

Ano 12, Vol XXIII, Número 2, Jul-Dez, 2019, p. 331-348.

## AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA, NO MUNICÍPIO DE XAI-XAI, APLICANDO O MÉTODO DRASTIC MODIFICADO (MOÇAMBIQUE)

Manuel Pedro Tomo Simbe  
Eldorado Estevão Uamusse  
Mário Silva Uacane

### RESUMO

A produção deste artigo teve como objectivo avaliar o risco de contaminação da água subterrânea na cidade de Xai-Xai, uma unidade territorial da província de Gaza em Moçambique. O estudo foi baseado em dados de 39 furos feitos pelo FIPAG, na área de estudo. Foram analisados dados de temperatura e precipitação (1986-2017), características litológicas do solo, assim como informações contidas em diversos mapas sobre a área de estudo nomeadamente geologia, geomorfologia, solos uso e cobertura de solo. Com base nesses dados, aliando a observação, terrena, foi possível elaborar uma base de dados no ArcGIS e determinar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero pela sobreposição das sete camadas dos acrónimos dos factores analisados do DRASTIC. A sobreposição de camadas foi feita no ambiente SIG, com uso da ferramenta raster *calculator*. Para obter os valores de recarga aquífera correlacionou-se as metodologias de Thornthwaite-Mather (1955) e Schosinsky & Losilla (2000) modificada por Forgaes & Marn (2006). E com essa análise foi possível concluir que a zona alta da cidade apresenta alto potencial de recarga num intervalo de 102 – 127mm/ano e na zona baixa valores inferiores á 102 mm/ano. O mapa de vulnerabilidade intrínseca revelou que grande parte da zona alta de Xai-Xai apresenta uma vulnerabilidade moderada de contaminação e, pequenas áreas dessa zona, próximas da costa oceânica, apresentam vulnerabilidade alta a muito alta.

**Palavras-chaves:** Recarga, Água Subterrânea, Vulnerabilidade, Risco de Contaminação, DRASTIC.

### ABSTRACT

The production of this article aimed to evaluate the risk of groundwater contamination in the city of Xai-Xai, a territorial unit of Gaza province in Mozambique. The study was based on data from 39 holes drilled by FIPAG in the study area. Temperature and precipitation data (1986-2017), lithological soil characteristics, as well as information contained in various maps about the study area were analyzed, namely geology, geomorphology, soil use and soil cover. Based on these data, by combining the earthly observation, it was possible to create a database in ArcGIS and to determine the intrinsic vulnerability of the aquifer by overlapping the seven layers of the acronyms of the analyzed factors of DRASTIC. Layer

overlapping was done in the GIS environment using the raster calculator tool. To obtain the aquifer recharge values, the methodologies of Thornthwaite-Mather (1955) and Schosinsky & Losilla (2000) modified by Forgaes & Marn (2006) were correlated. And with this analysis it was possible to conclude that the upper zone of the city presents high recharging potential in a range of 102 - 127mm /year and in the lower zone values below 102mm/year. The intrinsic vulnerability map revealed that much of the upper Xai-Xai zone has moderate contamination vulnerability, and small areas near the ocean coast have a high to very high vulnerability.

**Key-words:** Recharge, Groundwater, vulnerability, Contamination risk, DRASTIC.

## 1. Introdução

O presente artigo surge no âmbito da busca de informações atualizadas sobre os níveis de vulnerabilidade e risco de contaminação da água subterrânea na área municipal de Xai-Xai, Província de Gaza em Moçambique e, pelo facto da água subterrânea ser a principal fonte de abastecimento de água potável na nessa cidade. Com efeito, torna-se importante garantir a segurança hídrica subterrânea dessa unidade territorial, com vista a evitar o agravamento da possível contaminação do precioso líquido que assegura a vida naquela unidade territorial.

Atualmente, um dos grandes problemas na degradação dos recursos hídricos subterrâneos tem sido o crescimento populacional, através das diversas actividades potenciais de contaminação da água executadas sem quaisquer medidas de prevenção, tais como a falta de sistema de saneamento adequado, as actividades agrícolas com o uso de pesticidas e fertilizantes, lixeiras, mineração, instalações industriais, vazamentos de óleo em postos de combustíveis e a contaminação por poços abandonados.

De acordo com (FOSTER & et all, 2006) os estudos de vulnerabilidade intrínseca e integrada surgem como ferramenta de monitoramento e apoio técnico no que se refere a tomadas de decisões e protecção da água subterrânea. Trata-se de um passo importante

para a avaliação da contaminação da água subterrânea e de sua protecção.

Com o tema “Avaliação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea, no Município de Xai-Xai, aplicando o Método DRASTIC Modificado” tal como diz a sigla, este estudo usa como base para a sua execução sete parâmetros nomeadamente: D- profundidade do nível de água; R-recarga aquífera, A-material do aquífero, S-solos, T-topografia, I-impacto da zona não saturada e C- condutividade hidráulica e, o DRASTIC modificado que além desses 7 parâmetros são adicionados mais 2 que correspondem ao uso e cobertura do solo.

O método usado é robusto e permite obter resultados com uma boa precisão e resolução dos níveis de vulnerabilidade intrínseca e integrada de contaminação da água subterrânea.

Com efeito, constitui objectivo deste artigo, avaliar o risco de contaminação da água subterrânea no Município da Cidade de Xai-Xai, com base no método DRASTIC modificado.

## **2. Metodologias**

Para elaboração desta artigo, partiu-se do levantamento de dados secundários disponíveis seguindo-se a observação de campo e depois a compilação de dados para a produção do texto final ora apresentado. Nos dados secundários fez-se a consulta de obras disponíveis ora no formato físico quanto no digital, entre livros, artigos científicos relacionados com a temática em estudo, como são os casos de Carvalho (2013); Chrispim (2016); Romeiro (2016); Foster (1988), Jácome (2016), entre várias obras afim de proceder a fundamentação teórica do estudo. Recorreu-se aos dados fornecidos pela empresa FIPAG em Xai-Xai para colectar os dados necessários tais como, a profundidade do nível de água de 39 fontes subterrâneas fornecidas da área de estudo. Recorreu-se também aos dados de precipitação e

temperatura (1986-2017) fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia delegação de Gaza. Para obtenção de mapas de solo, geologia e uso e cobertura do solo fornecidos pelo conselho municipal de Xai-Xai e o modelo digital de elevação (MDE) extraído do website <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

A observação de campo consistiu na identificação das possíveis fontes contaminantes na área em estudo e suas respectivas cargas, com vista a confrontar com o respectivo mapa de uso e ocupação de solo.

Nos trabalhos de gabinete fez-se a compilação dos dados, com vista a obter o mapa de risco de contaminação da água subterrânea, com base na aplicação do método DRASTIC modificado. Para tal foram usados os seguintes softwares: *Microsoft Excel 2010* (para organização dos dados e cálculos em planilhas) e o *ArcGis versão 10.5* (para o geoprocessamento de dados e com aplicação de Álgebra de Mapas para a compilação do mapa final de risco de contaminação da água subterrânea).

A noção de análise espacial num SIG comporta a ideia de integração de dados espaciais e atributos alfanuméricos e traduz numa série de funções relacionadas com a selecção e pesquisa de dados, por um lado, e com modelação, por outro (NEVES & CONDESSA, 1993) citado por (ROMEIRO, 2012).

Neste estudo, a análise passa pela avaliação de dados estatísticos que descrevem os aquíferos nas suas características físicas, hidráulicas e de outras variáveis em estudo; e passa também pela combinação de várias camadas de informação.

Dentre os diferentes métodos existentes de interpolação, no presente trabalho científico aplica-se o método de Ponderação pelo Inverso da distancia-IDW, que é uma técnica que envolve a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região e considera valores dos pontos de amostras e a distancia, separando-os da célula estimada.

### **3. Apresentação e discussão dos resultados**

O Município da cidade de Xai-Xai é abastecido principalmente pela fonte de água subterrânea, sendo que o consumo da água do rio Limpopo para uso doméstico é quase insignificante. Mediante a colecta de dados em entidades responsáveis pela gestão do mesmo recurso, concluiu-se que a área municipal de Xai-Xai tem cerca de 39 fontes de água subterrânea (Fig.1), sendo que 24 são do FIPAG e os restantes são fontenárias públicas e privadas. Dos furos da FIPAG, em três constatou-se água imprópria para o consumo humano.

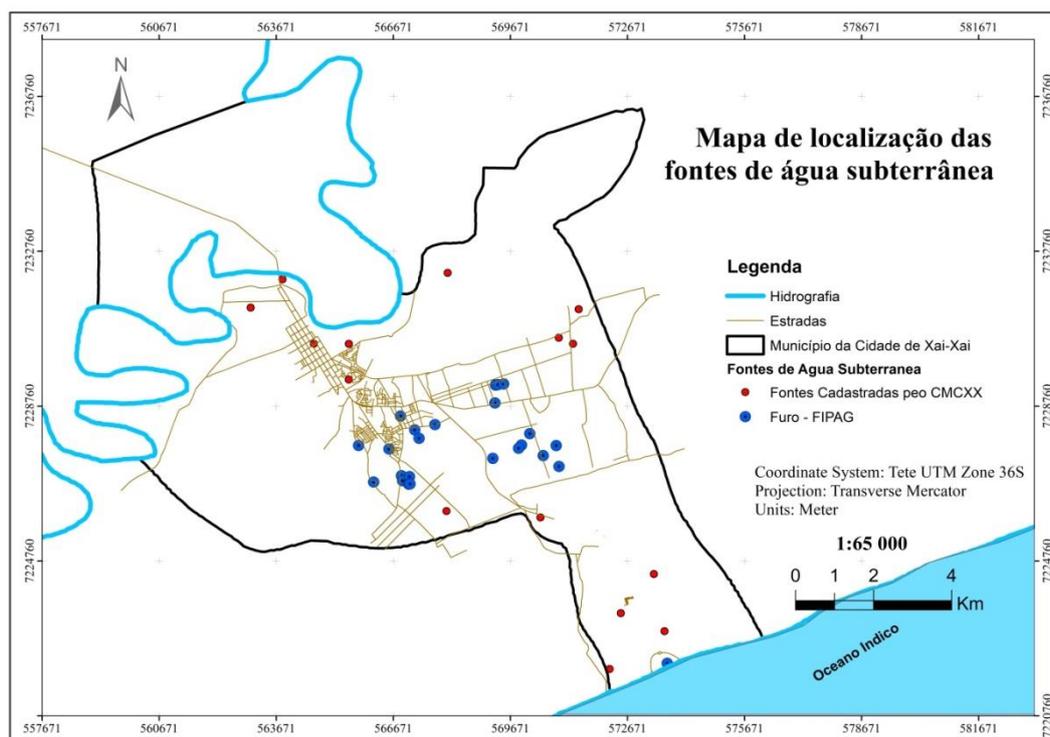


Figura 1: Mapa de Localização das fontes de água subterrânea na área de estudo.  
 Fonte: Autores, 2019.

### 3.1 Mapa de Profundidade do Nível de Água

Os níveis de água observados nos 39 furos variam de 3 a 75,8 m com uma média estimada de 31,47m, e estão enquadrados em 6 diferentes índices. E de acordo com o ilustrado na (fig.2), constatou-se que 59.2% da área de estudo, o nível freático encontra-se, principalmente nas formações de dunas arenosas á profundidades superiores a 15.2 metros, o que denota uma melhor protecção da água subterrânea contra os contaminantes provenientes das actividades antrópicas realizadas pelo homem na área.

Verificou-se também que 40.6% da área de estudo, o nível freático encontra-se á profundidade que varia de 4.6-15.2 m, e 0.2% da área verificou-se o nível freático próximo a superfície sob aluviões na zona baixa da cidade á profundidades que variam de 3-4.6 metros, podendo afirmar-se que apresenta uma maior vulnerabilidade a contaminação.

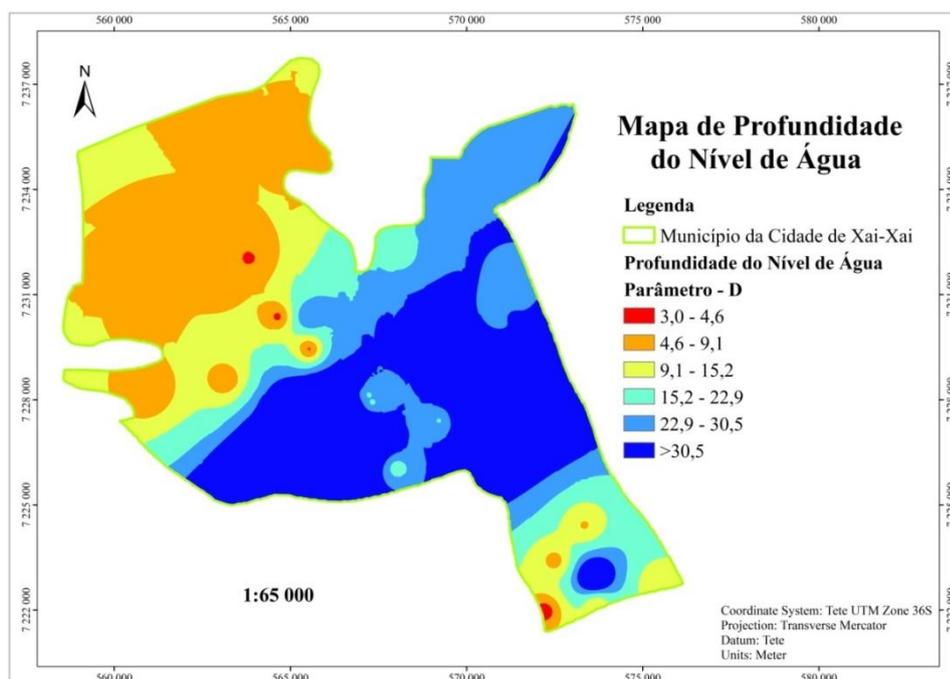


Figura 2: Mapa de Profundidade do Nível de Água, parâmetro – D Fonte: (Autores, 2019).

### 3.2 Mapa de Recarga – R

A Cidade de Xai-Xai tem cerca 64.25% da sua área representada por valores de recarga que variam de 58 a 102 mm/a, atribuído o índice 3. Nestas regiões existe uma menor susceptibilidade de contaminação da água subterrânea, isso deve-se a ocorrência de solos argilosos, caracterizados por uma baixa permeabilidade que proporciona uma difícil infiltração da água e do contaminante e níveis altos de escoamento superficial.

Apenas 35.75% da sua área, os valores de recarga variam de 102 a 127mm/a, sendo para tal atribuído o índice 6. Estas regiões apresentam uma maior possibilidade de contaminação da água subterrânea. Isto deve-se a ocorrência de solos arenosos, caracterizados por uma alta permeabilidade que proporcionam uma

maior infiltração da água e do contaminante e um reduzido escoamento superficial.

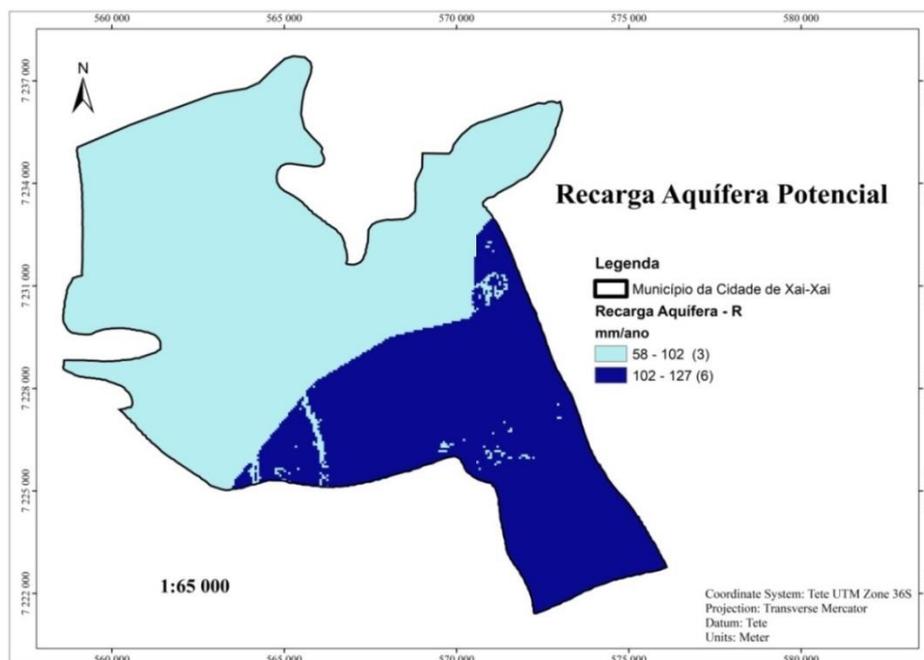


Figura 3: Mapa de Recarga Aquífera, parâmetro - R Fonte: Autores, (2019).

### 3.3 Mapa do Material do Aquífero – A

Na área de estudo existem 4 formações geológicas, classificadas em 4 classes: aluviões, dunas costeiras, dunas interiores e grés costeiro.

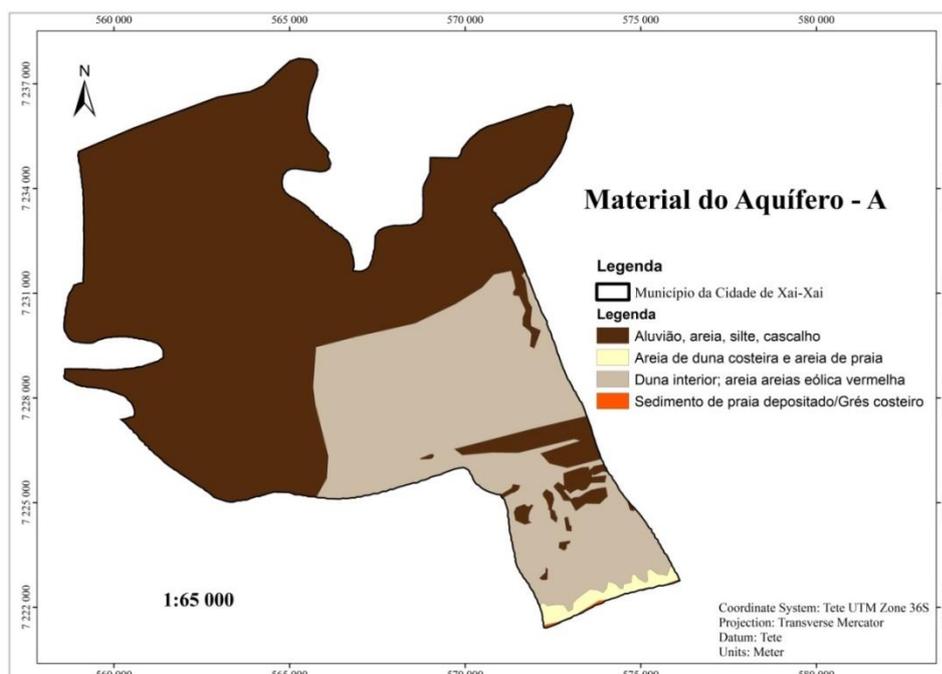


Figura 4: Mapa do Material do Aquífero, parâmetro - A. (GTK, Adaptado pelos autores, 2019).

### 3.4 Mapa de Solos - S

A partir do mapa criado da área de estudo, pode-se identificar 4 classe de solos. E os índices atribuídos variam de 3 a 9.

Os índices foram atribuídos de acordo com o tipo de solo associado com a textura e características do mesmo. Nota-se que cerca de 63.37% da área é formada por solos de aluviões argilosos, com uma textura argilosos caracterizados por uma drenagem imperfeita o que determinou a adoção do índice 3. Nestas áreas existe uma menor possibilidade de contaminação, isto devido a propriedade coloidal das argilas que tem o poder de diminuir os efeitos prejudiciais dos agentes poluentes.

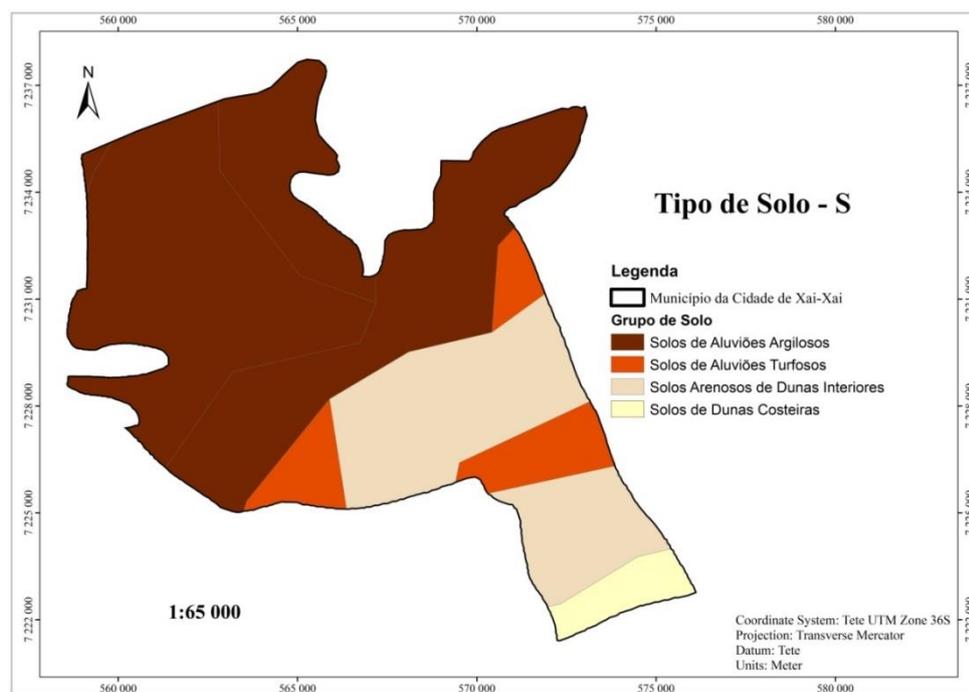


Figura 5: Mapa de Tipo de Solo, parâmetro - S. (Adaptado pelo autores, 2019).

### 3.5 Mapa de Topografia - T

O mapa de declividade foi obtido a partir do MDE, e são representados no mesmo 5 classes de declividade segundo o método DRASTIC.

Cerca de 44.79% da área é formada por um declive inferior ou igual a 6%, que é caracterizado por um relevo plano a suavemente plano como ilustra o mapa de declividade segundo o método DRASTIC.

Nestas áreas a água subterrânea esta altamente susceptível a contaminação, isso deve-se ao escoamento superficial extremamente reduzido, que facilita o carreamento de qualquer substância poluidora para o subsolo.

33.55% da área é representada por um declive que esta na faixa de 6-12%, que é caracterizado por um relevo moderadamente ondulado segundo estabelecido pelo método DRASTIC. Nestas áreas a susceptibilidade de contaminação é moderada.

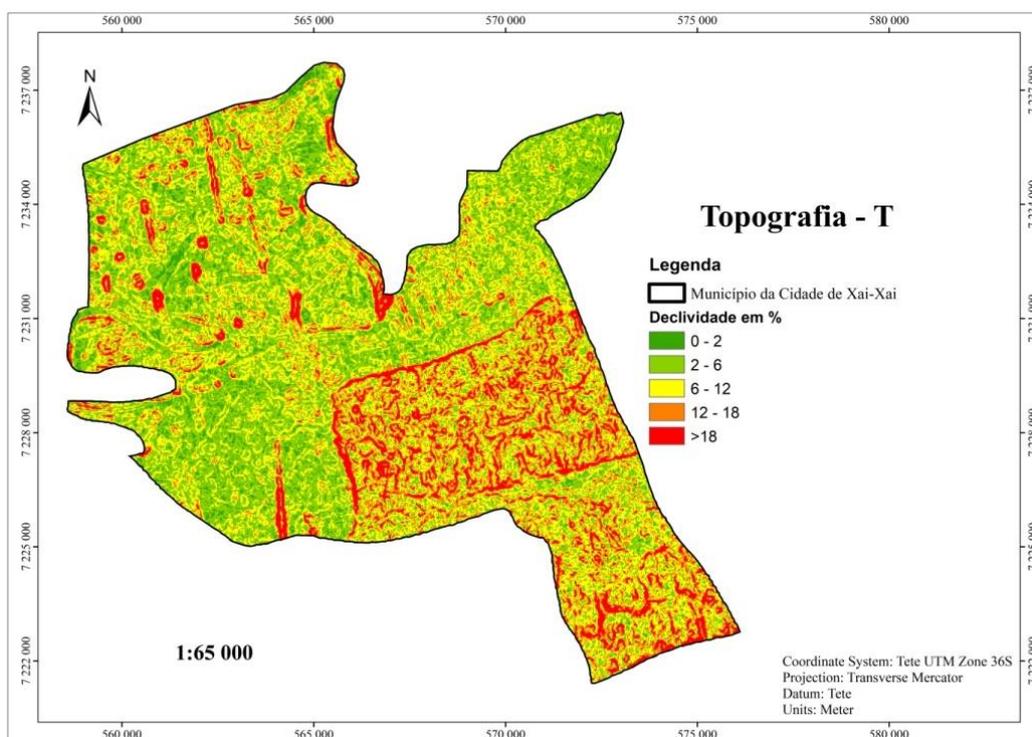


Figura 6: Mapa de Declividade, parâmetro - T. (Imagem de satélite-ASTER, Adaptado pelos autores, 2019).

### 3.6 Mapa da Impacto da Zona não Saturada – I

Para confeccionar o mapa de Impacto da zona não saturada, baseou-se no mapa geológico da área de estudo, e para tal, os valores de índices estabelecidos para o mesmo não se diferem do mapa de material de aquífero - A.

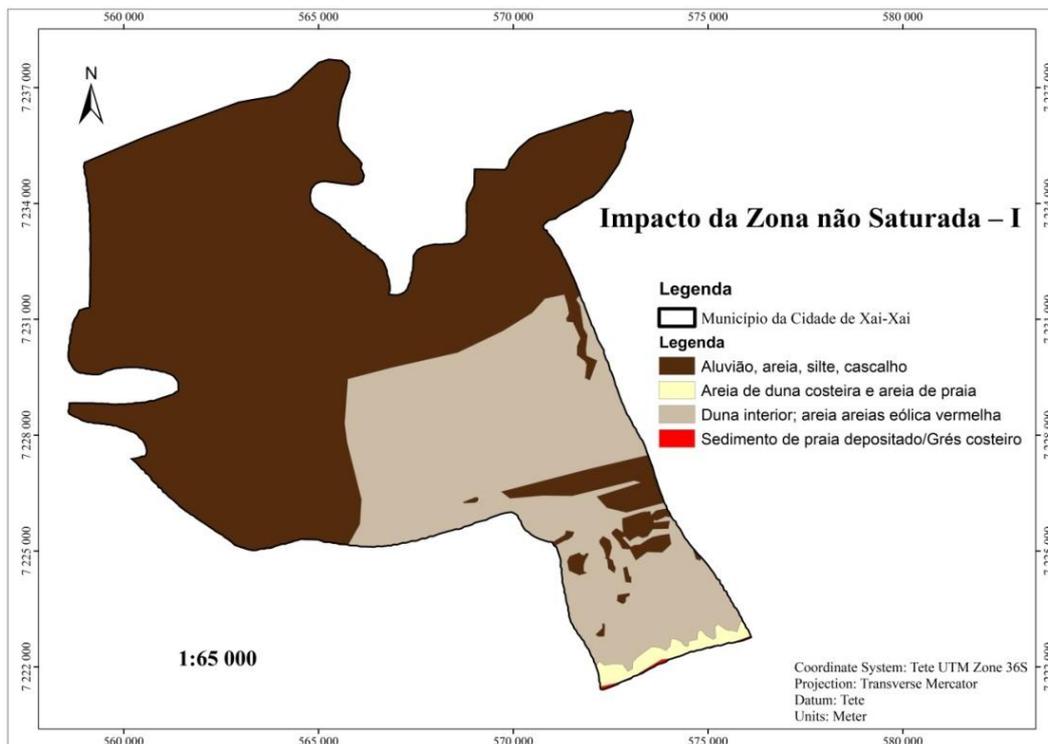


Figura 7: Mapa de Impacto da Zona não Saturada, parâmetro - I. (GTK, Adaptado pelos autores, 2019).

### 3.7 Mapa de Condutividade Hidráulica – C

O mapa de condutividade hidráulica foi realizado através do mapa geológico da área de estudos. E para tal foi tomado em consideração os aspectos texturais e quantidade de finos.

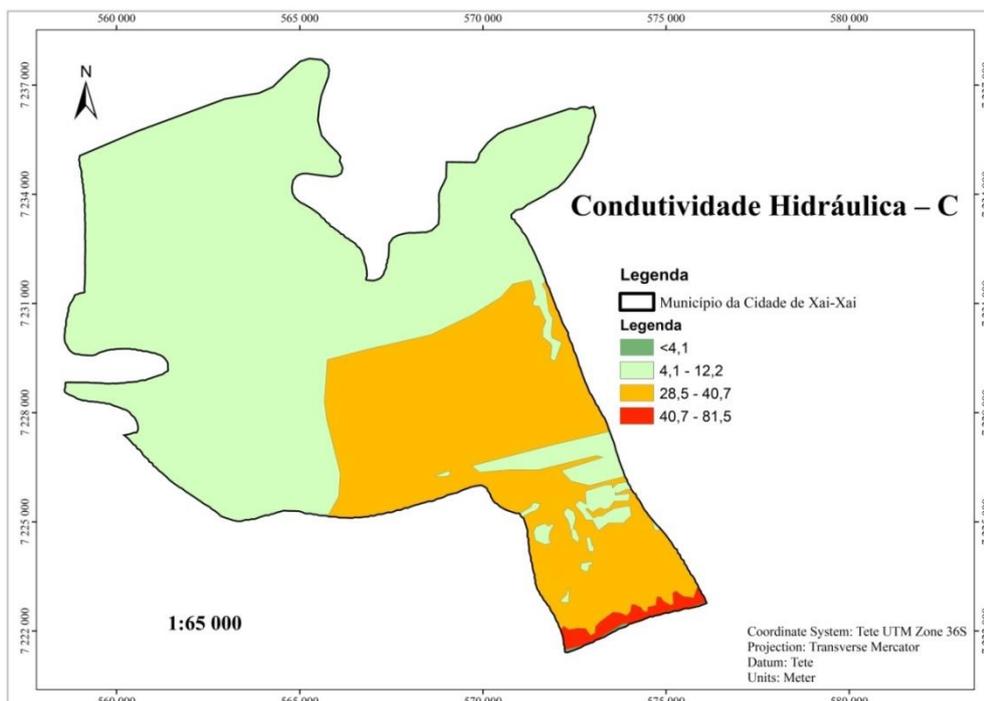


Figura 8: Mapa de Condutividade Hidráulica, parâmetro - C. (GTK, Adaptado pelos autores, 2019).

### 3.8 Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca do Aquífero

O índice DRASTIC, foi obtido pela multiplicação dos produtos dos factores por seus pesos, e o somatório de todos esses factores.

O índice DRASTIC do Município da Cidade de Xai-Xai, é apresentado na (Fig. 9), e permitiu a identificação de 4 classes de vulnerabilidade e os valores encontrados variam de 78 a 185.

A classe de vulnerabilidade baixa cobre cerca de 70.65% da área de estudo. E a água subterrânea nessa área encontra-se protegida, isso deve-se a ocorrência de solos argilosos na área, caracterizados por baixa condutividade hidráulica que dificultam a percolação do contaminante a subsuperfície.

A classe de Vulnerabilidade moderada que encontra-se entre os índices 120 a 159, cobre cerca de 28.73% da área de estudo. Apresentada pela coloração amarela. Essa classe está localizada em grande proporção na zona alta da cidade sobre o material arenoso de boa permeabilidade, com níveis freáticos superiores a 15,2m e topografia acidentada, o que caracteriza um maior escoamento superficial e difícil acesso do contaminante a zona saturada devido a maiores espessuras da zona não saturada.

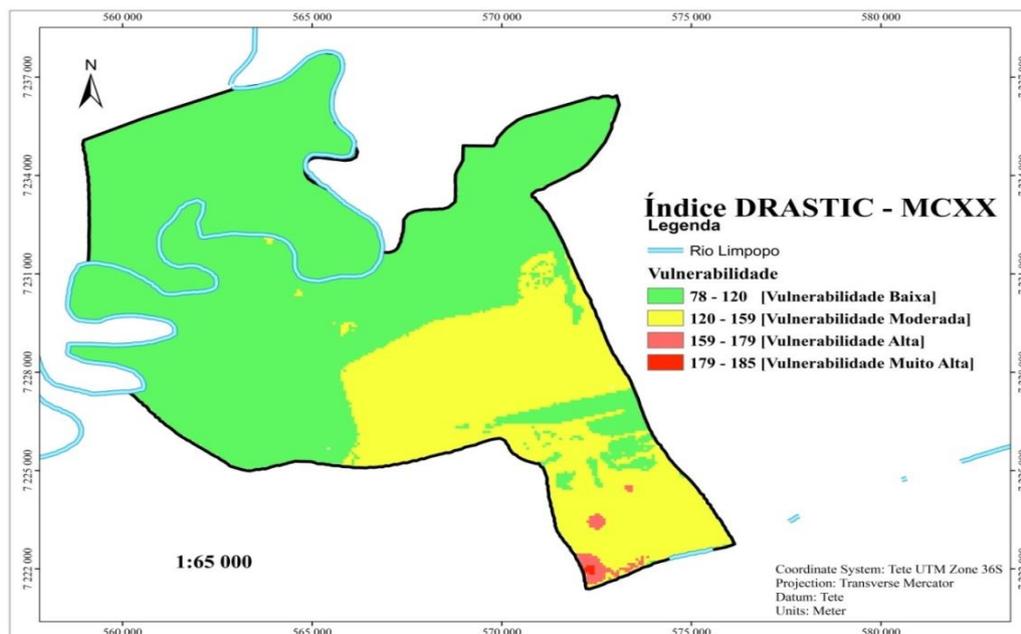


Figura 9: Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca do aquífero de Xai-Xai Fonte: Autores, (2019).

### 3.9 Mapa de Risco de Contaminação

A análise de risco é a inter-relação entre a vulnerabilidade intrínseca do aquífero e uma carga contaminante potencial, associada a uma actividade já existente.

No município da Cidade de Xai-Xai, como ilustra o mapa de uso e ocupação de solo, são observadas diversas actividades que favorecem a contaminação da água subterrânea, tais como a prática da agricultura industrial com o uso de fertilizantes e agro-tóxicos, a falta de saneamento adequado, exploração de areia, lixeira, cemitérios e os postos de combustível

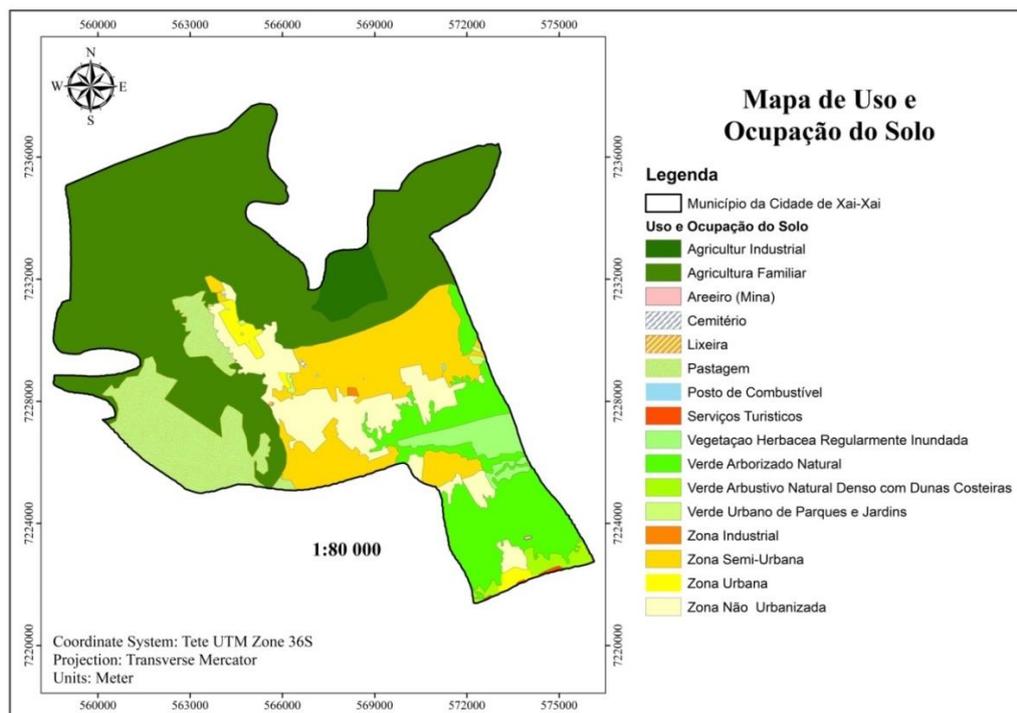


Figura 10: Mapa de uso e ocupação do solo de Xai-Xai. Fonte: Adaptado pelos autores, 2019).

A agricultura familiar que cobre 68.06% da área de estudo, de um modo geral é aplicada em moldes artesanais sem recursos a investimentos, sendo que, não usam fertilizantes.

A área de prática agrícola industrial que ocupa 2.82% da área de estudo, usam fertilizantes e pesticidas no plantio de arroz na zona baixa da cidade de Xai-Xai e, é caracterizado por um risco moderado, isso deve-se aos solos argilosos que dificultam a percolação de substâncias que formam os fertilizantes, tais como o nitrato que é o principal contaminante.

A actividade de exploração de areia, não é uma fonte de contaminação mas sim, um factor que poderá condicionar a proximidade do lençol freático pela retirada do material de protecção do aquífero e o rápido acesso do contaminante ao aquífero. A actividade ocupa 0.02% da área de estudo e apresenta um risco moderado, isso deve-se a profundidades altas do lençol freático.

Os postos de combustíveis ocupam 0.04% da área de estudo. Essas áreas apresentam risco alto, isto deve-se a percolação dos compostos

BTEX, substâncias perigosas que são os constituintes do petróleo que possuem maior solubilidade em água.

Tabela 1: Uso e Ocupação do solo com respectivos pesos e áreas.

Uso e Ocupação do Solo	LC	LCxLCw(2)	LU	LUxLUw(3)	Área	
					Km <sup>2</sup>	%
Agricultura Familiar	6	12	7	21	68.06	48.12
Agricultura Industrial	6	12	10	30	3.99	2.82
Areeiro	6	12	5	15	0.02	0.02
Cemitério	1	2	10	30	0.03	0.02
Lixeira	6	12	10	30	0.02	0.01
Pastagem	8	16	5	15	13.24	9.36
Posto de Combustível	1	2	10	30	0.05	0.04
Serviços Turísticos	4	8	7	21	0.14	0.10
Vegetação Herbácea regularmente inundada	2	4	1	3	3.56	2.51
Verde Arborizado Natural	8	16	3	9	17.15	12.13
Verde Arbustivo Natural Denso com Dunas Costeiras	10	20	3	9	1.44	1.02
Verde Urbano de Parques e Jardins	8	16	6	18	0.30	0.21
Zona Industrial	1	2	10	30	0.09	0.06
Zona Semiurbana	4	8	7	21	18.46	13.05
Zona Urbana	2	4	8	24	1.79	1.26
Zona Não Urbanizada	4	8	7	21	13.11	9.27

Fonte: (Autor, 2019)

O índice DRASTIC modificado, foi obtido pela multiplicação dos produtos dos factores por seus pesos, e o somatório de todos esses factores com o índice DRASTIC.

O índice DRASTIC modificado, do Município da Cidade de Xai-Xai, é apresentado na (fig.11), e permitiu a identificação de 5 classes de risco de contaminação e os valores encontrados variam de 91 a 214.

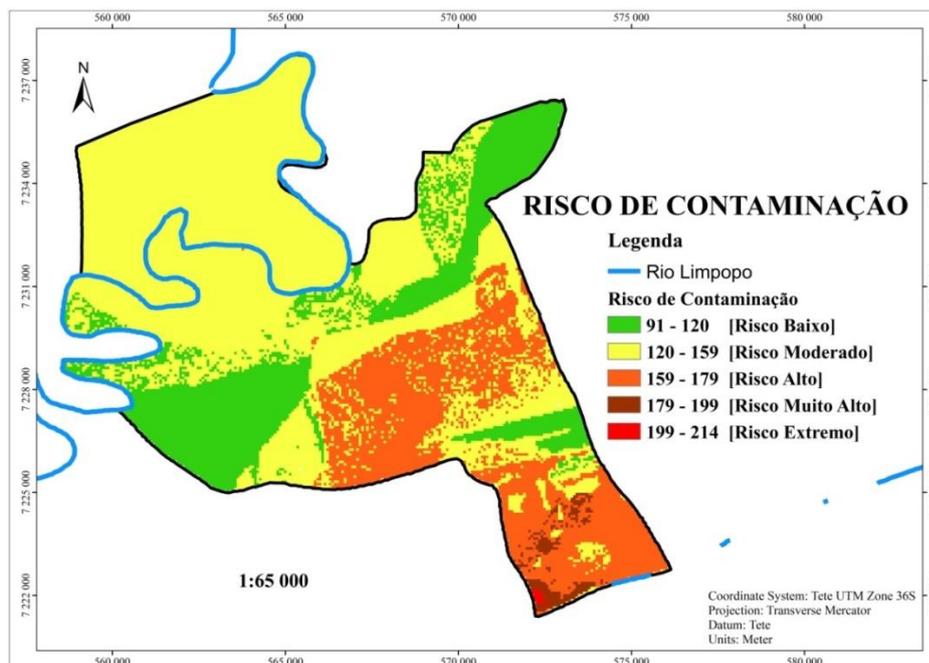


Figura 11: Mapa de risco de contaminação da água subterrânea de Xai-Xai (Autores, 2019).

#### 4. Conclusão

Em conformidade com o exposto na artigo, pode concluir-se que o estudo, contribui para a fortificação do conhecimento da vulnerabilidade intrínseca e integrada (risco de contaminação) da água subterrânea de Xai-Xai, pois, foram efectuados levantamentos das características morfológicas e hidrogeológicas da área, assim como a análise dos dados no ArcGIS e a sua interpretação, constatando-se desse modo a existência de áreas de risco baixo a extremo. Os dados apresentados neste trabalho científico permitem dar um suporte ao planeamento urbano, bem como o auxílio na tomada de decisão ao nível do planeamento e gestão da água subterrânea na área de estudo. Da análise feita em relação a recarga aquífera oriunda da precipitação, foi possível concluir-se que a maior recarga dá-se sobre as dunas arenosas por apresentarem uma boa a excelente permeabilidade, apesar de ser uma zona com um declive bastante acidentado. A zona plana formada por aluviões, isto é, zona baixa da cidade apresenta valores baixos de recarga, esse factor deve-se ao material argiloso de má permeabilidade, que dificulta a infiltração da água.

Em relação a vulnerabilidade em Xai-Xai, concluiu-se que na zona baixa a água subterrânea encontra-se protegida, isso deve-se ao material argiloso de baixa permeabilidade que ocorre na região. No centro da cidade, isto é, na zona alta sobre as dunas arenosas, a água subterrânea encontram-se moderadamente protegidas, sendo que o factor que influencia é a profundidade elevada do nível freático. Já numa área perto da costa em fronteira com a localidade de Chilaulene a água subterrânea encontra-se desprotegida, isso deve em maior proporção a proximidade do lençol freático a superfície, essa área é de grande importância para o seu monitoramento, de modo a evitar a sua contaminação.

Por outro lado com a inter-relação da vulnerabilidade intrínseca e o uso e cobertura do solo, obteve-se 5 classes de risco, sendo que: Nas zonas formadas por material argiloso de baixa permeabilidade, onde o índice DRASTIC é baixo, a prática da agricultura familiar e industrial, a pastagem, dentre outras actividades apresentaram um risco baixo a moderado. E na zona alta do município, formada por material arenoso de boa a excessiva permeabilidade, onde o índice DRASTIC varia de moderado a muito alto, a actividade antrópica que se realiza em maior proporção é caracterizada por falta de um sistema de tratamento de esgoto e défice da rede colectora, e apresenta um risco alto a extremo, constituindo desse modo uma área de grande interesse para o seu monitoramento e tomada de medidas que possam minimizar a contaminação dos aquíferos e assegurar a qualidade da água subterrânea não contaminadas, pois a maioria dos furos de água que abastece Xai-Xai encontra-se nessa zona.

Por isso é de opinião que o presente trabalho oferece subsídios para auxílio à tomada de decisões, mediante a disponibilização de informações do risco de contaminação da água subterrânea de Xai-Xai, favorecendo um monitoramento e planeamento adequado a gestão da água subterrânea e conseqüentemente uma diminuição de risco que a água subterrânea esta submetida.

## Referências Bibliográficas

CARVALHO, Gonçalo. Vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas: comparação de modelos baseados no método DRASTIC. In Cadernos de Geografia n° 32 - 2013 Coimbra, FLUC - pp. 289-299” Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/dfa2/15472b3689cf428e86b13631eb5531d9d59d.pdf>

CHRISPIM, Zélia Maria Peixoto. Análise da Vulnerabilidade e Caracterização Hidrogeoquímica dos Aquíferos Livres Rasos da Parte Emersa da Bacia Sedimentar de Campos. Campos deo Goytacazes. Disponível. 2016 em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Teses-de-Doutorado-2016-Z%C3%A9lia-Maria-Peixoto-Chrispim.pdf>

JÁCOME, Joa Frederico Pereira. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas: Estudo de caso em região de Juiz de Fora – Minas Gerais. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-II-JO%C3%83O-FREDERICO-PEREIRA-J%C3%81COME-VERS%C3%83O-FINAL-CORRIGIDA.pdf>

FOSTER, S. S., & HIRATA, R. C. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. São Paulo: Anais do 5° Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1988.

FOSTER, S., & et all. Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Edição Brasileira Sevmar – Serviços Técnicos Ambientais LTDA. 2006.

ROMEIRO, C. I. A tecnologia Sig Aplicada ao estudo da Vulnerabilidade à Poluição das águas subterrâneas na bacia Hidrográfica das Ribeiras do oeste. Lisboa: UNL. 2012.

GTK Consortium. Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000 (Vol. 1). Maputo: Direcção Nacional de Geologia. 2006.

INE (Instituto Nacional de Estatística). Divulgação dos resultados Preliminares IV RGPH. 2017

USSG. Digital Elevation. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. 17 de Outubro de 2011

ROLIM & SENTELHAS. BHnorm.  
<https://www.ler.esalq.usp.br/valter/BHnorm.xls>. 1998  
website <http://earthexplorer.usgs.gov/>

**Recebido: 30/9/2019.**

**Aceite: 13/11/2019.**

**Sobre os autores e contato:**

**Manuel Pedro Tomo Simbe**

Departamento de Geociências / Universidade Licungo / Beira /  
Moçambique

[e-mail: simbemanuel@gmail.com](mailto:simbemanuel@gmail.com)

**Eldorado Estevão Uamusse**

Departamento de Geociências / Universidade Licungo / Beira /  
Moçambique

[e-mail: eldouradouamusse@gmail.com](mailto:eldouradouamusse@gmail.com)

**Mário Silva Uacane**

Departamento de Geociências / Universidade Licungo / Beira /  
Moçambique

[e-mail: uacanehomo1@gmail.com](mailto:uacanehomo1@gmail.com)