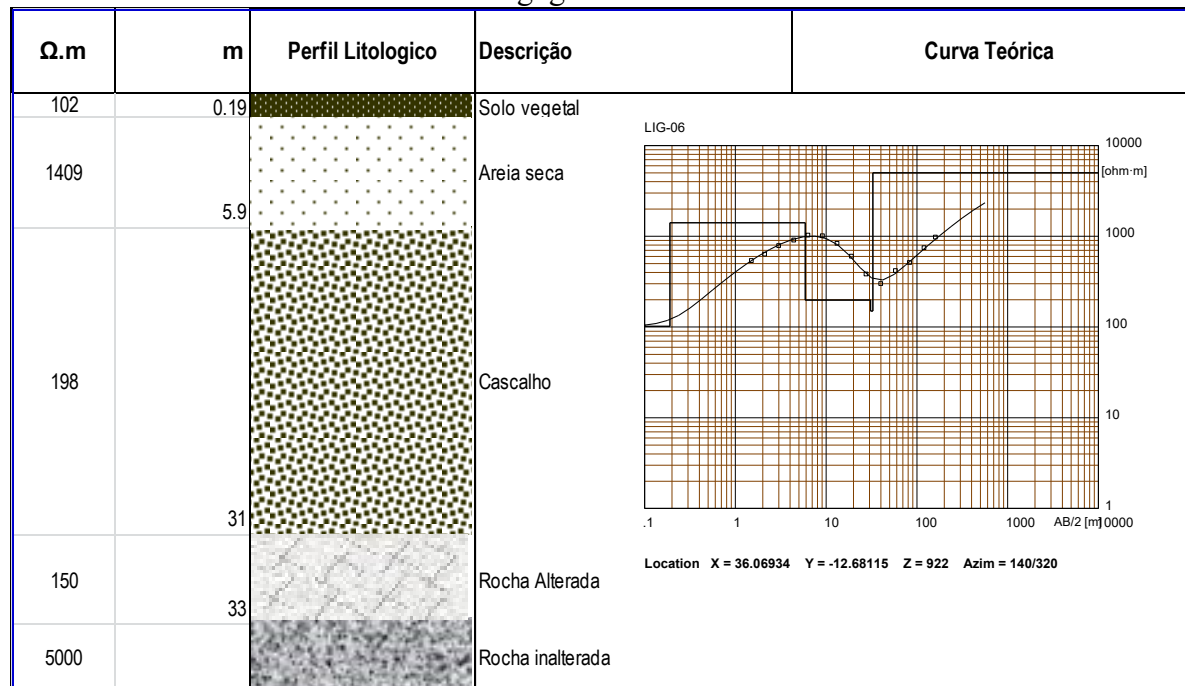
Ligogo-SEV-04



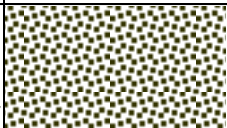
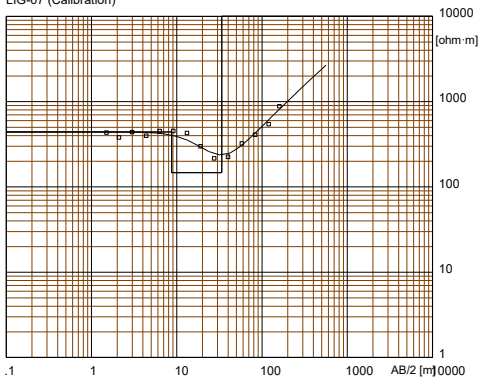
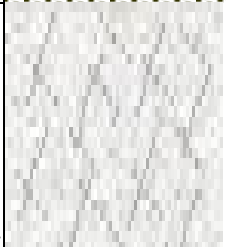
Ligogo SEV05



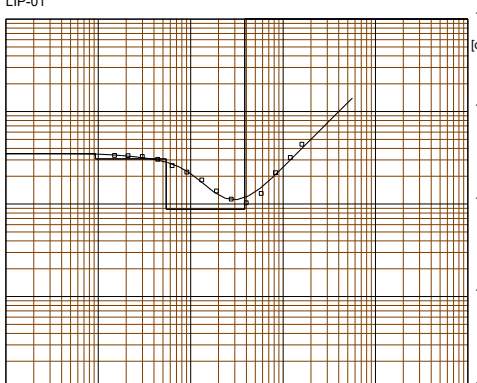
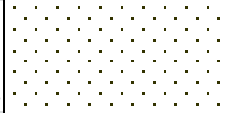
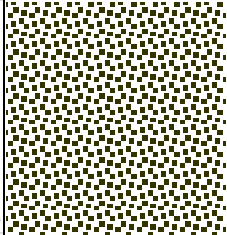
Ligogo SEVE-06



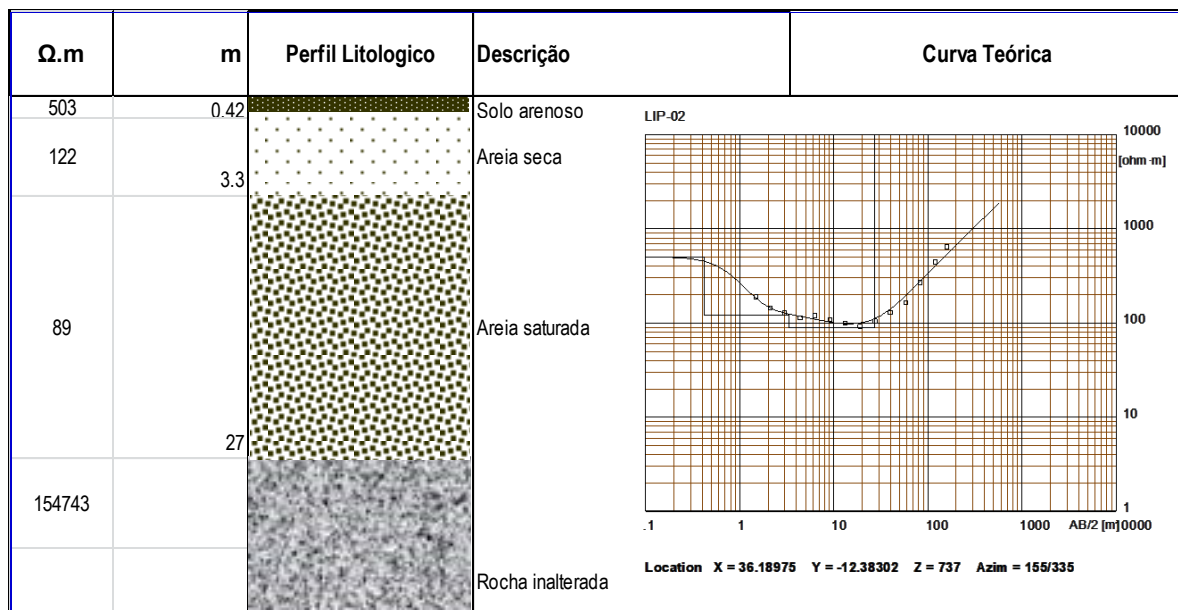
Ligogo SEV-07 (Calibração)

$\Omega.m$	m	Perfil Litológico	Descrição	Curva Teórica
441	8.7		Areia seca	LIG-07 (Calibration)  Location X = 36.07055 Y = -12.68163 Z = 918 Azim = 220/040
147	34		Rocha Alterada	
25794			Rocha inalterada	

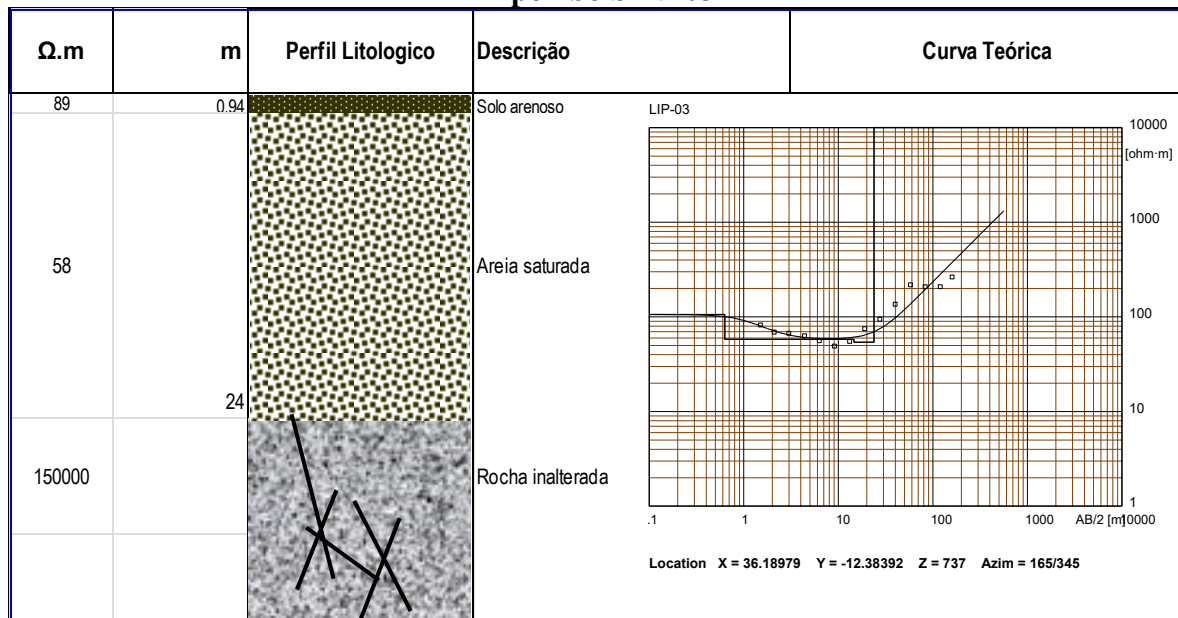
Lipembo SEV-01

$\Omega.m$	m	Perfil Litológico	Descrição	Curva Teórica
351	0.93		Solo arenoso	LIP-01  Location X = 36.018983 Y = -12.38181 Z = 735 Azim = 155/335
308	5.4		Areia seca	
88	38		Areia saturada	
102798			Rocha inalterada	

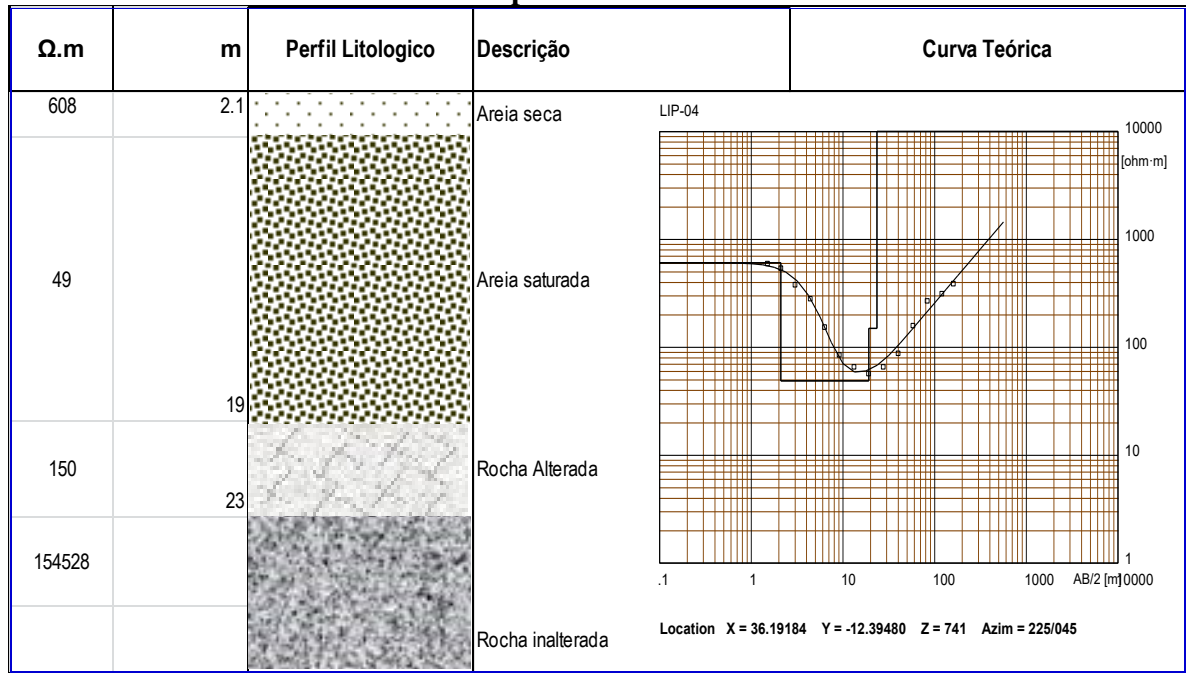
Lipembo SEV-02



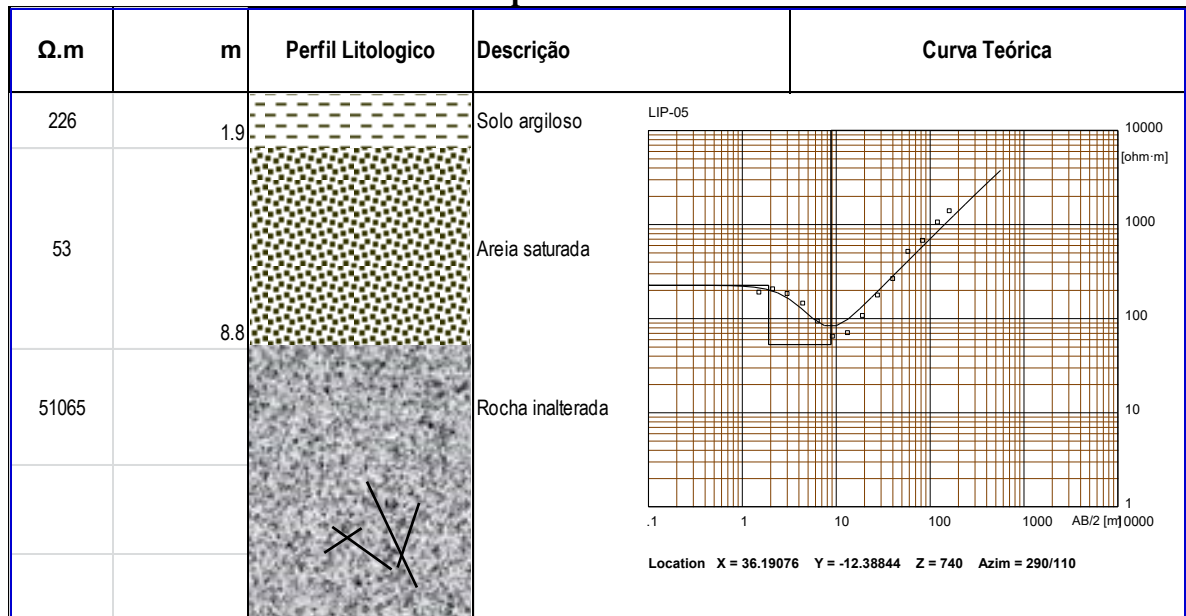
Lipembo SEV-03



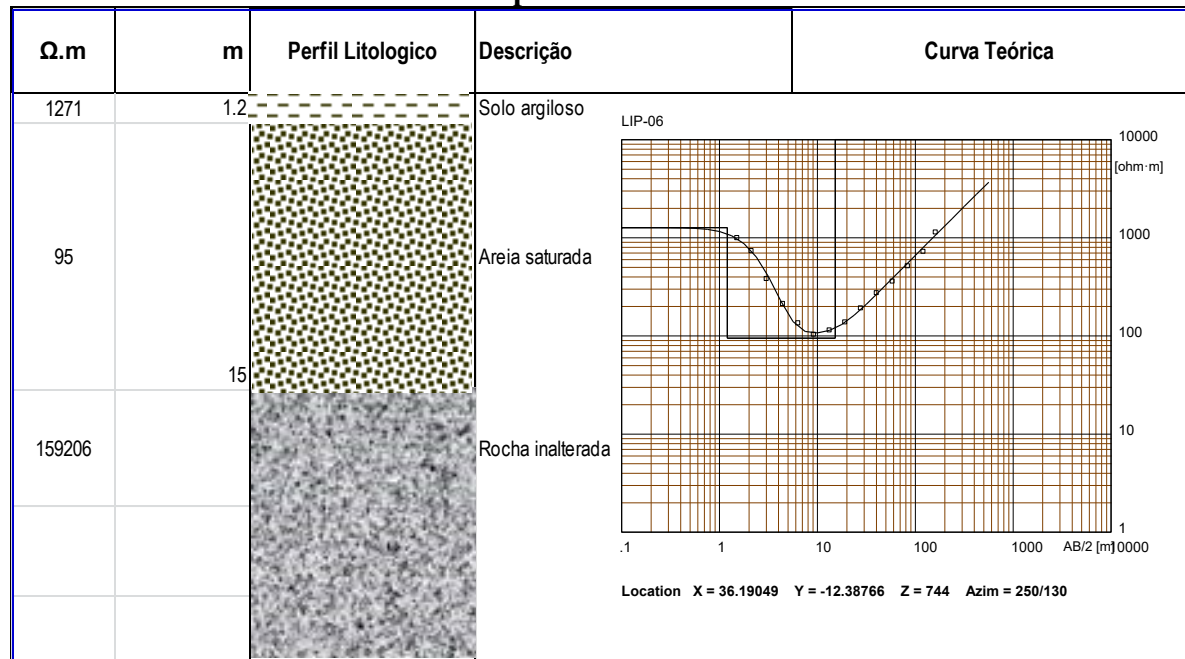
Lipembo SEV-04



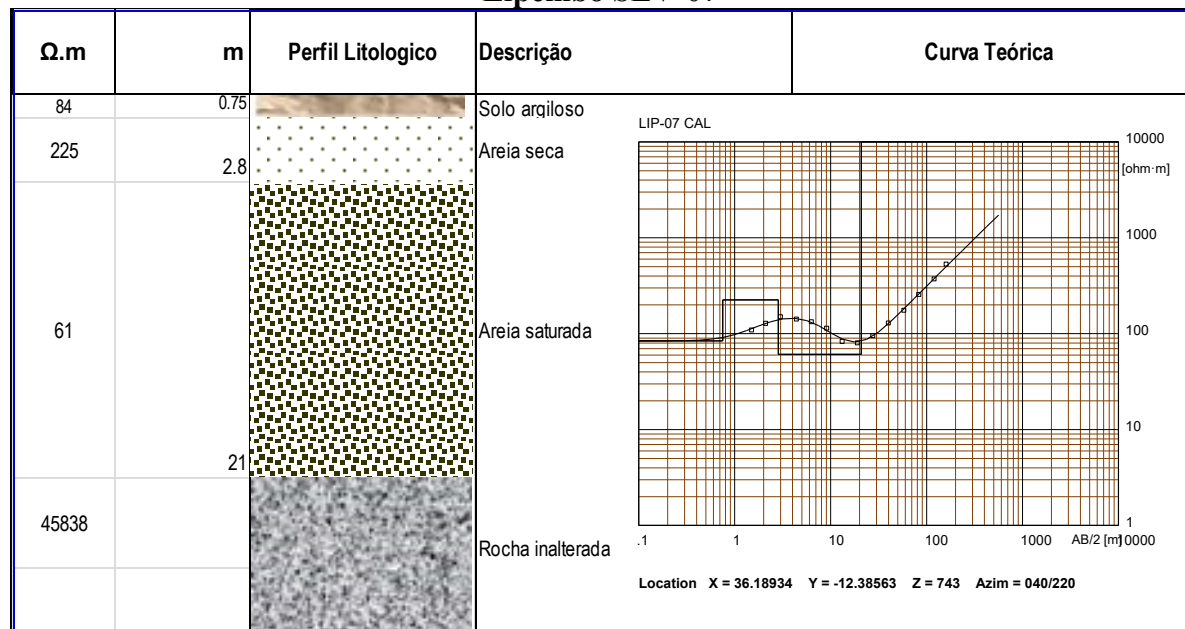
Lipembo SEV-05



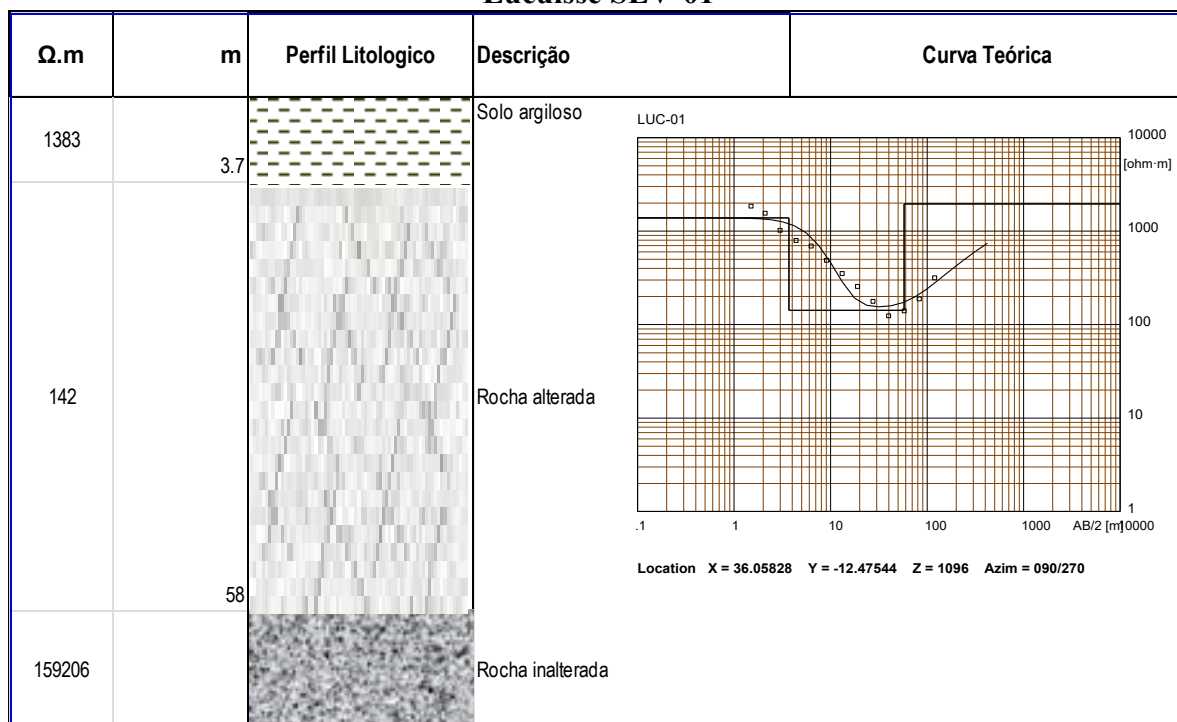
Lipembo SEV-06



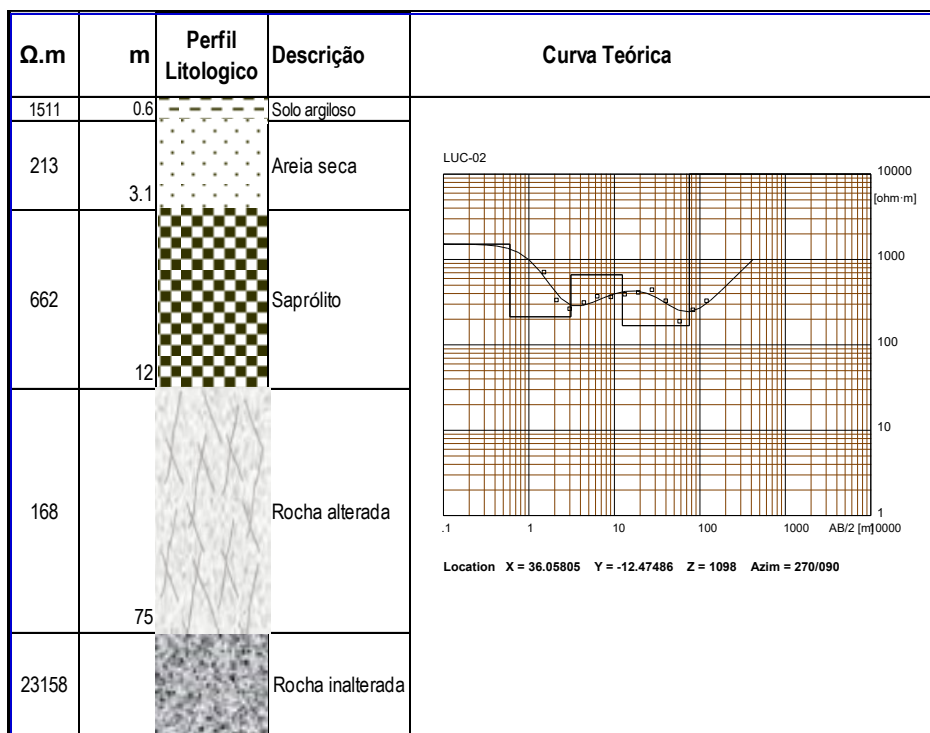
Lipembo SEV-07



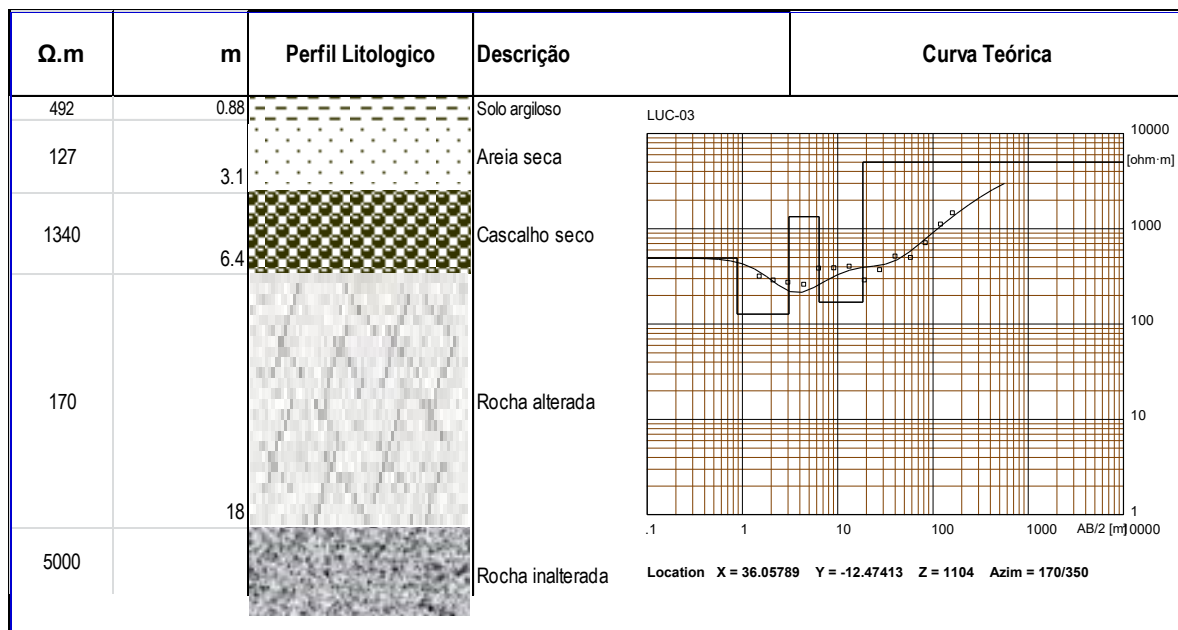
Lucuisse SEV-01



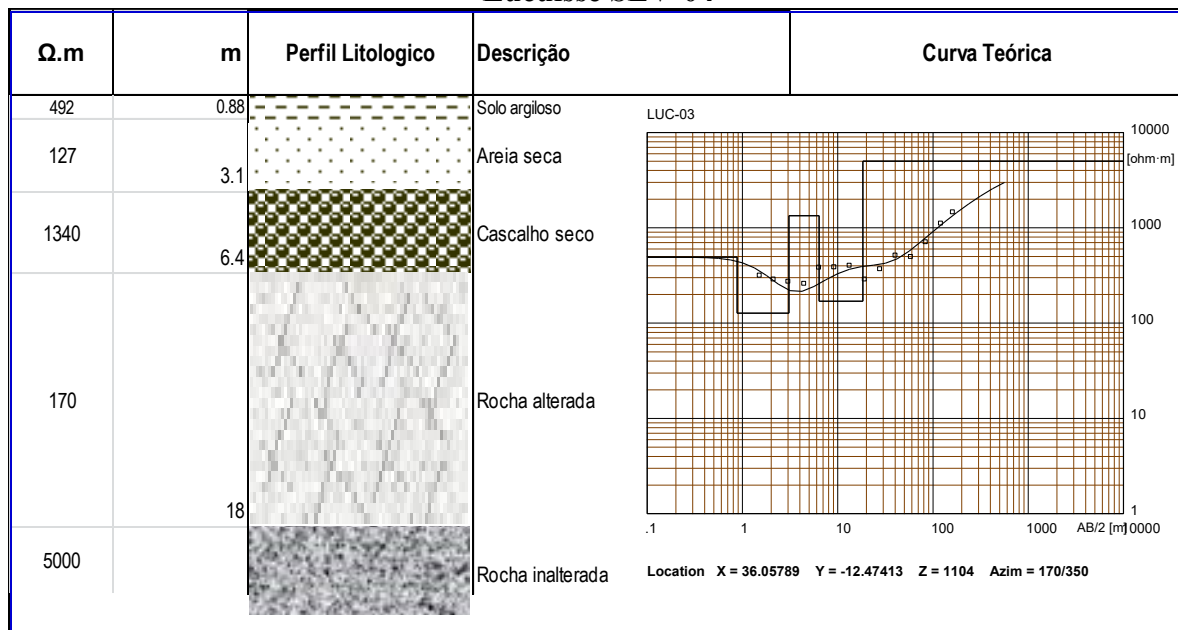
Lucuisse SEV-02



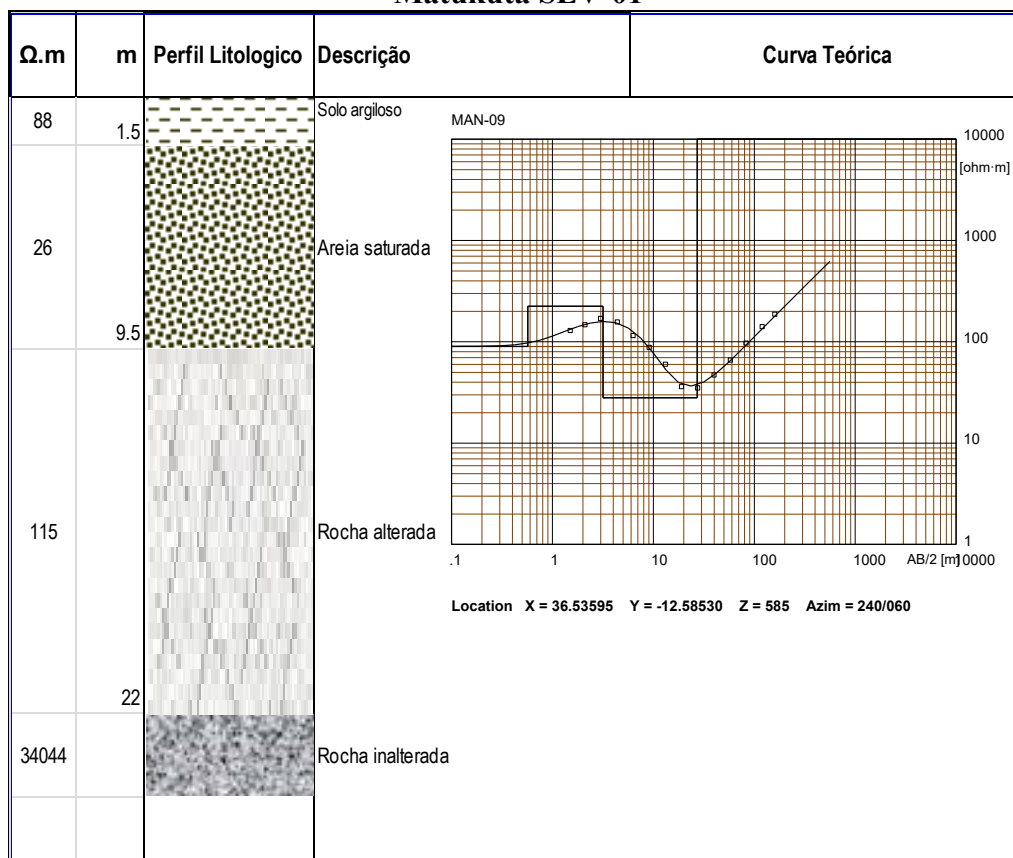
Lucuisse SEV-03



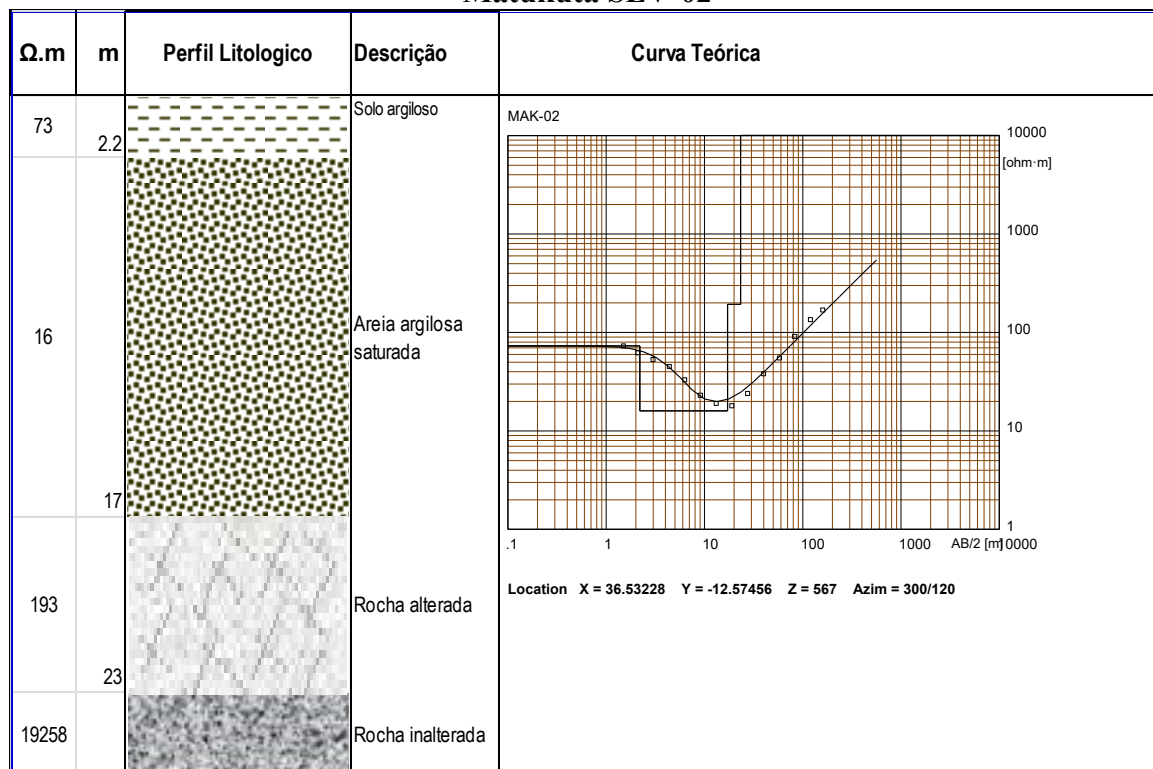
Lucuisse SEV-04



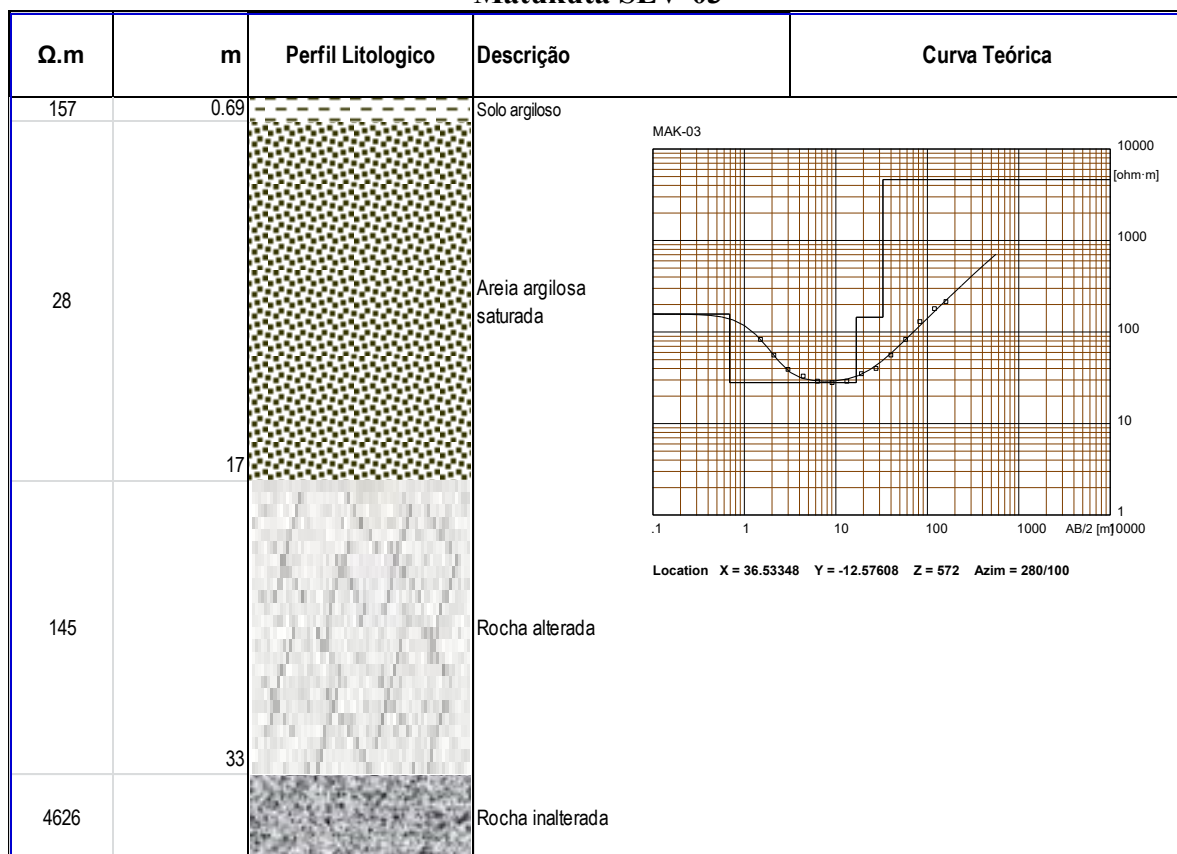
Matukuta SEV-01



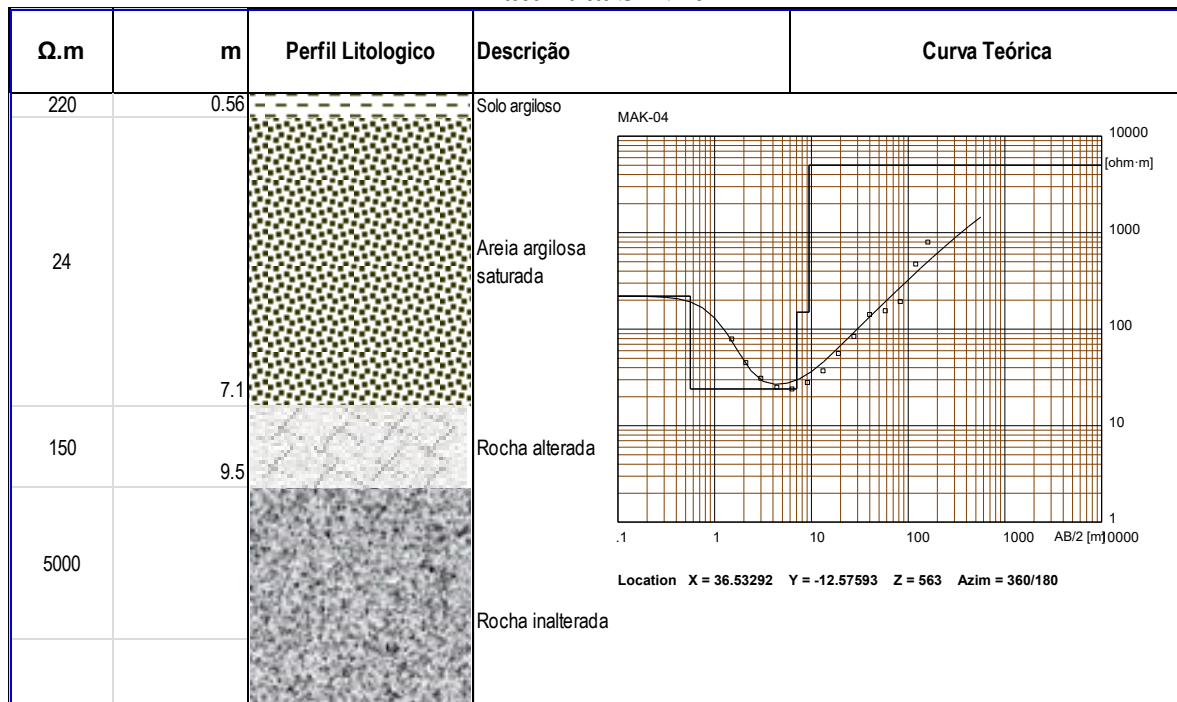
Matukuta SEV-02



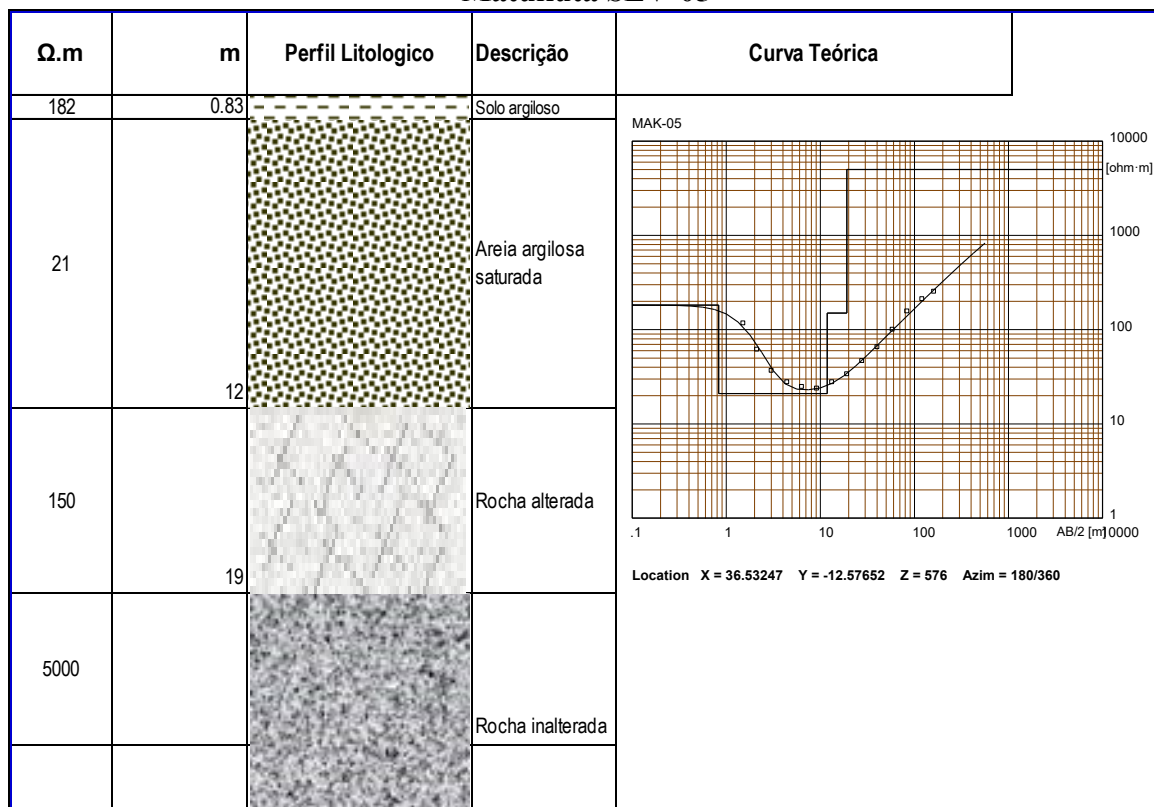
Matukuta SEV-03



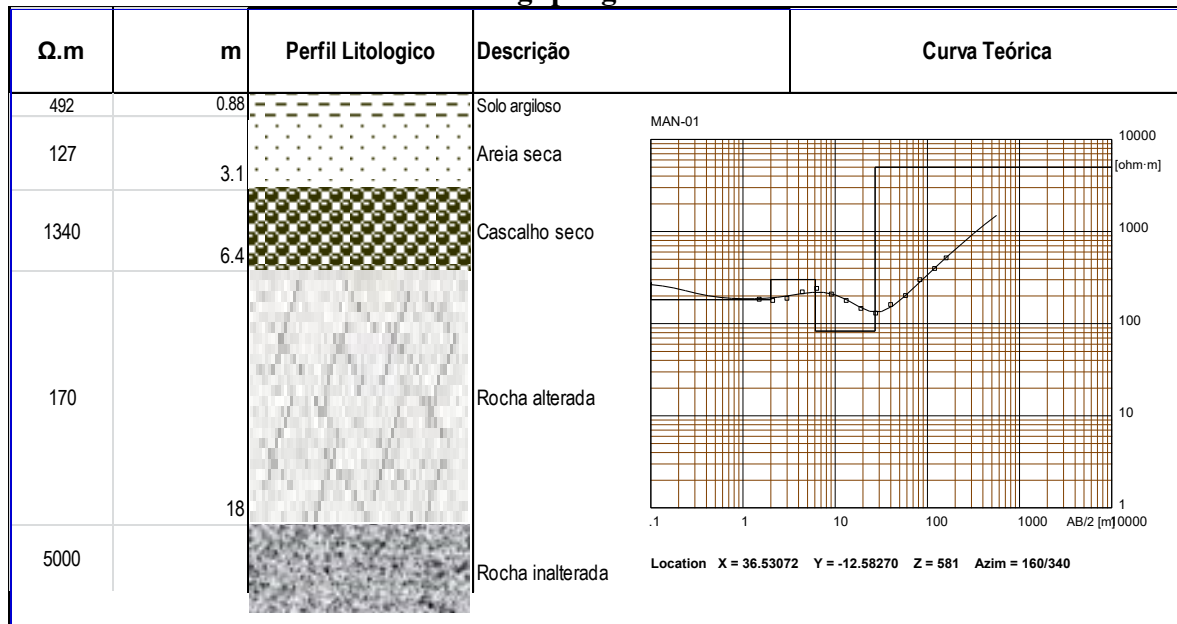
Matukuta SEV-04



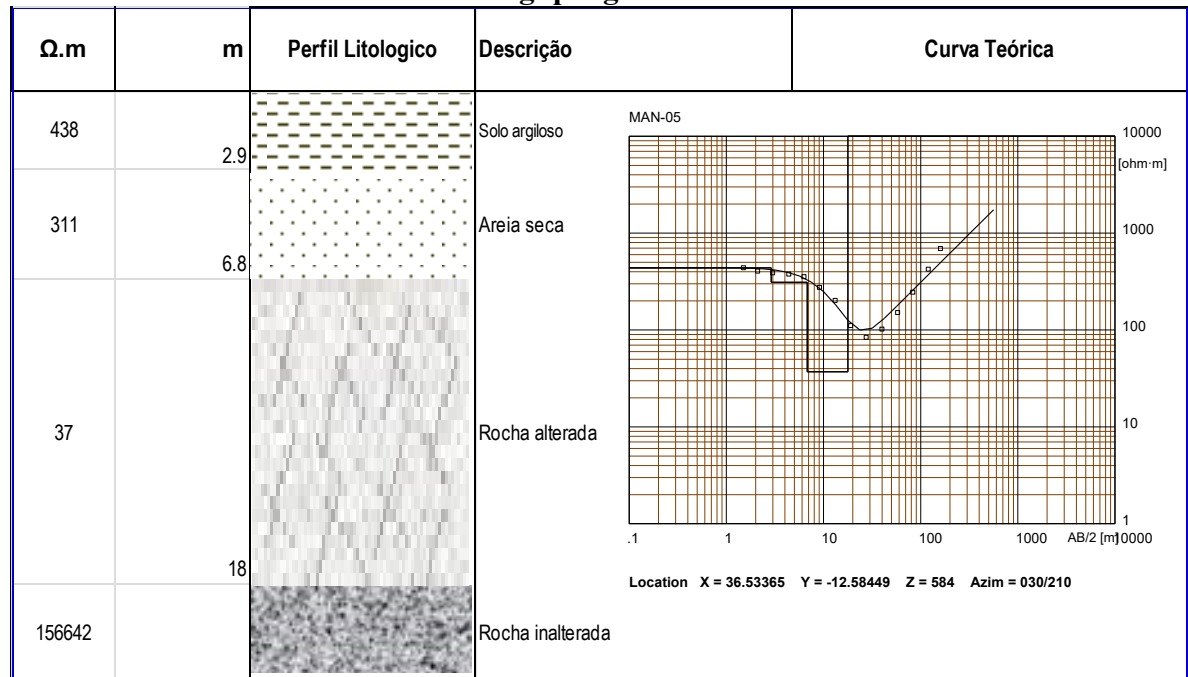
Matukuta SEV-05



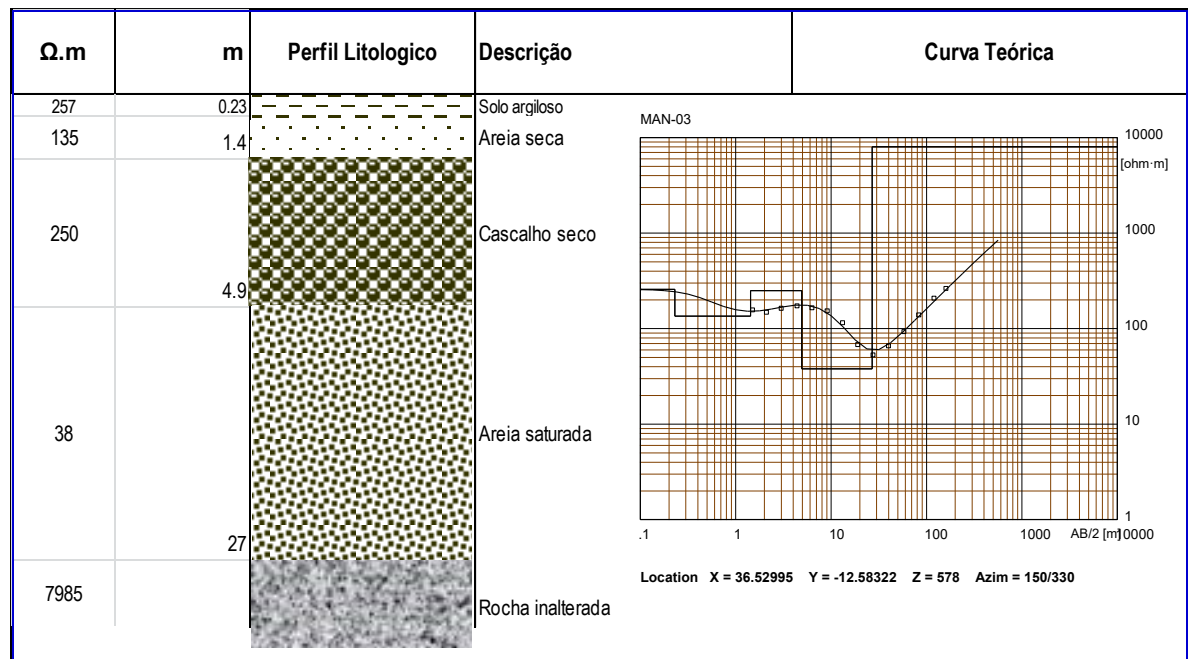
Mangupenge SEV-01



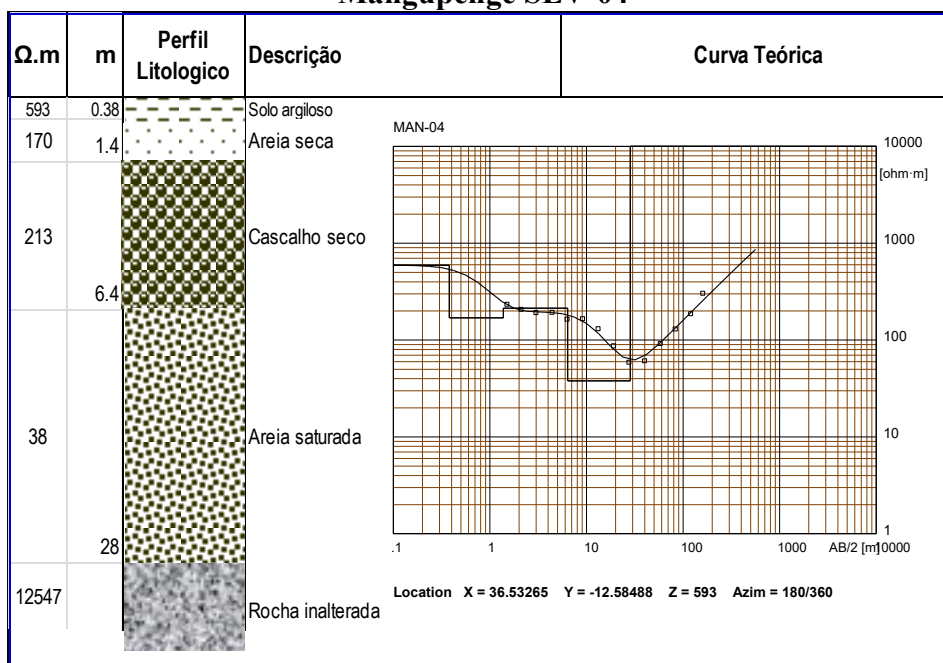
Mangupenge SEV-02



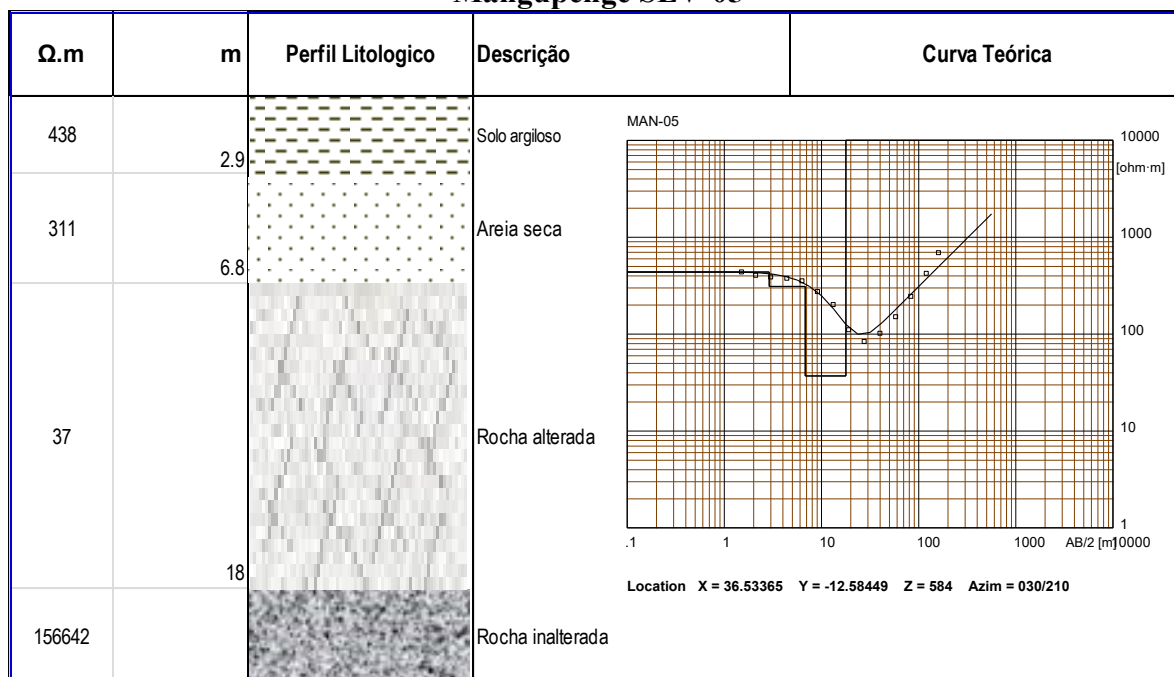
Mangupenge SEV-03



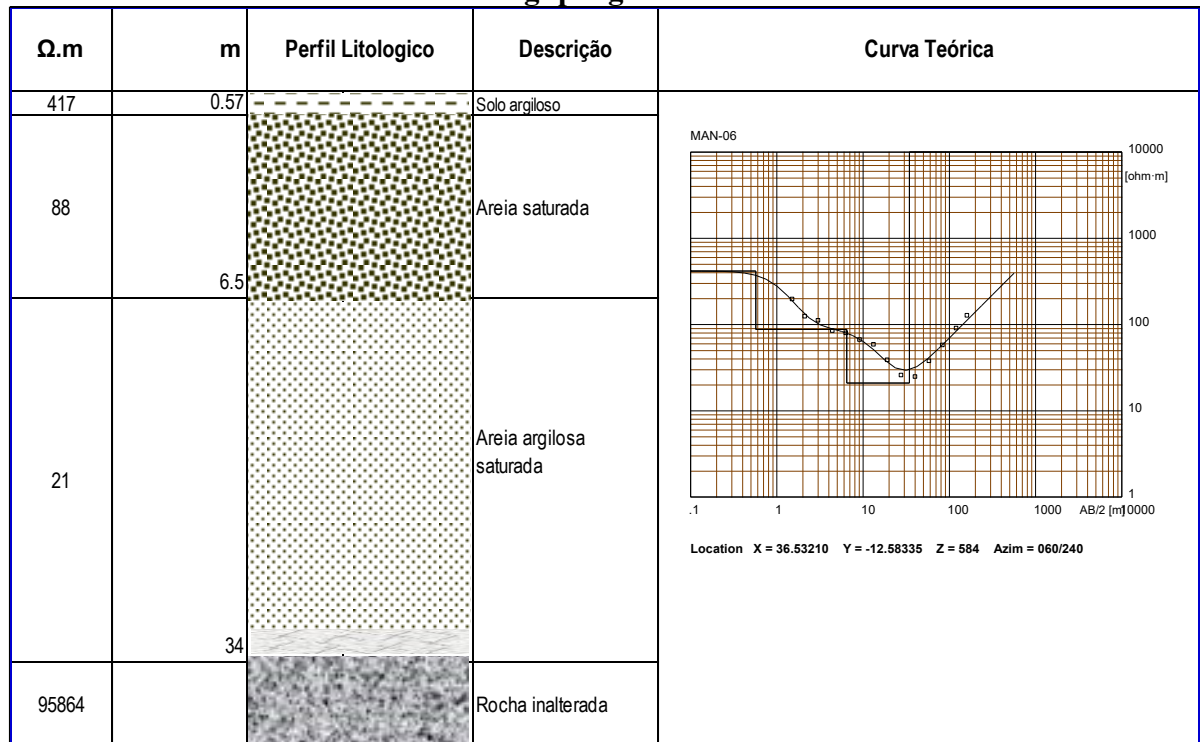
Mangupenge SEV-04



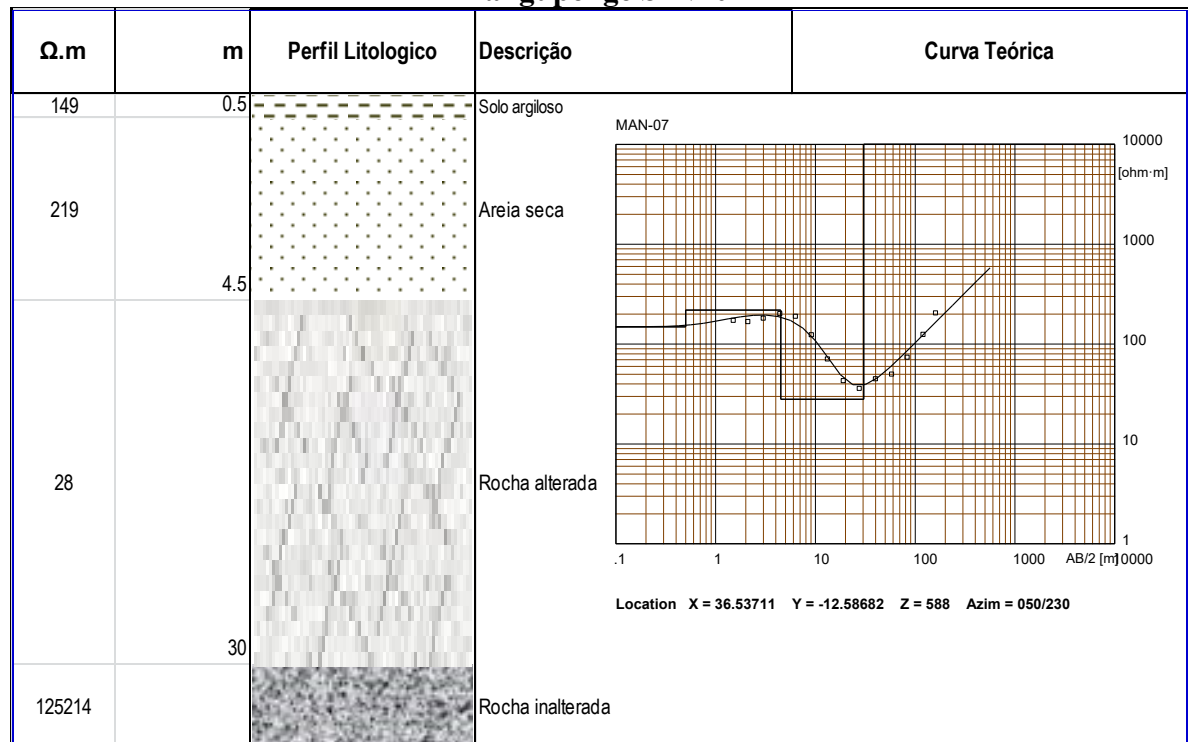
Mangupenge SEV-05



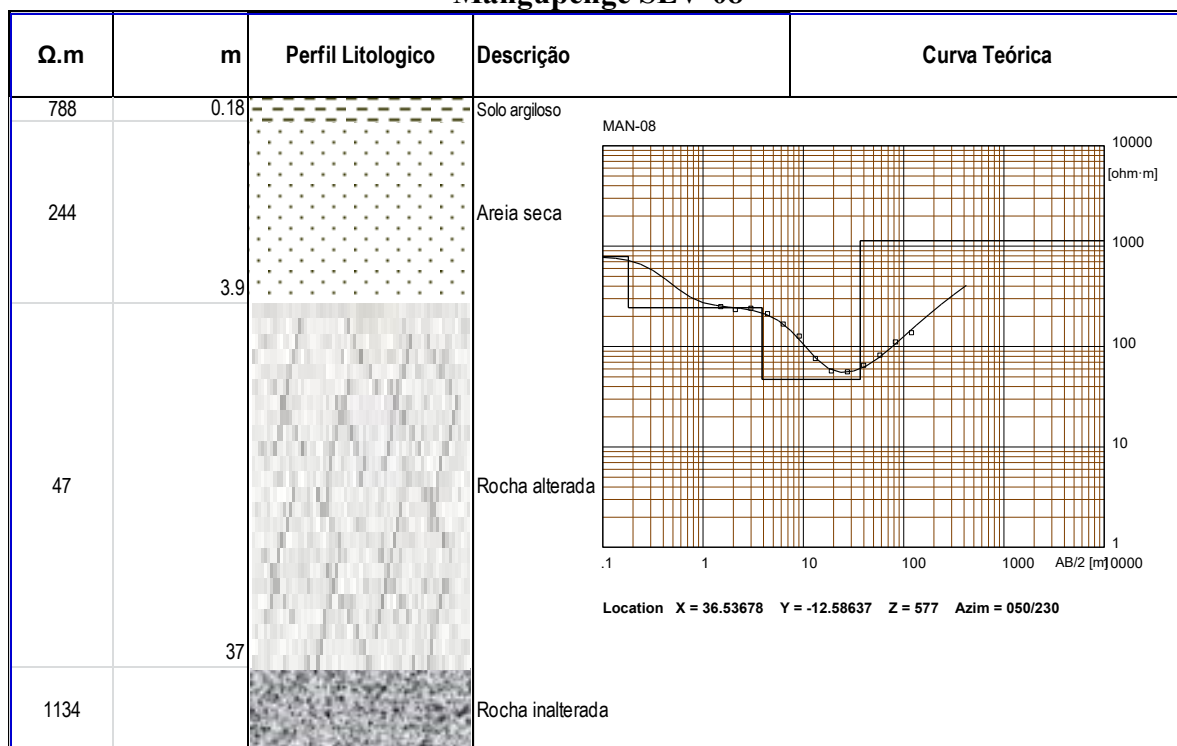
Mangupenge SEV-06



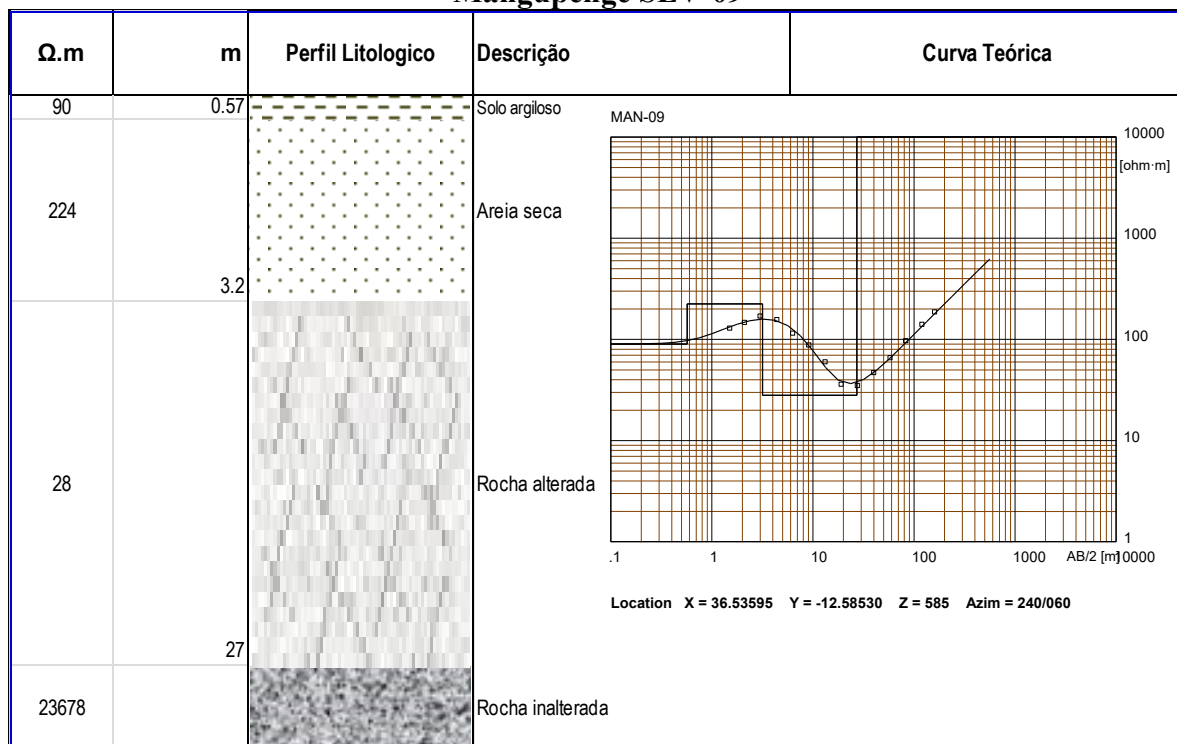
Mangupenge SEV-07



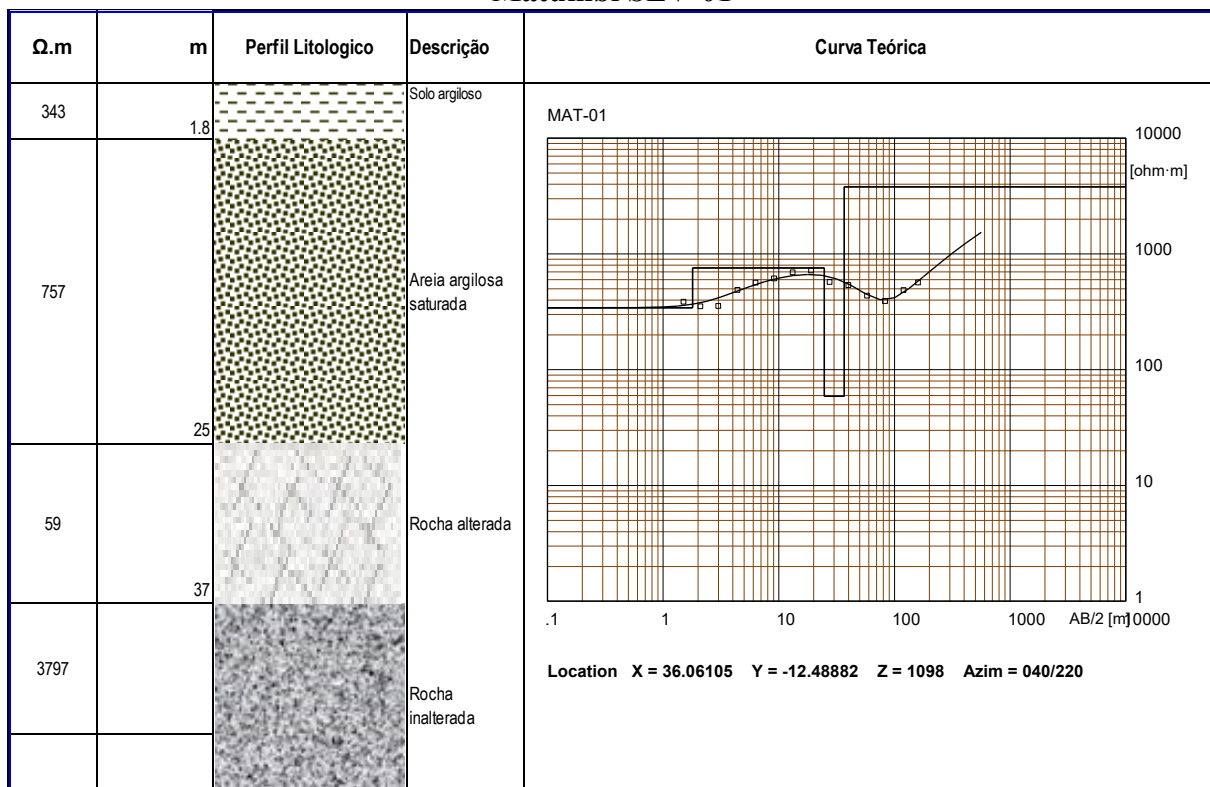
Mangupenge SEV-08



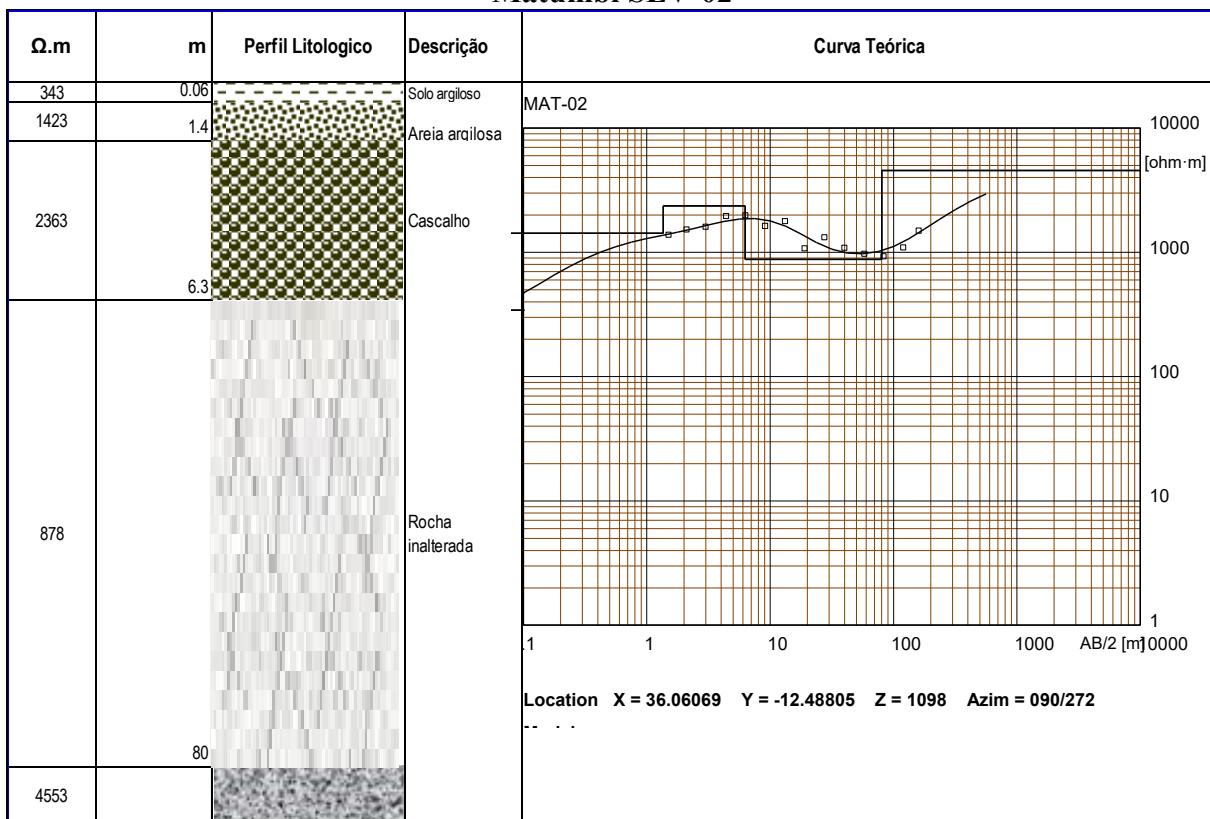
Mangupenge SEV-09



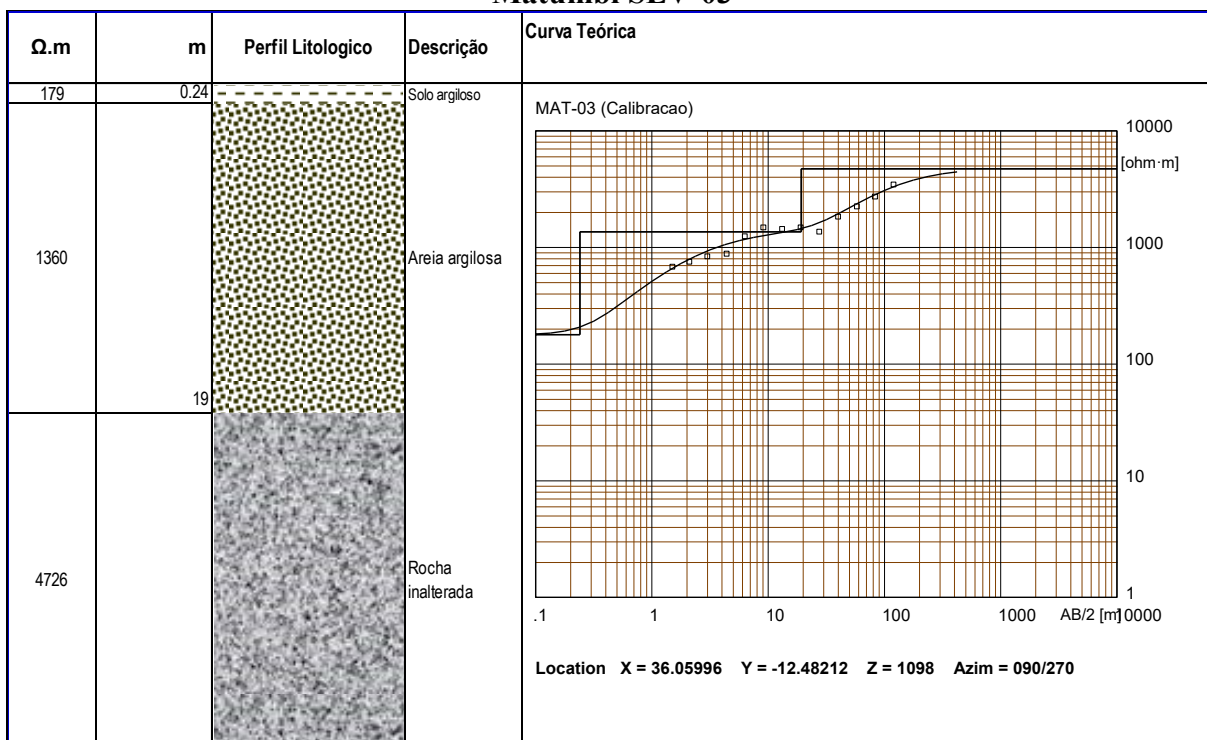
Matumbi SEV-01



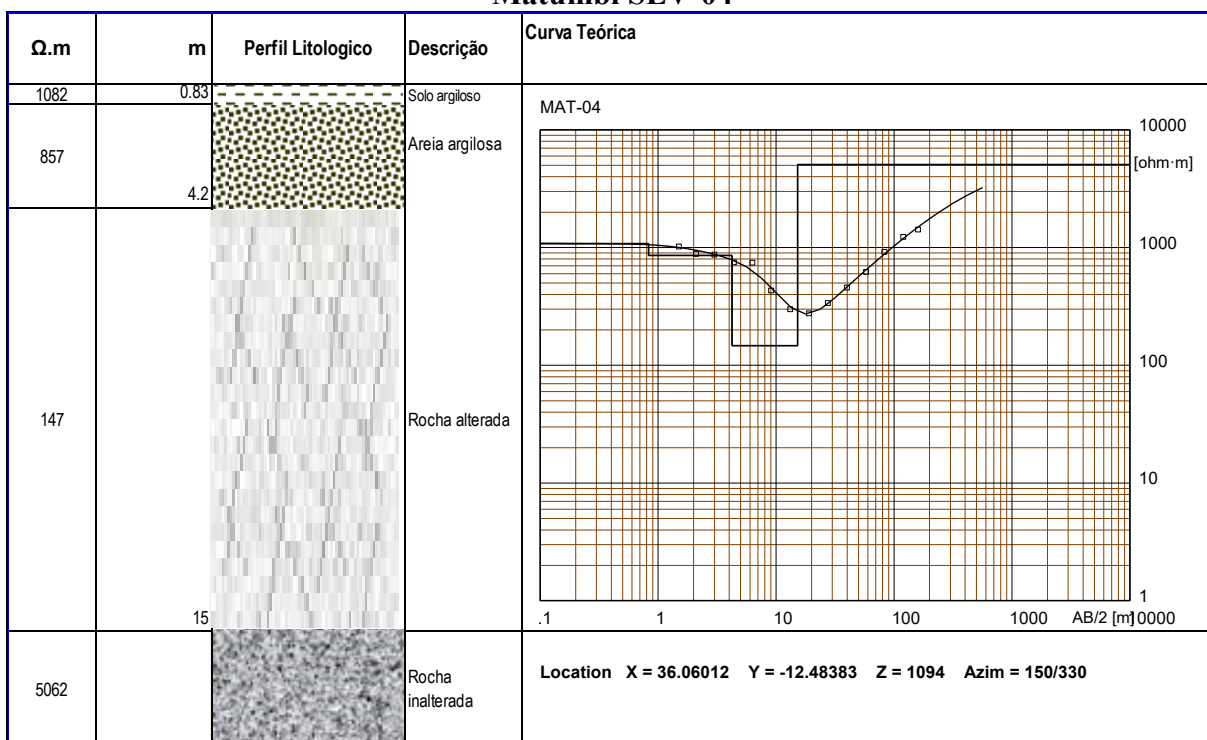
Matumbi SEV-02



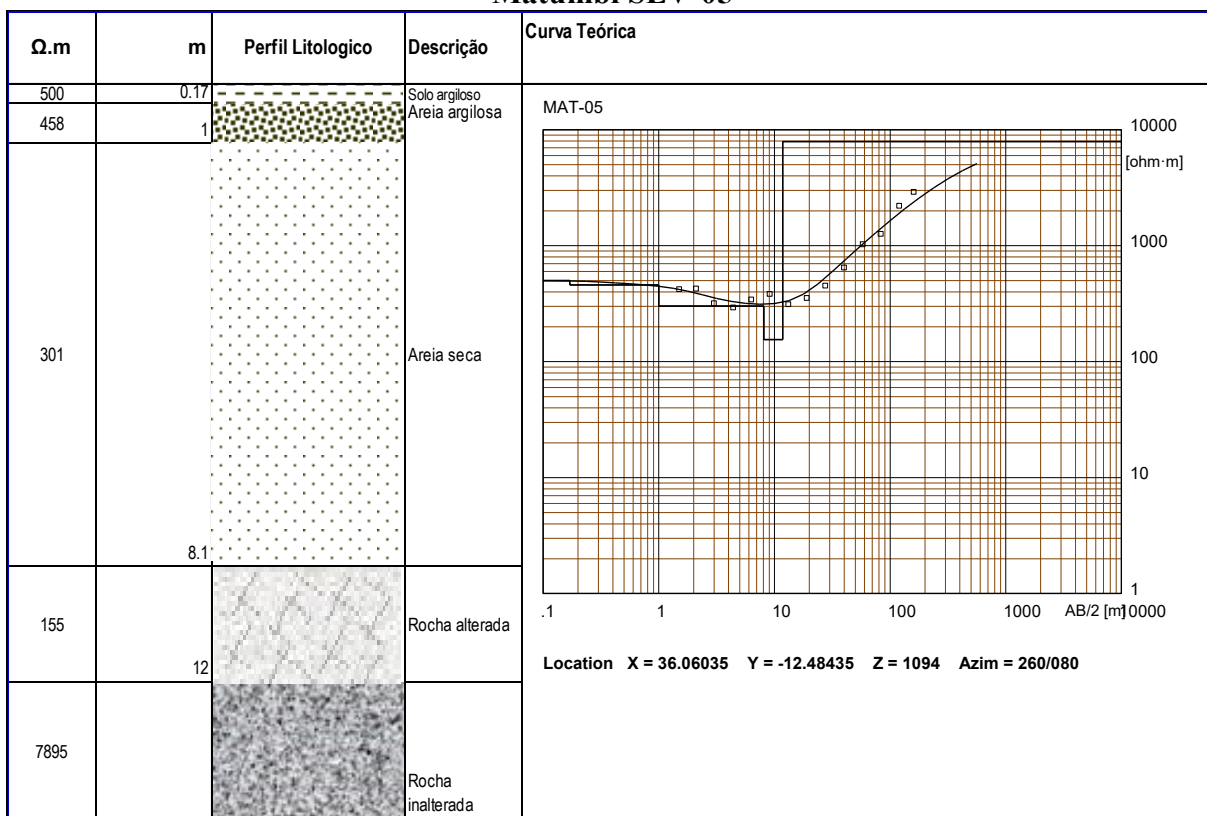
Matumbi SEV-03



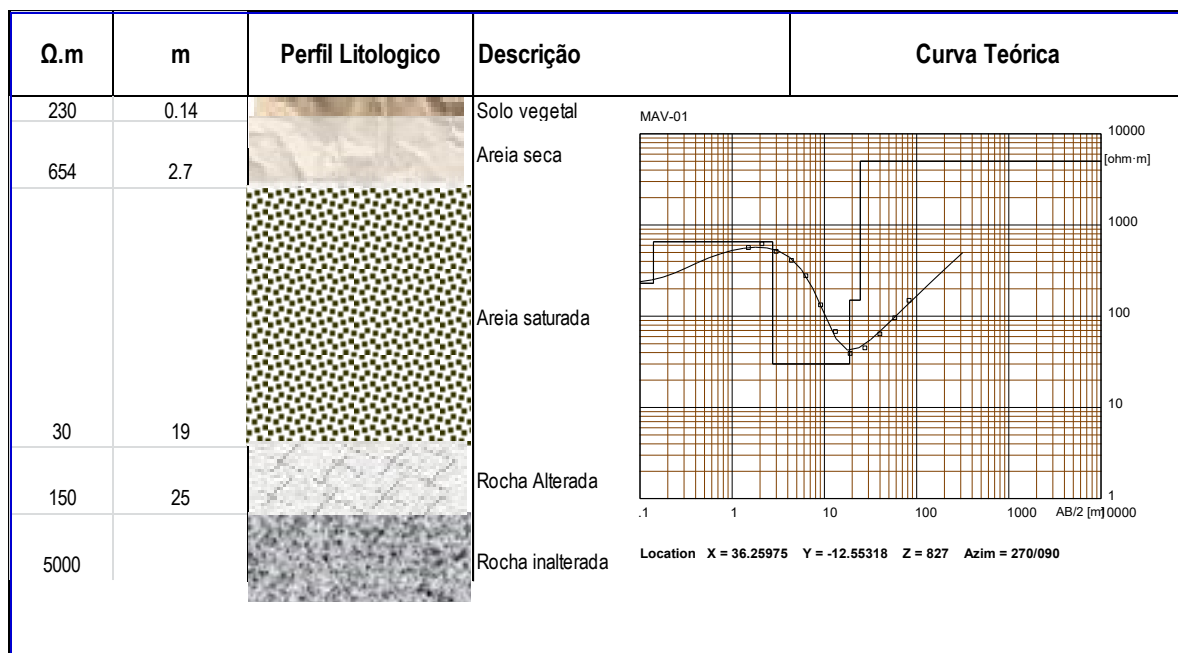
Matumbi SEV-04



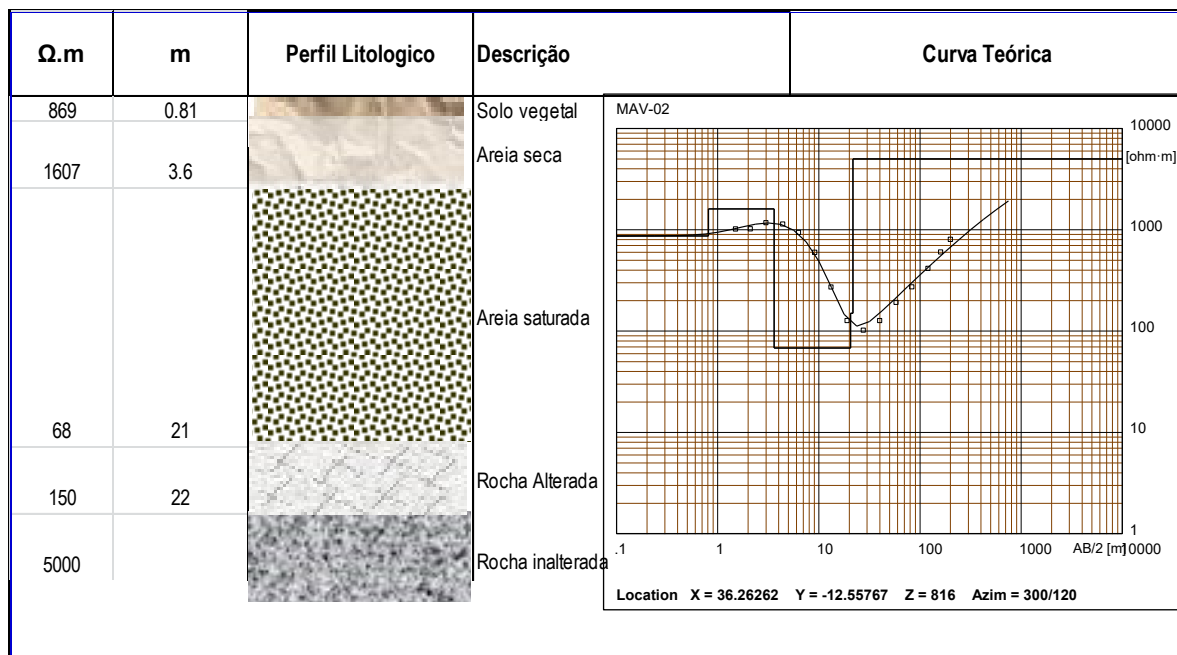
Matumbi SEV-05



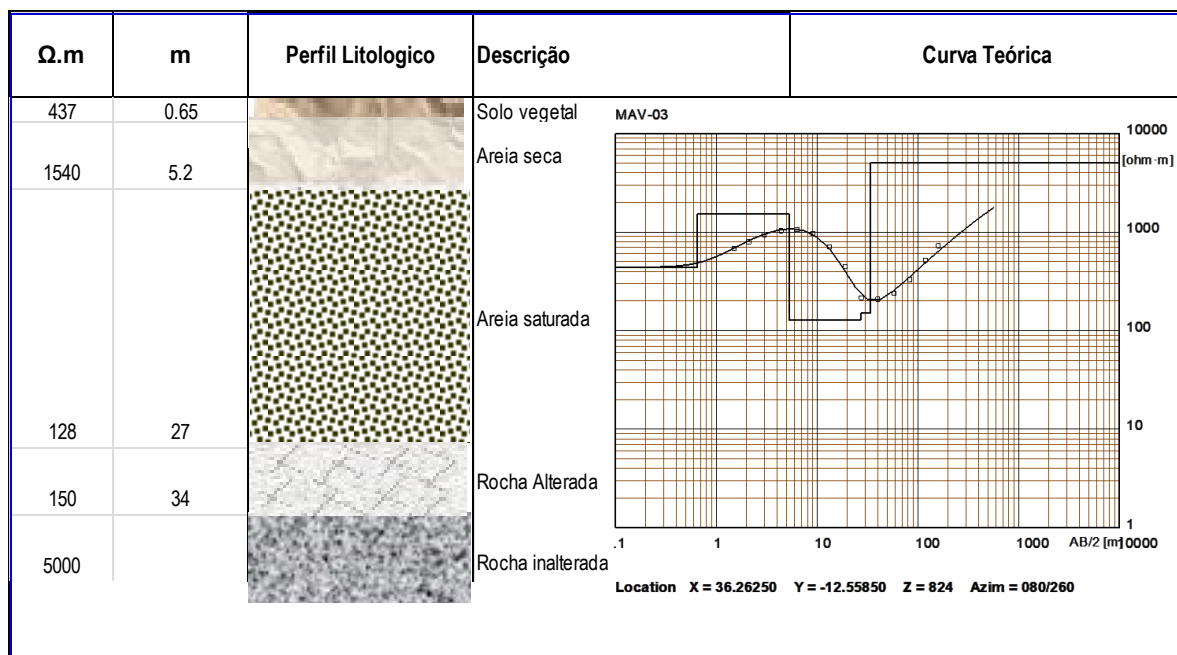
Mavago-Sede SEV-01



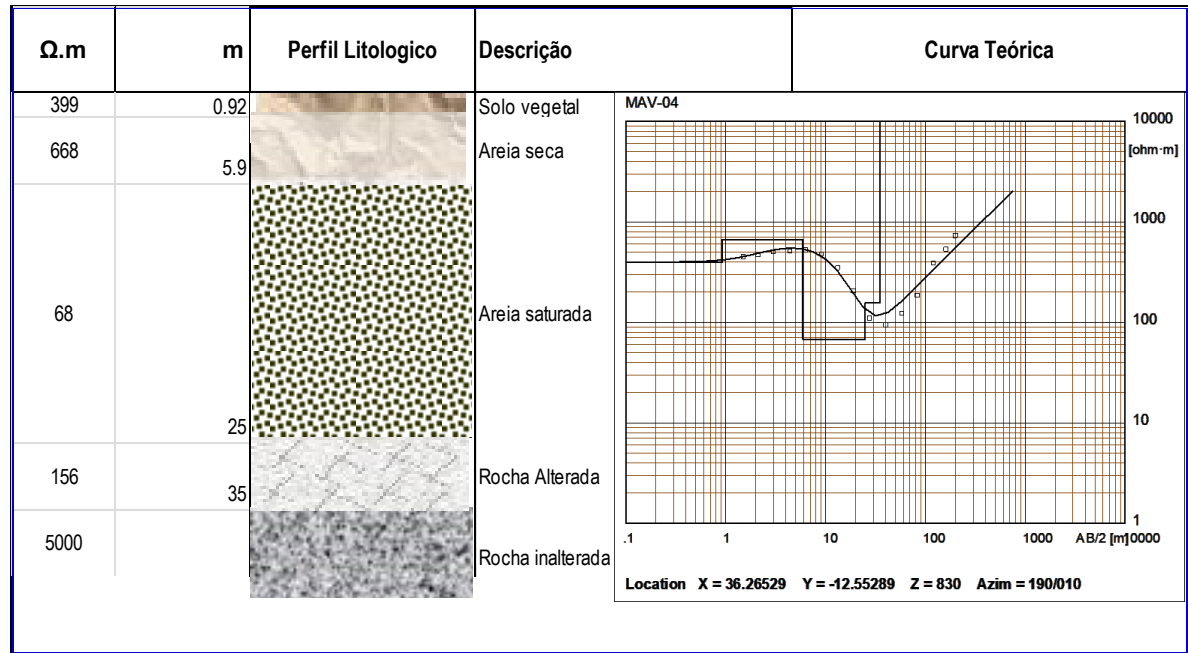
Mavago-Sede SEV-02



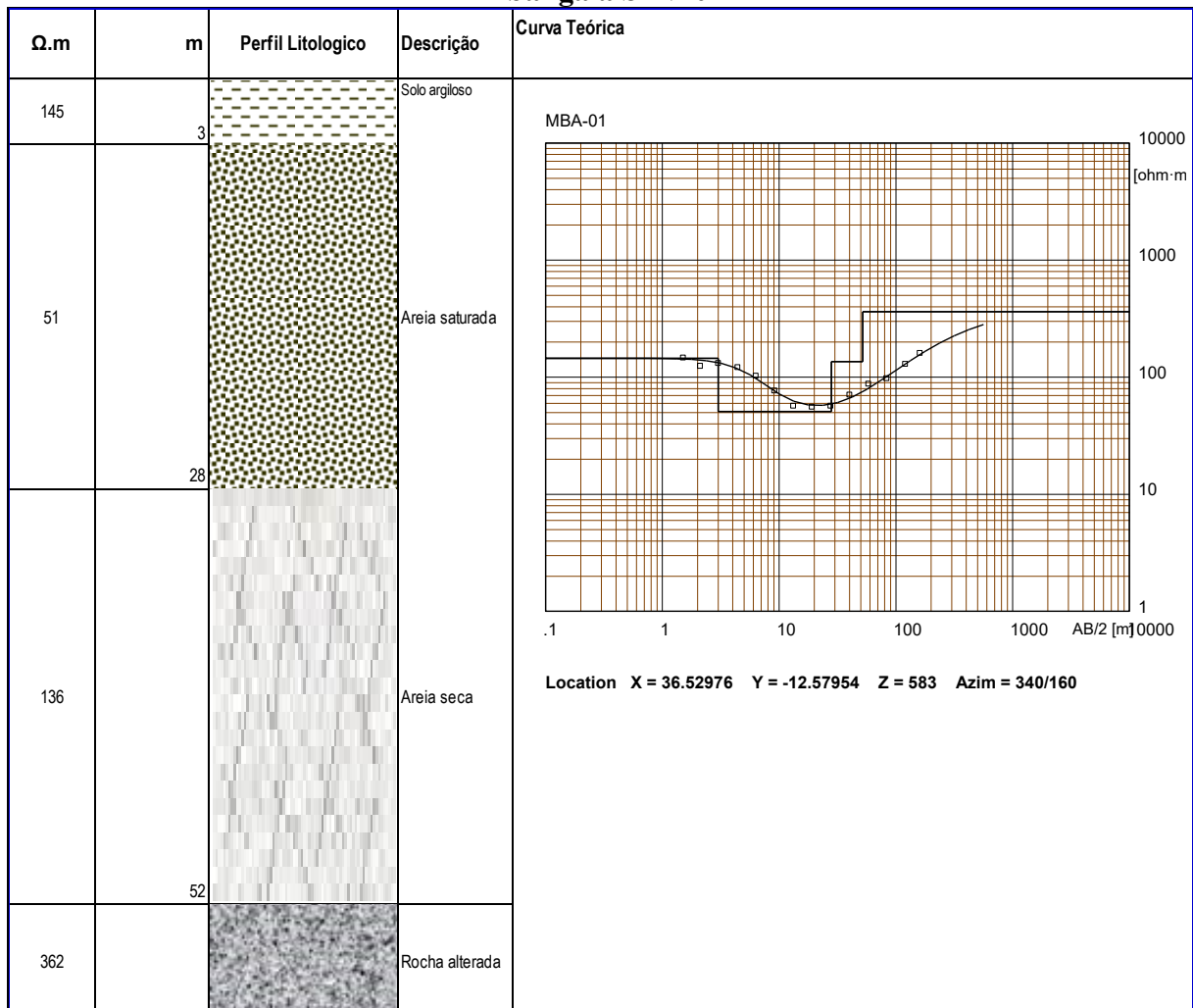
Mavago-Sede SEV-03



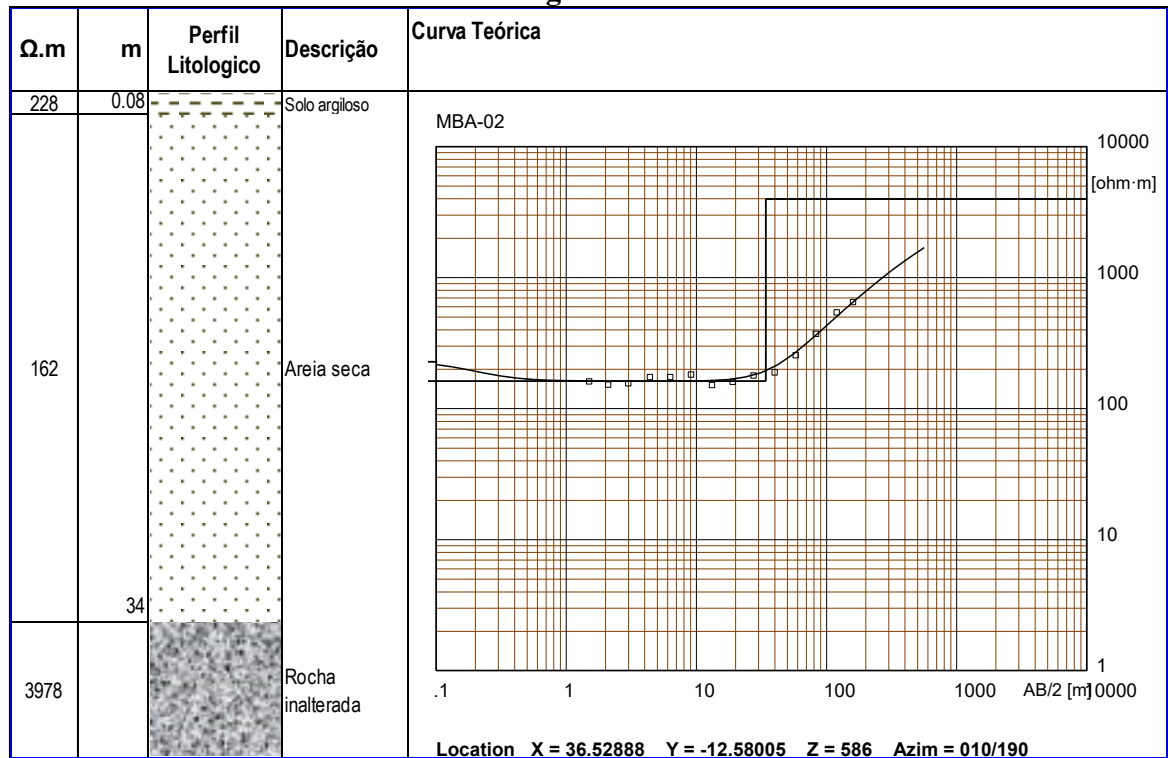
Mavago-Sede SEV-04



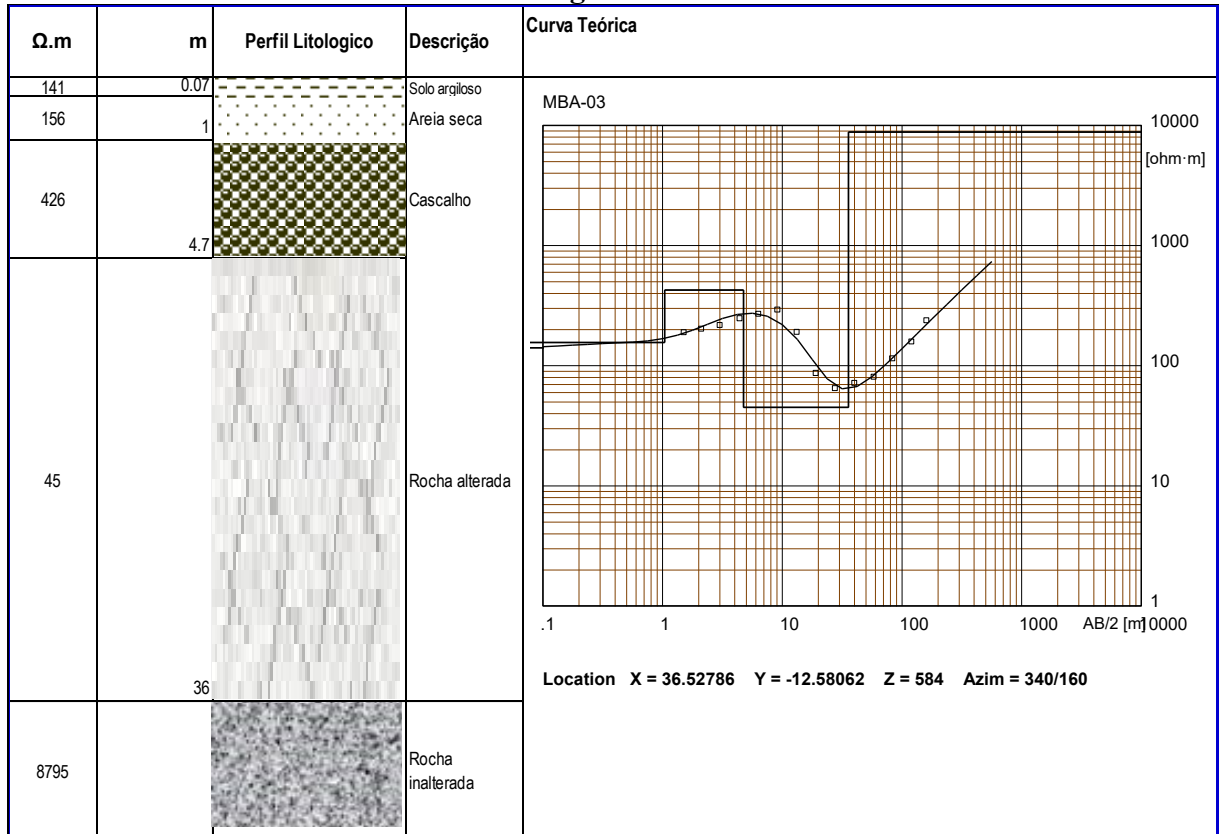
Mbangala SEV-01



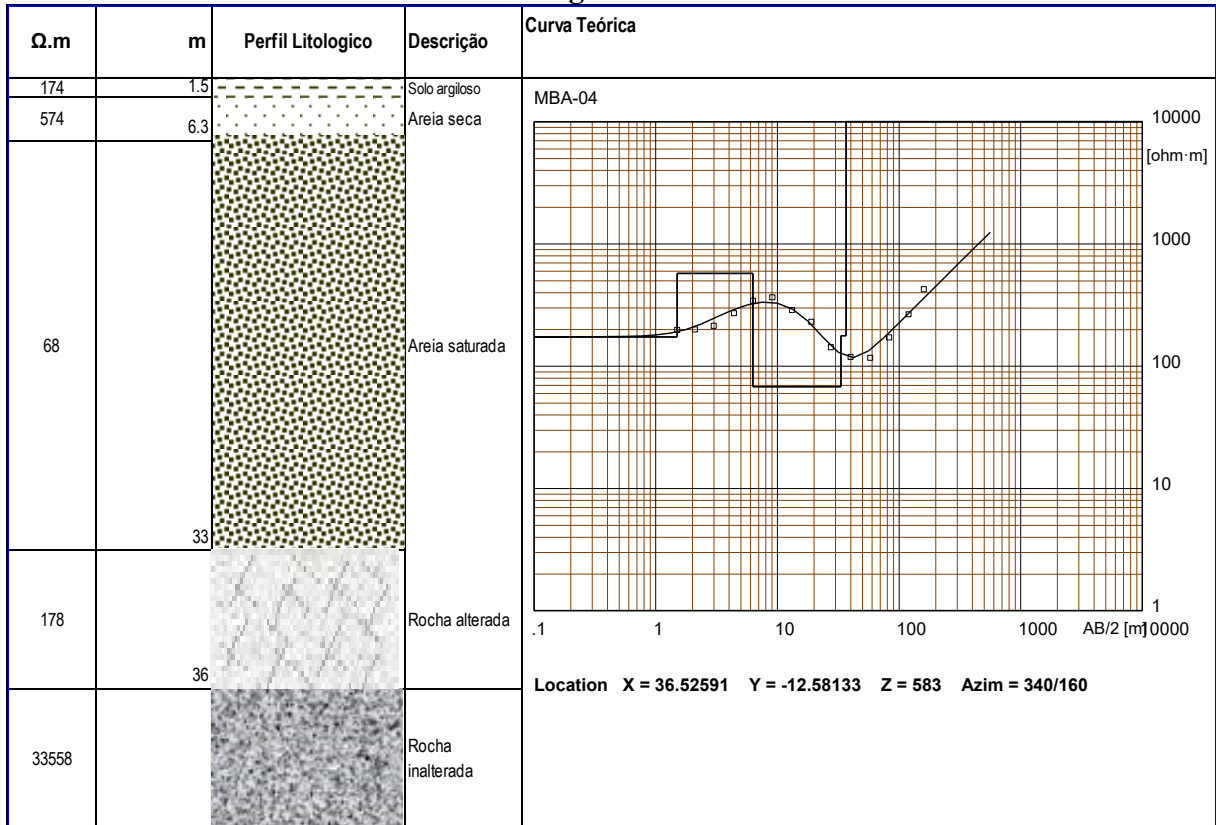
Mbangala SEV-02



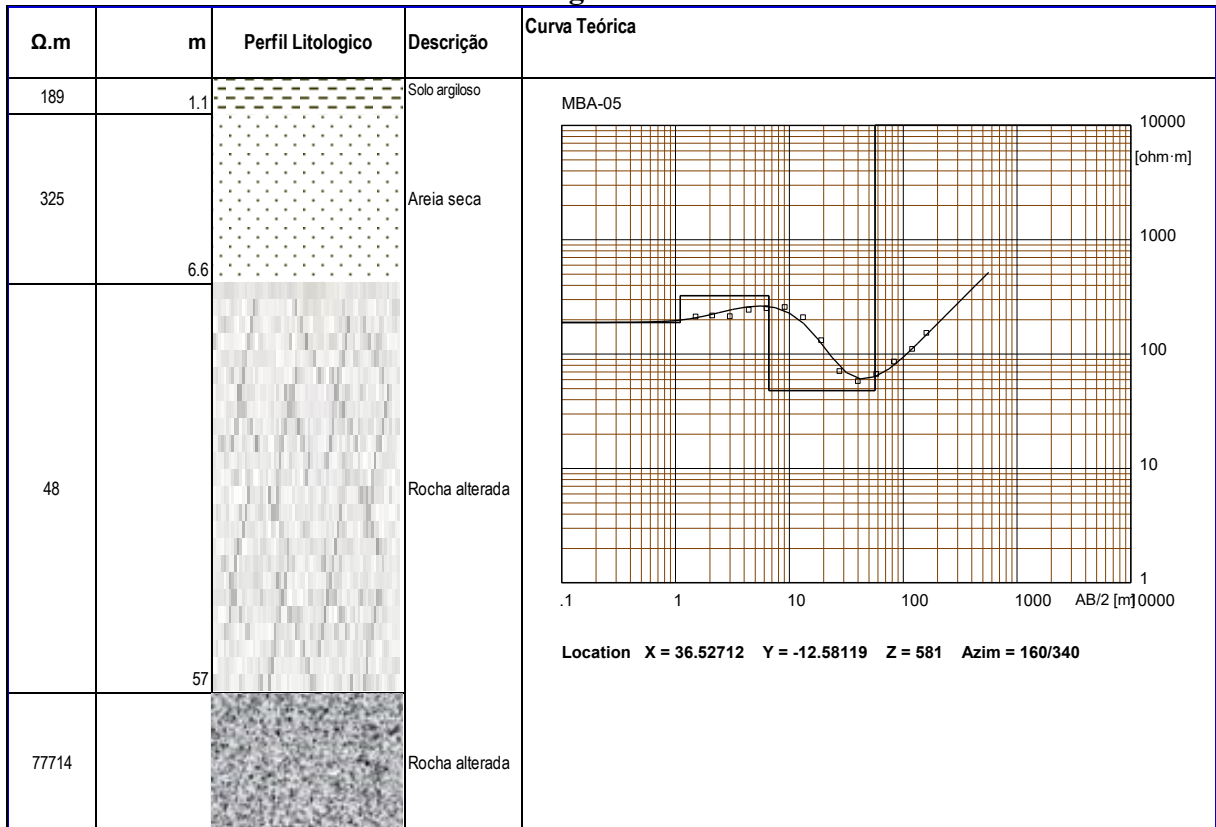
Mbangala SEV-03



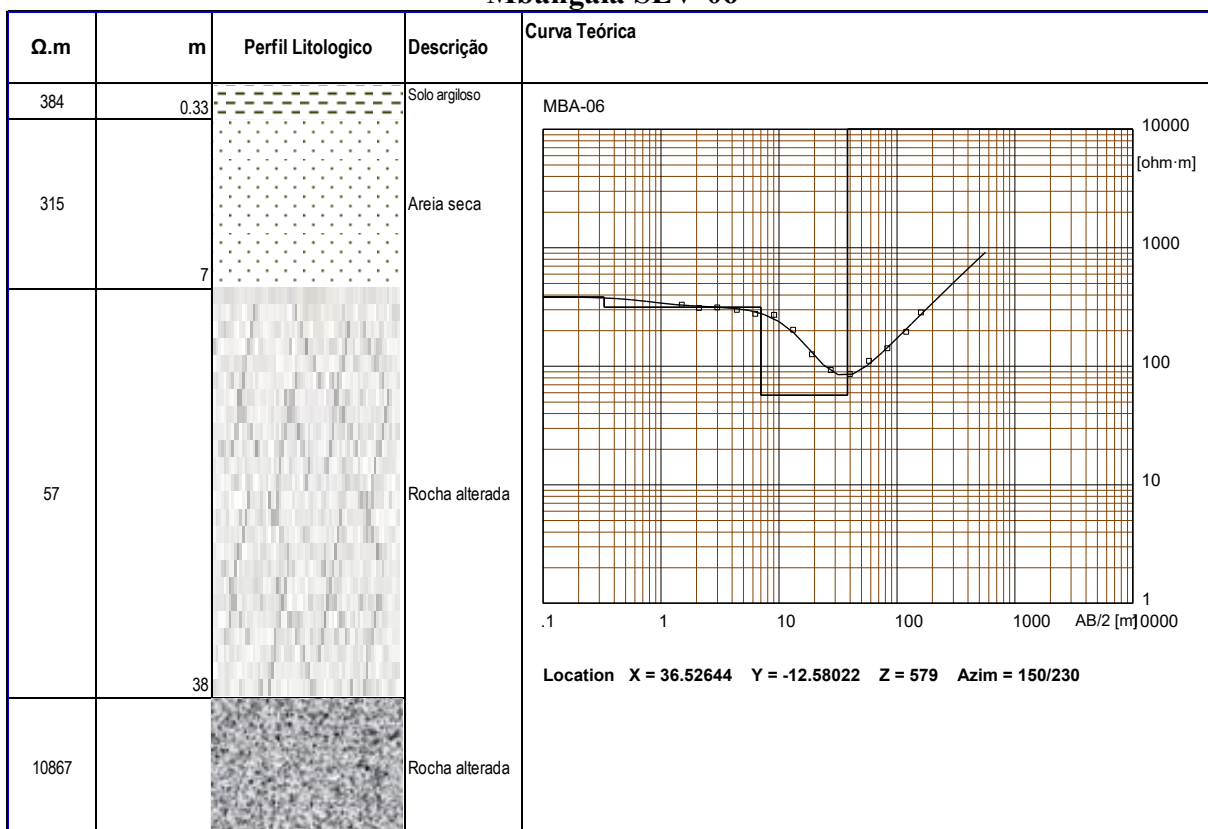
Mbangala SEV-04



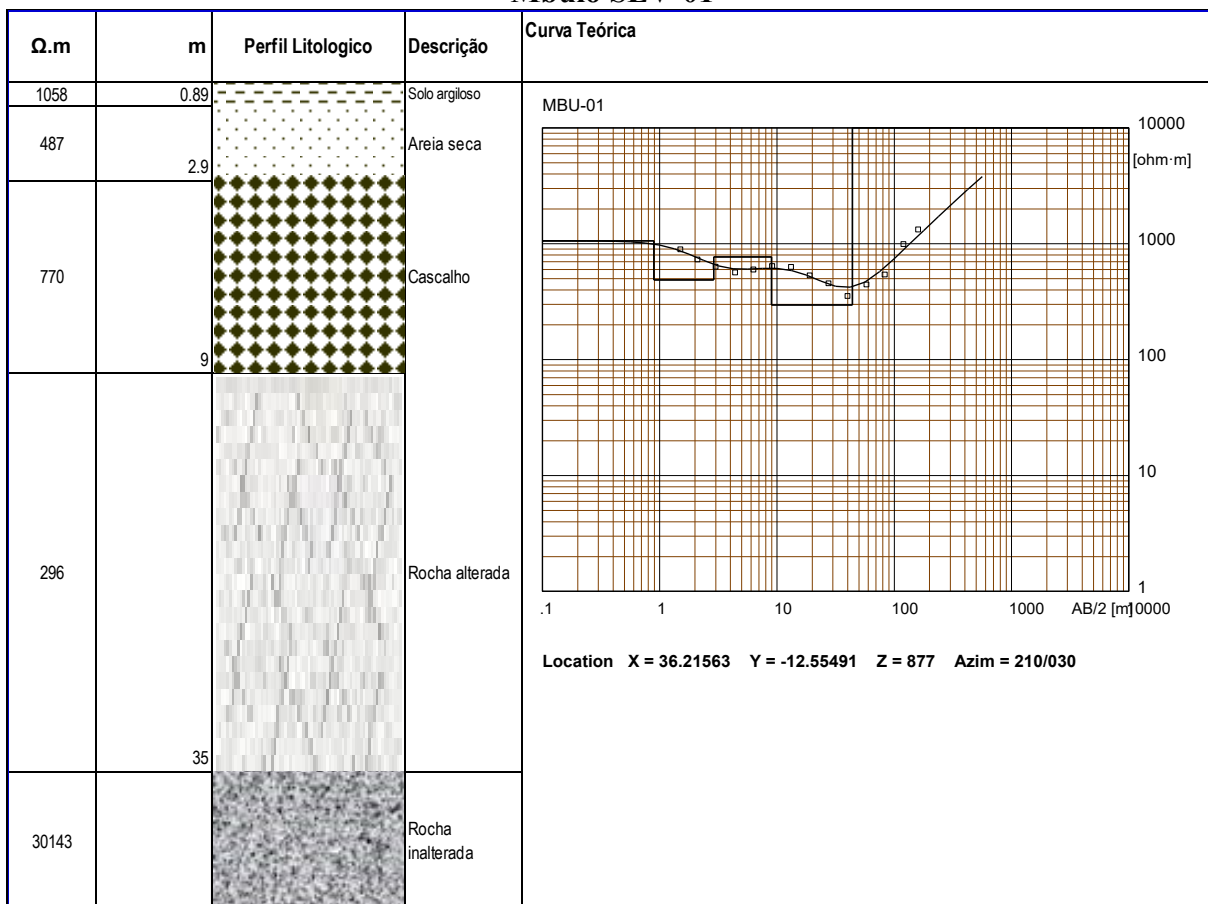
Mbangala SEV-05

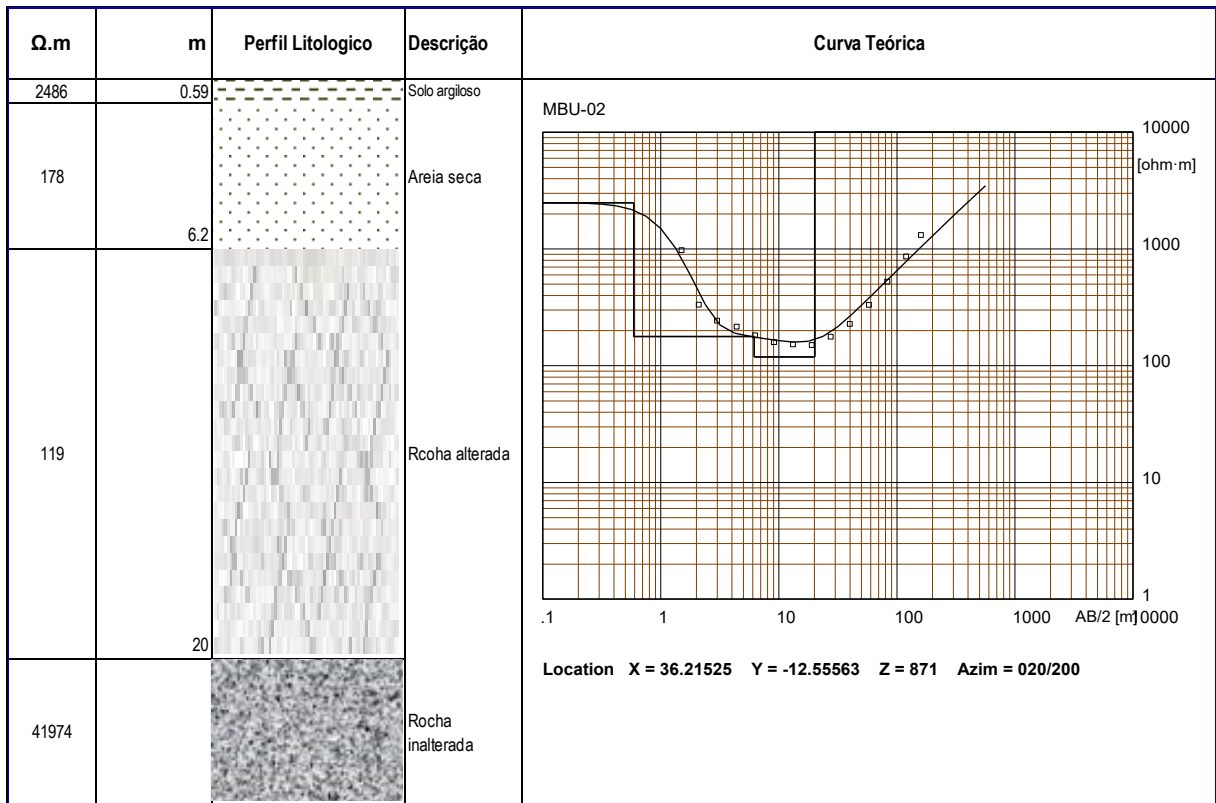
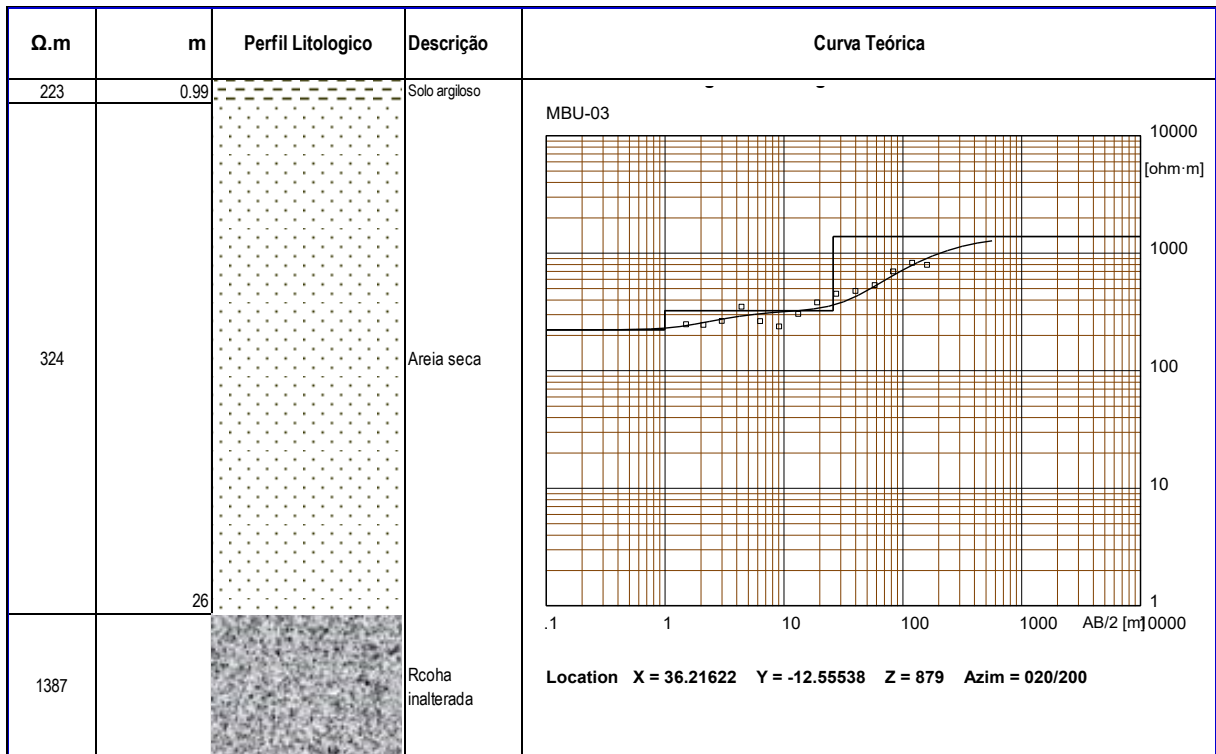


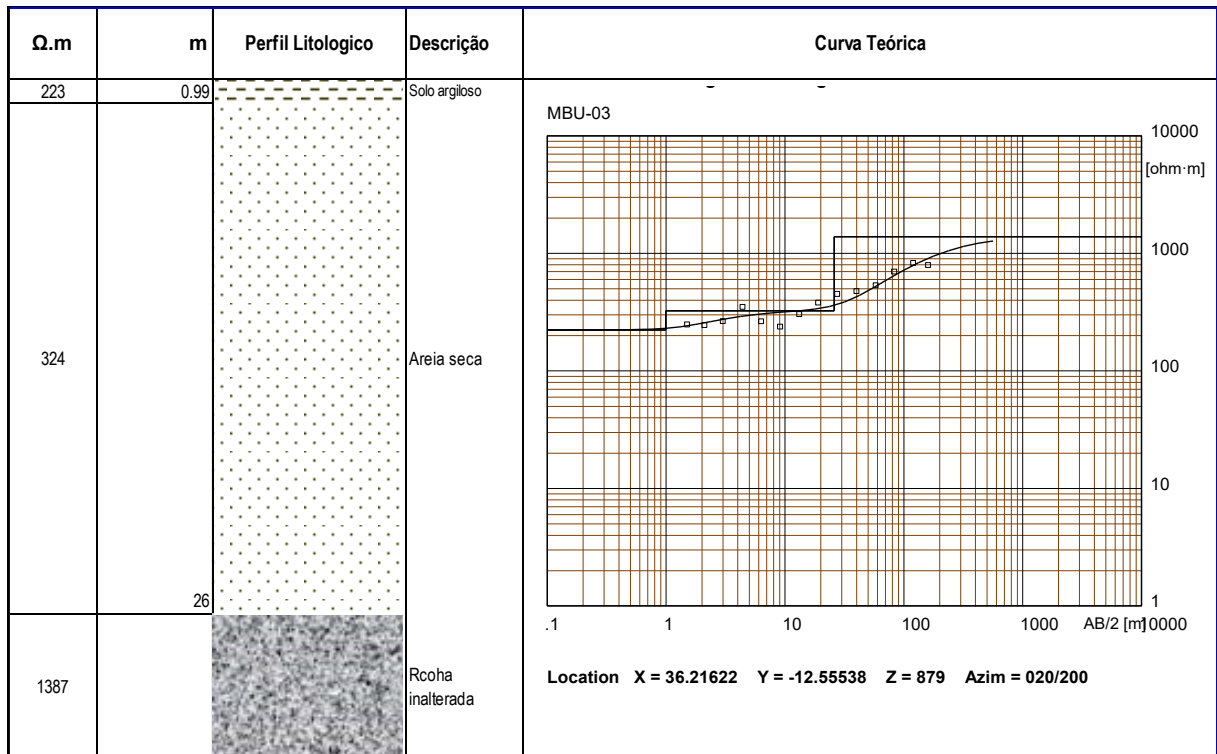
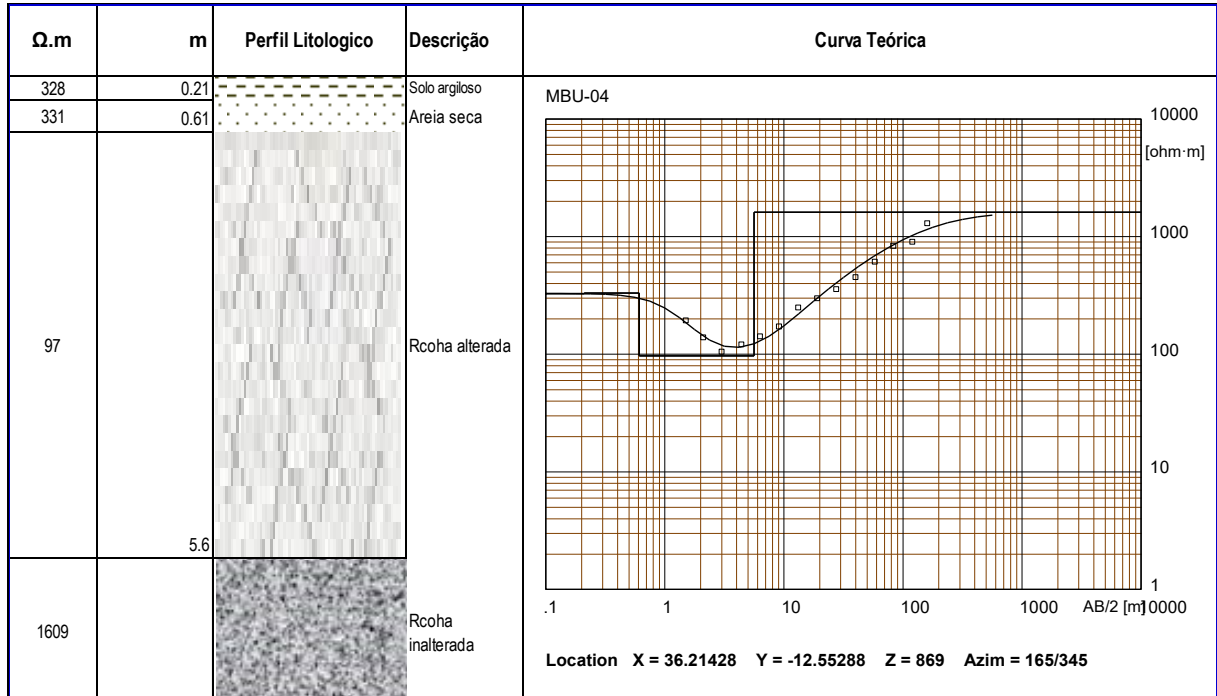
Mbangala SEV-06



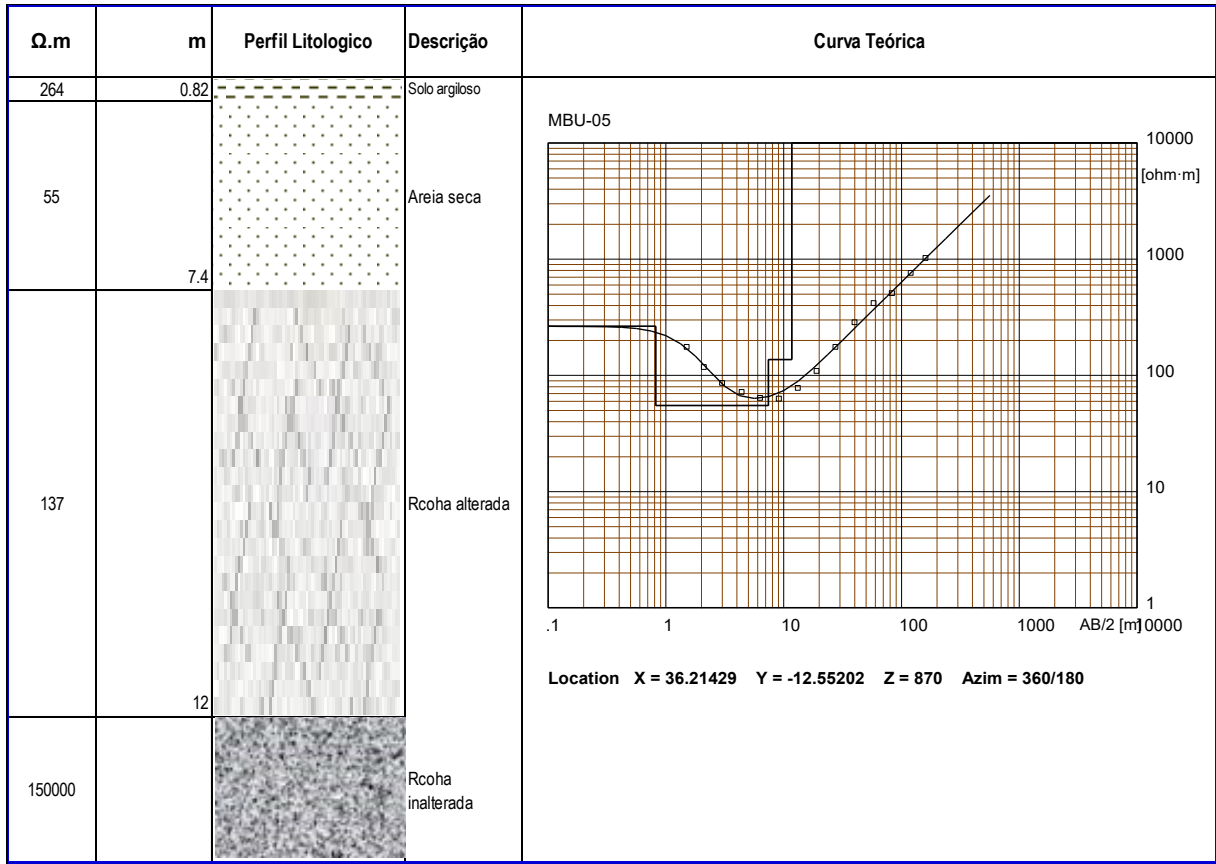
Mbuio SEV-01



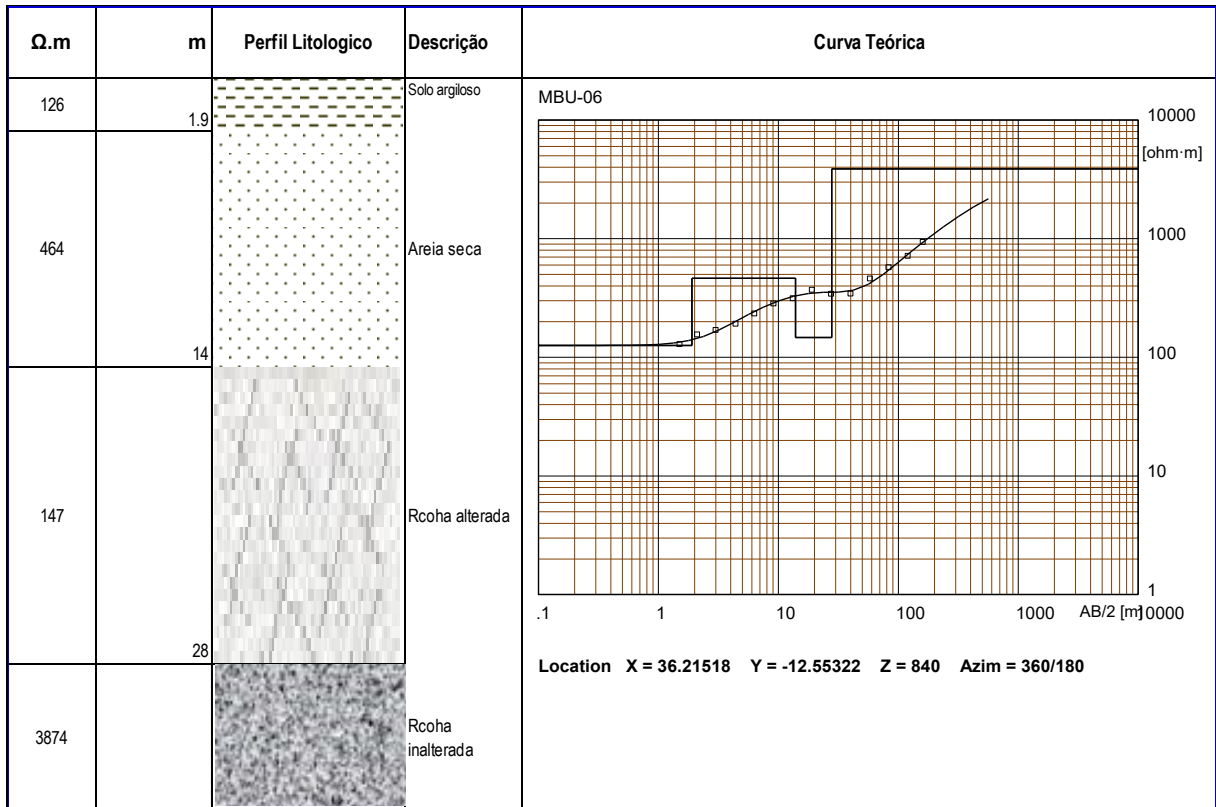
Mbuio SEV-02**Mbuio SEV-02**

Mbuio SEV-03**Mbuio SEV-04**

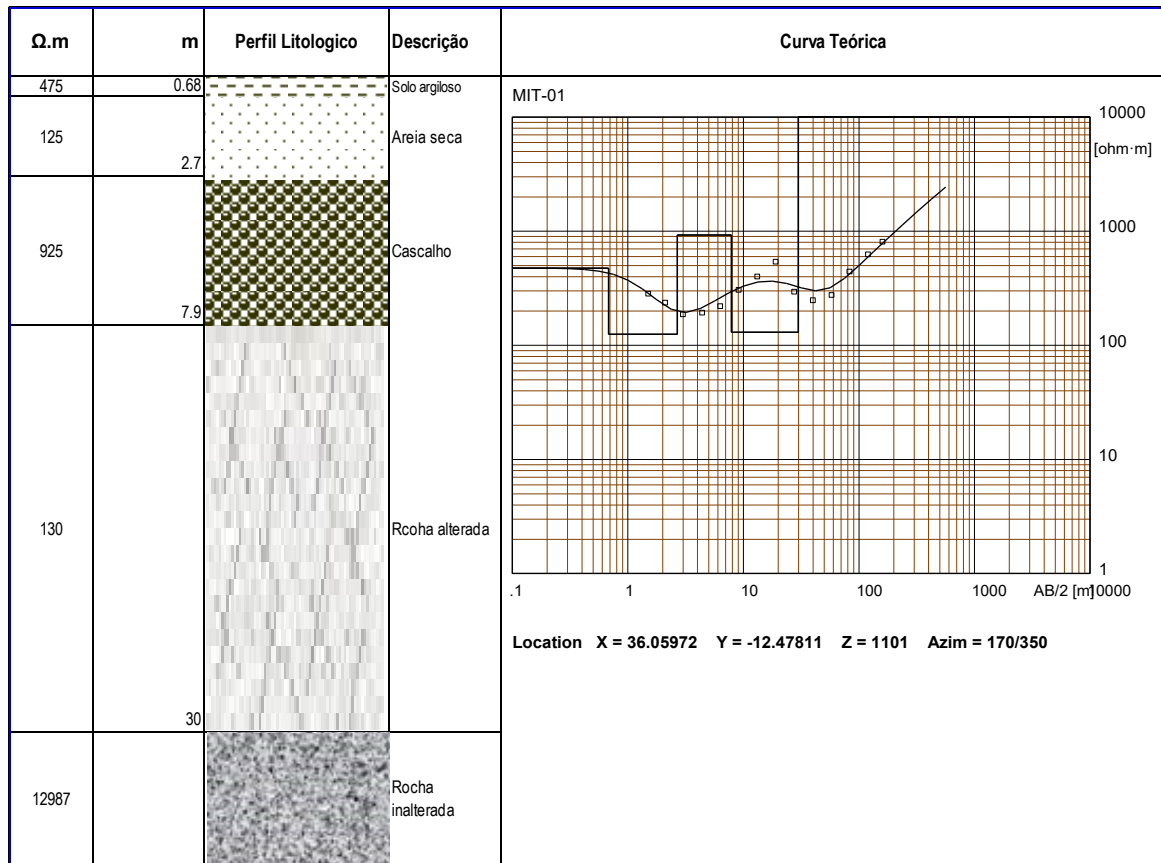
Mbuio SEV-05



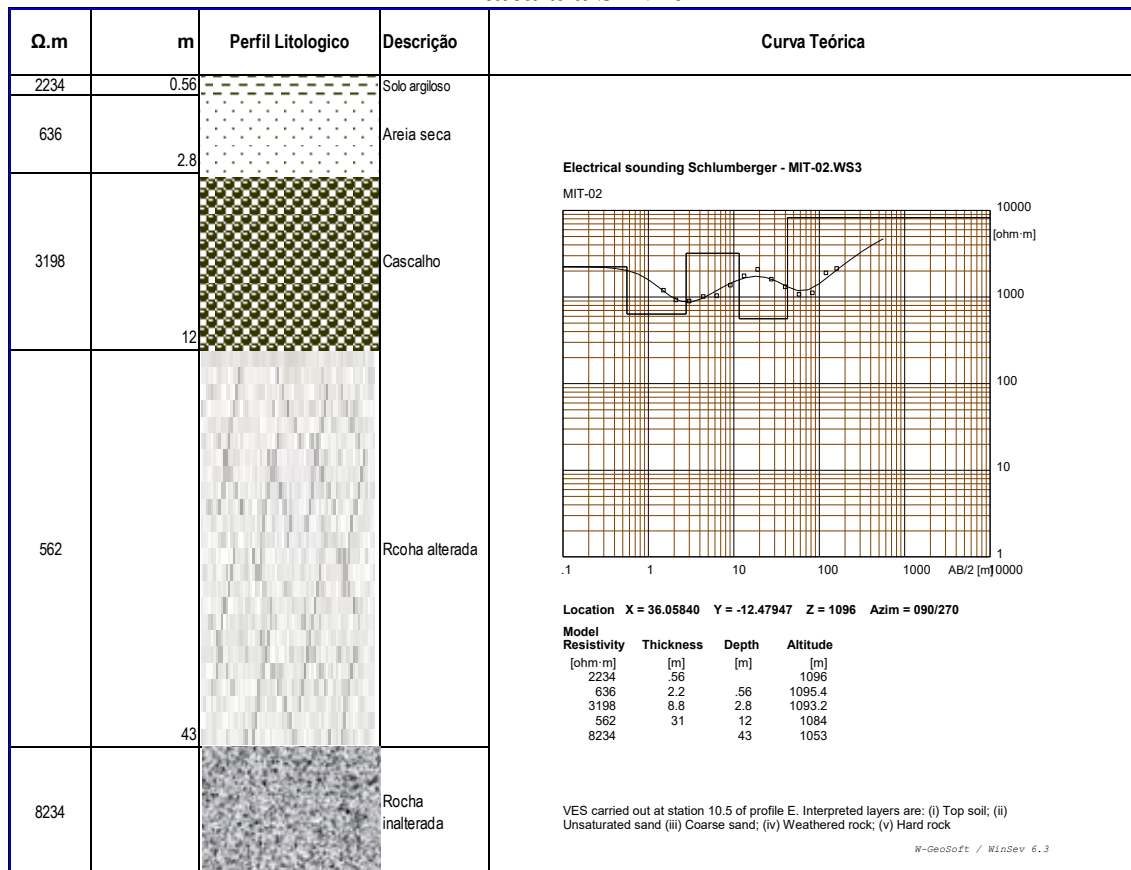
Mbuio SEV-06



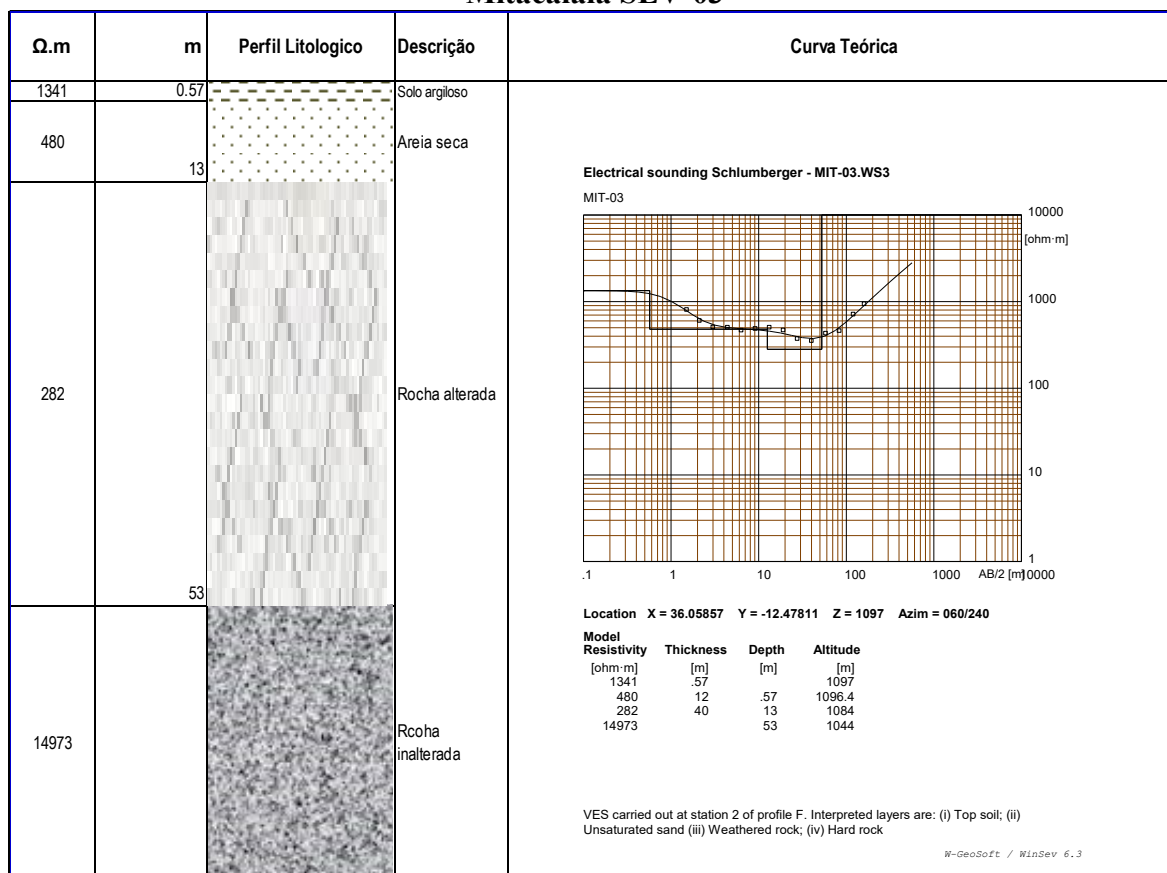
Mitacalala SEV-01



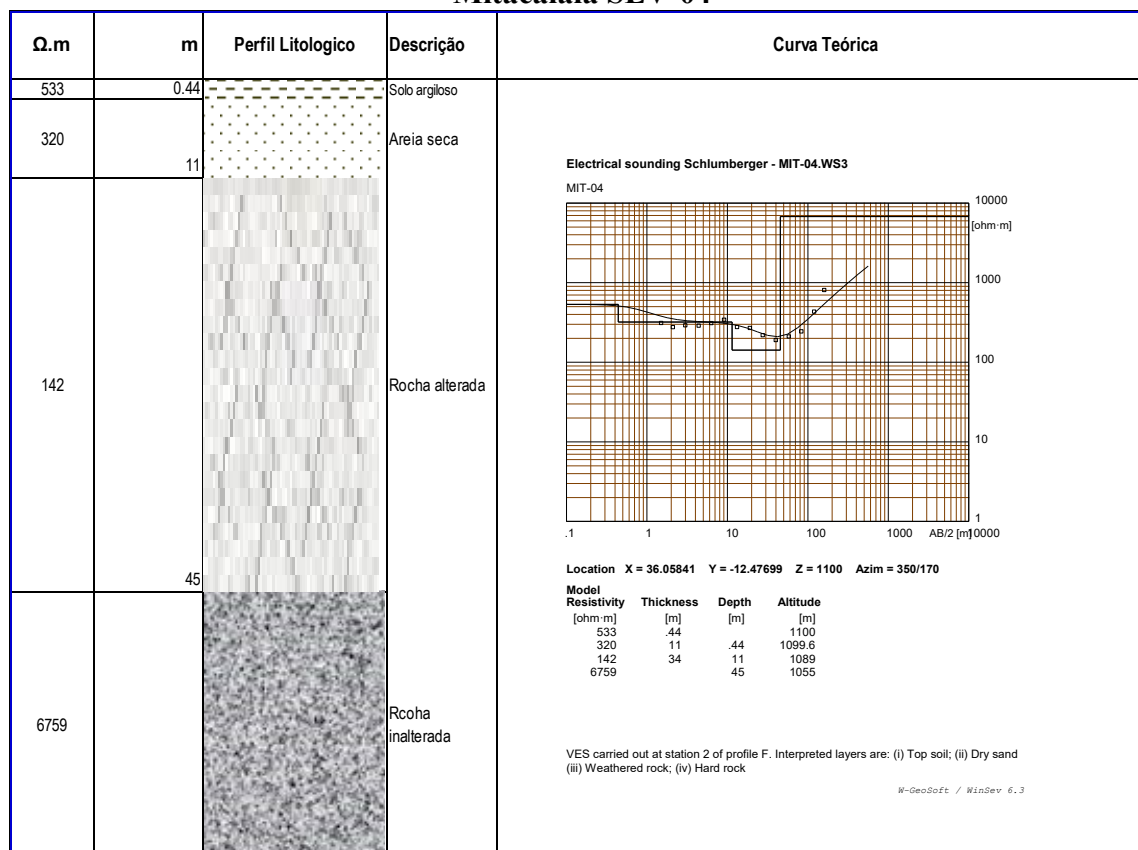
Mitacalala SEV-02



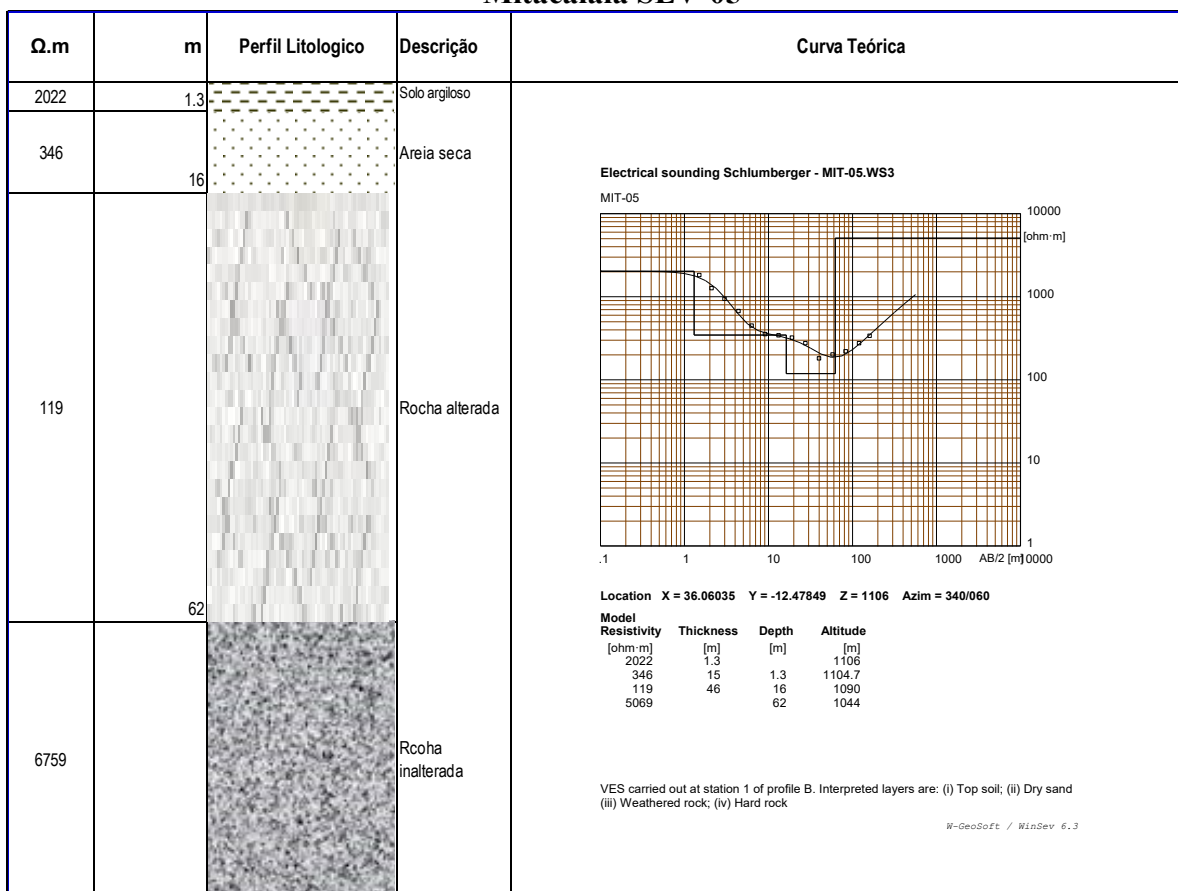
Mitacalala SEV-03



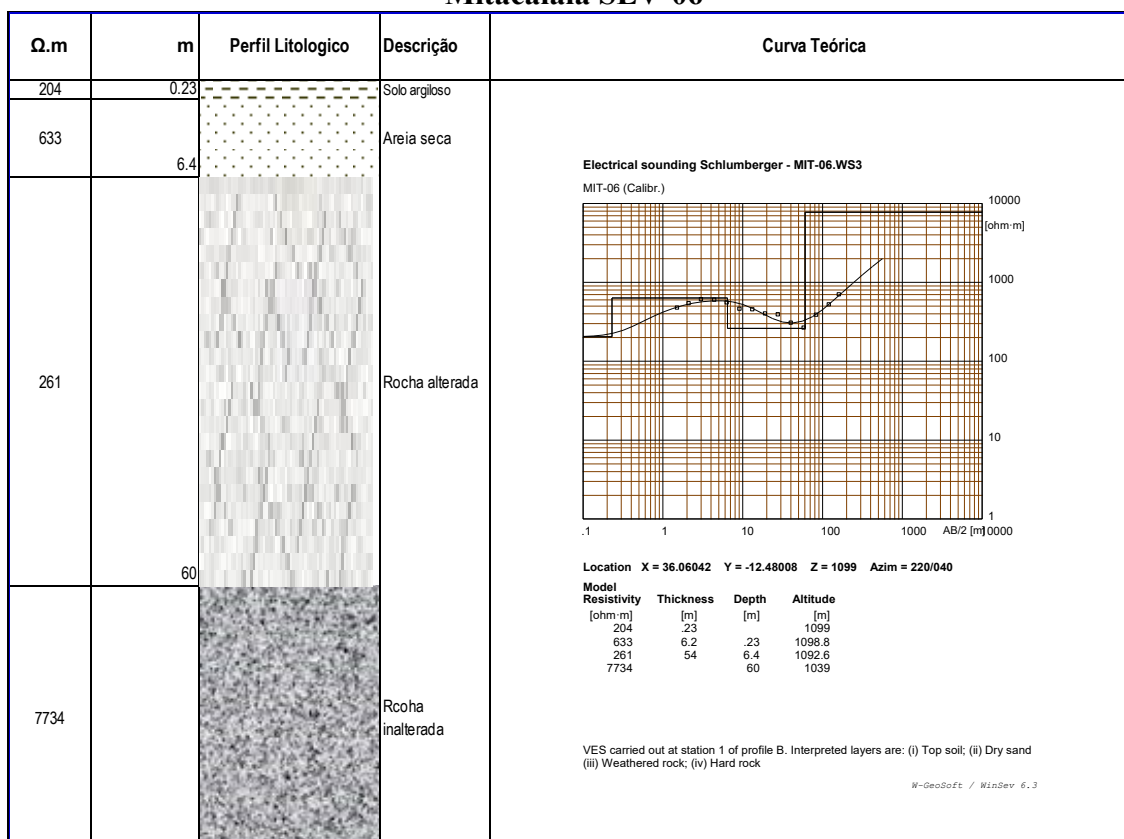
Mitacalala SEV-04



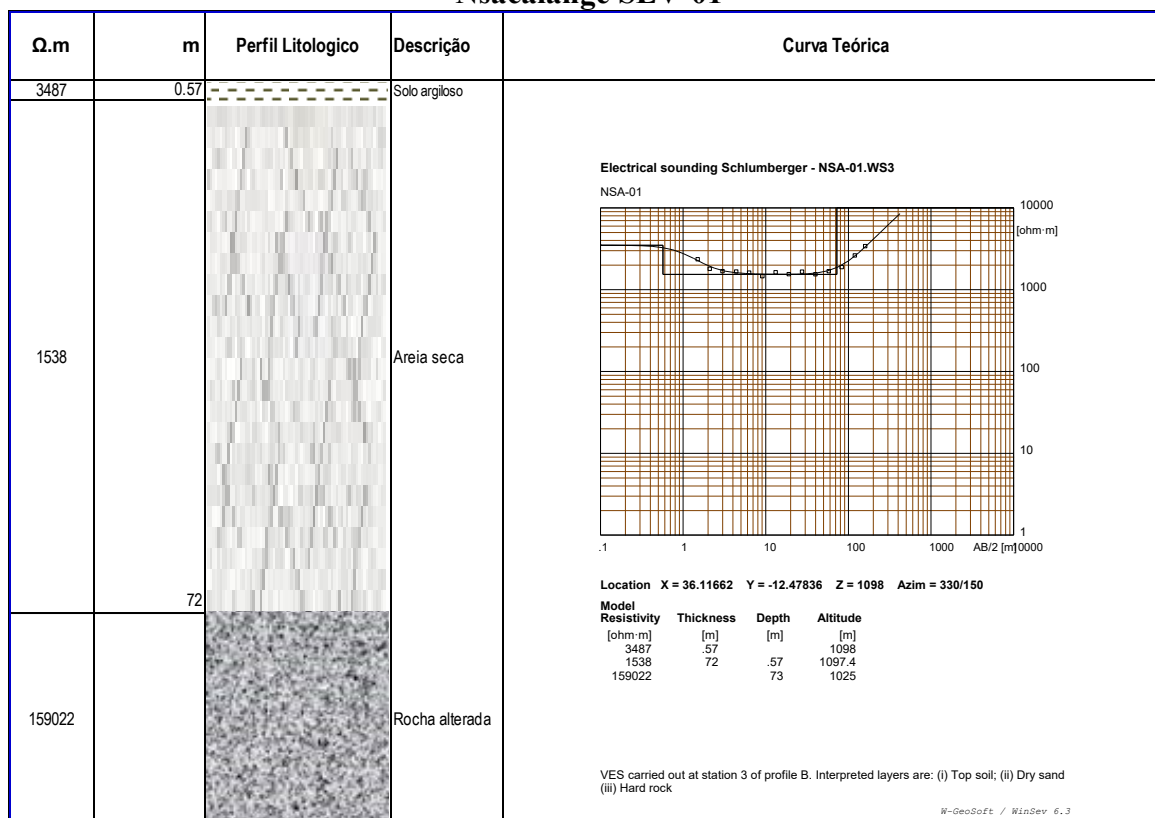
Mitacalala SEV-05



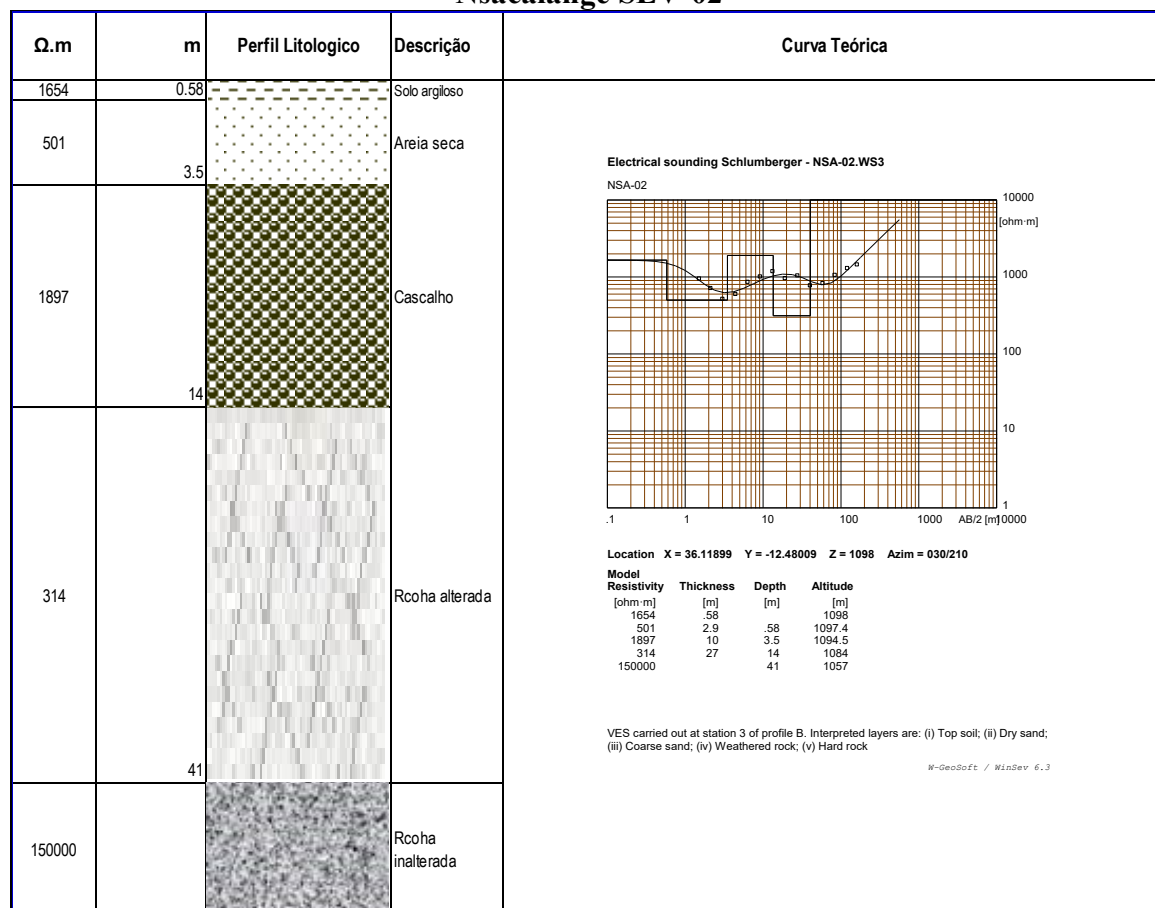
Mitacalala SEV-06



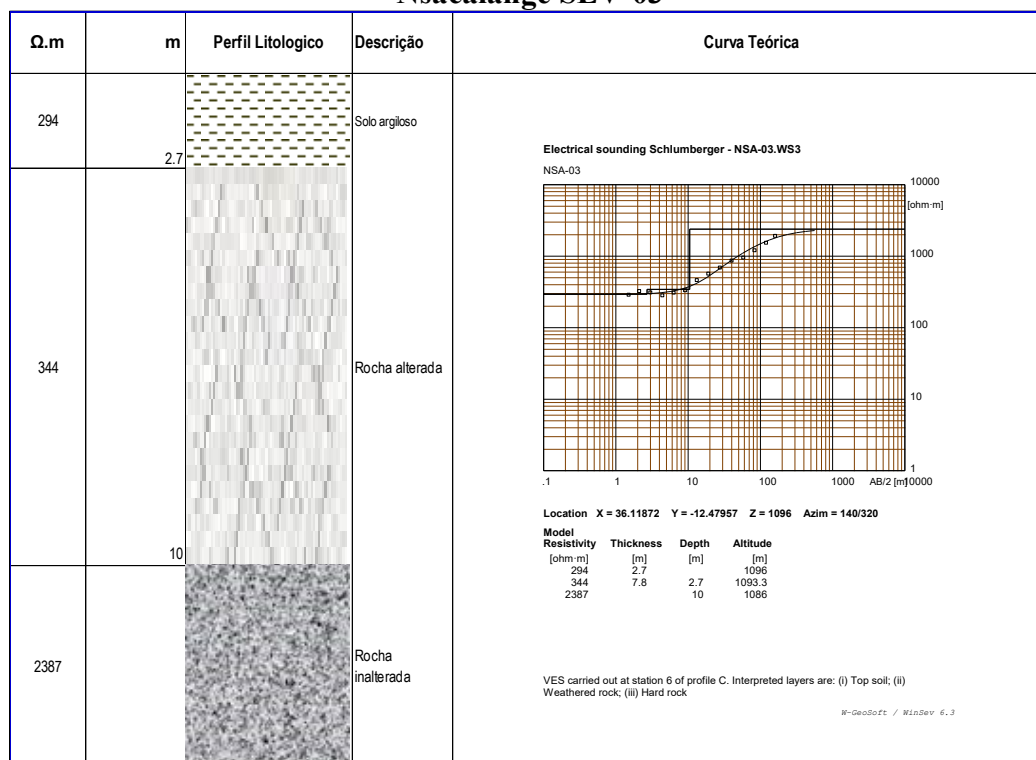
Nsacalange SEV-01



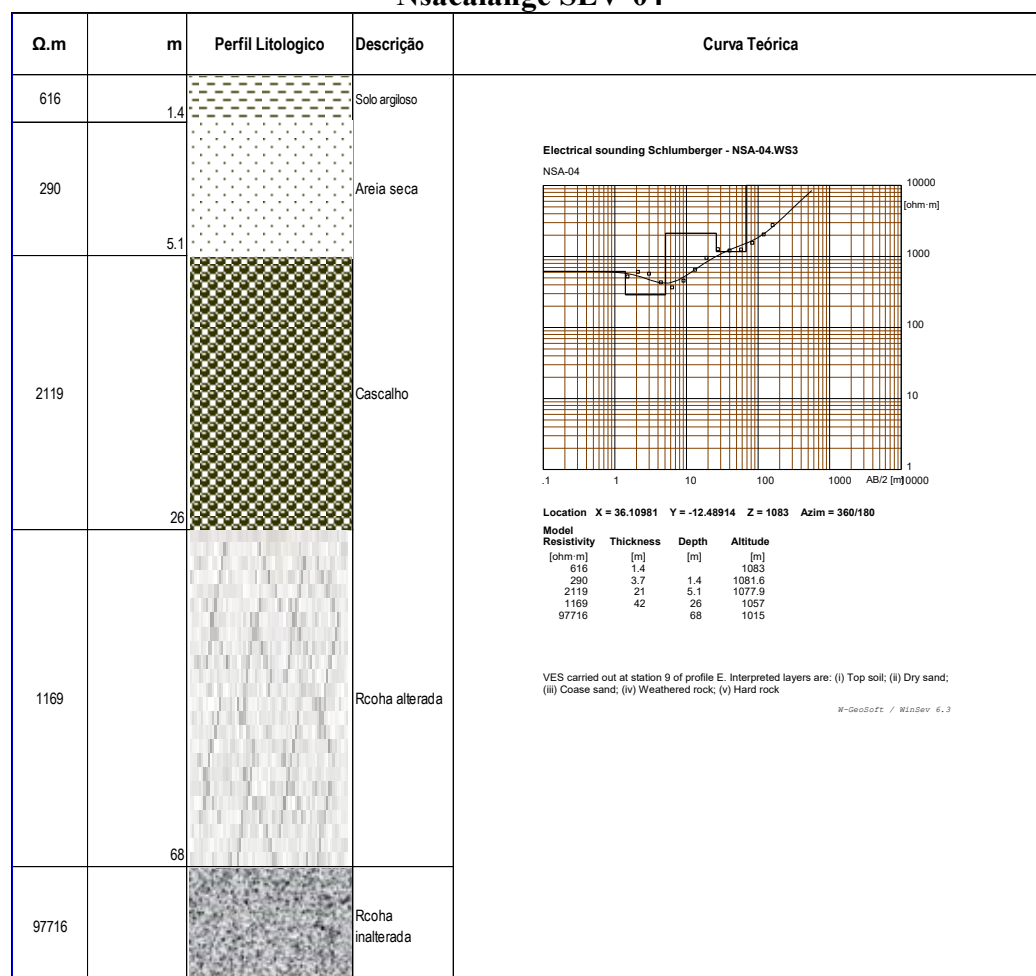
Nsacalange SEV-02



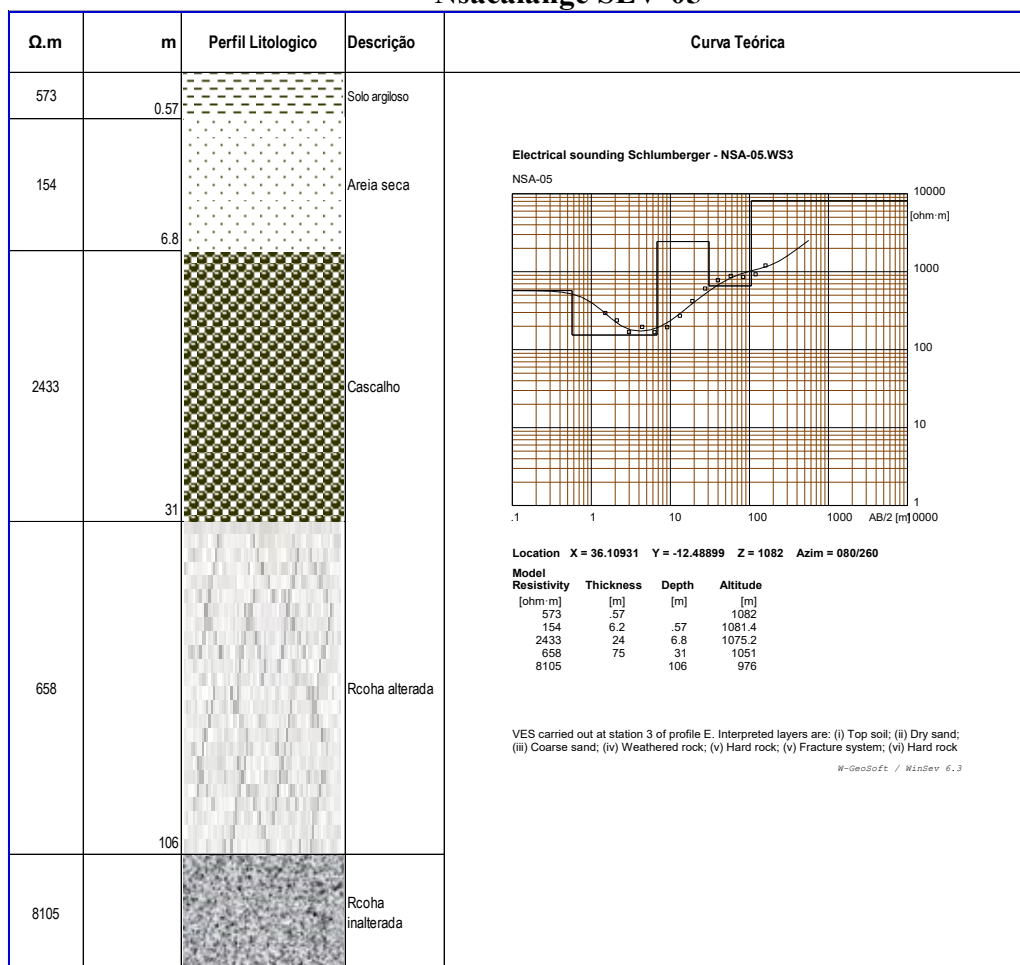
Nsacalange SEV-03



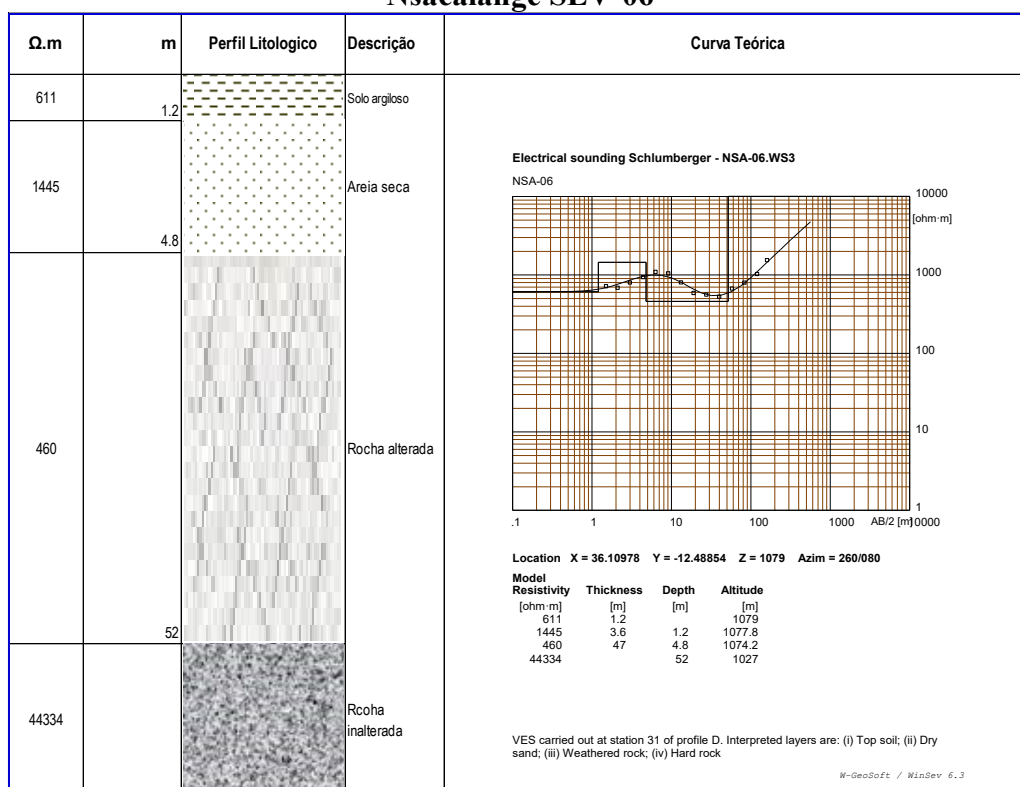
Nsacalange SEV-04



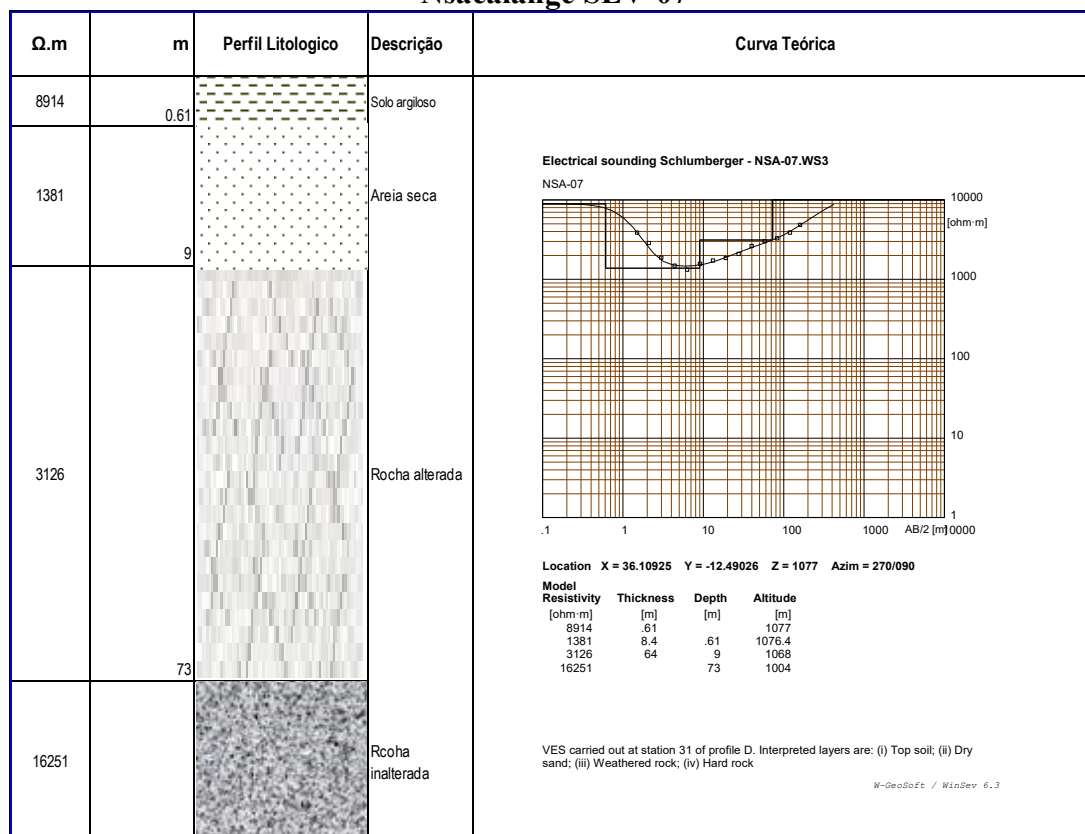
Nsacalange SEV-05



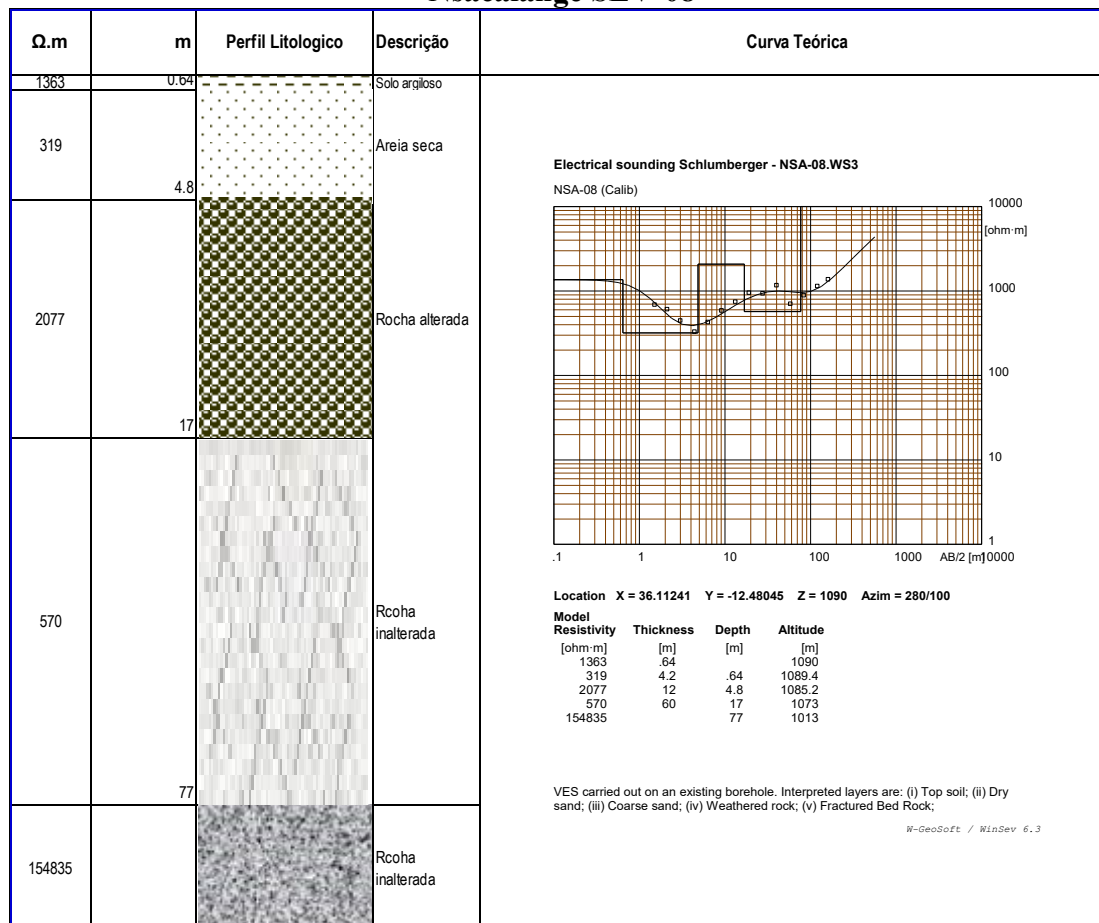
Nsacalange SEV-06



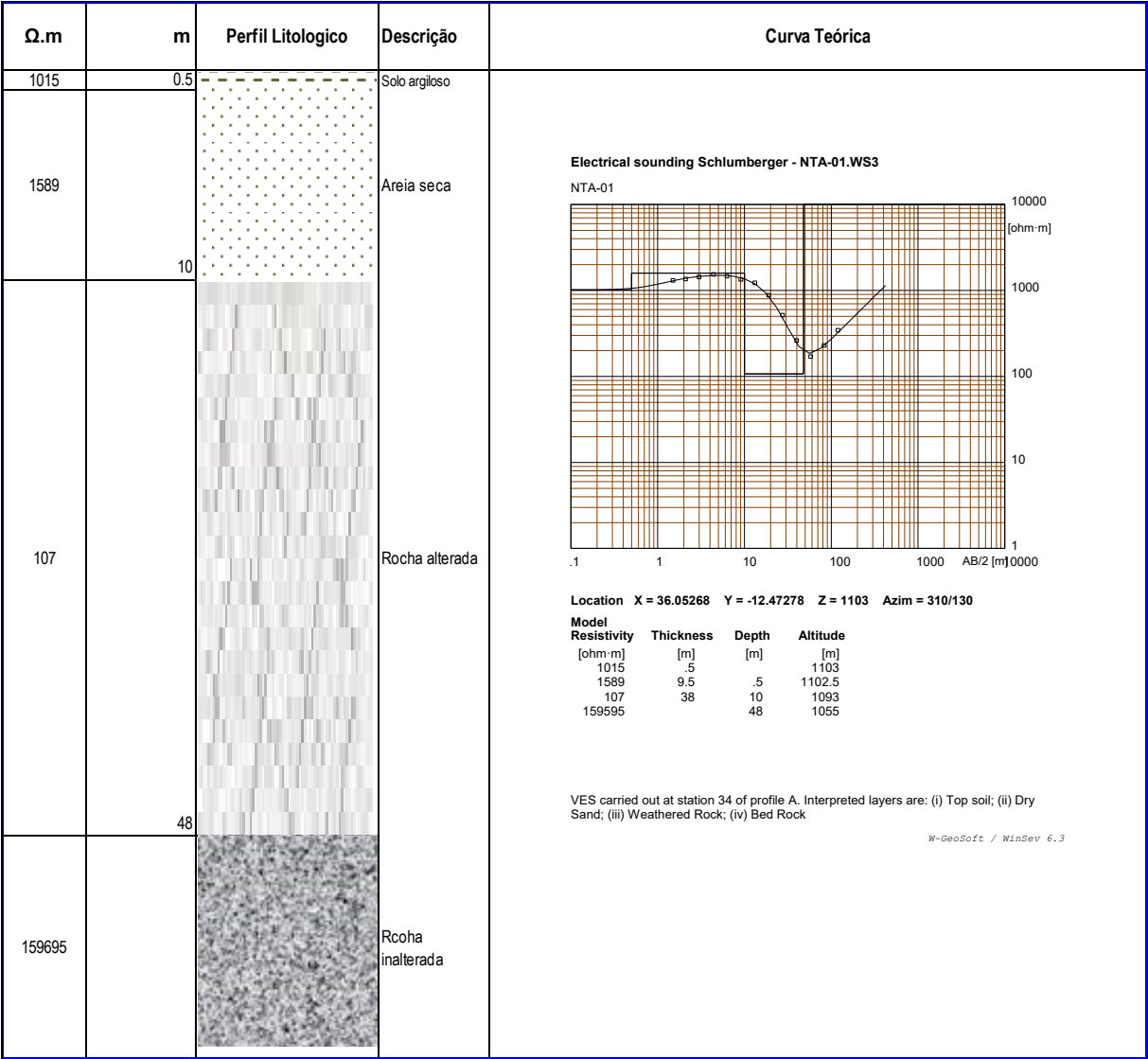
Nsacalange SEV-07



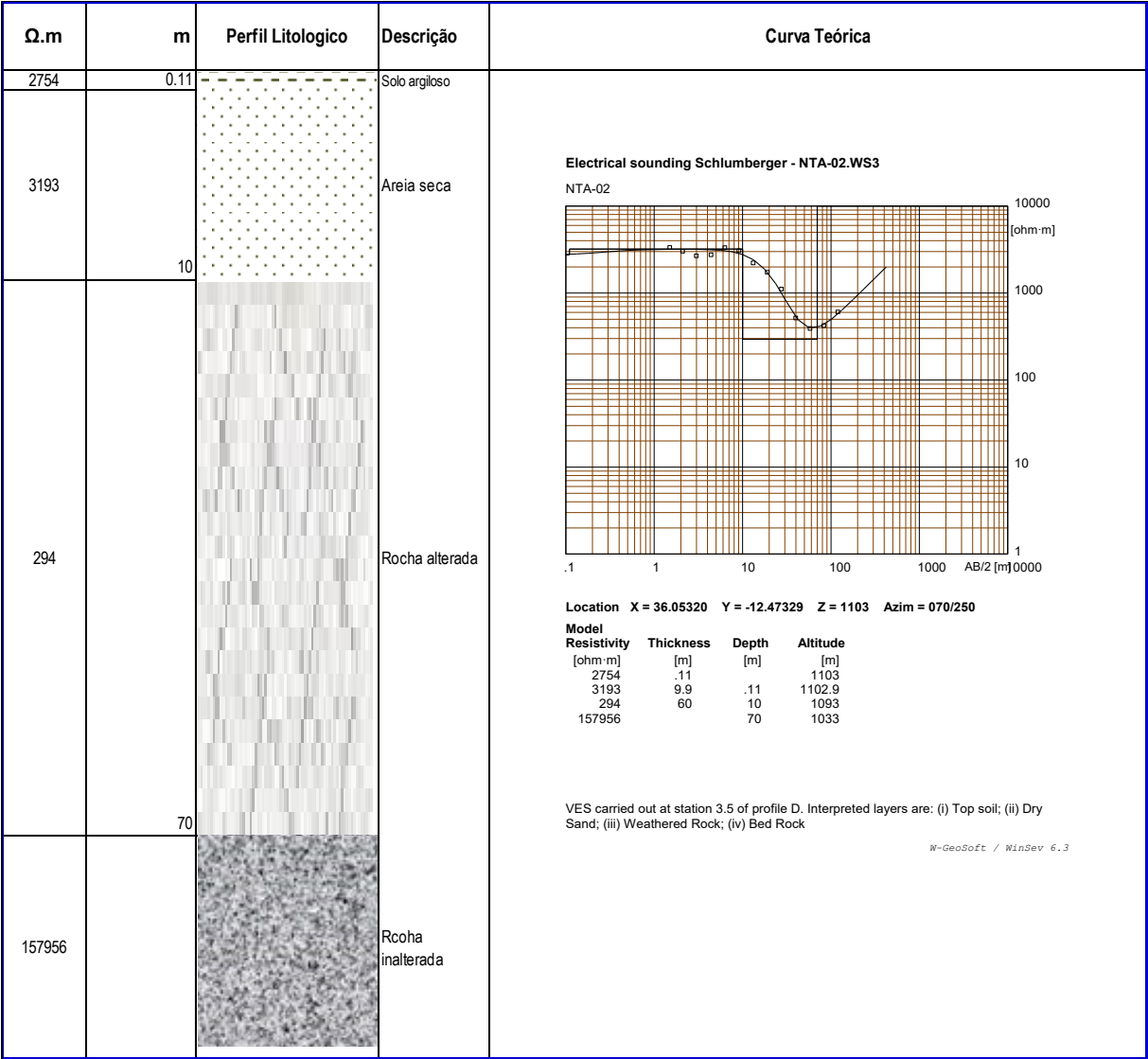
Nsacalange SEV-08



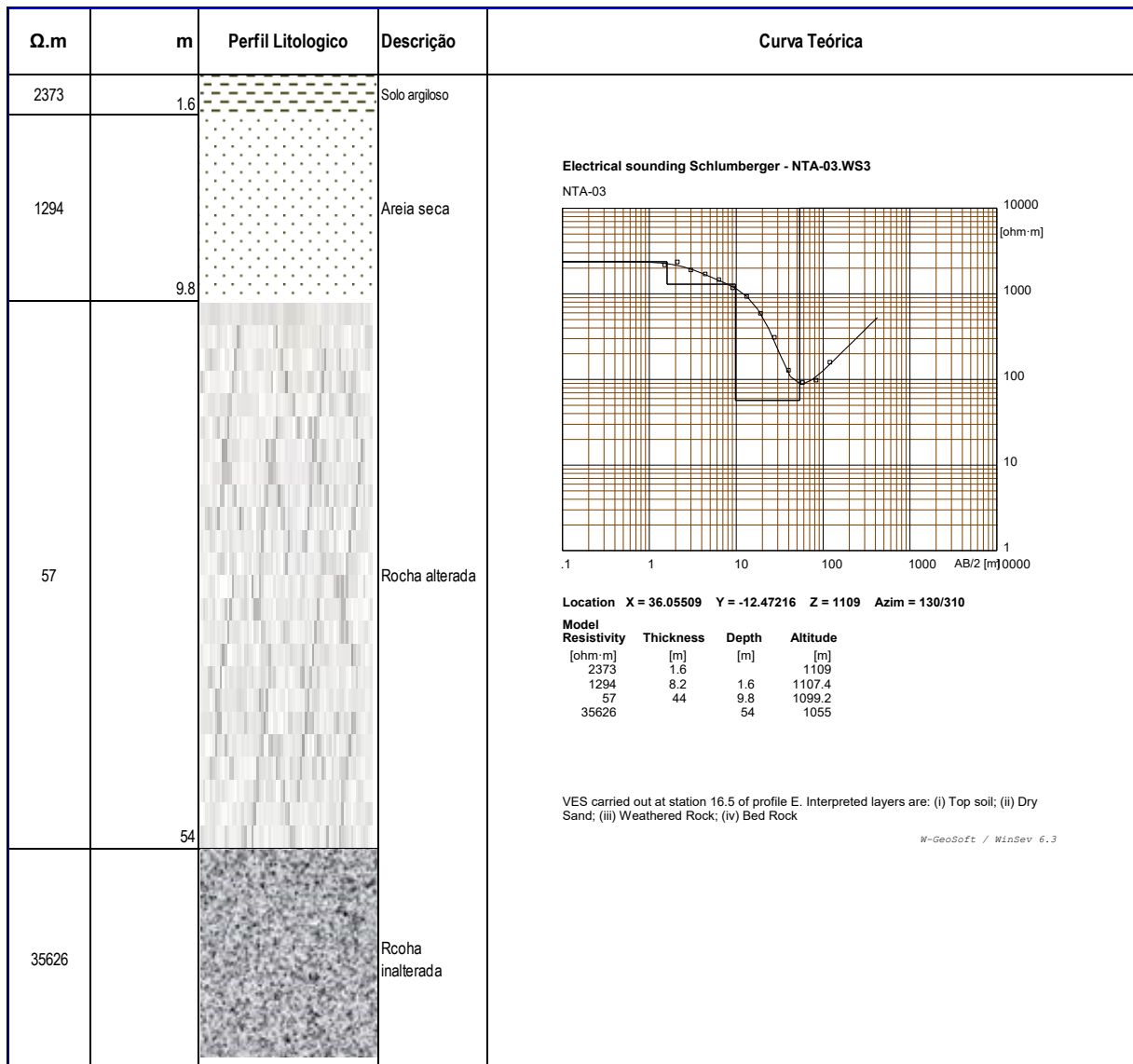
Ntambu SEV-01



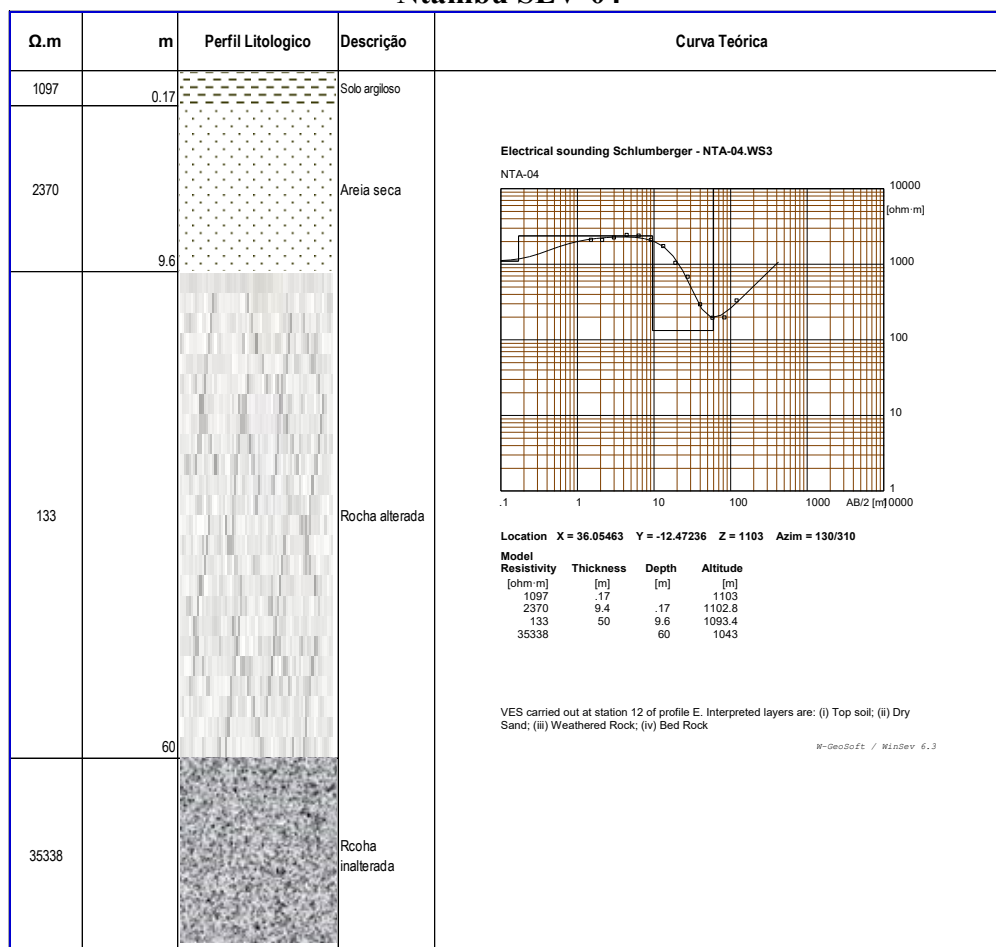
Ntambu SEV-02



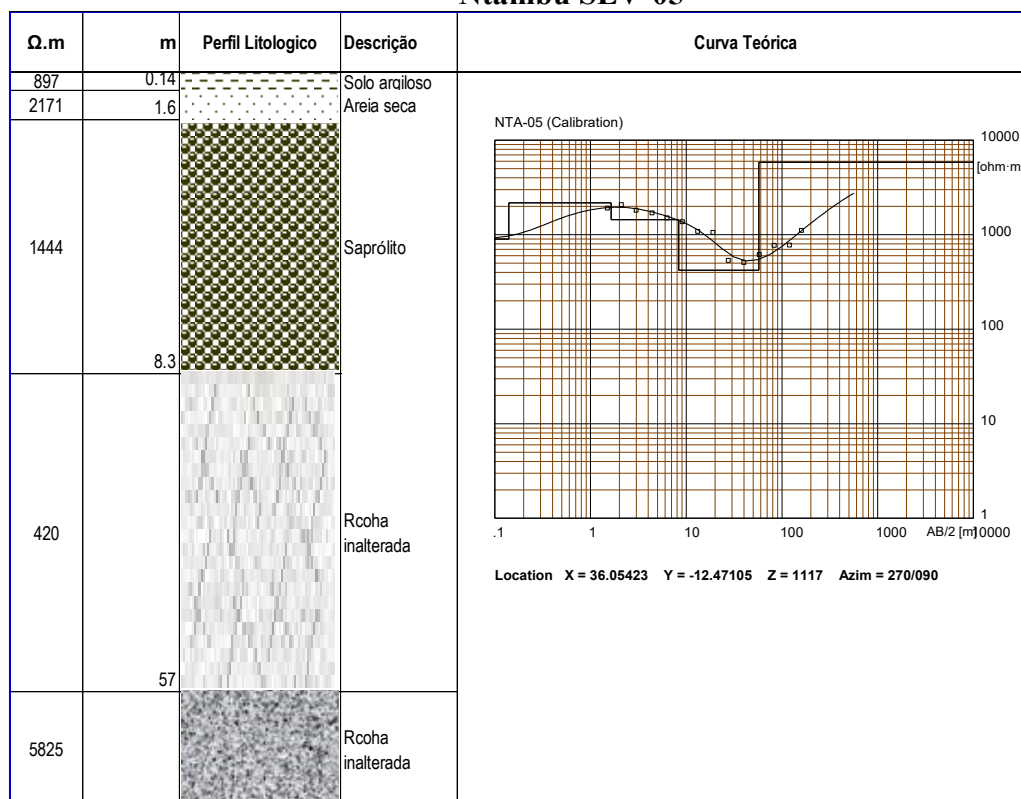
Ntambu SEV-03



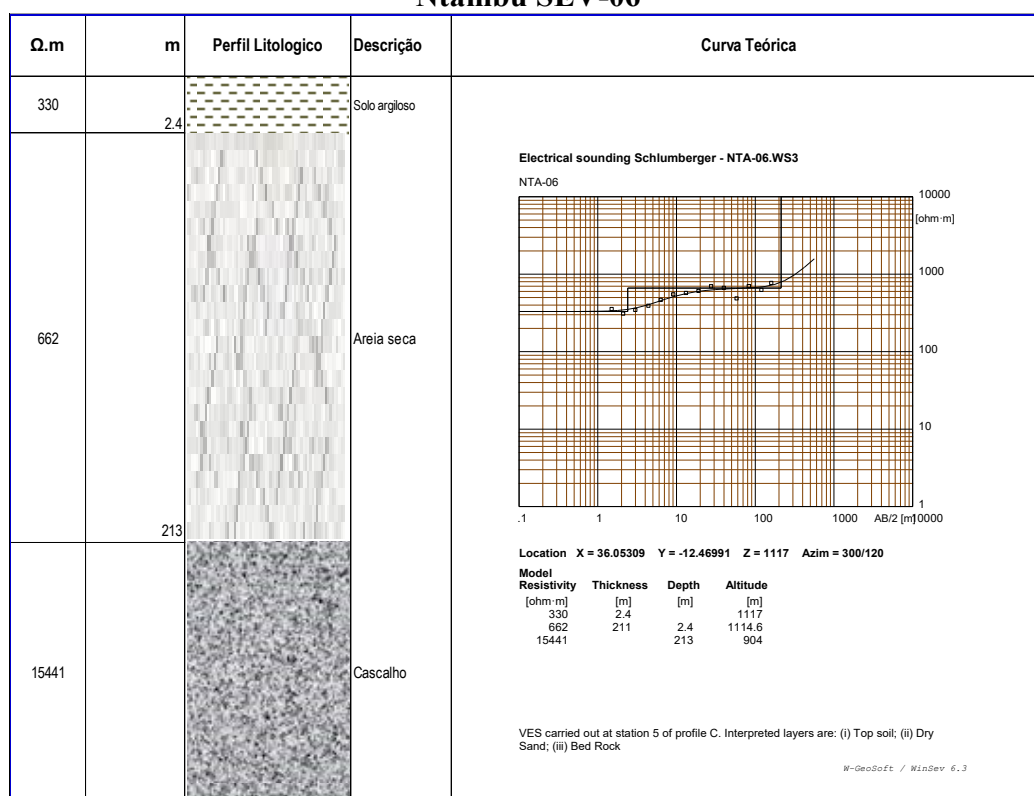
Ntambu SEV-04



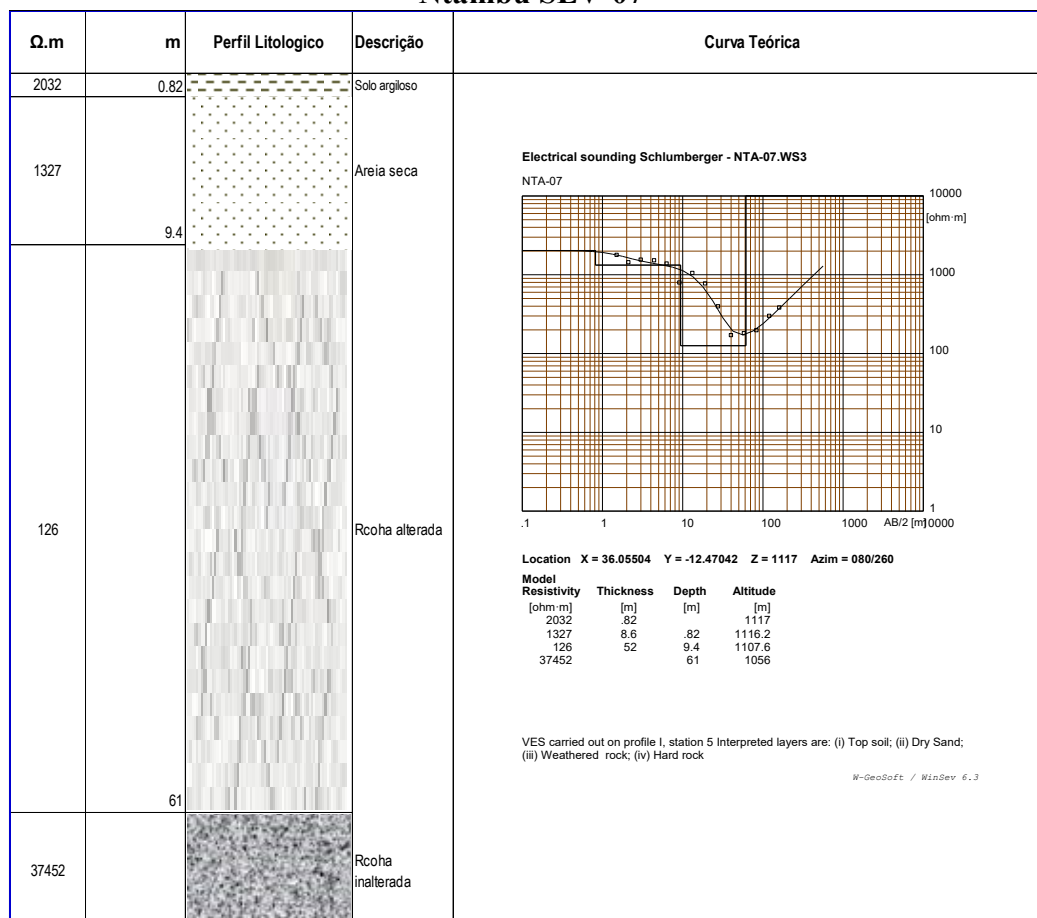
Ntambu SEV-05



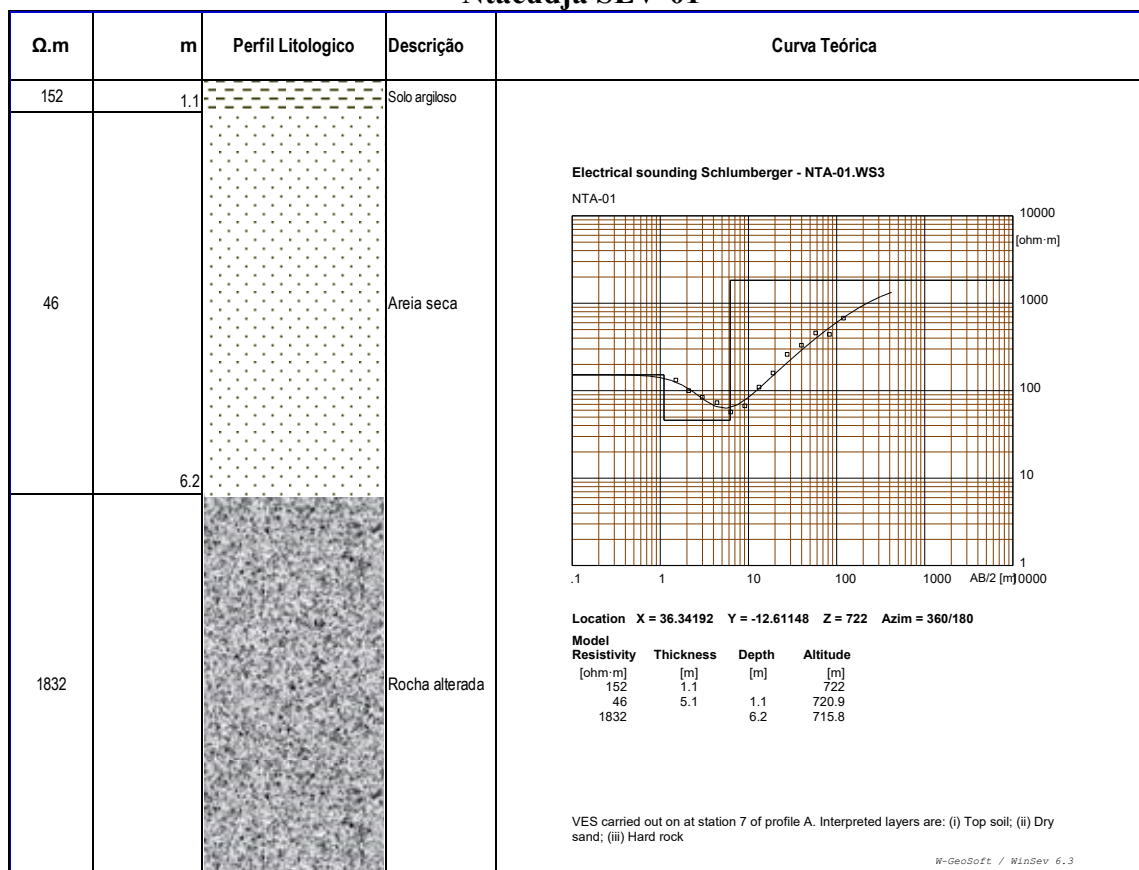
Ntambu SEV-06



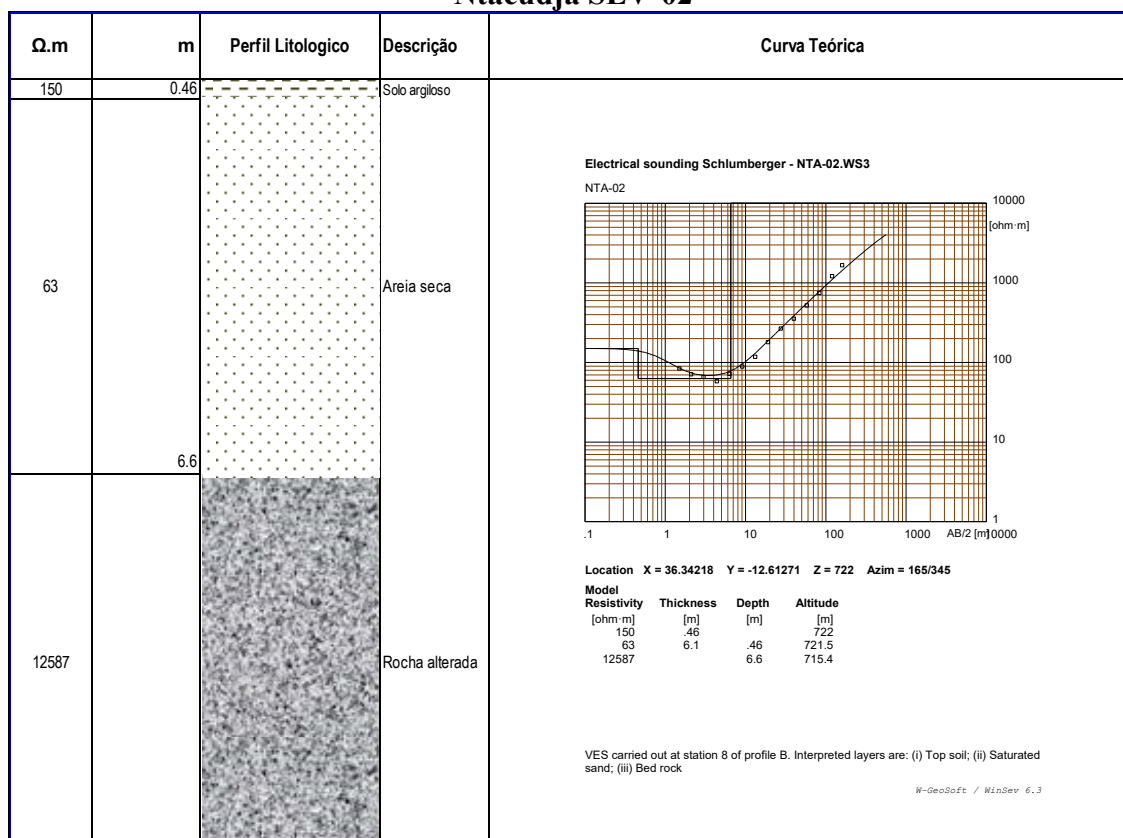
Ntambu SEV-07



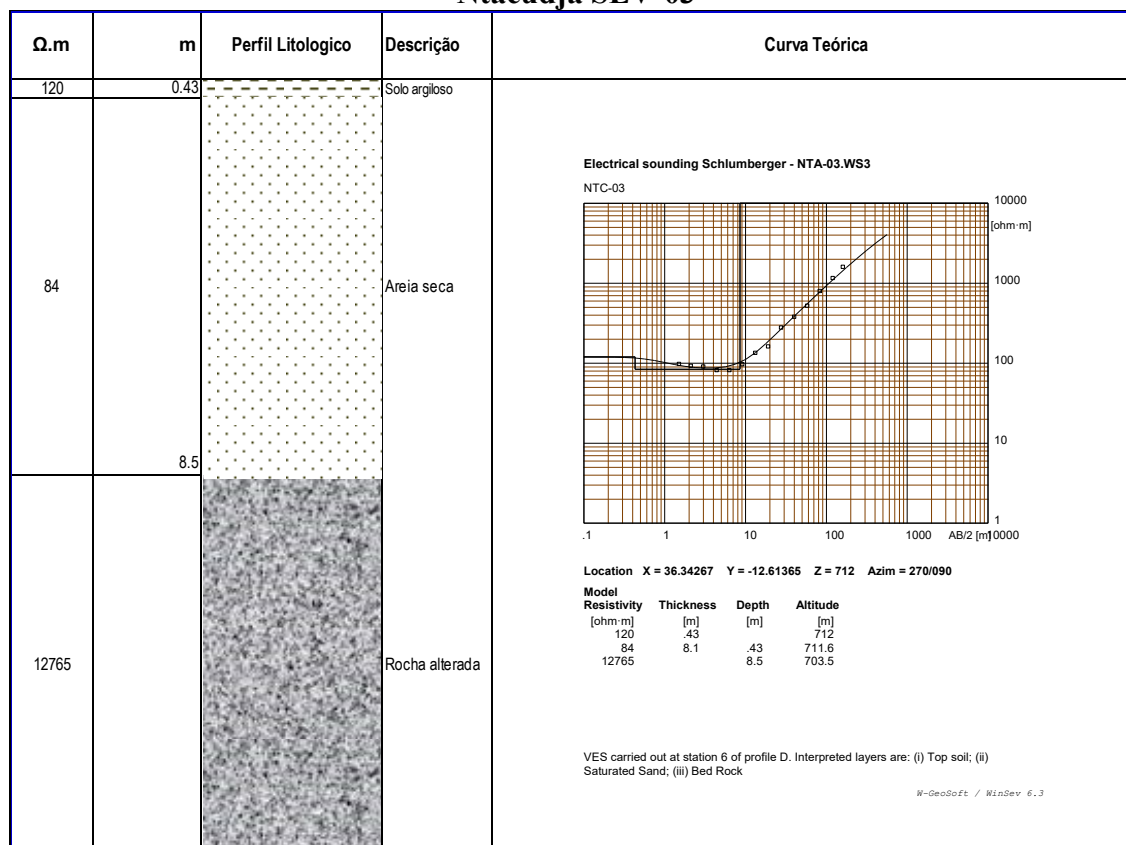
Ntacudja SEV-01



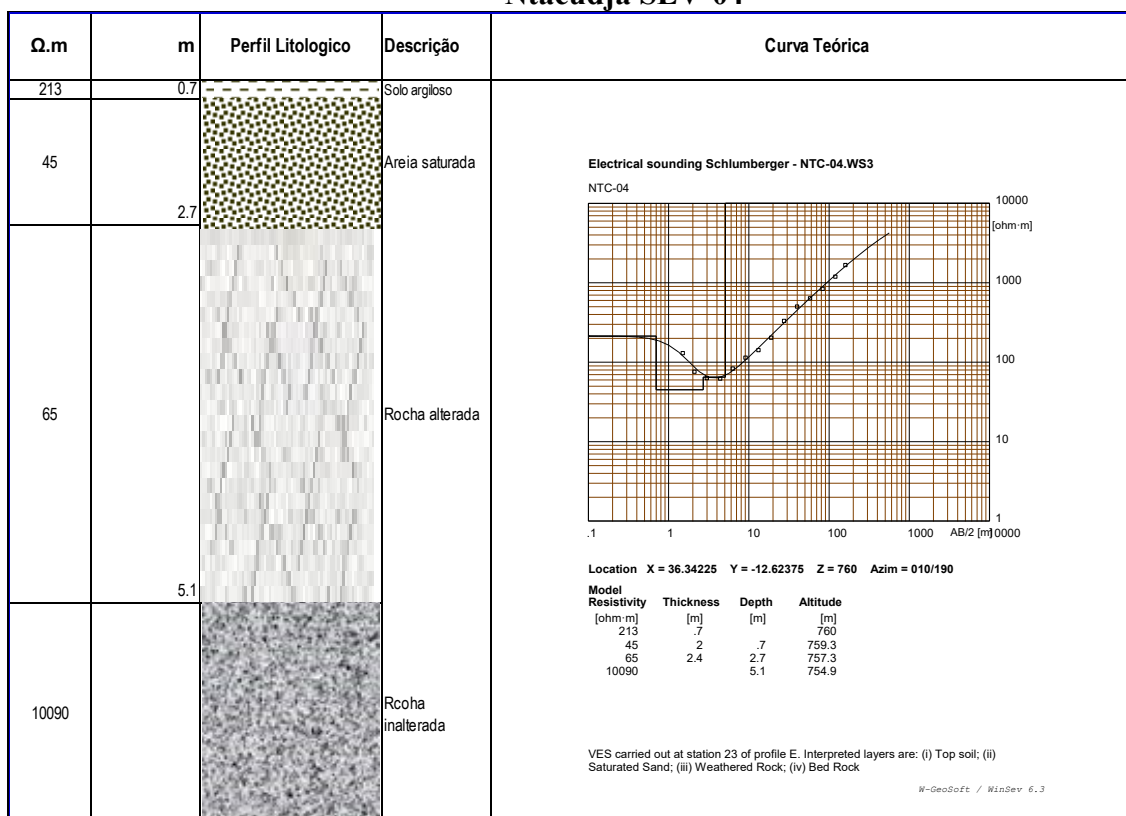
Ntacudja SEV-02



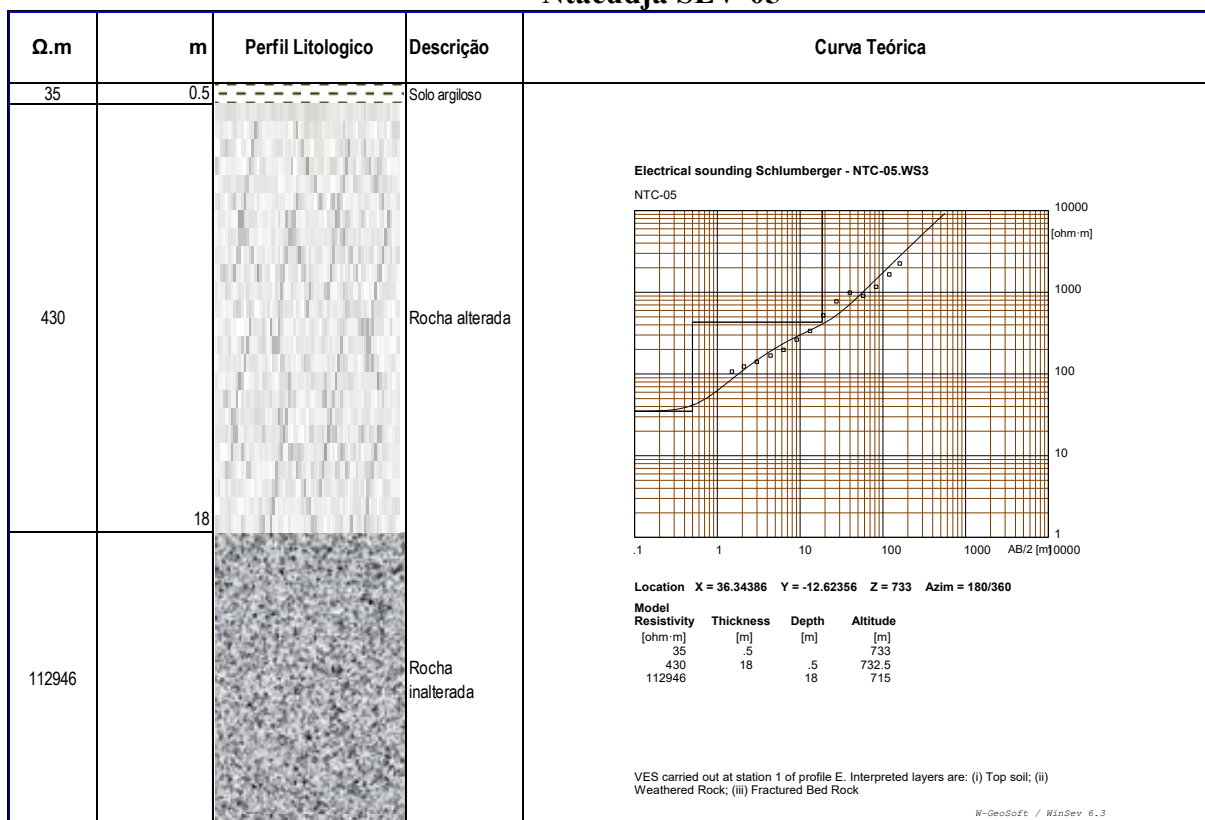
Ntacudja SEV-03



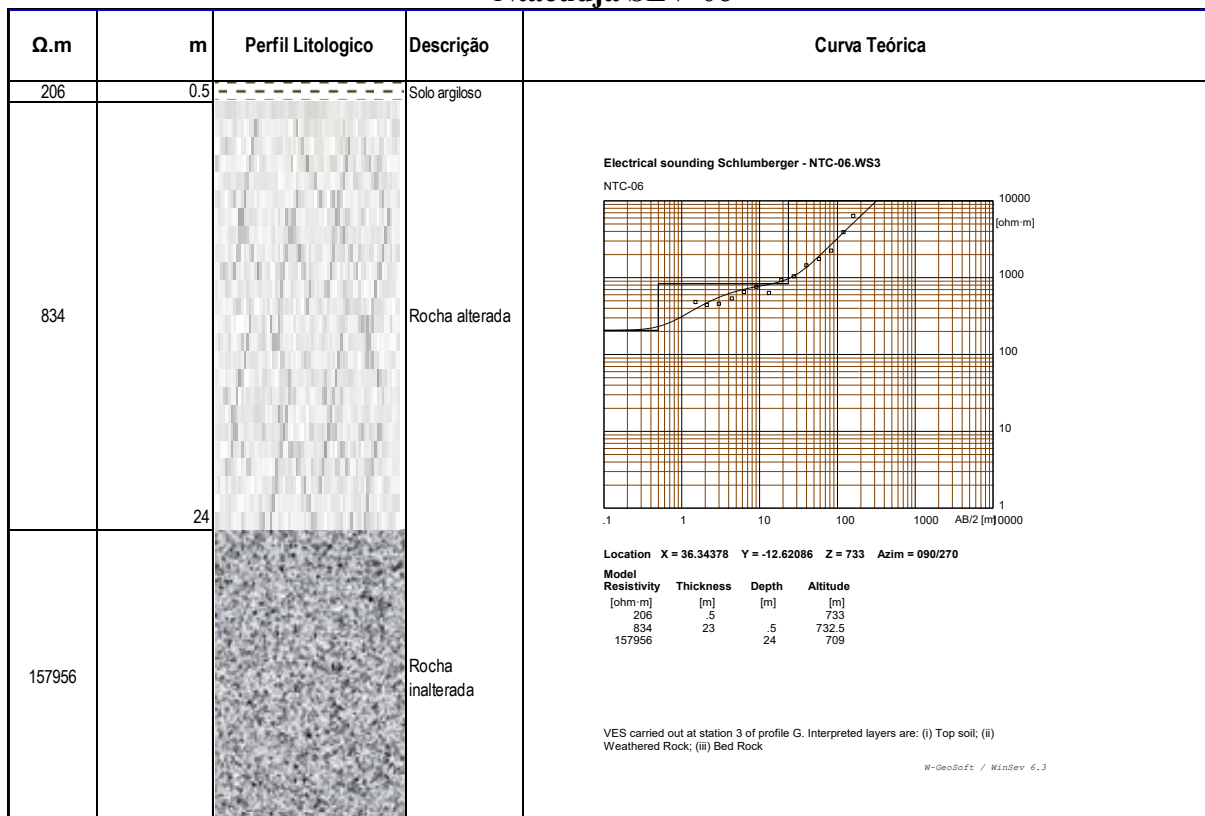
Ntacudja SEV-04



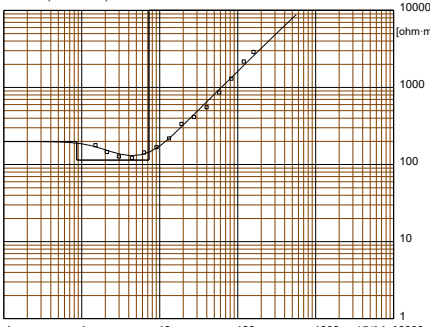
Ntacudja SEV-05



Ntacudja SEV-06



Ntacudja SEV-07 Calibração

Ω.m	m	Perfil Litológico	Descrição	Curva Teórica																				
199	0.86		Solo argiloso	Electrical sounding Schlumberger - NTC-07 Calib.WS3 NTC-07 (Calibration)  Location X = 36.34383 Y = -12.61771 Z = 726 Azim = 230/050 <table><thead><tr><th>Model Resistivity</th><th>Thickness</th><th>Depth</th><th>Altitude</th></tr><tr><th>[ohm-m]</th><th>[m]</th><th>[m]</th><th>[m]</th></tr></thead><tbody><tr><td>199</td><td>.86</td><td></td><td>726</td></tr><tr><td>114</td><td>6.4</td><td>.86</td><td>725.1</td></tr><tr><td>159451</td><td></td><td>7.3</td><td>718.7</td></tr></tbody></table> VES carried out at station 4 of profile H. Interpreted layers are: (i) Top soil; (ii) Weathered Rock; (iii) Fractured Bed Rock W-GeoSoft / WinSes 6.3	Model Resistivity	Thickness	Depth	Altitude	[ohm-m]	[m]	[m]	[m]	199	.86		726	114	6.4	.86	725.1	159451		7.3	718.7
Model Resistivity	Thickness	Depth	Altitude																					
[ohm-m]	[m]	[m]	[m]																					
199	.86		726																					
114	6.4	.86	725.1																					
159451		7.3	718.7																					
114			Rocha alterada																					
	7.3																							
159451			Rocha inalterada																					