



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

ALESSANDRA DOS SANTOS LIMOEIRO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA RECARGA
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO NAS SUB-
BACIAS DO RIO DAS PEDRAS E RIO PAIAIÁ, BAHIA**

Salvador

2020

ALESSANDRA DOS SANTOS LIMOEIRO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA RECARGA
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO NAS SUB-
BACIAS DO RIO DAS PEDRAS E RIO PAIAIÁ, BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: MSc. Tarsila Carvalho de Jesus

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal

Salvador

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

ALESSANDRA DOS SANTOS LIMOEIRO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA RECARGA
HÍDRICA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO NAS SUB-
BACIAS DO RIO DAS PEDRAS E RIO PAIAIÁ, BAHIA**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – MSc. Tarsila Carvalho de Jesus – Orientadora
Consultora em Recursos Hídricos

2º Examinador – MSc. Hailton Mello da Silva
Universidade Federal da Bahia – UFBA

3º Examinador – MSc. Carlos Gleidson Campos da Purificação
Consultor em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Salvador, 02 de dezembro de 2020

À minha mãe que sempre esteve ao meu lado apoiando, com muito carinho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda permissão e por ter me amparado até aqui.

À Tarsila por me orientar, juntamente com Carlos, na construção deste trabalho. Por toda disposição em me ajudar e todo conhecimento partilhado. Vocês fizeram toda a diferença nessa fase final da graduação. Ao prof. Dr. Luiz Rogério por aceitar ser o co-orientador.

À minha mãe Luciene por ter feito do meu sonho em ser geóloga o dela também, por estar sempre ao meu lado torcendo e acreditando em mim. Não me deixando nunca me sentir desamparada.

À Felipe Pitanga, meu companheiro de todas as horas, por não me deixar sentir sozinha um minuto sequer. Por toda palavra de incentivo e consolo, por toda paciência e sempre acreditar em mim.

Aos meus irmãos Júnior e Ademi, meus avós Vera e Rozeira, por torcerem sempre por mim.

À minha irmã Adrielle, que a vida me deu, por estar presente nas fases mais importantes da minha vida, por todo apoio e torcida.

Aos professores da UFBA por todo conhecimento compartilhado, especialmente ao professor Osmário Rezende, que se tornou a minha maior referência e exemplo de docente, por todo incentivo.

Aos amigos que conquistei na universidade e que fizeram a jornada muito mais leve e prazerosa. Especialmente Ayana, Gabriela, Roberto, Suellen e Tarcio por dividirem os melhores momentos. A Lizandra, Samile, Victor, Andrezza, Carmen, Denyson, Álvaro por terem sido tão especiais nessa jornada.

À Aline por toda torcida, conselhos e se colocar sempre à disposição.

Aos meus amigos e irmãos da Biblioteca Santa Clara por todo apoio do início, em especial a Rodrigo que esteve sempre ao meu lado, me ajudando e estudando comigo as disciplinas de física e matemática.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Vocês são muito especiais!

RESUMO

O abastecimento por águas subterrâneas tem crescido nas últimas décadas, essencialmente em regiões com escassez de mananciais superficiais. As áreas de recarga hídrica subterrânea são responsáveis pela manutenção, qualidade e quantidade de água que chega nos aquíferos pelo processo de infiltração. A recarga hídrica é controlada por um conjunto de fatores como o substrato geológico, topografia, clima, solos e tem como principal fonte a precipitação pluviométrica. Este trabalho teve como objetivo gerar um modelo com a delimitação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea nas sub-bacias do Rio das Pedras e Rio Paiaíá, que abrangem, parcialmente, os municípios de Saúde, Caldeirão Grande, Caém, Jacobina e Mirangaba no estado da Bahia. Para isso, foram utilizados como base os fatores temáticos de declividade e hipsometria, densidade de lineamentos, rede de drenagem, pluviometria, solos, vegetação e uso do solo. Cada fator temático foi subdividido em classes. O cruzamento entre as classes se deu em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG) e utilizando técnicas de geoprocessamento. A ponderação de cada classe foi feita pelo método Processo Analítico Hierárquico (AHP). O somatório de todos os fatores, resultou em um modelo com a delimitação e classificação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea da região. Como resultado, obteve-se que as áreas de médio potencial de recarga hídrica ocupam mais da metade da área de estudo e estão distribuídas em toda a região. As áreas de alto potencial de recarga ocorrem, principalmente na porção oeste. Embora os resultados tenham sido consistentes, para uma primeira avaliação da área, a análise pode ser melhorada com dados de solo e uso do solo em escala de maior detalhe. Entretanto, os resultados obtidos podem ser utilizados como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, proteção das áreas com maiores potenciais de recarga hídrica subterrânea e planejamento de uso do solo.

Palavras-chave: Recarga hídrica subterrânea. Sistema de Informações Geográficas. Processo Analítico Hierárquico.

ABSTRACT

Groundwater supply has grown in recent decades, essentially in regions with scarcity of surface springs. Groundwater recharge areas are responsible for the maintenance, quality and quantity of water that reaches aquifers through the infiltration process. Water recharge is controlled by a set of factors such as geological substratum, topography, climate, soils and has rainfall as its main source. This work aimed to generate a model with the delimitation of potential areas for underground water recharge in the sub-basins of the Rio das Pedras and Rio Paiaia, which partially cover the municipalities of Saúde, Caldeirão Grande, Caém, Jacobina and Mirangaba in the state of Bahia. For this, the thematic factors of declivity and hypsometry, lineament density, drainage network, pluviometry, soils, vegetation and soil use were used as a basis. Each thematic factor was subdivided into classes. The crossing between the classes took place in a geographic information system (GIS) environment and using geoprocessing techniques. The weighting of each class was done by the Hierarchical Analytical Process (AHP) method. The sum of all factors resulted in a model with the delimitation and classification of potential areas for underground water recharge in the region. As a result, it was obtained that the areas of medium potential for water recharge occupy more than half of the study area and are distributed throughout the region. The high potential recharge areas occur mainly in the western portion. Although the results have been consistent, for a first assessment of the area, the analysis can be improved with more detailed soil and land use data. However, the results obtained can be used as a tool for water resources management, protection of areas with higher groundwater recharge potential and land use planning.

Keywords: Groundwater recharge. Geographic Information System. Hierarchical Analytical Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo na Bahia e as principais vias de acesso.	11
Figura 1.2: Mapa geológico da área de estudo.....	14
Figura 1: Mapa de localização da área de estudo na Bahia e as principais vias de acesso..	28
Figura 2: Fluxograma com os procedimentos metodológicos adotados.....	30
Figura 3: (a) Mapa de declividade + hipsometria; (b) Mapa de densidade de lineamentos; (c) Mapa de rede de drenagem; (d) Mapa pluviométrico; (e) Mapa de classes de solo e (f) Mapa de vegetação e uso do solo.....	32
Figura 4: a) Mapa de hipsometria e b) Mapa de declividade.	33
Figura 5: Modelo com as áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea da área de estudo.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação das declividades, de acordo com seus valores em %.	18
Tabela 2.2: Correlação entre classes de declividade e relevo.	19
Tabela 1: Síntese dos dados coletados, formato, resolução espacial ou escala e fonte.	31
Tabela 3: Escala fundamental de comparação paritária do método AHP.	35
Tabela 4: IR para matrizes de até ordem 15.....	35
Tabela 5: Distribuição dos pesos para cada fator temático.....	36
Tabela 6: Distribuição dos pesos por classe para cada fator utilizado.	36
Tabela 7: Distribuição de peso para as classes declividade e hipsometria.	37
Tabela 8: Classificação do potencial das áreas de recarga.	38
Tabela 9: Representação em área e percentagem das classes temáticas.	42
Tabela 10: Representação das áreas potenciais de recarga hídrica subterrânea na área de estudo.	44

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	9
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE	16
2.1 Recarga hídrica subterrânea	16
2.1.1 <i>Tipos de recarga hídrica subterrânea.....</i>	<i>17</i>
2.2 Parâmetros que influenciam a recarga hídrica subterrânea	17
2.2.1 <i>Geomorfologia e declividade.....</i>	<i>18</i>
2.2.2 <i>Hipsometria.....</i>	<i>19</i>
2.2.3 <i>Sistema aquífero.....</i>	<i>19</i>
2.2.4 <i>Classe de solo</i>	<i>20</i>
2.2.5 <i>Uso do solo.....</i>	<i>22</i>
CAPÍTULO 3 - ARTIGO	23
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Aquisição de dados geoespaciais	30
3.2 Fatores temáticos	31
3.3 Processo Analítico Hierárquico – AHP	34
3.4 Delimitação de potenciais áreas de recarga hídrica subterrânea	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5 CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 4 - RECOMENDAÇÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	56

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Do total de água doce presente na Terra, disponível para consumo, 96% são representados por águas subterrâneas (MMA, 2007). Essas fontes hídricas são consideradas como reservas estratégicas e têm apresentado uso crescente nas últimas décadas, essencialmente em áreas com escassez de mananciais superficiais, de atividades agrícolas e industriais que requerem muita água (CARMO, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015). De acordo com o Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água, da Agência Nacional de Águas – ANA (2010), 39% dos municípios brasileiros são abastecidos exclusivamente por mananciais subterrâneos e 14% são abastecidos de forma mista por águas subterrâneas e superficiais.

Para que o uso seja sustentável e haja melhor gestão desses recursos, é necessário compreender como ocorrem os processos que promovem a recarga dessas águas (MENEZES, 2007). O entendimento da variabilidade temporal e espacial da recarga hídrica subterrânea, para identificar os fatores que influenciam diretamente no seu comportamento, é uma das questões mais importantes nas pesquisas hidrológicas devido a sua relevância na gestão dos aquíferos (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; GONÇALVES, SANTAROSA e MANZIONE, 2016).

As áreas de recarga hídrica subterrânea são responsáveis pela manutenção, qualidade e quantidade de água que chega nos aquíferos pelo processo de infiltração (PAES, 2012). A recarga hídrica subterrânea é controlada por um conjunto de fatores como a geologia, clima, topografia, vegetação, tipo de solo e evapotranspiração, e tem como principal fonte a precipitação pluviométrica (GEE *et al.*, 1994; CARRERA-HERNÁNDEZ, SMERDON e MENDOZA, 2012). A água resultante do processo de

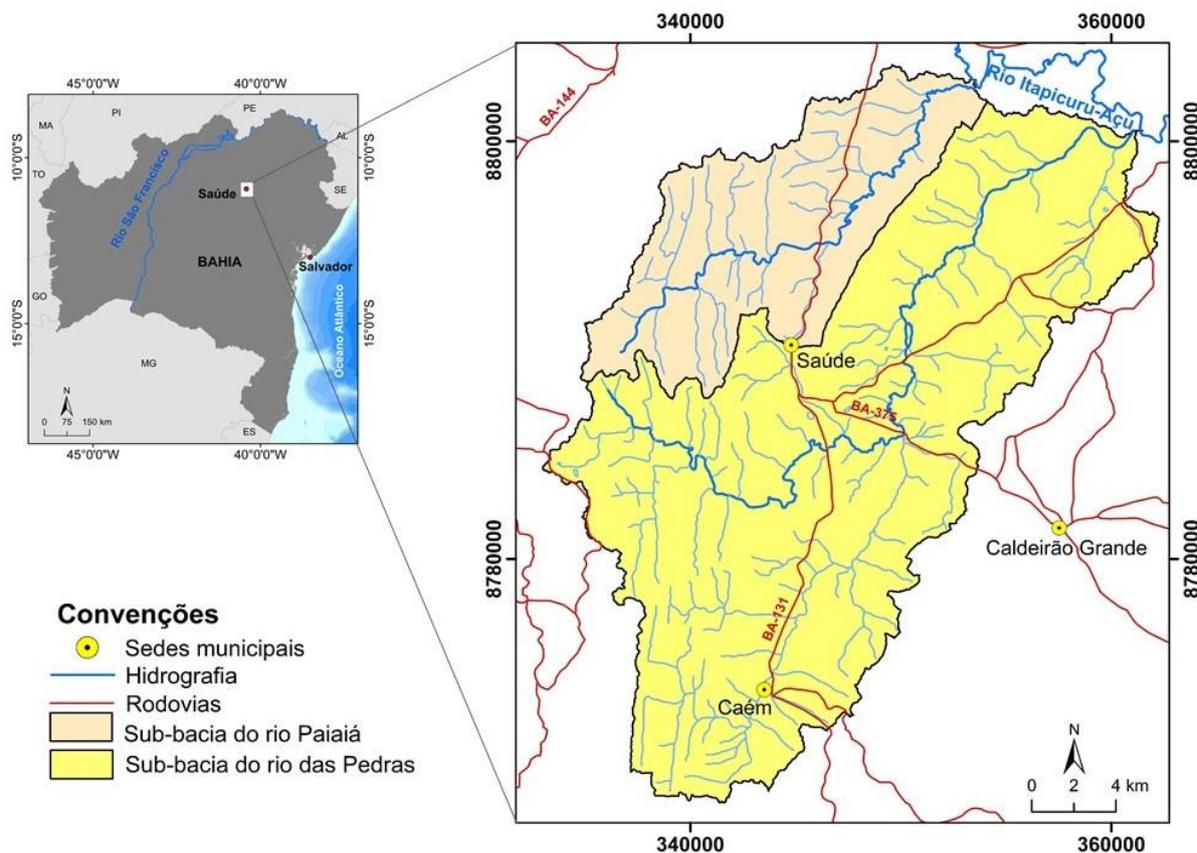
precipitação atinge os aquíferos através das áreas de recarga hídrica e move-se em função dos gradientes hidráulicos, decorrentes da variação de declividade do terreno e das condutividades hidráulicas dos solos e rochas, em direção às áreas de descarga (CARMO, 2014).

Os impactos ambientais ocorridos nas áreas de recarga podem acarretar mudanças na dinâmica dos aquíferos (PAES, 2012). Assim, é necessário o monitoramento e controle na zona de recarga direta para que seja evitado o estabelecimento de atividades com alto potencial poluidor, que utilizem produtos como pesticidas e efluentes industriais (MENEZES, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos, adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade básica de estudo e gestão. Para atender a essa premissa, foram adotadas como área de estudo a coalescência das sub-bacias hidrográficas do Rio Paiaí e Rio das Pedras, ambos afluentes da margem direita do Rio Itapicuru, na porção oeste da bacia deste rio em apreço (figura 1.1).

A área de estudo possui extensão de 560 km², sendo 136 km² referente à área da sub-bacia do Rio Paiaí e 424 km² da sub-bacia do Rio das Pedras. Está situada no nordeste do estado da Bahia a, aproximadamente, 360 km da capital Salvador. Compreende em maior parte o município de Saúde e, parcialmente, os municípios de Caldeirão Grande, Caém, Jacobina e Mirangaba.

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo na Bahia e as principais vias de acesso.



Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

O clima da região é tropical seco a subúmido (MME, 2005), do tipo Aw na classificação Köppen, com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação média anual é 960,9 mm (CPRM, 2013). Anualmente, as temperaturas mínimas variam entre 17 °C e 20 °C e as máximas variam de 25 °C a 32 °C (CLIMATEMPO, 2020).

No Brasil, alguns trabalhos sobre caracterização de áreas de recarga hídrica subterrânea e a relação com fatores como classes de solo, vegetação e uso do solo, geomorfologia são encontrados em Chiaranda (2002), Araújo (2006), Almeida e Silva (2007), Menezes (2007), Felipe e Magalhães Jr (2009) e Paes (2012).

O mapeamento das áreas de recarga é essencial para o entendimento, delimitação, caracterização, espacialização e planejamento ambiental dessas áreas. Para isso, a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de geoprocessamento tem sido validada por diversos pesquisadores no Brasil, como Campos *et al.* (2004), Rabelo (2006), Samizava *et al.* (2008), Barros *et al.* (2013), Andrade e Barbosa (2015), Pereira, Costa e Garcês Jr (2019), pois permitem a avaliação integrada de grande número de variáveis (DONHA, SOUZA e SUGAMOSTO, 2006). Essas técnicas possibilitam a análise e visualização espacial de dados, buscando entender sua dimensão e as interações no espaço (DRUCK, 2004).

Como suporte para tomada de decisão em problemas com diversas variáveis simultaneamente, destaca-se o método Processo Analítico Hierárquico (ou *Analytic Hierarchy Process* – AHP) proposto por Saaty (1971). Este método consiste na ponderação de aspectos qualitativos, no qual um conjunto de variáveis são agrupadas hierarquicamente e comparadas duas a duas (análises paritárias). A comparação é feita pelo próprio decisor a partir da importância relativa de uma classe sobre a outra.

O AHP possibilita que análises qualitativas e subjetivas sejam operacionalizadas através de características numéricas, permitindo um tratamento quantitativo que conduza a uma estimativa numérica da importância relativa de cada uma das alternativas (BEN, 2006).

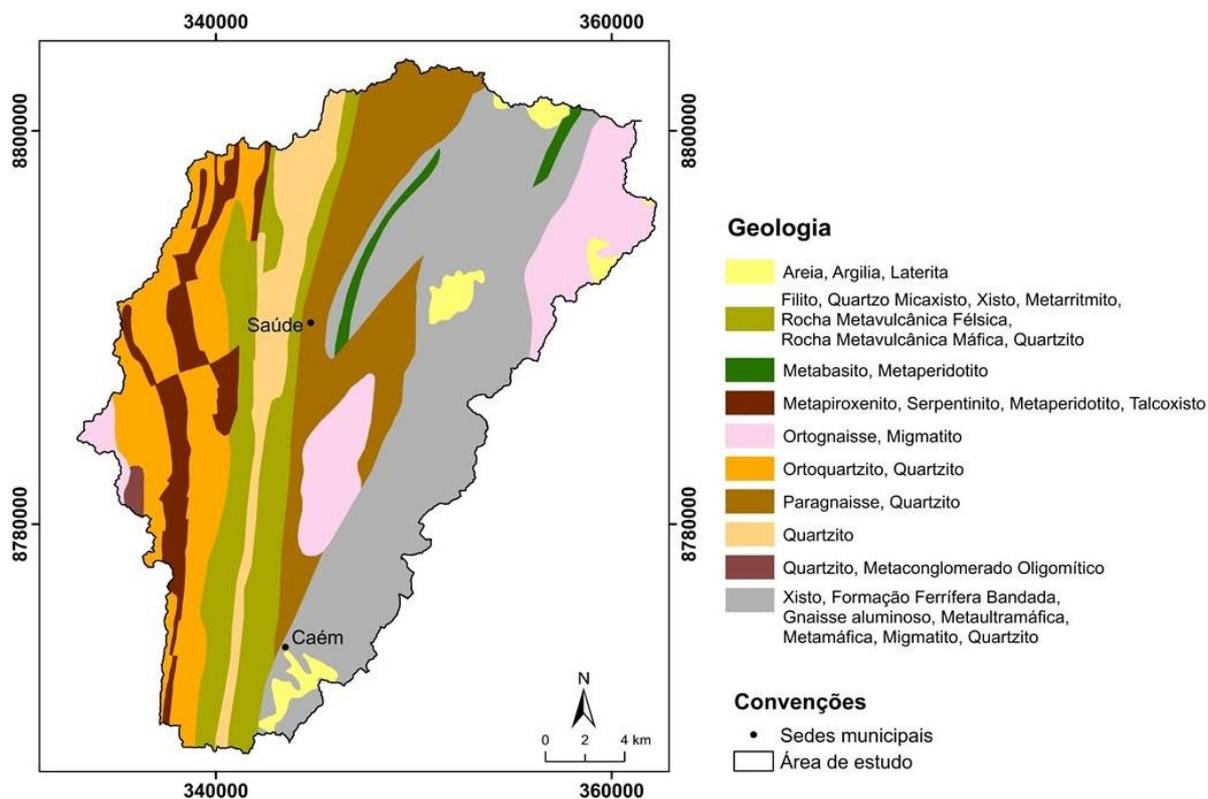
Embora diversas razões exaltem a importância de estudos relacionados a caracterização das áreas de recarga hídrica subterrânea como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, há uma escassez de trabalhos no estado da Bahia e, especialmente, no município de Saúde e entorno. Assim, a delimitação e

reconhecimento de potenciais áreas de recarga hídrica subterrânea, através da relação com a declividade, hipsometria, densidade de lineamentos, classe de solos, vegetação e uso do solo e rede de drenagem justifica-se por fornecer informações que podem auxiliar no processo de tomada de decisão, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos do município de Saúde-BA e regiões do entorno.

Diante do exposto, o objetivo geral desse estudo é a produção de um modelo com a delimitação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea das sub-bacias do Rio das Pedras e do Rio Paiaí. Os objetivos específicos são: (i) estabelecer os principais fatores utilizados na identificação dessas áreas; (ii) classificar hierarquicamente o potencial de recarga hídrica subterrânea; (iii) propor um zoneamento de uso do solo como subsídio para o planejamento territorial da área.

O arcabouço geológico da área de estudo (figura 1.2) é constituído, essencialmente, por rochas cristalinas pertencentes aos complexos Mairi, Saúde, Itapicuru e Grupo Jacobina, separados entre si por falhas de direção aproximada N-S a NE-SW. Coberturas Quaternárias constituídas por areia, com níveis de argila e cascalho, e crostas lateríticas, ocorrem na porção nordeste da área (MME, 2005).

Figura 1.2: Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM (2003).

O Complexo Mairi é formado por rochas metamórficas ortognáissicas migmatíticas, de composição granítica e tonalítica, além de corpos básicos e ultrabásicos. Essas rochas possuem direção N-S e foram reequilibradas na fácies anfibolito (BARBOSA, CRUZ e SOUZA, 2012).

O Complexo Saúde, cujas rochas estão na direção N-S, é constituído principalmente por paragnaises não-granadíferos e kinzigitos (LEITE e MARINHO, 2012). Anfibolitos, rochas calcissilicáticas e quartzitos ocorrem subordinadamente (LEITE, 2002; BARBOSA, CRUZ e SOUZA, 2012).

O Complexo Itapicuru é composto por filitos, xistos (sericita-moscovita, clorita e biotita), silixitos, metabasitos, metaultrabasitos, itabiritos, metassiltitos e quartzitos. Lentes de metaconglomerados ocorrem subordinadamente (COUTO *et al.*, 1978).

A estratigrafia do Grupo Jacobina é composta por conglomerados, arenitos de granulação grossa, quartzitos, xistos (clorita, quartzo-sericita, andaluzita), filitos e metarenitos (MASCARENHAS *et al.*, 1998).

O artigo resultante deste trabalho, apresentado no capítulo 3, está no formato de submissão da Revista Águas Subterrâneas, periódico da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, cujas regras de formatação encontram-se no Anexo A.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1 Recarga hídrica subterrânea

Healy (2010), define recarga hídrica subterrânea como o fluxo descendente de água que atinge o lençol freático, acrescentando-se ao armazenamento de águas subterrâneas. Assim, áreas de recarga hídrica são locais da superfície terrestre que possibilitam a infiltração e percolação da água em direção a um sistema subterrâneo capaz de armazená-la e distribuí-la (FREEZE e CHERRY, 1979; FETTER, 1994; PYNE, 1995; WARD e TRIMBLE, 2004 *apud* FELIPPE e MAGALHÃES JÚNIOR, 2009).

O processo de recarga hídrica subterrânea é controlado por um conjunto de fatores como a geologia, clima, topografia, vegetação, tipo de solo e evapotranspiração, tendo como principal fonte a precipitação pluviométrica (GEE *et al.*, 1994; CARRERA-HERNÁNDEZ, SMERDON e MENDOZA, 2012). Alguns eventos chuvosos de pouca intensidade e duração não provocam contribuições diretas à recarga hídrica subterrânea, pois a água infiltrada não é, necessariamente, o resultado de um único evento de chuva, mas pode representar uma série de eventos precedentes de chuva. Outras formas de recarga hídrica são pela infiltração dos rios, canais e lagos e por fenômenos induzidos por atividades humanas como irrigação (PAIVA, 2006).

A definição de recarga hídrica subterrânea pode apresentar semelhança com a definição de infiltração. Entretanto, a infiltração é a água que percola da superfície para a zona não saturada, e a recarga é uma parte da infiltração que realmente atinge

o nível da água, ou seja, é a quantidade de água que entra na zona saturada (MARTELLI, 2012).

A eficiência das áreas de recarga hídrica subterrânea está relacionada à potencialidade de transferência da água superficial para os materiais que possuem capacidade de armazená-la e transmiti-la em subsuperfície (FELIPPE e MAGALHÃES JÚNIOR, 2009).

2.1.1 Tipos de recarga hídrica subterrânea

Vries e Simmers (2002), definem três tipos de recarga hídrica subterrânea, dependendo da fonte:

- i. Recarga direta: Ocorre por percolação vertical direta através da zona não saturada, somando-se ao reservatório subterrâneo, tendo como fonte a precipitação pluviométrica.
- ii. Recarga indireta: Percolação até a zona saturada através dos leitos dos cursos de água de superfície como rios e lagos e atividades humanas como irrigação.
- iii. Recarga localizada: Uma forma pontual de recarga, onde a água move-se lateralmente, em curtas distâncias, antes da infiltração na ausência de canais bem definidos.

2.2 Parâmetros que influenciam a recarga hídrica subterrânea

Em estudos relacionados a potenciais áreas de recarga hídrica subterrânea, autores como Gee *et al.* (1994), Chiaranda (2002), Araújo (2006), Almeida e Silva (2007), Menezes (2007), Felipe e Magalhães Jr (2009) e Melo Neto *et al.* (2013)

explanaram como a recarga hídrica subterrânea está diretamente relacionada a alguns parâmetros como a geomorfologia, declividade do terreno, hipsometria, sistema aquífero, classe e uso do solo, e como estes influenciam na classificação da área de recarga hídrica.

2.2.1 Geomorfologia e declividade

A associação da declividade com a geomorfologia estabelece áreas de convergência e divergência de fluxos, determinando pontos de maior ou menor infiltração nos perfis delimitando zonas preferenciais de recarga hídrica subterrânea (BOTELHO e SILVA, 2004 *apud* MELO NETO *et al.*, 2013).

A declividade refere-se à inclinação que os terrenos apresentam (tabela 2.1), representando assim as diferentes quantidades de energia que podem interferir na velocidade de escoamento dos fluxos d'água pela transformação da energia potencial em cinética. Quanto menor for a declividade, maior é a possibilidade da água se infiltrar e fluir pelo meio poroso. Do mesmo modo, terrenos com maior declividade tendem a apresentar fluxos com maior velocidade e, conseqüentemente, menor infiltração (CHIARANDA, 2002).

Tabela 2.1: Classificação das declividades, de acordo com seus valores em %.

Declividade (%)	Classificação
0 - 3	Muito fraca
3 - 8	Fraca
8 - 20	Moderada
20 - 45	Forte
> 45	Muito forte

Fonte: IBGE (2009).

Na tabela 2.2, Melo Neto *et al.* (2003) propõem uma relação entre classes de declividade em (%) e relevo. As áreas de relevo plano a suavemente ondulado são caracterizadas como mais propícias à recarga hídrica subterrânea (ALMEIDA e SILVA, 2007).

Tabela 2.2: Correlação entre classes de declividade e relevo.

Classe de declividade (%)	Relevo
0 - 6	Várzea, plano a suave ondulado.
6 – 20	Suave ondulado a forte ondulado.
> 20	Forte ondulado a montanhoso.

Fonte: Melo Neto *et al.* (2013).

2.2.2 Hipsometria

A recarga hídrica subterrânea não ocorre de forma homogênea no espaço, e os topos representam zonas preferenciais para o processo de infiltração, os quais tendem a alimentar as zonas mais profundas dos aquíferos (FELIPPE e MAGALHÃES JÚNIOR, 2009). Assim, as áreas de recarga hídrica subterrânea, geralmente, estão associadas a regiões topograficamente elevadas. Melo Neto *et al.* (2013) associam a variação de altitude às modificações nas características climáticas da região e, conseqüentemente, modificações nos regimes pluviométricos e na dinâmica da recarga hídrica.

2.2.3 Sistema aquífero

O processo de escoamento superficial e a recarga hídrica subterrânea em uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionados às características do aquífero associado (MELLO *et al.*, 2011).

Quanto à porosidade, os aquíferos são divididos em três tipos (ABAS, 2020):

- i. Aquífero poroso ou sedimentar: Formado por rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação de água se dá nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila.
- ii. Aquífero fraturado ou fissural: Formado por rochas cristalinas, ígneas ou metamórficas, onde a circulação de água ocorre nas fraturas, fendas e falhas abertas devidos a movimentos tectônicos.
- iii. Aquífero cárstico: Formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água ocorre nas fraturas e outras discontinuidades formadas por dissolução do carbonato pela água.

De modo geral, as rochas sedimentares, representadas pelo sistema de aquífero granular, favorecem os processos de recarga hídrica subterrânea devido à boa porosidade desses litotipos. Contrariamente, as rochas carbonáticas e cristalinas, representadas pelo sistema de aquífero cárstico e fissural respectivamente, rochas de baixa porosidade natural, reduzem drasticamente o potencial de recarga hídrica (MELO NETO *et al.*, 2013).

2.2.4 Classe de solo

O solo funciona como um reservatório dinâmico de água. Suas características físicas, químicas e mineralógicas influenciam de forma direta na infiltração de água e, conseqüentemente, no processo de recarga hídrica subterrânea, uma vez que a recarga está diretamente associada à capacidade de infiltração dos solos (MENEZES, 2007; ARAÚJO, 2006). A textura do solo e sua permeabilidade são importantes na avaliação da recarga hídrica, pois solos de granulação grossa geralmente resultam em taxas de recarga maiores que solos de granulação fina (PAIVA, 2006). Solos com textura arenosa apresentam potencial de infiltração muito alto por ser composto

predominantemente por macroporos, o que os tornam bem a excessivamente drenados. Os de textura argilosa, por outro lado, devido a predominância de microporos tendem a ser mal a moderadamente drenados, o que permite que apresentem como rota preferencial de fluxo o escoamento superficial (CHIARANDA, 2002).

Os estudos de Araújo (2006) e Menezes (2007), relacionando as classes de solos, suas texturas e profundidade à capacidade potencial de infiltração e recarga hídrica subterrânea, permitem concluir que:

- i. Cambissolos são solos rasos, pouco desenvolvidos e são os principais responsáveis pelo baixo potencial de recarga hídrica devido ao baixo potencial de infiltração.
- ii. Neossolos Litólicos apresentam baixa permeabilidade e pequena profundidade específica.
- iii. Neossolos Flúvicos e Gleissolos, possuem média capacidade de recarga hídrica subterrânea.
- iv. Latossolos, sejam eles Vermelhos, Vermelho-Amarelos ou Amarelos apresentam alto potencial de recarga hídrica subterrânea, devido a sua alta profundidade e alta permeabilidade.

Os Argissolos podem influenciar negativamente no potencial de recarga hídrica subterrânea pois, geralmente, apresentam baixa capacidade de infiltração de água no solo devido a presença do horizonte B textural (MELO NETO *et al.*, 2013).

2.2.5 Uso do solo

O uso e manejo do solo afetam diretamente o processo de recarga hídrica subterrânea, pois essas atividades condicionam a estrutura dos solos (PAES *et al.*, 2012). Quando ocorre a substituição da cobertura vegetal original por outro tipo de uso da terra como pastagem, vegetação alterada, agricultura e uso urbano, na área de recarga hídrica, sua capacidade de infiltração e, conseqüentemente o potencial de armazenamento, são afetados (CHIARANDA, 2002).

Em ambientes urbanos, a recarga direta é reduzida, pois existem grandes áreas impermeáveis (MAZIERO e WENDLAND, 2005).

A maneira como o uso e manejo do solo interfere na recarga hídrica subterrânea é uma questão importante para o entendimento da dinâmica de um aquífero, pois diferentes usos do solo e manejo alteram a taxa de recarga hídrica subterrânea de maneiras distintas (PAES *et al.*, 2012).

Em relação ao uso da terra e compactação, os solos mais susceptíveis a compactação são os de textura média a moderadamente grosseira devido a maior facilidade de reorganização de suas partículas, o que pode levar a alteração das taxas de infiltração quando há substituição da cobertura vegetal original por outros tipos de cobertura (BOADMAN e CONSTANTIN, 1965; CHIARANDA, 2002). O processo de compactação dos solos diminui a sua permeabilidade. Assim, quanto maior a compactação do solo, menor a taxa de recarga hídrica subterrânea (PAES *et al.*, 2012).

1 DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA RECARGA
2 HÍDRICA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO NAS SUB-
3 BACIAS DO RIO DAS PEDRAS E RIO PAIAIÁ, BAHIA

4 DELIMITATION OF POTENTIAL AREAS FOR
5 UNDERGROUND WATER RECHARGE: A CASE STUDY IN
6 THE SUB-BASINS OF THE RIO DAS PEDRAS AND RIO
7 PAIAIÁ, BAHIA

8 **Resumo:** O abastecimento por águas subterrâneas tem crescido nas últimas
9 décadas, essencialmente em regiões com escassez de mananciais superficiais. As
10 áreas de recarga hídrica subterrânea são responsáveis pela manutenção, qualidade
11 e quantidade de água que chega nos aquíferos pelo processo de infiltração. A recarga
12 hídrica é controlada por um conjunto de fatores como o substrato geológico,
13 topografia, clima, solos e tem como principal fonte a precipitação pluviométrica. Este
14 trabalho teve como objetivo gerar um modelo com a delimitação de áreas potenciais
15 para recarga hídrica subterrânea nas sub-bacias do Rio das Pedras e Rio Paiaia, que
16 abrangem, parcialmente, os municípios de Saúde, Caldeirão Grande, Caém, Jacobina
17 e Mirangaba no estado da Bahia. Para isso, foram utilizados como base os fatores
18 temáticos de declividade e hipsometria, densidade de lineamentos, rede de drenagem,
19 pluviometria, solos, vegetação e uso do solo. Cada fator temático foi subdividido em
20 classes. O cruzamento entre as classes se deu em ambiente de sistemas de
21 informações geográficas (SIG) e utilizando técnicas de geoprocessamento. A
22 ponderação de cada classe foi feita pelo método Processo Analítico Hierárquico

23 (AHP). O somatório de todos os fatores, resultou em um modelo com a delimitação e
24 classificação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea da região. Como
25 resultado, obteve-se que as áreas de médio potencial de recarga hídrica ocupam mais
26 da metade da área de estudo e estão distribuídas em toda a região. As áreas de alto
27 potencial de recarga ocorrem, principalmente na porção oeste. Embora os resultados
28 tenham sido consistentes, para uma primeira avaliação da área, a análise pode ser
29 melhorada com dados de solo e uso do solo em escala de maior detalhe. Entretanto,
30 os resultados obtidos podem ser utilizados como ferramenta para a gestão dos
31 recursos hídricos, proteção das áreas com maiores potenciais de recarga hídrica
32 subterrânea e planejamento de uso do solo.

33 Palavras-chave: Recarga hídrica subterrânea. Sistema de Informações Geográficas.
34 Processo Analítico Hierárquico.

35

36 **Abstract:** Groundwater supply has grown in recent decades, essentially in regions
37 with scarcity of surface springs. Groundwater recharge areas are responsible for the
38 maintenance, quality and quantity of water that reaches aquifers through the infiltration
39 process. Water recharge is controlled by a set of factors such as geological
40 substratum, topography, climate, soils and has rainfall as its main source. This work
41 aimed to generate a model with the delimitation of potential areas for underground
42 water recharge in the sub-basins of the Rio das Pedras and Rio Paiaíá, which partially
43 cover the municipalities of Saúde, Caldeirão Grande, Caém, Jacobina and Mirangaba
44 in the state of Bahia. For this, the thematic factors of declivity and hypsometry,
45 lineament density, drainage network, pluviometry, soils, vegetation and soil use were
46 used as a basis. Each thematic factor was subdivided into classes. The crossing
47 between the classes took place in a geographic information system (GIS) environment

48 and using geoprocessing techniques. The weighting of each class was done by the
49 Hierarchical Analytical Process (AHP) method. The sum of all factors resulted in a
50 model with the delimitation and classification of potential areas for underground water
51 recharge in the region. As a result, it was obtained that the areas of medium potential
52 for water recharge occupy more than half of the study area and are distributed
53 throughout the region. The high potential recharge areas occur mainly in the western
54 portion. Although the results have been consistent, for a first assessment of the area,
55 the analysis can be improved with more detailed soil and land use data. However, the
56 results obtained can be used as a tool for water resources management, protection of
57 areas with higher groundwater recharge potential and land use planning.

58 Keywords: Groundwater recharge. Geographic Information System. Hierarchical
59 Analytical Process.

60 **1 INTRODUÇÃO**

61 Do total de água doce presente na Terra, disponível para consumo, 96% são
62 representados por águas subterrâneas (MMA, 2007). Essas fontes hídricas são
63 consideradas como reservas estratégicas e têm apresentado uso crescente nas
64 últimas décadas, essencialmente em áreas com escassez de mananciais superficiais,
65 de atividades agrícolas e industriais que requerem muita água (CARMO, 2014;
66 ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

67 Para que o uso seja sustentável e haja melhor gestão desses recursos, é
68 necessário compreender como ocorrem os processos que promovem a recarga
69 dessas águas (MENEZES, 2007). O entendimento da variabilidade temporal e
70 espacial da recarga hídrica subterrânea, para identificar os fatores que influenciam
71 diretamente no seu comportamento, é uma das questões mais importantes nas

72 pesquisas hidrológicas devido a sua relevância na gestão dos aquíferos
73 (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; GONÇALVES, SANTAROSA e MANZIONE, 2016).

74 No Brasil, alguns trabalhos sobre caracterização de áreas de recarga hídrica
75 subterrânea e a relação com fatores como classes de solo, vegetação e uso do solo,
76 geomorfologia são encontrados em Chiaranda (2002), Araújo (2006), Almeida e Silva
77 (2007), Menezes (2007), Felipe e Magalhães Jr (2009) e Paes (2012).

78 O mapeamento das áreas de recarga é essencial para o entendimento,
79 delimitação, caracterização, espacialização e planejamento ambiental dessas áreas.
80 Para isso, a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de
81 geoprocessamento tem sido validada por diversos pesquisadores no Brasil, como
82 Campos *et al.* (2004), Rabelo (2006), Samizava *et al.* (2008), Barros *et al.* (2013),
83 Andrade e Barbosa (2015), Pereira, Costa e Garcês Jr (2019), pois permitem a
84 avaliação integrada de grande número de variáveis (DONHA, SOUZA e
85 SUGAMOSTO, 2006). Essas técnicas possibilitam a análise e visualização espacial
86 de dados, buscando entender sua dimensão e as interações no espaço (DRUCK,
87 2004).

88 Como suporte para tomada de decisão em problemas com diversas variáveis
89 simultaneamente, destaca-se o método Processo Analítico Hierárquico (ou *Analytic*
90 *Hierarchy Process* – AHP) proposto por Saaty (1971). Este método consiste na
91 ponderação de aspectos qualitativos, no qual um conjunto de variáveis são agrupadas
92 hierarquicamente e comparadas duas a duas (análises paritárias). A comparação é
93 feita pelo próprio decisor a partir da importância relativa de uma classe sobre a outra.

94 O AHP possibilita que análises qualitativas e subjetivas sejam
95 operacionalizadas através de características numéricas, permitindo um tratamento

96 quantitativo que conduza a uma estimativa numérica da importância relativa de cada
97 uma das alternativas (BEN, 2006).

98 Embora diversas razões exaltem a importância de estudos relacionados a
99 caracterização das áreas de recarga hídrica subterrânea, há uma escassez de
100 trabalhos no estado da Bahia e, especialmente, no município de Saúde e entorno.

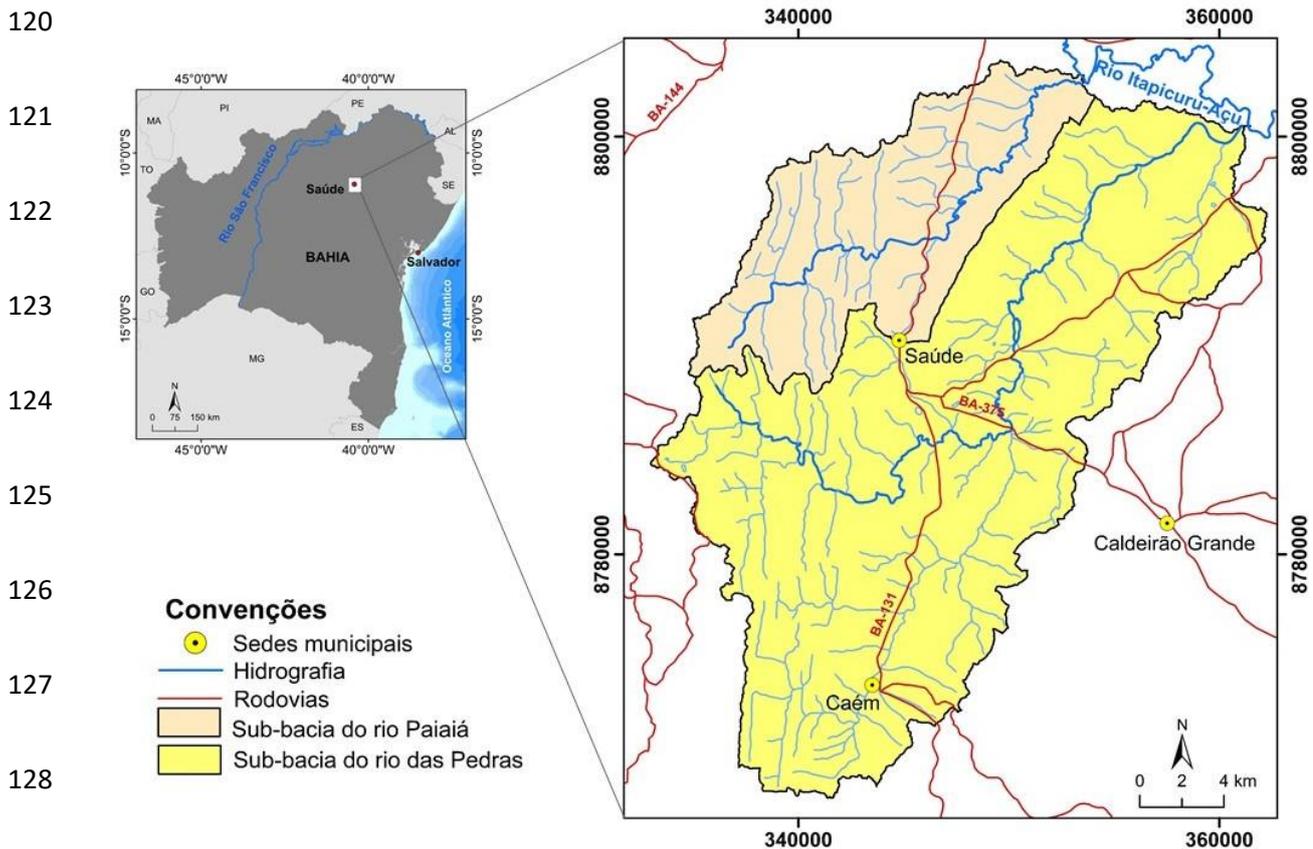
101 Diante do exposto, o presente estudo visa a produção de um modelo com a
102 delimitação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea das sub-bacias do
103 Rio das Pedras e do Rio Paiaíá. Os objetivos específicos são: (i) estabelecer os
104 principais fatores utilizados na identificação dessas áreas; (ii) classificar
105 hierarquicamente o potencial de recarga hídrica; (iii) propor um zoneamento de uso
106 do solo como subsídio para o planejamento territorial da área, fornecendo informações
107 que podem auxiliar no processo de tomada de decisão, planejamento e
108 gerenciamento dos recursos hídricos do município de Saúde-BA e regiões do entorno.

109 **2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

110 A área de estudo é formada pela coalescência das sub-bacias hidrográficas
111 do Rio Paiaíá e Rio das Pedras, ambos afluentes da margem direita do Rio Itapicuru,
112 na porção oeste da bacia deste rio em apreço (figura 1). A área possui extensão de
113 560 km², sendo 136 km² referente à área da sub-bacia do Rio Paiaíá e 424 km² da
114 sub-bacia do Rio das Pedras. Está situada no nordeste do estado da Bahia a,
115 aproximadamente, 360 km da capital Salvador. Compreende em maior parte o
116 município de Saúde e, parcialmente, os municípios de Caldeirão Grande, Caém,
117 Jacobina e Mirangaba.

118

119



129 **Figura 1: Mapa de localização da área de estudo na Bahia e as principais vias de**
 130 **acesso. Fonte: Adaptado de IBGE (2017).**

131

132 O clima da região é tropical seco a subúmido (MME, 2005), do tipo Aw na
 133 classificação Köppen, com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013). A
 134 precipitação média anual é 960,9 mm (CPRM, 2013). Anualmente, as temperaturas
 135 mínimas variam entre 17 °C e 20 °C e as máximas variam de 25 °C a 32 °C
 136 (CLIMATEMPO, 2020).

137 Geologicamente a região está inserida no contexto da Serra de Jacobina
 138 representadas, essencialmente, por rochas cristalinas dos complexos Mairi, Saúde,
 139 Itapicuru e Grupo Jacobina, separados entre si por falhas de direção aproximada N-S
 140 a NE-SW. Coberturas Quaternárias constituídas por areia, com níveis de argila e
 141 cascalho, e crostas lateríticas, ocorrem na porção nordeste da área (MME, 2005).

142 O Complexo Mairi é formado por rochas metamórficas ortognáissicas
143 migmatíticas, de composição granítica e tonalítica, além de corpos básicos e
144 ultrabásicos (BARBOSA, CRUZ e SOUZA, 2012).

145 O Complexo Saúde é constituído principalmente por paragnaisses não-
146 granadíferos e kinzigitos (LEITE e MARINHO, 2012). Anfibolitos, rochas
147 calcissilicáticas e quartzitos ocorrem subordinadamente (LEITE, 2002; BARBOSA,
148 CRUZ e SOUZA, 2012).

149 O Complexo Itapicuru é composto por filitos, xistos (sericita-moscovita, clorita
150 e biotita), silexitos, metabasitos, metaultrabasitos, itabiritos, metassiltitos e quartzitos.
151 Lentes de metaconglomerados ocorrem subordinadamente (COUTO *et al.*, 1978).

152 A estratigrafia do Grupo Jacobina é composta por conglomerados, arenitos de
153 granulação grossa, quartzitos, xistos (clorita, quartzo-sericita, andaluzita), filitos e
154 metarenitos (MASCARENHAS *et al.*, 1998).

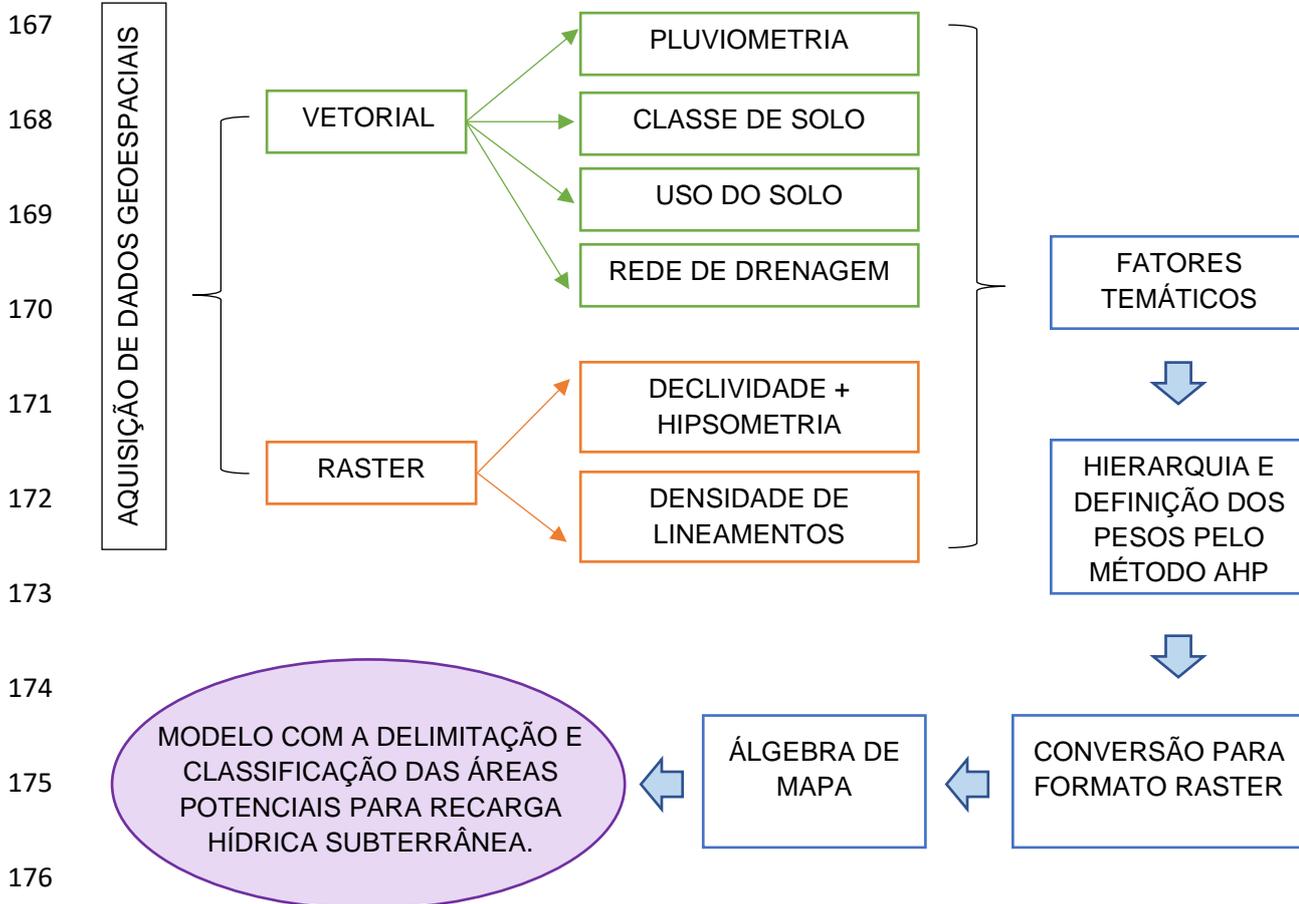
155 **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

156 A primeira etapa deste trabalho consistiu na coleta de dados geoespaciais,
157 em formato vetorial e raster. A partir deles, foram elaborados os fatores temáticos
158 utilizando classes específicas.

159 As áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea das sub-bacias
160 hidrográficas foram definidas a partir do cruzamento das classes entre os fatores
161 temáticos, conforme adaptação da metodologia adotada por Melo Neto *et al.* (2013).
162 O peso de cada fator e classe foi determinado utilizando o método Processo Analítico
163 Hierárquico (ou *Analytic Hierarchy Process* – AHP) proposto por Saaty (1971).

164 Os procedimentos adotados na construção deste trabalho estão resumidos na
165 figura 2:

166



177

178 **Figura 2: Fluxograma com os procedimentos metodológicos adotados. Fonte: Autor.**

179

180 3.1 Aquisição de dados geoespaciais

181 A coleta de dados geoespaciais, em formato vetorial e raster, para confecção
182 dos fatores temáticos utilizados neste trabalho, se deu através de banco de dados *on-*
183 *line*. As informações referentes a estes dados estão sintetizadas na tabela 1:

184

185

Tabela 1: Síntese dos dados coletados, formato, resolução espacial ou escala e fonte.

Dados	Formato	Resolução espacial / Escala	Fonte
Hidrografia	Vetor	1: 100.000	INEMA (2010)
Vegetação e uso do solo	Vetor	1: 1.000.000	SRH (2003)
Solos	Vetor	1: 1.000.000	SRH (2003)
MDE Alos Palsar	Raster	12,5 metros	ASF (2011)
Pluviometria	Vetor	1: 100.000	SEI (2003) e ANA (2020)

186

187

3.2 Fatores temáticos

188

A partir dos dados coletados foram confeccionados seis fatores temáticos: i)

189 declividade + hipsometria; ii) densidade de lineamentos; iii) rede de drenagem; iv)

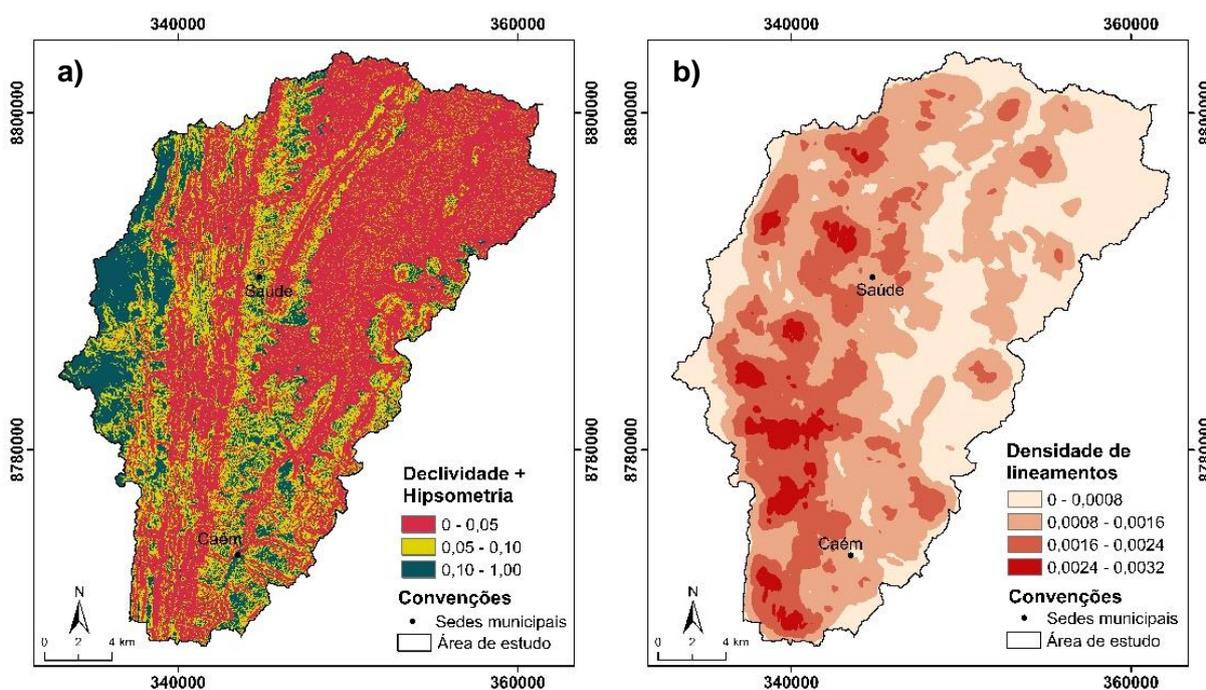
190 pluviometria; v) classe de solos e vi) vegetação e uso do solo. Os mesmos constituem

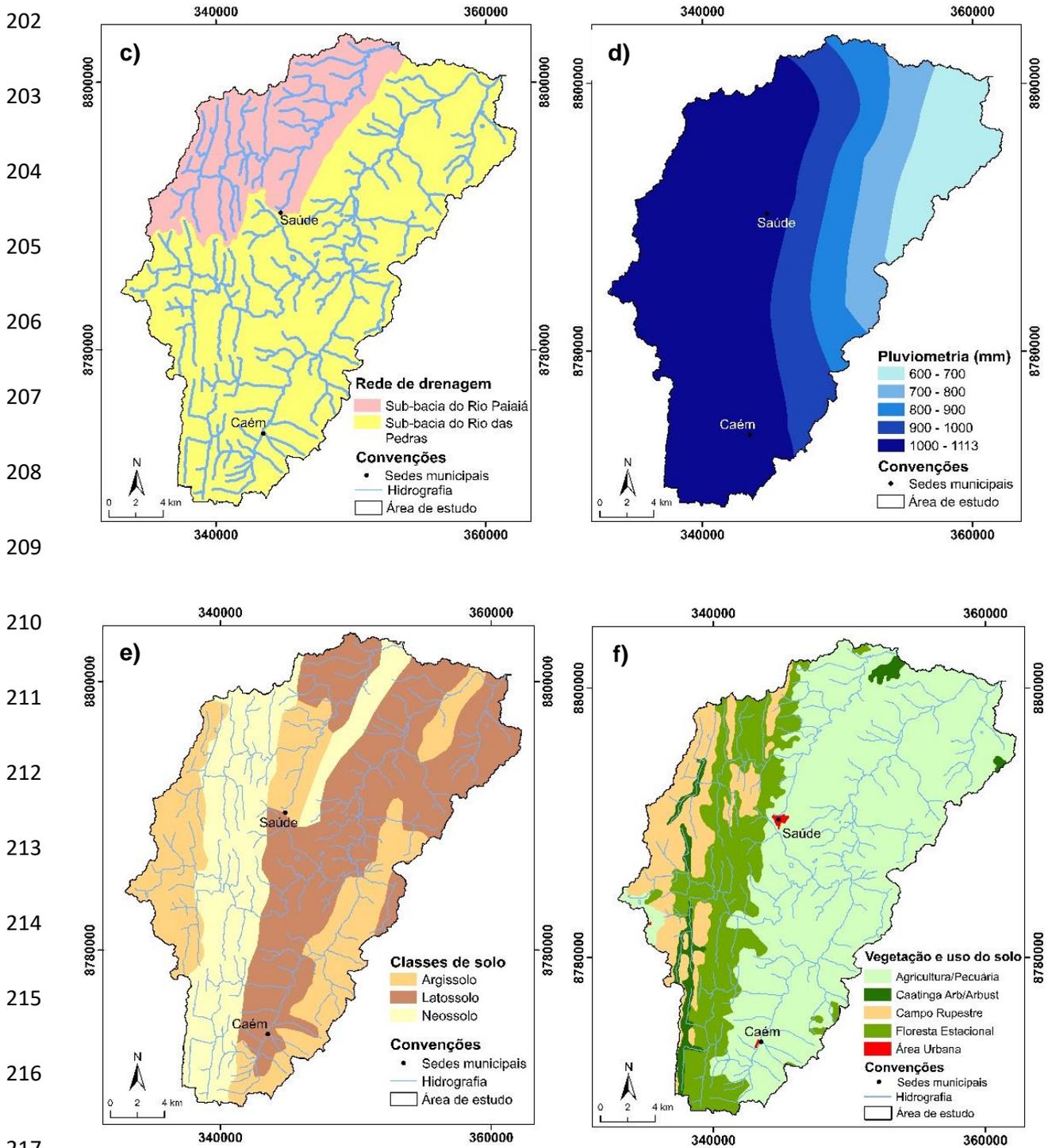
191 a base deste estudo e estão ilustrados na figura 3. A organização e manipulação

192 desses dados foram feitas através do *software* ArcGIS 10.3[®].

193

194



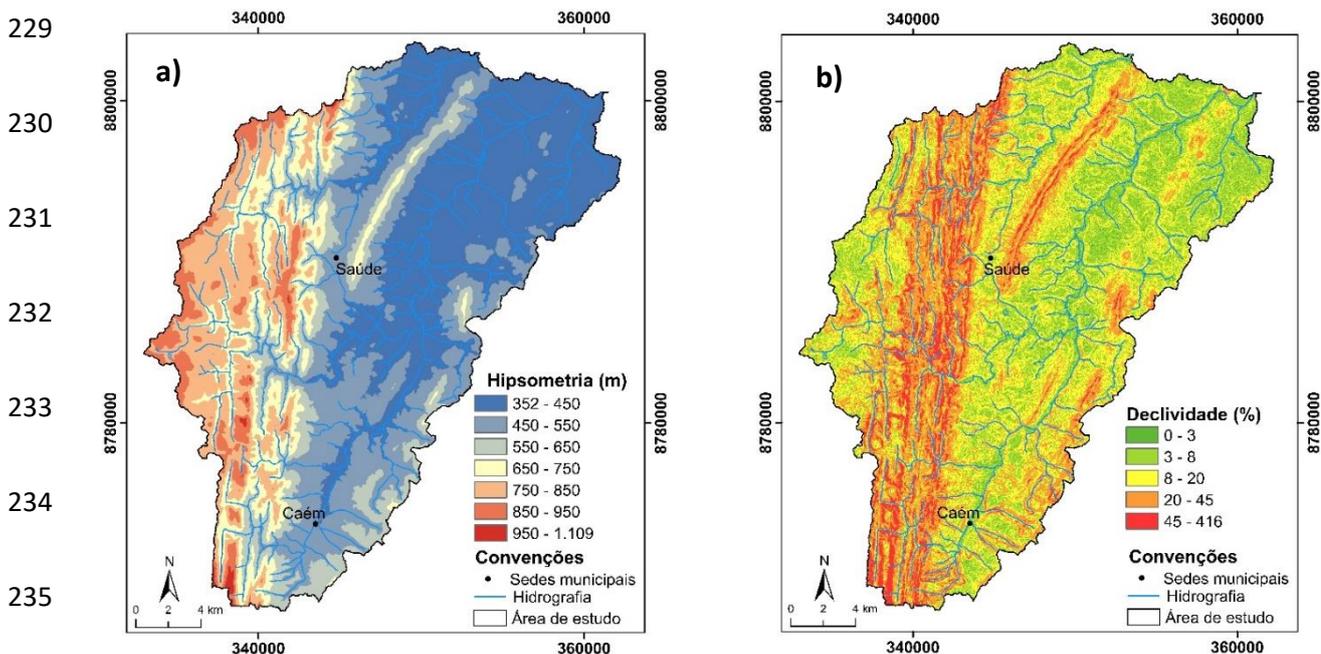


218 **Figura 3: (a) Mapa de declividade + hipsometria; (b) Mapa de densidade de lineamentos;**
 219 **(c) Mapa de rede de drenagem; (d) Mapa pluviométrico; (e) Mapa de classes de solo e (f) Mapa**
 220 **de vegetação e uso do solo.**

221
 222 O mapa de hipsometria (figura 3a) foi resultante da subdivisão dos dados de
 223 cotas altimétricas. O valor na área varia entre 352 e 1.109 m, classificadas a cada 100

224 m, resultando em um total de 7 classes. Este mapa foi gerado a partir do MDE Alos
225 Palsar (2011).

226 O mapa de declividade (figura 4b), gerado a partir do MDE Alos Palsar (2011),
227 foi classificado de acordo com valores estabelecidos pelo IBGE (2009), ilustrados na
228 tabela 2:



236 **Figura 4: a) Mapa de hipsometria e b) Mapa de declividade.**

237 **Tabela 2: Classificação das declividades, de acordo com seus valores em %.**

Declividade (%)	Classificação
0 - 3	Muito fraca
3 - 8	Fraca
8 - 20	Moderada
20 - 45	Forte
45	Muito forte

238 **Fonte: IBGE (2009)**

239 O mapa de declividade + hipsometria foi construído pela soma desses dois
240 fatores (figura 4), utilizando a ferramenta *Map Algebra*. Os mapas de hipsometria (em
241 metros) e declividade (em porcentagem) foram gerados a partir do Modelo Digital de
242 Elevação (MDE).

243 Os lineamentos foram traçados seguindo cristas alinhadas, fundos de vales e
244 drenagens, a partir da interpretação de imagens de relevo sombreado geradas com
245 base em azimutes 0° e 90°. O mapa de densidade de lineamentos foi gerado a partir
246 do MDE Alos Palsar (2011), utilizando a ferramenta *Line Density*.

247 O mapa pluviométrico foi gerado a partir da interpolação dos dados de isoietas
248 de precipitação anual e de dados médios anuais, entre os anos de 1973 e 2000, de
249 quatro estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas.

250 Os mapas de classes de solo, vegetação e uso do solo e rede de drenagem
251 foram gerados a partir de arquivos em formato *shapefile*.

252 3.3 Processo Analítico Hierárquico – AHP

253 Cada fator temático foi subdividido em classes e para cada classe foi atribuído
254 um peso, referente a sua contribuição na recarga hídrica subterrânea, utilizando o
255 método AHP.

256 Na execução do AHP foram seguidos os seguintes passos:

- 257 1) Organização das classes em ordem hierárquica;
- 258 2) Comparação das classes duas a duas (análises paritárias) em uma matriz
259 quadrada ($n \times n$), onde n é a quantidade de classes a serem comparadas.
260 A comparação é feita pelo próprio decisor a partir da importância relativa
261 de uma classe sobre a outra. Para essa comparação é utilizada a escala
262 fundamental definida por Saaty (1990), mostrada na tabela 3:

263

264

265

Tabela 3: Escala fundamental de comparação paritária do método AHP.

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	As alternativas i e j contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro	A alternativa i tem importância moderada sobre a alternativa j
5	Importância essencial ou forte	A alternativa i tem importância grande sobre a alternativa j
7	Importância muito forte	A alternativa i tem importância muito grande sobre a alternativa j
9	Importância extrema	A alternativa i tem importância absoluta sobre a alternativa j
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se tem dúvidas entre as importâncias ímpares acima

267

Fonte (SAATY, 1990).

268 3) Após o preenchimento da matriz, calculou-se o autovetor das classes
269 utilizando a média geométrica de cada linha;

270 4) Normalização de cada auto vetor para uma escala de 100%, dividindo cada
271 auto vetor pela soma total destes, encontrando a importância de cada classe em
272 percentagem.

273 5) Por fim, calculou-se a coerência dos julgamentos a partir do índice de
274 consistência (IC) e da razão de consistência (RC) desenvolvidos por Saaty (1990). O
275 IC é calculado a partir da equação $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, onde λ_{max} é o autovalor
276 máximo da matriz e n é a ordem da matriz ($n \times n$). O RC é calculado pela equação RC
277 $= IC / IR$, onde IR é o índice randômico tabelado (tabela 4). O valor aceitável para a
278 razão de consistência é 0,1 ou 10%. Caso o valor seja superior a este, é necessário
279 reavaliar os julgamentos da matriz (SAATY, 1987; 2006).

280

Tabela 4: IR para matrizes de até ordem 15.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

281

Fonte (SAATY, 1990).

282 O grau de importância, ou o peso, dado no julgamento de cada fator temático,
 283 foi pautado na escala/resolução espacial e no ano de aquisição dos dados. O
 284 resultado dos julgamentos para cada fator temático está demonstrado na tabela 5,
 285 onde o somatório dos pesos é igual a 1,0:

286 **Tabela 5: Distribuição dos pesos para cada fator temático.**

Fator temático	Peso	Razão de Consistência (RC)
Declividade + Hipsometria	0,36	0,02
Densidade de lineamentos	0,28	
Rede de drenagem	0,16	
Pluviométrico	0,10	
Classe de solos	0,06	
Vegetação e uso do solo	0,04	

287

288 Os fatores temáticos são formados por diversas classes, assim foi feito o
 289 julgamento para cada uma desta (tabela 6).

290 **Tabela 6: Distribuição dos pesos por classe para cada fator utilizado.**

Fator temático	Classe	Peso	Razão de Consistência (RC)
Declividade + Hipsometria	0 – 0,05	0,10	0,02
	0,05 – 0,10	0,25	
	0,10 – 1,00	0,65	
Densidade de lineamentos	0 - 0,0008	0,09	0,01
	0,0008- 0,0016	0,16	
	0,0016 - 0,0024	0,27	
	0,0024 - 0,0032	0,48	
Rede de drenagem	Curso de rios	0,10	*
	Outras áreas	0,90	
Pluviometria	600 – 700	0,06	0,02
	700 – 800	0,10	
	800 – 900	0,16	
	900 – 1000	0,26	
	1000 - 1113	0,42	

Classe de solo	Latossolo	0,64	0,03
	Neossolo	0,26	
	Argissolo	0,10	
Vegetação e uso do solo	Floresta Estacional	0,45	0,02
	Caatinga (Arbórea/Arbustiva)	0,30	
	Campo Rupestre	0,15	
	Agricultura / Pecuária	0,07	
	Área urbana	0,03	

291

292

293

294

Para a construção do mapa de declividade + hipsometria, foi feito o julgamento de cada classe individualmente. Assim, a álgebra de mapa foi realizada após esse julgamento. O resultado está ilustrado na tabela 7.

295

Tabela 7: Distribuição de peso para as classes declividade e hipsometria.

Fator temático	Classe	Peso
Declividade	0 - 3	0,51
	3 - 8	0,26
	8 - 20	0,13
	20 - 45	0,06
	45 - 416	0,03
Hipsometria	352 - 450	0,03
	450 - 550	0,08
	550 - 650	0,09
	650 - 750	0,11
	750 - 850	0,16
	850 - 950	0,22
	950 - 1.109	0,32

296

297

298

299

Para o fator rede de drenagem, aplicou-se o mesmo procedimento de julgamento, entretanto não foi calculado o IC pois o método é utilizado em matrizes com n a partir de 3

300

301

A aplicação do método AHP aos fatores temáticos se deu utilizando o *software* Excel 2020.

302

303

304 *3.4 Delimitação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea*

305 A partir dos pesos estabelecidos para cada classe, todos os fatores foram
306 convertidos para formato raster, onde a unidade básica é o pixel. Assim foi feita a
307 álgebra de mapa utilizando a ferramenta *Map Algebra*, onde os pesos foram
308 sobrepostos a cada pixel, segundo a equação 1, de forma a gerar os valores
309 correspondentes ao potencial de recarga hídrica subterrânea.

310 Equação 1:

311 $AR = (P_{DH} \times 0,36) + (P_{DL} \times 0,28) + (P_{RD} \times 0,16) + (P_{PV} \times 0,10) + (P_{CS} \times 0,06) + (P_{VUS} \times 0,04)$

312 Onde:

313 AR = valor do potencial de recarga;

314 P_{DH} = peso associado ao fator declividade + hipsometria;

315 P_{DL} = peso associado ao fator densidade de lineamentos;

316 P_{RD} = peso associado ao fator rede de drenagem;

317 P_{PV} = peso associado ao fator pluviométrico;

318 P_{CS} = peso associado ao fator classe de solo;

319 P_{VUS} = peso associado ao fator vegetação e uso do solo.

320

321 Os valores do potencial de recarga hídrica subterrânea foram divididos em 3
322 classes (tabela 8). Assim, foram classificados qualitativamente em áreas com baixo,
323 médio e alto potencial.

324 **Tabela 8:** Classificação do potencial das áreas de recarga.

Classificação	Faixa de valores
Alto potencial	1,00 - 0,71
Médio potencial	0,71 - 0,43
Baixo potencial	0,43 - 0,15

325

326 Com base nos resultados da tabela 8, foi gerado o modelo com as áreas de
327 potenciais para recarga hídrica subterrânea das sub-bacias e calculou-se a
328 percentagem destas em relação à área total.

329 Todos os dados utilizados para a confecção do modelo de potenciais áreas
330 de recarga hídrica subterrânea foram organizados e tratados utilizando o *software*
331 ArcGIS 10.3[®].

332 **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

333 O mapa declividade + hipsometria apresenta um predomínio de áreas baixas
334 ou com declividade alta, o que diminui as prováveis áreas de recarga hídrica
335 subterrânea da região, visto que, em condições equiparáveis, quanto maior a
336 declividade, maior o escoamento superficial, menor a infiltração e, conseqüentemente,
337 menor a recarga hídrica subterrânea (MENEZES, 2007). O contrário ocorre em áreas
338 de menor declividade.

339 Em relação à altimetria, os topos representam zonas preferenciais para o
340 processo de infiltração (FELIPPE e MAGALHÃES JÚNIOR, 2009), visto que a
341 variação de altitude resulta em modificações nas características climáticas da região
342 e, conseqüentemente, modificações nos regimes pluviométricos e na dinâmica da
343 recarga hídrica (MELO NETO *et al.*, 2013). Assim, analisando o fator declividade +
344 hipsometria individualmente, a porção oeste da área apresenta as melhores condições
345 para a recarga hídrica, devido ao predomínio de regiões com baixa declividade e alta
346 altimetria.

347 O mapa de densidade de lineamentos, representados por estruturas como
348 falhas, fundo de vales alinhados e drenagem, mostra uma concentração de
349 lineamentos estruturais nas porções NW e SW da área de estudo. Este fator favorece

350 o processo de recarga nessas áreas, visto que as falhas e fraturas constituem a
351 porosidade dos aquíferos fissurais, predominantes na área, e servem como meios
352 para infiltração de águas.

353 Embora uma parte da recarga hídrica subterrânea se dê pela infiltração das
354 águas dos rios, denominada de recarga indireta (PAIVA, 2006; VRIES e SIMMERS,
355 2002), geralmente a rede de drenagem constitui as áreas de descarga hídrica (MELO
356 NETO *et al.*, 2013). Na área de estudo a rede de drenagem não ocupa grandes áreas
357 (17,03%), apesar de se distribuir homogeneamente nas sub-bacias. Assim, não há
358 porções desfavorecidas pela presença de rios.

359 No mapa de pluviometria verifica-se uma distribuição da quantidade de chuva,
360 em função da variação no relevo, onde o índice pluviométrico decresce de oeste para
361 leste. Assim, as áreas mais favoráveis para o processo de recarga hídrica subterrânea
362 estão à oeste da área, tendo em vista que a principal fonte de recarga advém da
363 precipitação pluviométrica (GEE *et al.*, 1994; CARRERA-HERNÁNDEZ, SMERDON e
364 MENDOZA, 2012).

365 Das três classes de solo presentes na área, os latossolos possuem, de
366 maneira geral, características que mais contribuem para o processo de recarga hídrica
367 subterrânea. Esta classe apresenta alto potencial de recarga devido a sua alta
368 profundidade e alta permeabilidade (ARAÚJO, 2006; MENEZES, 2007). Apesar das
369 características e sua maior representatividade na área de estudo (41,58%), esta
370 classe ocorre, predominantemente, nas porções de menores altimetria e índices
371 pluviométricos, o que reduz a sua contribuição para a recarga hídrica subterrânea.

372 De modo geral, os neossolos apresentam de baixa a média permeabilidade
373 por serem pouco espessos (ARAÚJO, 2006; MENEZES, 2007). Na área de estudo

374 esta classe está sobre as regiões de serra, que são caracterizadas pelas maiores
375 declividades. Deste modo, os neossolos têm baixa contribuição no processo de
376 recarga hídrica subterrânea da região.

377 Os argissolos podem influenciar negativamente no potencial de recarga
378 hídrica subterrânea pois, geralmente, apresentam baixa capacidade de infiltração de
379 água no solo devido a presença do horizonte B textural (MELO NETO *et al.*, 2013).
380 Na área de estudo esta classe ocorre em altitudes variadas e essencialmente sobre
381 regiões de menores declividades.

382 No que diz respeito ao uso do solo, mais da metade da área (63,59%) é
383 ocupada por agricultura e pecuária. O uso e manejo do solo afetam diretamente o
384 processo de recarga hídrica subterrânea, pois essas atividades condicionam a
385 estrutura dos solos e diferentes usos e manejo alteram a taxa de recarga hídrica
386 subterrânea de maneiras distintas (PAES *et al.*, 2012). A pecuária, com pisoteio de
387 animais, pode alterar a porosidade natural do solo. O processo de compactação dos
388 solos diminui a sua permeabilidade. Assim, quanto maior a compactação do solo,
389 menor a taxa de recarga hídrica subterrânea (PAES *et al.*, 2012). Desta forma, todo o
390 leste da área, de norte a sul, tem a contribuição para a recarga hídrica comprometida.

391 Em ambientes urbanos, a recarga direta é reduzida, pois existem grandes
392 áreas impermeáveis (MAZIERO e WENDLAND, 2005). Entretanto, a área urbana
393 ocupa uma pequena porção da região estudada (0,16%), não afetando
394 significativamente a recarga hídrica subterrânea.

395 A floresta estacional, que de modo geral favorece a recarga, está localizada
396 sobre as zonas de maiores declividades o que resulta em baixo potencial de recarga
397 hídrica subterrânea nesta unidade.

398 A vegetação do tipo caatinga arbórea/arbustiva, encontra-se apenas
 399 associada aos canais de rios na porção oeste da região. Assim, por estar atrelada a
 400 região de descarga, a sua contribuição para a recarga hídrica subterrânea da área é
 401 baixa.

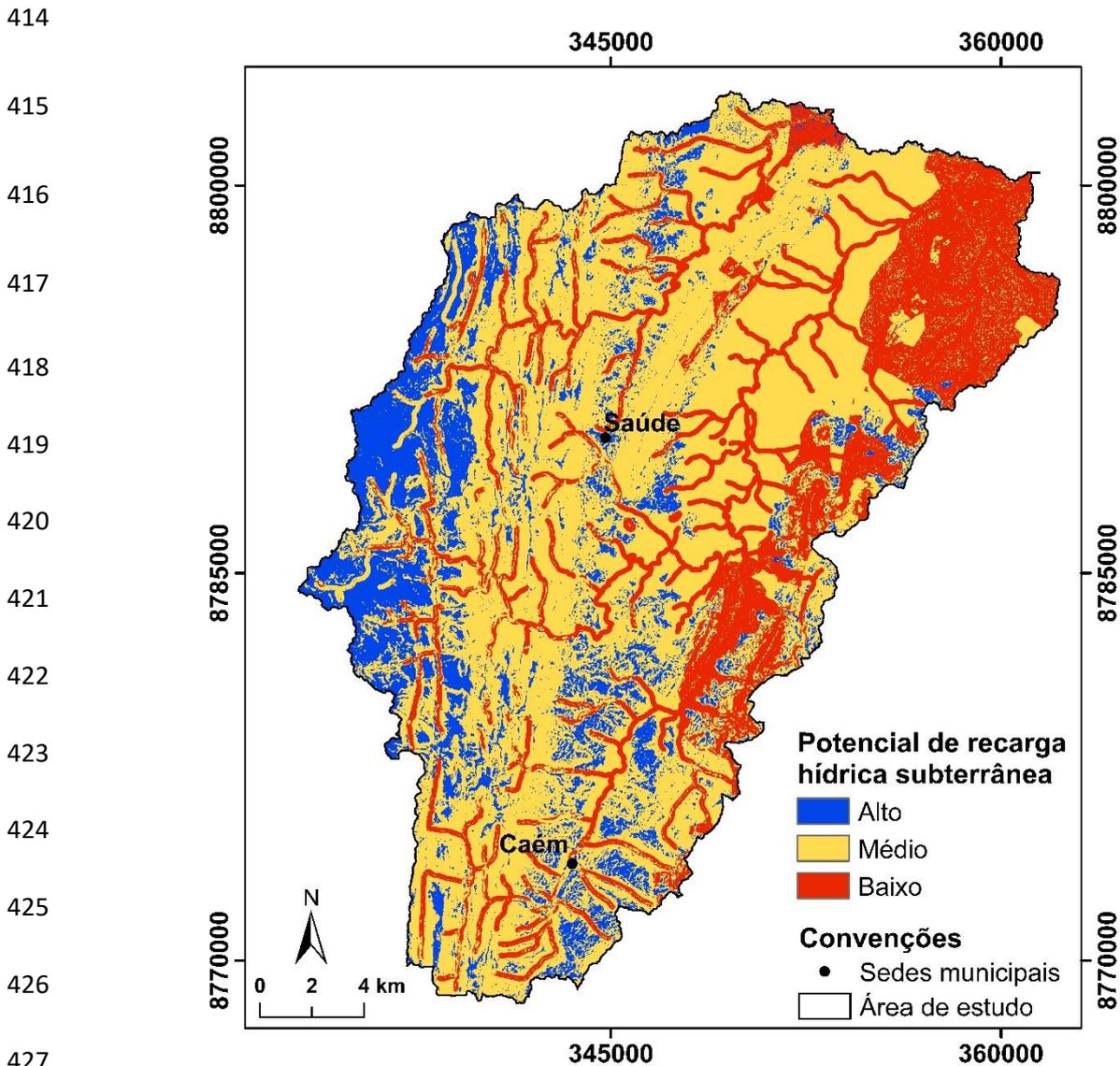
402 A vegetação do tipo campo rupestre está, topograficamente, situada sobre as
 403 áreas de baixa declividade e alta altimetria e onde há maior precipitação pluviométrica,
 404 a oeste da área. Assim, o conjunto de fatores associados a essa unidade expressam
 405 alto potencial de recarga hídrica subterrânea.

406 Na tabela 9 estão apresentadas todas as classes temáticas e sua
 407 representatividade, em área e percentagem, sobre a região de estudo.

408 **Tabela 9: Representação em área e percentagem das classes temáticas.**

Categoria	Classe	Área	
		km ²	%
Declividade + Hipsometria	0 – 0,05	316,39	56,41
	0,05 – 0,10	149,22	26,60
	0,10 – 1,00	95,29	16,99
Densidade de lineamentos	0 - 0,0008	175,42	31,32
	0,0008- 0,0016	244,50	43,65
	0,0016 - 0,0024	118,71	21,19
Rede de drenagem	0,0024 - 0,0032	21,54	3,84
	Curso de rios	95,46	17,03
Pluviometria	Outras áreas	464,92	82,97
	600 – 700	59,50	10,62
	700 – 800	53,90	9,62
	800 – 900	60,75	10,84
	900 – 1000	86,03	15,35
Classe de solo	1000 - 1113	300,18	53,57
	Latossolo	233,03	41,58
	Neossolo	159,58	28,48
Vegetação e uso do solo	Argissolo	167,75	29,94
	Floresta Estacional	116,25	20,74
	Caatinga Arbórea/Arbustiva	16,80	3,00
	Campo Rupestre	70,10	12,51
	Agricultura / Pecuária	356,36	63,59
	Área urbana	0,87	0,16

410 A partir de todos os fatores analisados, o somatório das classes temáticas,
411 seguindo a equação 1, expressa no item 3.4, resultou em um modelo com as áreas
412 potenciais para recarga hídrica subterrânea das sub-bacias do Rio das Pedras e Rio
413 Paiaia (Figura 5).



428 **Figura 5: Modelo com as áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea da área de**
429 **estudo.**

430 A área com maior potencial de recarga hídrica ocupa 15,69% da região de
431 estudo e está concentrada, principalmente, na porção oeste da região, visto que
432 nessas áreas encontram-se as condições mais favoráveis de declividade e altimetria,

433 pluviometria, densidade de lineamentos e vegetação campo rupestre. As áreas de
434 médio potencial possuem maior representatividade (59,44%) e estão presentes em
435 praticamente toda a área de estudo, sem uma porção preferencial de ocorrência. As
436 de baixo potencial estão marcadamente na porção NE e em toda a rede de drenagem
437 da área, ocupando 24,87% da região de estudo.

438 Na tabela 10 está a representatividade das áreas potenciais de recarga hídrica
439 subterrânea.

440 **Tabela 10: Representação das áreas potenciais de recarga hídrica subterrânea na**
441 **área de estudo.**

Classificação	Área	
	km ²	%
Alto potencial	87,60	15,69
Médio potencial	331,91	59,44
Baixo potencial	138,84	24,87

442

443 Com o objetivo de preservar as áreas com maiores potenciais de recarga
444 hídrica da região estudada, propõe-se que o zoneamento para uso e ocupação do
445 solo concentre-se, essencialmente, na porção nordeste da área estudada, haja visto
446 que essa região concentra as áreas de menores potenciais de recarga hídrica
447 subterrânea. A essa porção estão associados os menores índices pluviométricos,
448 assim faz-se necessário a instalação de poços para captação de água e
449 abastecimento local.

450 Embora os resultados tenham sido consistentes para uma primeira avaliação
451 da área, faz-se necessário um aporte de dados atualizados e em escalas de detalhe
452 para uma análise mais precisa, especialmente para o fator classe de solo, uso e
453 ocupação do solo. Diante disso, faz-se necessário ressaltar que as escalas

454 disponíveis desses fatores utilizados neste trabalho, induzem à generalização das
455 informações.

456 **5 CONCLUSÕES**

457 A área apresenta em grande parte (59,44%) médio potencial de recarga
458 hídrica subterrânea. O modelo de potenciais áreas de recarga hídrica demonstra que
459 as áreas de alto potencial estão localizadas em maioria a oeste e distribuídas
460 heterogeneamente no centro da área, as de baixo potencial a nordeste, leste e em
461 toda a rede de drenagem, enquanto as de médio ocorrem em toda a área.

462 O uso da terra para agricultura e pecuária tem coincidido na região sudeste
463 com as áreas de alto a médio potencial de recarga hídrica subterrânea, o que torna
464 importante um planejamento para o uso dessas áreas.

465 Apesar da escassez de dados com maiores detalhes da região de estudo, a
466 aplicação do método para delimitação de potenciais áreas de recarga hídrica
467 subterrânea forneceu mecanismos consistentes para a análise das características das
468 sub-bacias do Rio das Pedras e Rio Paiajá, com a espacialização e ponderação dos
469 parâmetros em ambiente SIG. A ponderação das classes pelo método AHP amenizou
470 a subjetividade envolvida nas análises, tornando os resultados mais consistentes.
471 Desta forma, o objetivo do trabalho foi atendido, e o mapeamento obtido mostrou-se
472 suficiente para uma primeira avaliação da área.

473 **REFERÊNCIAS**

474 ALBUQUERQUE, C. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.;
475 FONTES JÚNIOR, R. V. P. G. **Recarga de aquífero aluvial sob uso agrícola.**
476 *Águas Subterrâneas* 29(1): 60-71. 2015.

477
478 ALMEIDA, R. B. G., SILVA, D. J. **Análise de áreas mais propícias a recarga do**
479 **sistema aquífero guarani na região hidrográfica do Planalto de Lages (SC):**
480 **Subsídios para a gestão das águas subterrâneas.** In: XVII Simpósio Brasileiro de

481 Recursos Hídricos. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/9202df45df2fcde17bba733620efb443_f75aa2ea9360cec6b1da8eae1a13f68a.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2020.

484

485 ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.;
486 SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische
487 Zeitschrift; 22(6): 711-728, 2013.

488

489 ANA. Agência Nacional de Águas. 2020. Disponível em:
490 <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em 06 out. 2020.

491

492 ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água,**
493 **Panorama Nacional**. Brasília, DF, 2010, 1 v., 68 p. Disponível em:
494 <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>>. Acesso em 10 nov.
495 2020.

496

497 ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. **Combinação do método AHP e SIG na**
498 **seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da**
499 **Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde**. Revista de Geografia (UFPE) V. 32,
500 No. 2, 2015.

501 ARAÚJO, A. R. **Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): Base para estudos**
502 **hidrológicos e aptidão agrícola**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas),
503 Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2006.

504 ASF. Alaska Satellite Facility. Conjunto de dados: © JAXA / METI ALOS PALSAR.
505 **Modelo Digital de Elevação**, 2011. Disponível em <[https://www.asf.alaska.edu/sar-](https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/)
506 [data/palsar/](https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/)> . Acesso 06 out. 2020.

507 BARBOSA, J. S. F., CRUZ, S. C. P., SOUSA, J. S. **Terrenos metamórficos do**
508 **embasamento**. In: Geologia da Bahia - Pesquisa e atualização. v.1. p. 101-201.
509 Salvador, 2012.

510 BARROS, K. O.; MARCATTI, G. E.; COSTA, F. R.; OLIVEIRA, J. C.; RIBEIRO, C. A.
511 A. S.; SOARES, V. P.; SILVA, E. **Análise temporal das classes de uso e**
512 **ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas**
513 **Gerais**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, caderno I, p. 43-54,
514 2013.

515 BEN, F. **Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental**.
516 XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais eletrônicos. Fortaleza,
517 2006. Disponível em:
518 <http://abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_6799.pdf> Acesso em: 06
519 out. 2020.

520 CAMPOS, S.; ARAÚJO JR, A. A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; PIROLI, E. L.
521 **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em**
522 **microbacias hidrográficas, Botucatu - SP**. Engenharia Agrícola, v. 24, n. 2, p.
523 431-435, 2004.

524 CARMO, J. A. R. **Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a**
525 **temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do Rio Vacacaí-Mirim,**
526 **RS.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia
527 Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.
528

529 CARRERA-HERNÁNDEZ, J. J.; SMERDON, B. D.; MENDOZA, C. A. **Estimating**
530 **groundwater recharge through unsaturated flow modelling: Sensitivity to**
531 **boundary conditions and vertical discretization.** *Journal of Hydrology*, v. 452 –
532 453, p. 90 – 101, May 2012.
533

534 CHIARANDA R. **Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de**
535 **armazenamento de água da bacia do Rio Cuiabá – MT.** Tese (Doutorado em
536 Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.
537

538 CLIMATEMPO. **Climatologia.** 2020. Disponível em:
539 <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/>>. Acesso em: 24 ago. 2020.
540

541 COUTO, P. A., et al. **Projeto Serra de Jacobina: Geologia e Prospecção**
542 **Geoquímica.** Relatório final: texto. CPRM, v. 1. Convênio DNPM/CPRM. Salvador,
543 1978.

544 CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Geobank. **Mapa Geológico do Estado da**
545 **Bahia.** Escala 1:1.000.000. Brasília. 2003. Disponível em:
546 <http://geobank.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadVetoriais?p_wbmap=N&p_usuario=1>. Acesso em: 06 out. 2020.
547

548 CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Regionalização de vazões nas bacias**
549 **hidrográficas brasileiras. Projeto disponibilidade hídrica do Brasil.** Recife, 2013.

550 DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da**
551 **fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG.** Revista
552 Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.1, p.175–181. Campina
553 Grande, 2006.

554 DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise**
555 **espacial de dados geográficos.** Empraba. Brasília, 2004.

556 FELIPPE, M.F., MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Espacialização e classificação de**
557 **topos como zonas preferenciais de recarga natural de aquíferos: o caso de**
558 **Belo Horizonte – MG.** Geografias Artigos científicos. Belo Horizonte, 2009.
559

560 GEE, G.W., FAYER, M.J., ROCKHOLD, M.L., WIERENGA, P.J., YOUNG, M.H.,
561 ANDRASKI, B.J. **Variations in water balance and recharge potential at three**
562 **western desert sites.** *Soil Sci. Soc. Am. J* 58 (1), 63. 1994.

563 GONÇALVES, V. F. M; SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. **Mapeamento da**
564 **recarga de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de**
565 **proteção ambiental durante o ano hidrológico 2014/15.** XIX Congresso Brasileiro
566 de Águas Subterrâneas. Campinas, 2016. Anais de congresso. Disponível em:
567 <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28711>>. Acesso em:
568 05 out. 2020.

569 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de**
570 **Geomorfologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2009.

571 _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
572 <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/vers
573 ao2017/shapefile/Transporte_v2017.zip>. Acesso em: 10 out. 2020.

574
575 INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2010. Disponível em:
576 <http://novogeobahia.inema.ba.gov.br/geobahia/#>. Acesso em: 06 out. 2020.

577 **LEITE, C. M. M. A evolução geodinâmica da Orogênese Paleoproterozóica nas**
578 **regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia-Brasil):**
579 **Metamorfismo, Anatexia e Tectônica**. Tese de doutorado. Universidade Federal da
580 Bahia. Salvador, 2002.

581 **LEITE, C. M. M., MARINHO, M. M. Serra de Jacobina e Contendas-Mirante**. In:
582 **Geologia da Bahia - Pesquisa e atualização**. v.1. p. 397-441. Salvador, 2012.

583
584 **MASCARENHAS, J. F., LEDRU, P., SOUZA, S. L., CONCEIÇÃO FILHO, V. M.,**
585 **MELO, L. F. A., LORENZO, C. L., MILÉSI, J. P. Geologia e recursos minerais do**
586 **Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo**. Companhia
587 Baiana de Pesquisa Mineral. Série Arquivos Abertos 13, 58 pp. Salvador, 1998.

588
589 **MAZIERO, T.A., WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias**
590 **urbanas no município de São Carlos, SP**. Anais dos XIV Encontro Nacional de
591 **Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste**. 2005.

592 **MELO NETO, J. O., CHAGAS, R. M., MÉLLO JÚNIOR, A. V. Delimitação de áreas**
593 **potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe**.
594 **SCIENTIA PLENA**, Vol. 9, Num. 7. 2013.

595
596 **MENEZES, M. D. Levantamento de solos em sub-bacias hidrográficas como**
597 **apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga de**
598 **aquíferos**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de
599 Lavras. Lavras, 2007.

600
601 **MMA. Ministério do Meio Ambiente. Águas Subterrâneas – Um recurso a ser**
602 **conhecido e protegido**. Brasília, 2007.

603
604 **MME. Ministério de Minas e Energia. Diagnóstico do Município de Saúde. Projeto**
605 **cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Salvador, 2005.

606
607 **PAES, C. O. Influência do uso e manejo na compactação do solo como**
608 **indicadores da recarga das águas subterrâneas em uma bacia hidrográfica em**
609 **área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG)**. Monografia.
610 Universidade Estadual Paulista. 2012.

611
612 **PAES, C. O., MEIRA NETO, A. A., MANZIONE R. L., WENDLAND, E. C. Influência**
613 **da compactação de solos agrícolas na recarga subterrânea em área de**
614 **afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG)**. Anais do XVII Congresso
615 Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2012. Bonito-MS.

- 616 PAIVA, G. P. **Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma micro-**
617 **bacia do Rio Piranga (MG).** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –
618 Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- 619 PEREIRA, P. R. M.; COSTA, F. W. D.; GARCÊS JR, A. R. **Geoprocessamento**
620 **aplicado na análise da fragilidade ambiental do município de Brejo, Maranhão.**
621 Revista Equador. Revista do programa de pós-graduação em Geografia da
622 Universidade Federal do Piauí, Vol. 8, Nº 2, p. 521 – 539, 2019.
- 623 RABELO, J. L. **Estudo da recarga do Aquífero Guarani no sistema Jacaré-Tietê.**
624 Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
625 Paulo. São Carlos, 2006.
- 626 SAATY, R. W. **The analytic hierarchy process-what it is and how it is used.**
627 Mathematical Modelling, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.
- 628 SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the**
629 **analytic hierarchy process.** Pittsburgh: RWS publications, 2006. 478 p.
- 630 SAATY, T. L. **How to make a decision: The analytic hierarchy process.** European
631 Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.
- 632 SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. **SIG aplicado à**
633 **escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município**
634 **de Presidente Prudente – SP.** Revista Brasileira de Cartografia, 2008.
- 635 SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Base**
636 **cartográfica digital.** CD-ROM. 2003.
- 637 SRH. Superintendência de Recursos Hídricos . **SIG Bahia – CD-ROM.** 2003.
- 638 VRIES, J. J. de; SIMMERS, I. **Groundwater recharge: an overview of processes**
639 **and challengens.** Hydrogeology Journal, London, v. 10, n.1, p.5-7, Feb. 2002.

CAPÍTULO 4

RECOMENDAÇÕES

Embora os dados disponíveis permitam um mapeamento consistente, para uma primeira avaliação, das áreas potenciais para recarga hídrica subterrâneas das sub-bacias em estudo, alguns fatores como classe de solos e uso do solo, requerem análise em escala de detalhe e atualização. Diante dos resultados, recomenda-se, em trabalhos futuros, que haja campanhas de campo para coleta de informações de detalhes. Que sejam utilizados dados de poços para estudo da produtividade da região.

Por fim, recomenda-se que maior atenção seja dada, por parte da administração pública dos municípios de Saúde, Caém, Jacobina, Caldeirão Grande e Mirangaba e pelos órgãos ambientais competentes, às áreas utilizadas para agricultura e pecuária, que coincidem com as zonas de alto potencial de recarga hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>>. Acesso em: 21 ago. 2020.

ALBUQUERQUE, C. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. G. **Recarga de aquífero aluvial sob uso agrícola**. *Águas Subterrâneas* 29(1): 60-71. 2015.

ALMEIDA, R. B. G., SILVA, D. J. **Análise de áreas mais propícias a recarga do sistema aquífero guarani na região hidrográfica do Planalto de Lages (SC): Subsídios para a gestão das águas subterrâneas**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/9202df45df2fcde17bba733620efb443_f75aa2ea9360cec6b1da8eae1a13f68a.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*; 22(6): 711-728, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. 2020. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em 06 out. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água, Panorama Nacional**. Brasília, DF, 2010, 1 v., 68 p. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2020.

ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. **Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde**. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 32, No. 2, 2015.

ARAÚJO, A. R. **Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): Base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2006.

ASF. Alaska Satellite Facility. Conjunto de dados: © JAXA / METI ALOS PALSAR. **Modelo Digital de Elevação**, 2011. Disponível em <<https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/>> . Acesso 06 out. 2020.

BARBOSA, J. S. F., CRUZ, S. C. P., SOUSA, J. S. **Terrenos metamórficos do embasamento**. In: *Geologia da Bahia - Pesquisa e atualização*. v.1. p. 101-201. Salvador, 2012.

BARROS, K. O.; MARCATTI, G. E.; COSTA, F. R.; OLIVEIRA, J. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; SILVA, E. **Análise temporal das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais.** Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, caderno I, p. 43-54, 2013.

BEN, F. **Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental.** XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais eletrônicos. Fortaleza, 2006. Disponível em: <http://abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_6799.pdf> Acesso em: 06 out. 2020.

BODMAN, G. B.; CONSTANTIN, G. K. **Influence of particle size distribution on soil compaction.** Hilgardia: Berkeley, 36: 567-591, 1965.

CAMPOS, S.; ARAÚJO JR, A. A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; PIROLI, E. L. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu - SP.** Engenharia Agrícola, v. 24, n. 2, p. 431-435, 2004.

CARMO, J. A. R. **Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do Rio Vacacaí-Mirim, RS.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

CARRERA-HERNÁNDEZ, J. J.; SMERDON, B. D.; MENDOZA, C. A. **Estimating groundwater recharge through unsaturated flow modelling: Sensitivity to boundary conditions and vertical discretization.** *Journal of Hydrology*, v. 452 – 453, p. 90 – 101, May 2012.

CHIARANDA R. **Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia do Rio Cuiabá – MT.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

CLIMATEMPO. **Climatologia.** 2020. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

COUTO, P. A., et al. **Projeto Serra de Jacobina: Geologia e Prospecção Geoquímica.** Relatório final: texto. CPRM, v. 1. Convênio DNPM/CPRM. Salvador, 1978.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Geobank. **Mapa Geológico do Estado da Bahia.** Escala 1:1.000.000. Brasília. 2003. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadVetoriais?p_webmap=N&p_usuario=1>. Acesso em: 06 out. 2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras. Projeto disponibilidade hídrica do Brasil.** Recife, 2013.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.1, p.175–181. Campina Grande, 2006.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos.** Empraba. Brasília, 2004.

FELIPPE, M.F., MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Espacialização e classificação de topos como zonas preferenciais de recarga natural de aquíferos: o caso de Belo Horizonte – MG.** Geografias Artigos científicos. Belo Horizonte, 2009.

GEE, G.W., FAYER, M.J., ROCKHOLD, M.L., WIERENGA, P.J., YOUNG, M.H., ANDRASKI, B.J., 1994. **Variations in water balance and recharge potential at three western desert sites.** Soil Sci. Soc. Am. J 58 (1), 63.

GONÇALVES, V. F. M; SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. **Mapeamento da recarga de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de proteção ambiental durante o ano hidrológico 2014/15.** XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas, 2016. Anais de congresso. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28711>>. Acesso em: 05 out. 2020.

HEALY, R. W. (2010). **Estimating Groundwater Recharge.** Cambridge University Press, 256 p. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2ª edição. Rio de Janeiro, 2009.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/verso2017/shapefile/Transporte_v2017.zip>. Acesso em: 10 out. 2020.

INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2010. Disponível em: <<http://novogeobahia.inema.ba.gov.br/geobahia/#>>. Acesso em: 06 out. 2020.

LEITE, C. M. M. **A evolução geodinâmica da Orogênese Paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia-Brasil): Metamorfismo, Anatexia e Tectônica.** Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2002.

LEITE, C. M. M., MARINHO, M. M. **Serra de Jacobina e Contendas-Mirante.** In: Geologia da Bahia - Pesquisa e atualização. v.1. p. 397-441. Salvador, 2012.

MARTELLI, G. V. **Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria-RS, 2012.

MASCARENHAS, J. F., LEDRU, P., SOUZA, S. L., CONCEIÇÃO FILHO, V. M., MELO, L. F. A., LORENZO, C. L., MILÉSI, J. P. **Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo**. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. Série Arquivos Abertos 13, 58 pp. Salvador, 1998.

MAZIERO, T.A., WENDLAND, E. **Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP**. Anais dos XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. (2005).

MELLO, L. T. A., PAULA, T. L. F., VEIGA, A. M. **Influência de aquíferos no regime fluviométrico anual de pequenas bacias e na recarga subterrânea**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió-AL. 2011.

MELO NETO, J. O., CHAGAS, R. M., MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe**. SCIENTIA PLENA, Vol. 9, Num. 7. 2013.

MENEZES, M. D. **Levantamento de solos em sub-bacias hidrográficas como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga de aquíferos**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas – Um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Diagnóstico do Município de Saúde. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Salvador, 2005.

PAES, C. O. **Influência do uso e manejo na compactação do solo como indicadores da recarga das águas subterrâneas em uma bacia hidrográfica em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG)**. Monografia. Universidade Estadual Paulista. 2012.

PAES, C. O., MEIRA NETO, A. A., MANZIONE R. L., WENDLAND, E. C. **Influência da compactação de solos agrícolas na recarga subterrânea em área de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG)**. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Bonito-MS, 2012.

PAIVA, G. P. **Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma micro-bacia do Rio Piranga (MG)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2006.

PEREIRA, P. R. M.; COSTA, F. W. D.; GARCÊS JR, A. R. **Geoprocessamento aplicado na análise da fragilidade ambiental do município de Brejo, Maranhão**. Revista Equador. Revista do programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí, Vol. 8, Nº 2, p. 521 – 539, 2019.

RABELO, J. L. **Estudo da recarga do Aquífero Guarani no sistema Jacaré-Tietê**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

SAATY, R. W. **The analytic hierarchy process-what it is and how it is used.** Mathematical Modelling, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process.** Pittsburgh: RWS publications, 2006. 478 p.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The analytic hierarchy process.** European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. **SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP.** Revista Brasileira de Cartografia, 2008.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Base cartográfica digital.** CD-ROM. 2003.

SRH. Superintendência de Recursos Hídricos. **SIG Bahia** – CD-ROM. 2003.

VRIES, J. J. de; SIMMERS, I. **Groundwater recharge: an overview of processes and challengens.** Hydrogeology Journal, London, v. 10, n.1, p.5-7, Feb. 2002.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Orientações para Preparação do Artigo

O trabalho submetido para avaliação preliminar deverá ser elaborado em programa Word for Windows ou compatível, fonte Arial, tamanho 12, espaçamento duplo, em papel A4, margens de 2,5 cm, em uma única coluna, sem numeração de páginas e ter, no máximo, 6.000 (seis mil) palavras, já incluindo tabelas, e 10 (dez) figuras.

O documento deverá ter a numeração de linhas visível e contínua a partir do seu título, visando acelerar o processo de revisão pelos pares.

IMPORTANTE: O(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) instituição(ões) e endereço(s) para correspondências **NÃO DEVEM CONSTAR** do texto, a identificação do trabalho será feita pelo preenchimento dos metadados da submissão e pelo número de identificação gerado automaticamente. Referências a publicação(ões) do(s) autor(es) dentro do texto ou na lista de referências devem aparecer somente como "AUTOR", de modo a garantir uma avaliação cega segura.

Serão aceitos trabalhos em Português, Espanhol e Inglês e serão publicados no idioma em que foi redigido originalmente. Os artigos deverão, obrigatoriamente, apresentar resumo em Português e Inglês. Além disso, caso o idioma escolhido não seja o Português, o título deverá obrigatoriamente ser apresentado secundariamente nesse idioma, sendo mantido o título original no idioma do artigo. O título do trabalho, com no máximo 140 toques, deverá aparecer na primeira página do trabalho, sem a identificação do(s) autor(es).

Antecedendo o texto serão apresentados dois resumos em Português e Inglês. Para trabalhos redigidos em Espanhol, o segundo resumo será em Português e o terceiro em Inglês. O resumo deverá ser redigido em parágrafo único, variando entre 1.000 a 1.500 toques, apresentando de forma breve e objetiva a justificativa do trabalho, os métodos utilizados, os resultados e as conclusões. Após o resumo, incluir obrigatoriamente uma lista de até cinco palavras-chave que expressem o assunto do trabalho.

O texto deverá ser redigido de forma impessoal, objetiva, clara, precisa e coerente.

O título do trabalho deverá ser apresentado no idioma do trabalho e em Inglês. As abreviaturas deverão ser identificadas, por extenso, na primeira vez que aparecem no texto. As unidades das grandezas numéricas deverão obedecer aos padrões do Sistema Internacional de Unidades (SI).

As tabelas serão numeradas seqüencialmente e inseridas normalmente dentro do texto. O título deve ser claro e conciso e colocado no topo da tabela. Outras

informações relativas à tabela (origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da tabela, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal.

As figuras (mapas, fotos, perfis, esboços, gráficos, diagramas, etc.), devem ser numeradas seqüencialmente. O título deve ser claro e conciso e colocado na base da figura. Outras informações relativas à figura (legenda, origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da figura, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal. As figuras devem ser preparadas em alta resolução (maiores que 1Mb). Para uma boa legibilidade, os símbolos e caracteres de texto das figuras devem ter tamanho mínimo de 1 mm, mesmo após a redução da figura.

As citações mencionadas no texto devem ser indicadas pelo sistema Autor-Data, obedecendo a norma ABNT NBR 10.520 (agosto/2002), ou a que estiver vigente.