
Cómo citar este texto:

Junior Baptista J. Cordeiro, D. (2021). Pesquisa hidrogeológica com os métodos de eletroresistividade e polarização induzida, município de Camucuio, província de NAMIBE – SW de Angola. REEA. No. 8, Vol III. Agosto 2021. Pp. 308-323. Centro Latinoamericano de Estudios en Epistemología Pedagógica. URL disponible en: <http://www.eumed.net/rev/reea>

Recibido: 14 de junio 2021.

Aceptado: 19 de julio de 2021.

Publicado: agosto de 2021.

Indexada y catalogado por:



Título: Pesquisa hidrogeológica com os métodos de eletroresistividade e polarização induzida, município de Camuquio, província de NAMIBE – SW de Angola.

Resumem: Os métodos de resistividade e Polarização Induzida (IP) seleccionados e aplicados na área de estudo serviram para a investigar as estruturas geológicas em subsuperfície através da condução de corrente elétrica (I), continuo ou de baixa frequência, é injetada no subsolo através de um par de eléctrodos (A, B) e o potencial eléctrico (V) resultante é medido entre outro par de eléctrodos. Logo foi possível avaliar as condições hidrológicas do ponto de vista subterrâneo nos arredores da Vila - sede do município do Camuquio, os dados da resistividade e polarização induzida (IP) foram invertidos para permitir a diferenciação das zonas com preenchimento arenoso, argiloso e rochas graníticas maciça conservada. Com os resultados obtidos mapeou-se a parte da cobertura arenosa, a zona das rochas graníticas alteradas e não alteradas, assim como parte das rochas com fraturadas e/ou falhadas que constitui a zona potencialmente aquífero na zona oeste da Vila – sede do Camuquio. Foi possível definir a topografia do substrato aquífero, a interpretação do nível do lençol freático e as fraturas e/ou falhas pelas quais ocorre a infiltração e circulação da água subterrânea no meio cristalino.

Palavras chave: *Água subterrânea, resistividade e polarização induzida.*

Título: Investigación hidrogeológica con los métodos de electroresistencia y polarización inducida, en el municipio de Camuquio, provincia de Namibe – SW de Angola.

Resumen: Los métodos de resistividad y polarización Inducida (IP) seleccionados y aplicados en la área de estudio sirvieron para A investigar las estructuras geológicas en subsuperficie a través de la conducción de corriente eléctrica (I), continuado o de baja frecuencia, es inyectada en el subsuelo a través de un par de eléctrodos (A, B) y el potencial eléctrico (V) resultante es medido entre otro par de electrodos. Luego fue posible evaluar las condiciones hidrológicas del punto de vista subterraneo en los alrededores de la Villa - sed del municipio del Camuquio, los datos de la resistividad y polarización inducida (IP) fueron alterados para permitir A diferenciación de las zonas con preenchimento arenoso, arcilloso y rocas graníticas maciza conservada. Con los resultados logrados mapeouse A parte de la cobertura arenosa, A zona de las rocas graníticas alteradas y no alteradas, así como parte de las rocas con fraturadas e/ou falladas que constituye A zona potencialmente acuifero en la zona oeste de la Villa – sed del Camuquio. Fue posible definir A topografía del substrato aquífero, A interpretación del nivel de la sábana freática y las fracturas e/ou fallas por las cuales ocurre A infiltración y circulación del agua subterranea en medio cristalino.

Palabras clave: *Agua subterranea, resistividad y polarización inducida.*

Title: Investigation hydrogeological with the methods of eletro-Resistencia and polarization induced, at Camuquio's municipality, Namibe's province – SW of Angola.

Summary: The methods of resistivity and Induced polarization (IP) selected and applied in the area of study were useful for To investigating the geological structures in sub superficies' through the conduction of electric current (I), continued or of low frequency, she is injected at the subsoil through a couple of electrode's (To, B) and the electric (V) resulting potential is measured between another pair of electrodes. Next it was possible to evaluate conditions hydrological of the subterranean point of view at the Village's surroundings - thirst of the municipality of the Camuquio, the data of resistivity and induced polarization (IP) went upset to allow To differentiation of the zones with sandy, clayey preenchimento and granitic solid preserved rocks. With the successful results mapeouse To part of the sandy coverage, To zone of the granitic rocks altered and altered, as well as part of the rocks with fractured and ou judged that west of the Village constitutes potentially water-bearing zone at the zone – come from the Camuquio. It was possible to define To topography of the water-bearing substratum, To interpretation of the level of the phreatic bedsheets and fractures and out you fail for the ones that it happens for To infiltration and circulation of the groundwater in half a crystalline lens.

Key words: *Subterranean water, resistivity and induced polarization.*

Introdução.

O município do Camucuí tem 7.452 km² e possui cerca de 46.000 habitantes (INE-Namibe, 2018), é limitado a norte pelos municípios de Baía Farta e Chongorói, a leste pelo município de Quilengues, a sul pelo município de Bibala e a oeste pelo município de Namibe. O município do Camucuí é constituído por três comunas, nomeadamente: Camucuí (comuna sede, Mamué e Chingo.

Nos arredores da Vila – sede do Camucuí regista-se ausência ou défice de rios para o fornecimento de água as populações da região, como alternativa da resolução da problemática do fornecimento de água as populações, gado e agricultura, recorreu-se aos estudos de geofísica para a identificação e mapeamento de aquíferos no meio cristalino geológico. Neste trabalho de pesquisa hidrogeológico apresenta os resultados dos métodos de resistividade eléctrica e polarização induzida no meio cristalino, predominado por granitoides.

Em áreas localizadas em zonas rurais onde o sistema público de abastecimento de água normal é inexistente, é comum o procedimento de recorrer à geofísica como ferramenta fundamental para a localização de aquífero através de medidas indiretas de resistividade eléctrica e cargabilidade (Susana S. Cavalcanti, 2002), por isso aplicou-se estes métodos no município de Camucuí.

Estes métodos permitiram alcançar informações relacionadas as condições geológicas e hidrogeológicas da subsuperfície do Camucuí através de técnicas aplicadas não invasivas. Segundo (Santos, 2005), a interpretação conjunta desses métodos, desde que adequadamente escolhidos e dimensionados, fornecem importantes informações a respeito da localização da zona do potencial aquífero, profundidade do lençol freático e também sobre as características litológicas e geológicas do perfil.

Foi necessário seguir os métodos geoelectricos propostos por (Braga, 1997), baseada em: métodos geofísicos (resistividade e cargabilidade), técnicas (sondagens eléctricas e caminhamentos) e arranjo de campo (schumberger e dipolo dipolo), no presente estudo

com realce a resistividade e cargabilidade das pseudo-sessões de investigação laterais e em profundidades das variações da subsuperfície.

Localização da área de estudo.

O município de Camucuí situa-se a norte da província do Namibe. Namibe é uma das 18 províncias de Angola, localizada na parte sudoeste de Angola, a oeste é limitada pelo oceano Atlântico, a norte pela província de Benguela, a leste pelas províncias da Huila e Cunene e, a sul pela a república da Namíbia (destinonamibe, 2018).

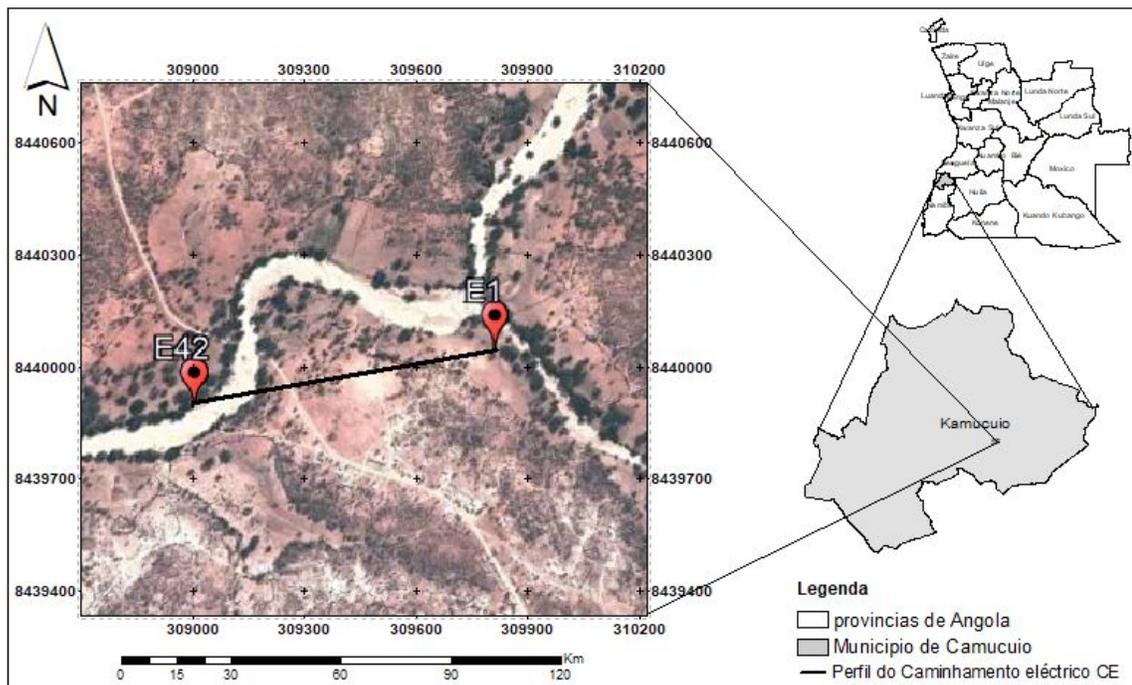


Fig. 3 - Mapa de Localização da área de estudo

Objectivos gerais.

Os objetivos gerais desta investigação é gerar dados, mapear a zona de estudo e disponibilizar informações sobre as potencialidades dos aquíferos em toda a extensão do município em estudo, com a finalidade de elevar a disponibilidade no abastecimento de água às populações, ao gado e a atividade agrícola, de forma a fomentar o desenvolvimento socio-económico do município de Camucuí e melhorar as condições de vida da população.

Aspectos geológicos.

Os terrenos que compõem o município de Camucuiuo são constituídos maioritariamente por rochas cristalinas, fundamentalmente granitoides, de constituição e génese variada, todos de idade Pré-Cambriana (Carvalho, 1982). Estas rochas fazem parte do complexo Granitos Biolíticos Porfiroblásticos. Exibem uma textura porfiróide peculiar devido à presença de fenocristais de feldspato potássico com dimensões e composição variáveis.

Nos afloramentos observam-se passagens de granitos à granitoides, predominando os granitos. Junto as variedades porfiroblásticas, frequentemente, aparecem também granitos de granulometria uniforme e de composição idêntica. Admite-se que estes granitos porfiroblásticos foram formados devido à transformações metassomáticas de rochas intrusivas e metamórficas.

Pela sua composição química os granitos porfiroblásticos aproximam-se das variedades micro-cristalinas dos granitos do Arcaico superior, mostrando apenas teores de álcalis um pouco mais elevados. As vezes assinalam-se variedades porfiroblásticas das séries sub-alcalinas e alcalinas.

Quanto à idade dos granitos porfiroblásticos não existem datações uniformes, visto serem os seus contatos com todas as rochas encaixantes, regra geral, graduais. As rochas em consideração são intrusivas nos granitoides do Arcaico superior.

Os doleritos ocorrem em forma de diques e pequenos stocks. Os diques na maioria dos casos, aparecem em enxames enquanto os stocks formam fiadas. Os diques estendem-se, principalmente em direção NW, sendo porém assinaladas outras orientações (Araujo, 1992). Estas rochas cortam os granitoides do arcaico superior e do proterozoico inferior, as datações isotópicas dos doleritos segundo (Araujo, 1992) variam entre 1175 ± 69 (método K-Ar, numa plagioclase) a 1281 ± 22 m.a. (rocha total) sugerindo também a época da sua recristalização.

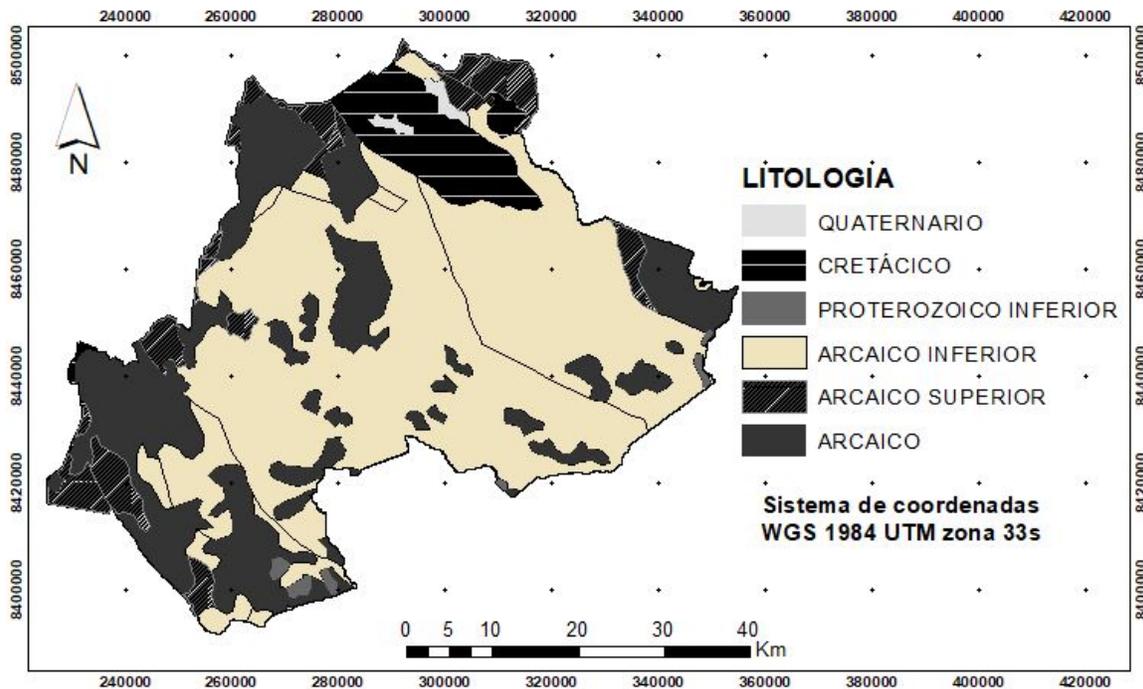


Fig. 2 – Mapa geológico do Camucuio, modificado a partir de (Carvalho, 1982).

Legenda:

Quaternário: Areias, argilas, turbiditos

Cretácico: Sienitos nefelínicos, shonquinitos, meltijitos, monzonitos, fonólitos, tinguitos, traquitos; carbonatitos.

Proterozóico inferior: Doleritos.

Arcaico superior: Gnaisses bimicáceos, plagiognaisses, as vezes carbonáceos; epidotitos - para-anfibolitos e mármores, quartzítos.

Arcaico inferior: Gnaisses, biotítico - hornblêndicos, biotítico-hiperstênicos, granada-bimicáceos com distena, leptita quartzito em zona de ultrametamorfismo – tonalitos. Plagiomigmatitos, plagiogranitos, enderbitos, charnoquitos.

Arcaico: Biotílicos-granada hiperstênico.

Metodologia de campo: métodos geofísicos.

A geofísica, na exploração da água subterrânea é considerada indispensável, isso porque a perfuração de poços lida com aspectos não visíveis do subsolo. É necessário identificar os aquíferos, sua extensão e entender quais são os obstáculos na exploração de água subterrânea. Dessa forma, a geofísica torna-se numa ferramenta importante,

garantindo a certeza de se alcançar aquíferos que possam fornecer grandes volumes de água.

Do ponto de vista da geologia o município de Camucio assenta sobre rochas cristalinas constituídos maioritariamente por granitoides, rochas que fazem parte dos conjuntos litológicos do Escudo de Angola. O conhecimento das fissuras, fraturas e das falhas e contatos geológicos, estruturas geológicas que controlam o fluxo da água subterrânea é pré-requisito para captação de água nesta área.

Para a medição dos dados geofísicos neste trabalho foram seleccionados os métodos de Eletrorresistividade e Polarização Induzida (IP). O método de electrorresistividade investiga estruturas geológicas em subsuperfície através da condução de corrente eléctrica nas rochas. Para cada medição uma corrente eléctrica (I), contínuo ou de baixa frequência, é injetada no subsolo através de um par de eléctrodos (A, B) e o potencial eléctrico (V) resultante é medido entre outro par de eléctrodos (M, N) (Fig. 1).

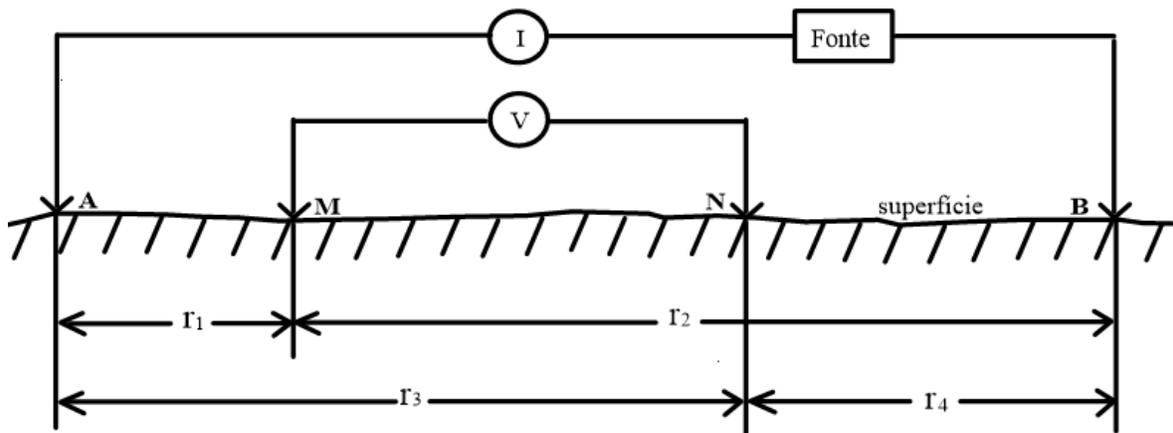


Fig. 3 – Dois eletrodos de corrente (I) e dois de potencial (V) sobre a superfície de um meio homogêneo e isotrópico de resistividade ρ . Adaptada (Orellana, 1972)

Conhecida a corrente eléctrica injetada I e a diferença de potencial medida ΔV calcula-se o parâmetro ρ , denominada resistividade, para um meio homogêneo e isotrópico, aplicando-se a fórmula:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K(\text{SEQ Figura} \setminus * \text{ARABIC } 1)$$

em que

$$K = \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (2)$$

Na equação 2 K é função da disposição dos eletrodos AB e MN, sendo por isso denominado de “coeficiente geométrico”. Para um meio homogêneo a resistividade é a mesma, qualquer que seja a posição dos quatro eletrodos A, B, M e N.

A condução eléctrica de uma rocha é basicamente determinada pelo conteúdo e salinidade de seu eletrólito, pelo volume e conectividade de seus espaços vazios e pela proporção de minerais portadores de corrente dispersos na matriz de seus sólidos, por isso, o método têm obtido amplo sucesso na exploração de água subterrânea.

Ao se aplicar corrente eléctrica no solo cria-se uma diferença de potencial ΔV primária, conseqüentemente, é provocada uma polarização do mesmo. A diferença de potencial primária ΔVP não se estabelece e não se anula instantaneamente, quando a corrente é injetada ou cortada. Pode-se descrever o efeito IP como se o solo contivesse pequenos condensadores, carregando-se durante a injeção de corrente e descarregando-se após a corrente ser desligada.

Como ocorre no método de eletrresistividade, se as medições da polarização induzida são efetuadas sobre um terreno não homogêneo, resulta que os dados de campo expressam polarizações aparentes. O parâmetro resultante das medidas é denominado cargabilidade aparente.

O efeito de polarização induzida (IP) nas rochas sedimentares resulta, principalmente, dos gradientes de concentração de cargas desenvolvidas nos canais porosos e pela ação de fenómenos de filtração por membrana. Normalmente, partículas de minerais de argila, capeando paredes e gargantas dos poros, atuam como membranas filtradoras de aniões. Deste modo, o uso combinado de resistividade e de IP, dentre vários fatores, é útil para definir a proporção de argilas nos aquíferos.

Técnicas de aquisição dos dados.

Existem duas técnicas para a medição de dados com os métodos de eletrorresistividade e polarização induzida, nomeadamente, a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e a Sondagem Elétrica Vertical Contínua, ou, do inglês, Contínuos Vertical Electrical Sounding “CVES”. A CVES (Fig. 2) é uma tomografia de resistividade elétrica em duas dimensões (2D) que possui vantagens significativas quando comparado com a SEV, a mais comum.

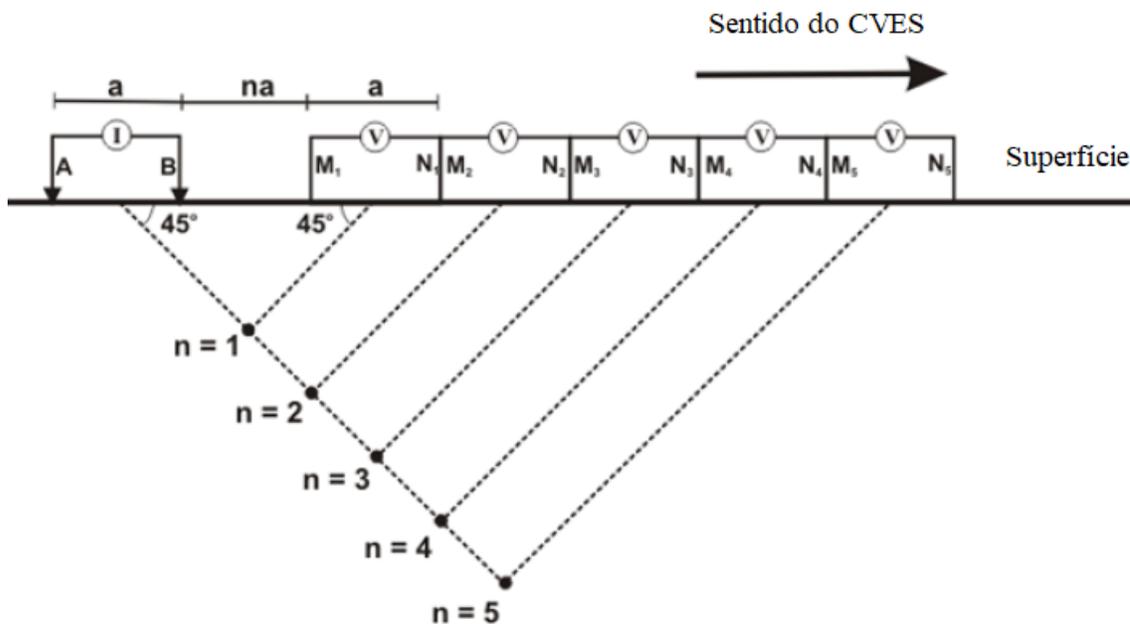


Fig. 4 Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo com os cinco níveis de investigação teóricos (n=1 a n=5) durante medição de dados com a técnica CVES. (Elis, 1998)

Porque usar cves ao invés de sev?

A Sondagem Elétrica Vertical Contínua (CVES), às vezes também chamada de Tomografia de Resistividade Elétrica (ERT), é uma técnica bidimensional (2D) de corrente contínua para investigação geofísica. Basicamente, é uma combinação de muitas medições SEV unidimensional (1D) ao longo de um perfil elétrico horizontal em um único conjunto integrado de dados.

A execução de sondagens elétricas verticais (SEV) mede apenas variação na resistividade com profundidade como anomalias reconhecíveis sob os perfis e, portanto, na prática se limita à observações pontuais. O CVES estuda simultaneamente a distribuição vertical e lateral da resistividade abaixo e ao longo de todo o perfil. Essa técnica específica de resistividade ajuda a detectar zonas de acumulação de água entre dois pontos de medida e, portanto, é amplamente utilizada na exploração de águas subterrâneas em meio cristalino.

O CVES permite que as medições de resistividade sejam feitas automaticamente para qualquer configuração de eletrodos, usando cabos expansíveis de vários eletrodos. Podem ser utilizados 28, 42, 56, 84 eletrodos ou mais. Os dados 2D gerados, usando multi-eletrodos, resultam em amostragem de alta densidade de medidas de resistividade aparente. A partir dessas medidas, os modelos em camadas 2D podem ser calculados por meio de "inversão" com um software especial.

Procedimentos de campo.

Um perfil CVES foi executado orientado perpendicularmente à principal estrutura geológica no local. Para aquisição dos dados em campo, nomeadamente, resistividade e polarização induzida aparentes, foi utilizado o resistímetro “SuperSting R8/IP/SP/WiFi+84 Resistivity Imaging System” (Fig. 7). O SuperSting é um dispositivo de medição de resistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. Fabricado pela AGI, EUA, é capaz de fazer o registo de dados no modo manual ou no modo automático. Possui altos níveis de precisão, filtragem de ruído e potência de até 200W. Pode ser alimentado por um gerador de corrente eléctrica de 1KVA, que é acoplado a um conversor CA-CC capaz de produzir uma tensão máxima de 800V e 2000A ou uma ou duas baterias de 12V (Fig. 3).



Fig. 5 Resistímetro “SuperSting R8/IP/SP/WiFi+84 Resistivity Imaging System” e momentos de aquisição de dados em campo.

A medição da resistividade e IP foi feita no modo automático com 42 eléctrodos de corrente e potencial, separados por 20 metros de distância entre si, gerando um perfil de 820 metros de comprimento. Este espaçamento, entre os eletrodos, foi definido de forma a se ter um bom contraste de resistividade entre as rochas sedimentares e o bedrock. Dados de elevação coletados com GPS foram usados no processo de inversão dos dados.

Análise dos resultados.

Para automação do tratamento e interpretação quantitativa dos dados foram utilizados programas de interpretação direta e inversa. O programa de interpretação direta calcula os valores de resistividade aparente, correspondentes ao CVES a partir de um modelo fornecido, a priori, pelo interprete. O ajuste final dos dados de campo, com o provável modelo geológico, é feito pelo processo iterativo de tentativa e erro. O programa de interpretação inversa forneceu automaticamente estimativas das espessuras e resistividades das estruturas geológicas a partir dos dados de campo da CVES.

Os programas usados na interpretação destes dados consideram um modelo teórico inicial constituído por camadas homogêneas, isotrópicas, planas e horizontais. Durante o processamento foram removidos dos dados coletados os valores negativos de

resistividade aparente e IP e os spiks. As pseudo-seções de electrorresistividade e cargabilidade resultantes são ilustradas na Figuras 6a.

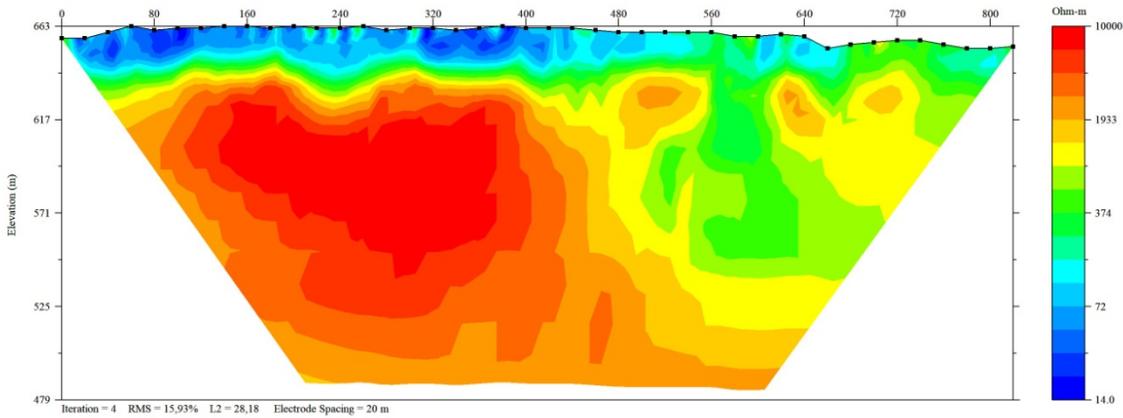


Fig. 6a Pseudo-seção de electrorresistividade (Ω -m)

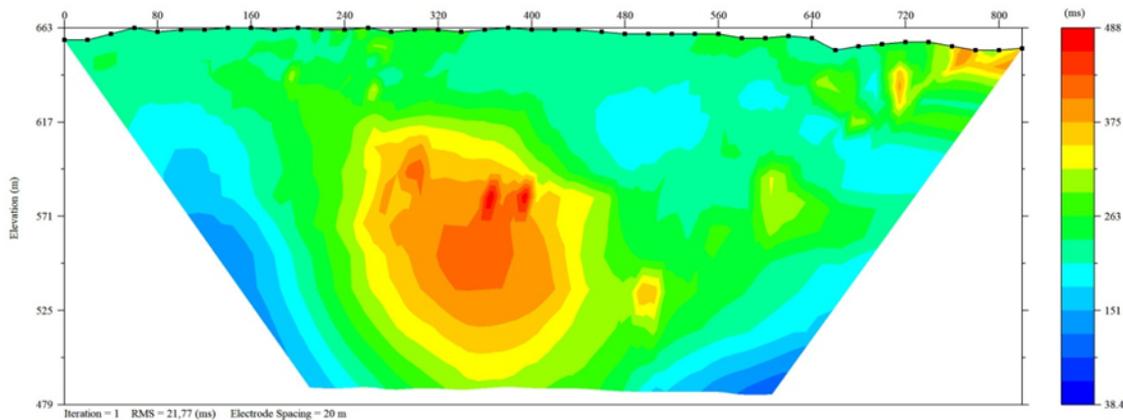


Fig. 6b Pseudo-seção de cargabilidade (ms)

Análise às pseudo-seções acima ilustradas mostra, de uma forma geral, dois ambientes geoeletricos. O primeiro ambiente tem valores de resistividade máximos variando de 148.0 Ω -m á 764 Ω -m e os valores mínimos de resistividade variando de 14.0 Ω -m á 148.0 Ω -m (Fig. 6a). O intervalo para os valores mínimos e máximos da cargabilidade neste mesmo ambiente são, respectivamente, 38.4ms á 179.0ms e 179.0ms á 291.0ms (Fig. 6b).

A faixa de resistividade entre 148.0 á 764 Ω -m é considerada baixa nesta análise tendo em conta o ambiente geológico em que foram medidos, cujo máximo atinge valores de até 10.000 Ω -m. Porém, estes valores não são tão baixos assim, uma vez que são,

normalmente, correlacionados às areias, arenitos, conglomerados, quartzitos, grés, compactos ou não e saturados ou não com água. Baixos valores de resistividade situam-se na faixa de 1.0 - 50.0 Ω -m e são associados à argila, argilo-arenosas e siltitos.

Devidos aos valores de resistividade e cargabilidade apresentados este ambiente geolétrico é associado aos sedimentos sobrejacentes à rocha cristalina, originados pela alteração dos granitos e granitoides predominantes na área e pela presença de fissuras e falhas nestas rochas.

Esta camada sedimentar é, normalmente, denominada “manto de intemperismo”, sendo constituída por argilas, siltes, areias de grão variado e calhaus. Estes sedimentos capeam a rocha cristalina e preenchem seus espaços vazios, mais concretamente, as fissuras e as fraturas existentes. Os valores mínimos de resistividade, na faixa de 14.0 á 72.0 Ω -m e os máximos de cargabilidade, na faixa de 291 á 375ms neste ambiente são devidos á presença de argilas, areia-argiloso silts.

Os valores máximos de resistividade e os mínimos de cargabilidade observados neste ambiente são associados á presença de fissuras e/ou fraturas existentes nos granitos e granitoides predominantes na área em estudo. Estas fissuras e fraturas geram uma porosidade, denominada “porosidade secundária”, cuja interconexão permite que este ambiente tenha uma grande permeabilidade, permitindo a circulação de grandes volumes de água subterrânea.

O segundo ambiente geolétrico, cujos valores de resistividade e de cargabilidade são superiores á 764 Ω -m e 375ms, respectivamente, são associados aos granitos e granitoides compactos, com ausência total de fissuras e fraturas, isto é, porosidade e permeabilidade nulas, portanto, não aquífero.

Interpretação geológica dos resultados.

A interpretação geológica das pseudo-secções analisadas acima, é ilustrada na Figura 7, mostrando claramente as zonas fissuras e fraturadas e a topografia dos granitos e granitoides.

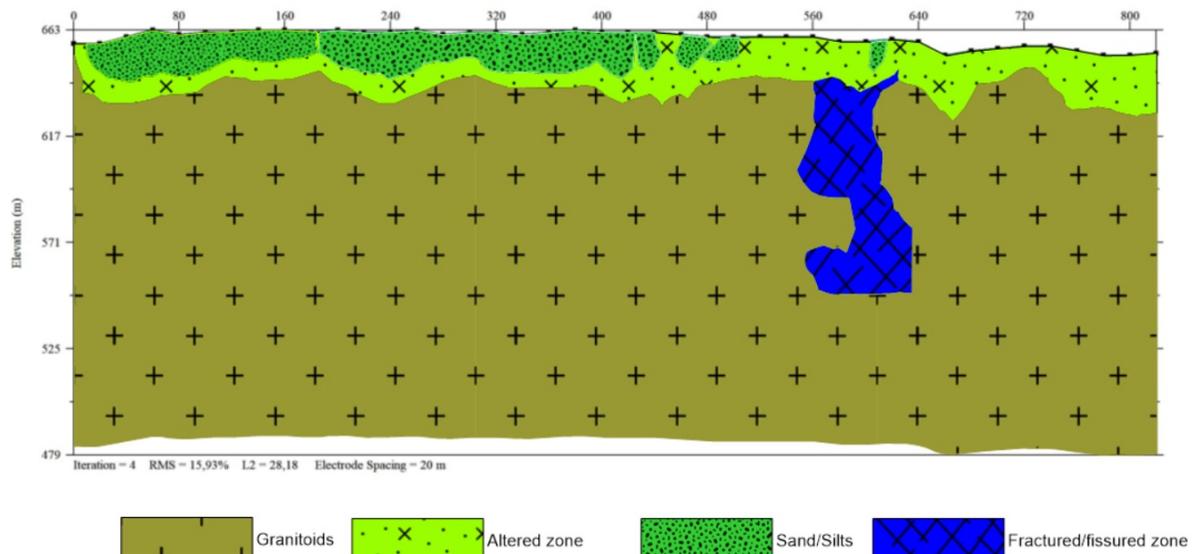


Fig. 7 Modelo litogeofísico Interpretado

Conclusões.

A integração dos dados de electrorresistividade e polarização induzida permitiu definir a estrutura dos aquíferos na área em estudo como a de um pacote combinado de sedimentos arenosos constituídos por argilas, siltes, areias de grão variado e calhaus, resultantes da alteração dos granitos e granitoides e das zonas fraturas e/ou fissuradas destas rochas cristalinas.

A análise dos dados de resistividade e IP mostra que a formação sedimentar na área é constituída, essencialmente, por materiais geológicos de textura fina á grosso. A zona de transição entre o ambiente sedimentar e o cristalino é, provavelmente, alterada seguido uma zona da rocha cristalina altamente fraturada e/ou fissurada.

A profundidade média do topo destes aquíferos é de aproximadamente 10m. Sua base varia entre os 80 e 150 metros de profundidade. A resistividade destes aquíferos varia de 148.0 Ω -m á 764 Ω -m, denotando elevada permeabilidade, o que significa que estas zonas fraturadas/fissuradas possuem grandes potencialidades de circulação, armazenamento e capacidade de fornecer água em abundância. Além do mais, com estes

valores de resistividade pode-se dizer de antemão que, do ponto de vista de salinidade, a água é boa, isto é, a presença de sais dissolvidos é muito baixa. Porém, análises químicas devem ser feitas para detecção de outros componentes químicos.

A CVES mostrou com detalhes, que o bedrock na área em estudo, apresenta grandes variações topográficas, mostrando com clareza as estruturas profundas com capacidade de circulação e armazenamento da água subterrânea, o que impõe a continuidade desta técnica nos estudos para a captação de água subterrânea no sul de Angola.

Recomendações.

Recomenda-se que a perfuração seja feita entre as posições 560m (eletrodo e 620m (eletrodo 32), cujas coordenadas geográficas em WGS 84 UTM zona 33s são, respectivamente, 309262/8439906 e 309202/8439896. A posição 600m (eletrodo 31) e 309222/8439899 foi marcada para a execução da perfuração.

Até ao momento, o processamento e interpretação dos dados coletados na área de estudo foi feito com ausência de informação geológica de profundidade. Recomenda-se o acompanhamento na execução dos poços, que permitirá gerar dados geológicos “in situ”, para calibração dos resultados já obtidos e aprimorar futuros estudos.

A execução dos testes de bombeamento das captações permitirá conhecer as características hidrodinâmicas dos aquíferos e a seleção dos dispositivos de extração de água mais adaptáveis á qualidade do aquífero.

Bibliografia.

Araujo, A. G. (1992). Noticia explicativa da carta geológica de Angola à escala de 1:1000.000.

Braga, A. C. (1997). Métodos geoelectricos aplicados, modulo de hidrogeologia.

Carvalho, H. (1982). Carta Geológica de Angola a escala de 1:1000.000.

destinonamibe. (2018). Geografia da Província do Namibe.

Elis. (1998). Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. IGCE – UNESP, Tese de Doutorado, pp. 264p.

INE-Namibe. (2018). Relatório do Instituto Nacional de Estatística.

Orellana, E. (1972). Prospección Geolétrica en Corriente Contínua. Madrid, Paraninfo, pp. 523.

Santos, F. M. (2005). Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação de água subterrâneas no Lixão de Cuiba-MT.

Susana S. Cavalcanti, H. K. (2002). Geofísica elétrica na caracterização da Metropolitan Center, Salvador, Bahia.