



XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DOS AQUÍFEROS POUCO PROFUNDOS DE ONDJIVA E ARREDORES

Denilse Machado¹; Gabriel Luís Miguel² & Arthur Freitas³

RESUMO – A crescente necessidade de se suprir o défice de água para o consumo humano, associado ao facto de que as maiores reservas de água doce se encontram nos aquíferos, leva à uma consciencialização da conservação deste recurso, que algumas vezes pode estar sob condições de vulnerabilidade à poluição e/ou contaminação. Assim, o presente trabalho tem como objectivo principal determinar áreas susceptíveis à poluição das águas subterrâneas dos aquíferos mais superficiais de Ondjiva e Arredores, considerando apenas as características do meio subterrâneo. A área de estudo compreende 15.112,583 Km² albergando 7 comunas da província do Cunene, situada na região sul de Angola, inserida na Bacia Hidrográfica do Cuvelai-Etossa. Foram inventariados 162 pontos de águas de diferentes fontes, onde foram medidos parâmetros físico-químicos como o pH, condutividade eléctrica e temperatura, dos quais, foram recolhidas 25 amostras de águas, posteriormente submetidas à análise de iões maioritários e à análise de isótopos estáveis; e ensaios geotécnicos e hidráulicos para 15 amostras de materiais sólidos. Para a determinação do índice de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos pouco profundos de Ondjiva e Arredores foi utilizado o método de Processo de Hierarquia Analítica (AHP). O mapeamento apontou a comuna de Chiede como a localidade mais crítica.

ABSTRACT – The growing need to cover the water deficit for human consumption, associated with the fact that the largest freshwater reserves are found in aquifers, leads to an awareness of the conservation of this resource, which can sometimes be vulnerable to pollution and/or contamination. Thus, the main objective of the present work is to determine areas susceptible to groundwater pollution in the shallowest aquifers of Ondjiva and its surroundings, considering only the characteristics of the underground environment. The study area comprises 15,112.583 Km² encompassing 7 communes of Cunene province, located in the southern region of Angola, inserted in the Cuvelai-Etossa Basin. An inventory of 162 water points from different sources was made, where physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity and temperature were measured. From these, 25 water samples were collected and later submitted to majority ion and stable isotope analysis; and geotechnical and hydraulic tests for 15 solid material samples. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used to determine the pollution vulnerability index of the shallow aquifers of Ondjiva and Surroundings. The mapping pointed out the commune of Chiede as the most critical locality.

Palavras-Chave – Águas subterrâneas, Vulnerabilidade.

¹) Faculdade de Ciências Naturais- Universidade Agostinho Neto, Nova Vida- Luanda/Angola, +244 928 792 408, machadodenilse@gmail.com

²) Faculdade de Ciências Naturais- Universidade Agostinho Neto, Benfica- Luanda/Angola, +244 924 360 200, gabrielmiuel72@gmail.com

³) Faculdade de Ciências Naturais- Universidade Agostinho Neto, Terra Nova- Luanda/Angola, +244 923 764 161, arthuca@gmail.com

INTRODUÇÃO

O presente estudo constitui parte integrante dos Trabalhos de Fim de Curso (TFC) para obtenção do grau de Licenciatura em Geologia, desenvolvidos pelo Departamento de Ensino e Investigação (DEI) de Geologia da Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Agostinho Neto (UAN), dirigidos ao Município de Ombadja e Cuanhama na Província do Cunene, em temáticas relacionadas aos Aquíferos Pouco Profundos.

Sendo a água um dos recursos naturais mais importantes e necessários à vida, ao desenvolvimento socioeconómico e ao equilíbrio ambiental de qualquer região, e considerando a crescente necessidade de se suprir o défice de água para o consumo humano, principalmente em regiões de clima árido e/ou semi-árido, como é o caso da Província do Cunene, onde as águas subterrâneas assumem um papel de extrema importância para a subsistência da população local, leva à uma consciencialização da conservação deste precioso recurso, que algumas vezes encontra-se sob condições de vulnerabilidade à poluição, devido às próprias características do meio, ou devido a actividades antrópicas. Neste sentido, o presente trabalho tem como objectivo principal, determinar áreas susceptíveis à poluição das águas subterrâneas dos aquíferos mais superficiais de Ondjiva e Arredores, considerando apenas as características intrínsecas ao meio hidrogeológico.

ANTECEDENTES

Os esforços realizados com o intuito de erradicar a pobreza e a insegurança alimentar em Angola têm vindo a enfrentar uma grande barreira: as alterações climáticas, de que resultam eventos extremos, sobretudo em áreas onde o meio de subsistência de grande parte da população depende da agricultura e pecuária, como é o caso da província do Cunene, onde a criação de gado bovino constitui a principal actividade produtiva.

O Relatório sobre a Caracterização de Infraestruturas Gerais integrado no Programa de Urbanização da Cidade de Ondjiva- PUCO, SINFIC (2005), afirma que a cidade de Ondjiva tem um abastecimento de água muito deficiente em termos de quantidade e qualidade; não dispõe de redes de drenagem de águas pluviais e de águas residuais domésticas; nas áreas periurbanas e suburbanas, não existe qualquer tipo de estrutura de tratamento, sendo a deposição de dejetos feita ao ar livre; e não existe um sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, nas suas componentes elementares de limpeza, recolha e destino final, o que leva à uma predisposição para a ocorrência de doenças de propagação hídrica como a cólera, a malária, a diarreia e a febre tifoide.

ÁREA DE ESTUDO

Aspectos Gerais

Anteriormente conhecida como Vila Pereira d'Eça, a cidade de Ondjiva é uma comuna, sede do município de Cuanhama e capital da província do Cunene- a província mais meridional do país e limítrofe com a Namíbia, cuja posição geográfica define-se aproximadamente na intercepção entre o paralelo 17° 04' de latitude Sul e o meridiano 15° 43' de longitude Este de Greenwich, a cerca de 30km da fronteira com a Namíbia. A área de estudo ocupa uma área total de 15.112,583 Km², albergando as comunas de Ondjiva, Chiede, Namacunde, Ombala-Yo-Mungo, Môngua, Evale e Kafima (Figura 1).

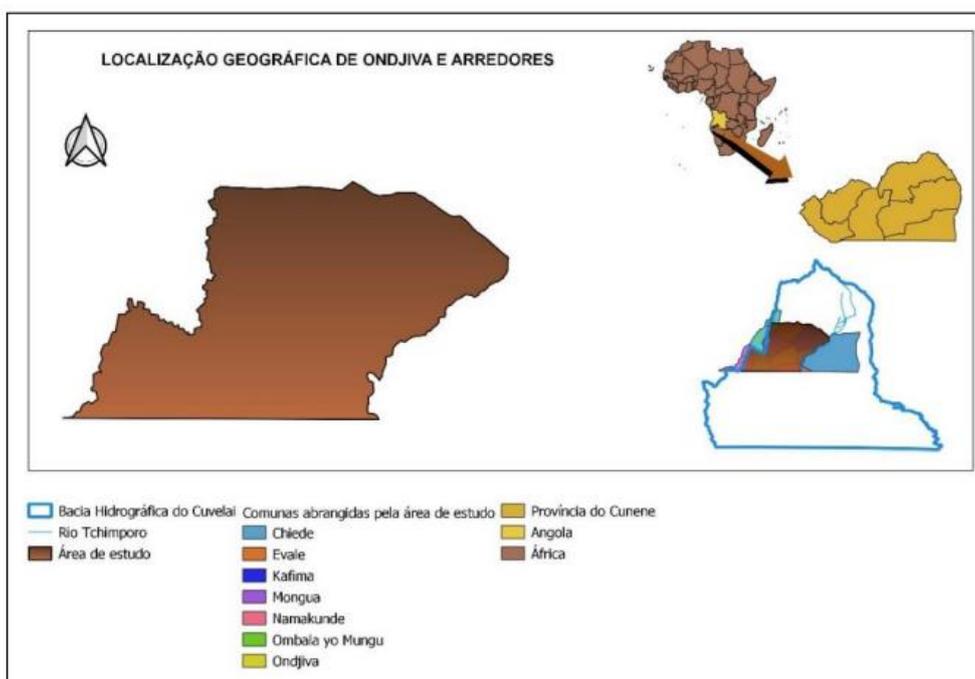


Figura 1- Mapa da localização geográfica da área de estudo- Ondjiva e arredores.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a área de estudo tem um clima semiárido quente (BSH), com temperatura média anual superior a 18°C.

O Relatório sobre a Caracterização Biofísica integrado no PUCO, SINFIC (2005), aponta que o quantitativo pluviométrico médio anual para a cidade de Ondjiva é de 600 mm, a evapotranspiração potencial média anual pode atingir valores de cerca de 2500 mm, valor este que excede a média anual de precipitação na bacia, o que se traduz na perda da maior parte da água por meio do processo de evaporação, o que causa o aumento da concentração de sais, tanto nas águas superficiais, como nas subterrâneas.

Com uma taxa de declividade entre 0-3%, correspondente à um relevo extremamente plano, e uma constituição geológica particular, a região onde se localiza Ondjiva e Arredores está inserida na Bacia de Sedimentação do Cuanhama-Etoshá, de idade quaternária, constituída por materiais de origem eólica e fluvial, sendo predominante as areias e argilas, os quais definem os depósitos

continentais do andar superior do Sistema do Kalahari. A natureza dos materiais presentes na bacia de sedimentação está intimamente ligada às características morfológicas: nas chanas- depressões alongadas com cerca de 30m de profundidade e entre 500m e 3km de largura- dominam as argilas e siltes de gênese aluvionar; e nos mufitos (áreas aplanadas) dominam as areias.

De acordo com Chirstelis e Struckmeier (2001), o sistema de aquíferos pouco profundos subdivide-se em (Figura 2): Aquífero Suspenso Descontínuo (ASD) e Aquífero Pouco Profundo Principal (APPP), que correspondem aos aquíferos KHO-0.

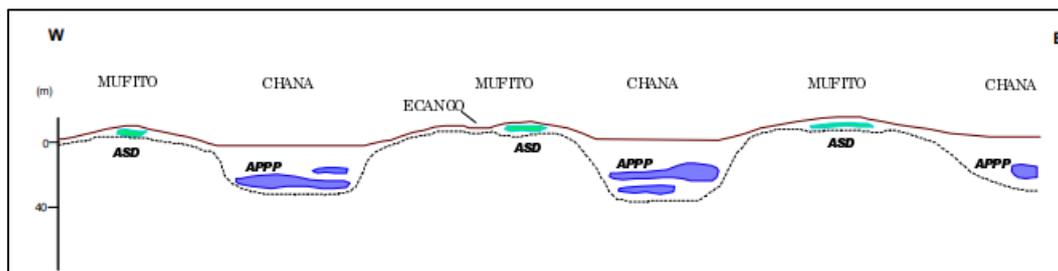


Figura 2- Esboço dos principais sistemas aquíferos regionais (SINFIC, 2005).

O Aquífero Suspenso Descontínuo (ASD) consiste num conjunto vasto de pequenos alvéolos aquíferos, com uma profundidade de até 10 m. A qualidade e disponibilidade da água daí extraída está sujeita a forte variabilidade sazonal, podendo apresentar-se muito salobra e em pouquíssima quantidade no período seco. Devido à sua posição topográfica, o ASD é extremamente vulnerável à poluição, nomeadamente por contaminação do gado em pontos de concentração para abeberamento, ou pela disseminação de depósitos de lixo. O Aquífero Pouco Profundo Principal (APPP), encontrado a profundidades que vão de 10 – 30 m, define-se como uma unidade não confinada a semi-confinada, de múltiplas lenticulas aquíferas, separadas por estratos impermeáveis (aquítardos), localizadas nas chanas, e constituem a principal fonte de água potável para as populações de Ondjiva e Arredores.

TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo teve duração de 15 dias, entre os dias 19 de maio e 09 de junho, como parte integrante da Expedição Científica ao Cunene- 2021, cujo Relatório de Balanço foi disponibilizado em Julho de 2021. Ao todo, foram realizados seis ensaios de Determinação da Densidade In Situ; e um inventário de 162 pontos de água de diferentes fontes, resultante da compilação entre dados já existentes, inventariados por John Mendhelson em 2015 e por Marco Carlos em 2019; e novos dados obtidos pela equipa de trabalho durante o reconhecimento de campo. Em 56 pontos, foi possível medir parâmetros físico-químicos como o pH, condutividade eléctrica e a temperatura, sendo estas acções realizadas, maioritariamente, em cacimbas e chimpacas, uma vez que das 66 captações inventariadas, apenas 6 apresentavam condições técnicas para o seu monitoramento.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Atendendo à monotonia litológica, foram recolhidas 15 amostras de materiais sólidos, das quais 2 constituíam réplicas, totalizando assim 13 amostras, para a realização de ensaios de: Análise Granulométrica (por Peneiração e por Sedimentação); Determinação dos Limites de Consistência dos Solos; Determinação da Densidade das Partículas Sólidas; Proctor Normal; e Determinação da Permeabilidade dos Materiais.

Tendo em conta a homogeneidade dos parâmetros físico-químicos das águas, como o pH, a condutividade eléctrica e a temperatura (que foram medidos em campo), e a dificuldade no acesso às captações de águas subterrâneas que na sua maioria encontravam-se seladas, foram recolhidas 25 amostras de águas, das quais 3 constituíam réplicas, e, portanto, 22 amostras foram destinadas à análise iões maioritários, especificamente: Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e, Na^+ ; Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , e NO_3^- . Por incapacidade técnica dos laboratórios onde foram analisadas as 22 amostras de águas, não foi determinada a concentração do ião bicarbonato (HCO_3^-). Deste modo, obteve-se coeficientes de erro superiores ao estabelecido para que se possa considerar os resultados como válidos. Entretanto, assumiu-se que tais erros, sejam derivados da falta dos resultados referentes às concentrações do ião bicarbonato (HCO_3^-). Considerando que não existam erros analíticos que não estejam relacionados com a ausência do ião referido, considerou-se a percentagem do erro normal proposto por Custodio & Llamas, correspondente a cada amostra analisada, como a representação da concentração do ião HCO_3^- , estando assim em situação de equilíbrio iónico e aptos para utilizar os resultados para diferentes interpretações, tendo sempre em observância o exposto anteriormente. O cálculo do coeficiente de erro (e%) para as 22 amostras de águas foi realizado tendo em conta os clássicos propostos por Custodio & Llamas e Logan & Schoeller, para a determinação dos erros normal e prático.

RESULTADOS

De modos a determinar os tipos de solos existentes em Ondjiva e Arredores, recorreu-se à Classificação Textural, onde das 13 amostras, nove foram classificadas como Areias, e as restantes quatro classificam-se como Areias Siltosas. Ao passo que no Sistema de Classificação de Solos (SUCS), a carta de plasticidade e as curvas granulométricas indicam que, das 13 amostras, sete classificam-se como Areias Siltosas, três como Areias Argilosas, uma como Areia bem graduada, uma como Areia mal graduada, e uma como Areia bem graduada com siltes.

Atendendo à necessidade de se classificar as amostras de solos quanto as suas características como componentes do meio hidrogeológico, procedeu-se à projecção dos resultados ao diagrama produzido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, segundo o qual os solos de Ondjiva e Arredores estão inseridos no Grupo B, sendo considerados como solos franco-arenosos, cuja infiltração é considerada como moderada e a drenagem vai de boa à moderada.

Para a determinação do Coeficiente Médio de Permeabilidade foram submetidas três amostras de solos, correspondentes às três litologias que compõem a sequência litoestratigráfica da área de estudo, utilizando o Permeâmetro de Carga Constante, sem serem compactadas. A amostra correspondente à Areia Siltosa apresentou como coeficiente de permeabilidade média o valor de 2,63 m/d, a Areia argilosa apresentou um valor de permeabilidade média de 2,594 e a Areia bem graduada com siltes apresentou um valor de 1,675.

Como complemento às análises químicas, avaliou-se a origem das águas por meio das análises dos isótopos ^2H e ^{18}O , onde chegou-se ao resultado de que as águas subterrâneas dos aquíferos pouco profundos de Ondjiva e Arredores provêm da precipitação pluviométrica. No entanto, estas águas sofrem o processo de fraccionamento isotópico ainda na zona vadosa, devido a intensa evaporação, característica da área de estudo.

Das 56 amostras de águas analisadas em campo nas diferentes fontes, a maior parte (98,2%) apresentam o pH adequado para consumo humano (6,5 – 9,5), não representando riscos à saúde. A condutividade eléctrica apresenta uma média de 848,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, à uma temperatura média de 23,6°C.

Tendo se obtido os resultados das análises de iões maioritários, determinou-se o coeficiente de actividade dos iões maioritários, onde verificou-se que o ião que mais participa nas reacções químicas que podem ocorrer nas amostras de água analisadas é o cálcio (Ca^{2+}), com uma média geral de 12,19 meq/L, seguido do ião sódio (Na^+), com uma média geral de 3,97 meq/L.

Para uma melhor caracterização das águas utilizou-se o software QUALIGRAF versão 1.1, que permitiu classificá-las quanto a sua qualidade para diferentes fins. Conforme os dados exigidos pelo software e a sua organização, do conjunto das 22 amostras analisadas em laboratório, apenas 13 estavam aptas a serem processadas.

Segundo a resolução CONAMA 357/2005, de acordo com o TDS, as águas podem classificar-se em: Doce (0 - 500 mg/L), Salobra (501 - 1500 mg/L) e, Salgada (> 1500). Das 13 amostras analisadas, 76,9% foram classificadas como águas doces; 15,4% são salobras; e 7,7% são salgadas.

Segundo SINFIC (2005), as águas encontradas sob as chanas são essencialmente doces, bicarbonatadas-cálcicas ou bicarbonatadas-sódicas, e nos mufitos as águas são fortemente mineralizadas, bastante duras e sulfatadas-sódicas. As análises químicas realizadas durante a presente pesquisa obtiveram como resultado das 13 amostras analisadas, 76,9% são águas doces, classificadas como bicarbonatadas sódicas (54%) e bicarbonatadas cálcicas (15%), recolhidas de cacimbas localizadas nos aquíferos semi-confinados e portanto, sob as chanas; 15,4% de águas salobras e 7,7% de águas salgadas recolhidas de cacimbas e chimpacas localizadas nos aquíferos livres e portanto, sob os mufitos, classificadas como bicarbonatada magnésiana (8%), bicarbonatada mista (8%) e sódica cloretada (8%). Por outro lado, um total de 39% destas mesmas águas foram indicadas como apropriadas para a irrigação por apresentarem uma baixa salinidade, 38% de salinidade média devem ser utilizadas com precaução, e 23% apresentam um alto grau de salinidade, não sendo recomendável para este efeito

O Diagrama de Schoeller-Berkaloff mostrou que entre os catiões domina o sódio (Na^+) e entre os aniões prevalece o bicarbonato (HCO_3^-). Deste modo, pode considerar-se a sequência dominante seguinte: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ e $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

Índice de Vulnerabilidade à Poluição dos Aquíferos Pouco Profundos de Ondjiva e Arredores

Tendo em conta a escassa informação hidrogeológica da área de estudo, não foi possível aplicar os métodos convencionais para a determinação do índice de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos como, por exemplo, o DRASTIC, pois quando os dados são escassos, incertos ou mal distribuídos no espaço, a aplicação do referido método torna-se imprecisa. Outro método muito utilizado é o GOD, que embora use apenas três parâmetros, dos quais dois foram colectados em campo, nomeadamente, o parâmetro O, que é a litologia das camadas suprajacentes aos aquíferos e o parâmetro D, que é a profundidade dos níveis freáticos dos poços, também não foi possível aplicá-lo, devido a indisponibilização de um mapa hidrogeológico, onde constam dados sobre o parâmetro D, ou seja, a tipologia dos aquíferos. Neste sentido, recorreu-se a um método híbrido, que permitisse utilizar os dados disponíveis. Neste caso, aplicou-se o método de Processo de Hierarquia Analítica (AHP), que consiste em analisar um problema, por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos parâmetros envolventes, onde são atribuídos pesos relativos a cada um deles, para diferenciar a sua importância ou influência deste no problema identificado. Estas comparações pareadas são realizadas com base em uma escala padrão do próprio método.

Dos 162 pontos inventariados, apenas 12 estavam aptos a serem utilizados no referido processo. A definição e selecção destes pontos, levou em consideração os seguintes critérios: disponibilidade dos dados e distribuição espacial.

Com os dados de nível freático e da litologia, foram gerados mapas de base para a elaboração do mapa de vulnerabilidade, e para isso, recorreu-se aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio do software ArcGis versão 10.5.

Tal como nos métodos DRASTIC e GOD, para o mapeamento com base no método AHP são atribuídos valores aos parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo. Estes valores variam de 1 a 10, que representam o índice de vulnerabilidade, onde 1 indica uma vulnerabilidade extremamente baixa e 10 indica uma vulnerabilidade extremamente alta.

O índice de vulnerabilidade local é calculado multiplicando-se os valores atribuídos aos parâmetros pelo seu peso relativo, que é o valor que reflecte a importância relativa de cada parâmetro na quantificação da vulnerabilidade. Estes pesos foram adquiridos através da comparação pareada com base na Escala padrão de comparação dos parâmetros.

Após se determinar os pesos relativos, o método AHP exige que se verifique a consistência da atribuição de valores, por meio da razão de consistência, que resulta da razão entre o índice de consistência e o índice aleatório. Para que se considere que os valores atribuídos aos parâmetros são consistentes, o resultado da RC deve ser inferior à 0,1. Substituindo os valores nas fórmulas, o resultado foi igual à zero, o que cumpre com esta condição.

Tendo sido validados os pesos relativos de cada parâmetro, foi possível calcular o índice de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos pouco profundos da área de estudo, através da ferramenta Raster Calculator, o que resultou numa variação de índices de vulnerabilidade que vai de 0 a 8,5, e que se pode melhor visualizar através do Mapa de Vulnerabilidade à Poluição dos Aquíferos Pouco Profundos de Ondjiva e Arredores (Figura 3).

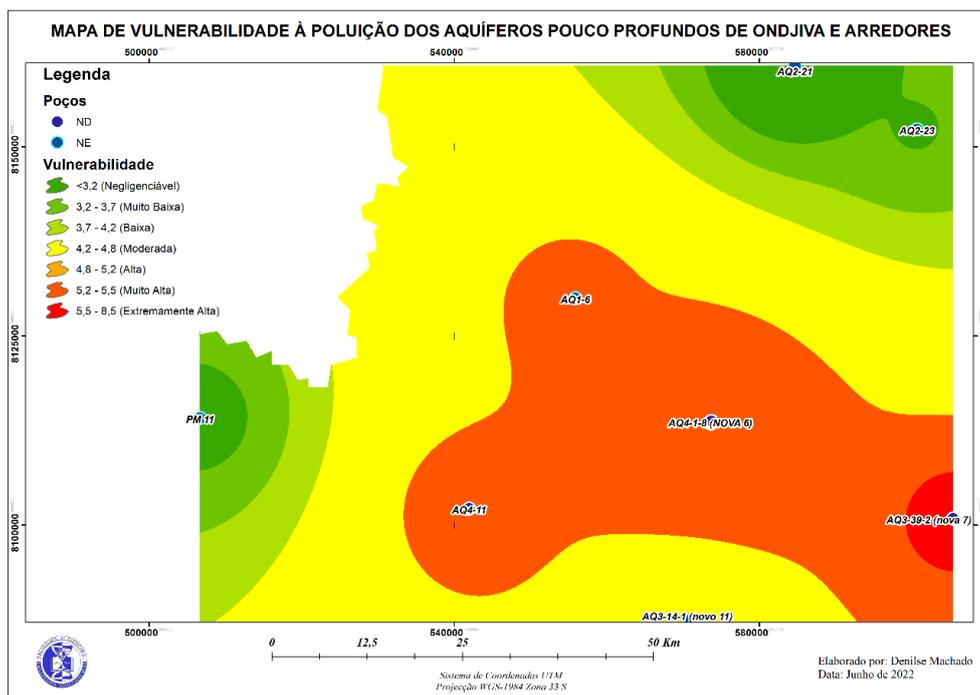


Figura 3- Mapa de Vulnerabilidade à Poluição dos Aquíferos Pouco Profundos de Ondjiva e Arredores.

O poço AQ3-39-2 (nova 7) localizado na comuna de Chiede, é o único que encontra-se numa área de vulnerabilidade extremamente alta, em função da litologia superficial, que é constituída por aluviões e, portanto apresenta uma alta permeabilidade, facilitando assim a infiltração dos poluentes, e da pouca profundidade do nível freático. Os demais poços (11) encontram-se em áreas cujas camadas suprajacentes aos aquíferos são areias e argilas, que em relação aos aluviões apresentam uma permeabilidade mais baixa. Destes, 63,6% encontram-se em áreas de vulnerabilidade muito alta, localizadas nas comunas de Ondjiva, Môngua e Cuamato, devido à pouca profundidade dos seus níveis freáticos, que varia de 1,45 a 2,52 m. O poço localizado em Namacunde (AQ3-14-1) está numa área de vulnerabilidade alta, justificada pelo seu nível freático que encontra-se a uma profundidade relativamente baixa (9,9 m). Nas áreas indicadas com vulnerabilidade negligenciável encontram-se os poços AQ2-21 e AQ2-23 localizados em Evale, e PM 11 localizado em Cafima, que são os poços analisados com os níveis freáticos mais abaixo da superfície (30,94 - 45,42 m), cuja litologia superficial é também constituída por areias e argilas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De um modo geral os aquíferos pouco profundos de Ondjiva e Arredores apresentam uma predisposição à poluição devido a diversos factores, como: as características hidrogeológicas; factores intrínsecos ao meio subterrâneo; factores climáticos; factores relacionados ao ordenamento do território; e factores antrópicos.

Segundo SINFIC (2005), nas chanas dominam as argilas e siltes de génese aluvionar, e nos mufitos dominam as areias quartzosas. Neste trabalho, os materiais sólidos recolhidos nos referidos lugares foram classificados como: Areia Argilosa- SC e Areia bem graduada com siltes SW-SM, para o primeiro caso, cuja a permeabilidade é 2,594 m/d e 1,675 m/d, respectivamente, sob as quais encontram-se os aquíferos semi-confinados; e Areia Siltosa- SM para o segundo caso, na qual o seu valor máximo de permeabilidade é igual a 2,63 m/d, e sob a qual encontram-se os aquíferos livres.

Angola não possui uma rede nacional de monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos, o que resulta em uma lacuna de informações que dificultou imenso o acesso a dados necessários para a aplicação das metodologias convencionais para a avaliação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos. Por este motivo, recorreu-se à adaptação do método multiparamétrico AHP para o mapeamento da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos, que além da sua simplicidade, mostrou-se eficaz para a avaliação pretendida.

Os resultados dos índices de vulnerabilidade elucidam que a área de estudo carece de uma atenção especial, pois apresenta áreas de vulnerabilidade extremamente alta e alta, cuja a cartografia indicou a comuna de Chiede como a mais preocupante.

Reforça-se que o presente trabalho consiste em uma avaliação prévia, baseada em um número reduzido de dados, colectados em campo. Assim, os índices podem variar em função da maior quantidade e tipologia dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- SINFIC (2005). Plano de Urbanização da Cidade de Ondjiva- Volume I. *Caracterização Biofísica*, pp. 24-43.
- SINFIC (2005). Plano de Urbanização da Cidade de Ondjiva- Volume IV. *Caracterização de Infraestruturas Gerais*, pp. 13-15.
- Struckmeier, C. &. (2001). *Groundwater in Namibia - an Explanation to the Hydrogeological Map. - Unrevised 2nd edition of Technical Cooperation Project "HYMNAM"*, prepared by DWA, GSN, NAMWATER & BGR. Namíbia.