



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MODELAGEM EM CIÊNCIA DA TERRA E DO AMBIENTE - PPGM

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIALIDADES DE ESCOAMENTO E
RETENÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL NO MUNICÍPIO DE TEOFILÂNDIA - BA.**

ANGELO MOURA ARAUJO



PPGM

FEIRA DE SANTANA - BAHIA
MARÇO – 2011



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MODELAGEM EM CIÊNCIA DA TERRA E DO AMBIENTE - PPGM



**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIALIDADES DE ESCOAMENTO E
RETENÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL NO MUNICÍPIO DE TEOFILÂNDIA - BA.**

ANGELO MOURA ARAUJO

FEIRA DE SANTANA - BAHIA
MARÇO - 2011



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MODELAGEM EM CIÊNCIA DA TERRA E DO AMBIENTE - PPGM



**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIALIDADES DE ESCOAMENTO E
RETENÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL NO MUNICÍPIO DE TEOFILÂNDIA - BA.**

ANGELO MOURA ARAUJO

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências Ambientais, à
Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Ardemário de Barros Silva

FEIRA DE SANTANA - BAHIA
MARÇO - 2011

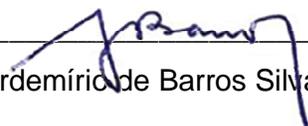
ANGELO MOURA ARAUJO

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIALIDADES DE
ESCOAMENTO E RETENÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL NO
MUNICÍPIO DE TEOFILÂNDIA - BA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito à obtenção de título de Mestre.

Data da aprovação: 21 de Março de 2011

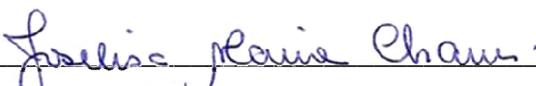
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Ardemir de Barros Silva - Orientador



Profª. Drª. Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer – Examinador(a)



Profª. Drª. Mª Joseliza Maria Chaves – Examinador(a)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desse trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Araujo, Angelo Moura
A687i Identificação de áreas com potencialidades de escoamento e retenção hídrica superficial no município de Teofilândia-Ba / Angelo Moura Araujo. – Feira de Santana, 2011.
111 f.: il.

Orientador: Ardemírio de Barros Silva

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.

1.Reservas hídricas – Semiárido – Brasil 2.Canais de drenagem – Escoamento superficial 3.Índice de umidade 4.Uso da terra.
I.Silva, Ardemírio de Barros. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

***Dedico este trabalho a minha mãe
Maria José (Tutinha), a minha irmã
Angela, minhas sobrinhas e meus
amigos.***

AGRADECIMENTOS

"Agradeço imensamente sem esquecer o oportuno e benquisto gesto, o favor, o préstimo - a tábua de salvação me atirada. Não ousando discutir a qualidade da madeira daquela, gostaria, contudo, de não me sentir devedor de um barco inteiro quando me insinuam a lembrança."

(Luis Batarda)

Inspirado neste pensamento posso dizer que um dos mais importantes gestos que alguém pode manifestar ao outro com certeza é o do agradecimento. É gesto simples, mas que representa a manifestação maior de reconhecimento por àqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização e concretização de um projeto.

Agradeço a todos os autores que foram base fundamental para o importante debate que foi esta pesquisa, que assim como nós, incansáveis construtores de conhecimento, buscam de alguma maneira respostas e soluções para as inquietações das problemáticas que nos dispusemos a pesquisar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo financiamento parcial do projeto de Mestrado, e ao INGÁ, pela parceria com o Programa de Modelagem o qual foi fundamental para a divulgação desta pesquisa.

Ao pessoal do PPGM, coordenadores, professores, colegas, funcionários, que juntos, formam, constroem e aperfeiçoam a cada dia o programa de modelagem. Que todos se sintam neste momento citados.

Ao professor Barros pela sabedoria em orientar e acima de tudo pela simplicidade em nos guiar. Pela paciência sempre demonstrada nas longas e fundamentais orientações.

Aos amigos, no sentido mais verdadeiro da palavra, que formam uma estrutura pessoal imprescindível na nossa vida. Impulsiona-nos, anima-nos, move-nos, dão exemplos e nos fazem ver a importância da amizade.

À minha família, Mãe, Pai, e especialmente a minha irmã Angela pelo grande apoio sempre dado. As minhas sobrinhas Maria Elisa e Letícia (*in gestação*) que começam a preencher de alegria nossos corações e que mesmo nos desencontros, nos poucos momentos compartilhados, na constante distância, se constituem como pilar e sentido principal de cada passo e degraus conquistados.

Enfim, a Deus, nas suas mais diversas e simples formas de existência, sempre inexplicavelmente orientando, através de simples sinais, de pessoas amigas, dando-nos respostas e discernimento às nossas inquietações.

A todos o meu agradecimento.

"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota."

Madre Teresa de Calcutá

"Sempre é preciso saber quando uma etapa chega ao final. Se insistirmos em permanecer nela mais do que o tempo necessário, perdemos a alegria e o sentido das outras etapas que precisamos viver. Encerrando ciclos, fechando portas, terminando capítulos - não importa o nome que damos, o que importa é deixar no passado os momentos da vida que já se acabaram."

Sônia Hurtado

RESUMO

A presente dissertação fundamenta-se na identificação de áreas potenciais de escoamento e retenção dos fluxos de água em regiões semi-áridas, tendo como área de estudo o município de Teofilândia-Ba. Pauta-se também, no estudo das reservas hídricas no que se refere aos usos múltiplos e sua importância para as populações que dependem diretamente destas. A base metodológica constitui-se pela discussão teórica e pelo uso de técnicas de geoprocessamento a exemplo do uso do Modelo Digital de Terreno, para a produção de mapas temáticos (aspecto, declividade, índice de umidade, retenção, sinuosidade, níveis de cotas), para identificação das áreas potenciais ao escoamento e retenção dos fluxos superficiais, bem como da classificação supervisionada da imagem de satélite para identificar os principais usos da terra existentes no município, além da geração de um banco de dados com informações acerca dos recursos hídricos existentes. Os conceitos aqui abordados tratam da importância da água e das reservas hídricas para o homem nordestino, como também discussão teórica de modelos ambientais gerados a partir de métodos de processamento digital de imagem que propõem a utilização de áreas potenciais ao desenvolvimento de projetos ligados a utilização dos recursos naturais para uso humano de maneira planejada e sustentada a exemplo da construção de reservas hídricas e indicação de áreas favoráveis à agricultura. A presente pesquisa justifica-se pela importância de se identificar áreas potenciais para construção de reservas hídricas e implementação de áreas favoráveis ao desenvolvimento agrícola, fundamentais para o desenvolvimento social e econômico dos indivíduos que dependem do uso da terra para o seu sustento. Os métodos desenvolvidos nesta pesquisa constituem-se como importantes caminhos técnicos-metodológicos, que se constituem como base para pesquisas afins ou mesmo para a gestão de áreas a partir da implantação de projetos sociais com ênfase no semi-árido do nordeste Brasileiro.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Canais de drenagem. Uso da terra. Índice de umidade. Declividade. Reservas hídricas.

ABSTRACT

The present study is based on the identification of potential of areas of flow and retention of water in semi-arid regions, having as study area the small city district of Teofilândia, in the state of Bahia, Brazil. It is also focused in the study of water resources that is related to multiple usages and their importance to the people that depends directly on them. The methodological basis is based on the theoretical discussion and by the use of geoprocessing techniques such as the usage of Digital Terrain Model, in order to prepare thematic maps (aspect, slope, humidity rate, retention, concavity, coast levels), to identification of potential areas for flow and retention of surface flux, as far as the supervised classification of satellite image to identify the main usage of land in the small city area, besides the creation of a database with information about water resources. The concepts discussed in the study deal with the importance of water and hydric resources for the people who live in the northeast of Brazil and the theoretical discussion of environmental models generated from digital image processing methods that suggest an usage of potential areas to the development of projects related to the use of natural resources for the use of the human being in a sustainable and planned way such as the construction of hydric reserves and the indication of favorable areas to agriculture. This research is justified by the importance of identifying potential areas for construction of reserves water and implementation of suitable areas for agricultural development fundamental to the social and economic development of individuals who depend on the use of land for their livelihood. The methods developed in this research constitute important technical-methodological ways that can be used not only as basis to future research in this field of study but also to management of areas for the implementation of social projects with the emphasis on the semi-arid region, in the northeastern Brazilian.

Keywords: Runoff. Draining Channels. Land use. Humidity index. Slope. Hydric reserves.

LISTA DE SIGLAS

MDT - Modelo Digital de terreno

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento Econômico do Nordeste

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MOC - Movimento de Organização Comunitária

ASA - Articulação no Semi-árido

GPS - Global Position System

FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Técnicas Espaciais

PDI - Processamento Digital de Imagens

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

OIF - Optimun Idex Factor

RGB - Red (vermelho), Green (verde) Blue (azul)

EC e EO - Erro de Comissão e Erro Omissão

IK - Índice Kappa

TIN - Triangular Irregular Network

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Matriz de variância e covariância	
50	
TABELA 02 - Matriz de coeficientes de correlação	50
TABELA 03 - Rank com os valores dos melhores resultados da composição de bandas RGB	51
TABELA 04 - Validação cruzada para cálculo de EC e EO	53
TABELA 05 - Escala de Importância - Índice KAPPA	
55	

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Tipos de solos e potencial para uso e aptidão agrícola	12
QUADRO 02 - Características da forma e dos processos geomórficos dominantes nas unidades do modelo sobre vertentes (conforme Dalrymple, Blong e Conacher, 1968)	20
QUADRO 03 - Etapas metodológicas da pesquisa (materiais e métodos)	42
QUADRO 04 - Principais vantagens e desvantagens da Malha triangular e da Grade regular.	60
QUADRO 05 - Características e operadores dos principais atributos primários derivados do MDT.	66
QUADRO 06 - Declividades e características morfodinâmicas	68
QUADRO 07 - Valores das cotas e áreas de acumulação das sub-bacias	79
QUADRO 08 - Índices de sinuosidade dos canais fluviais no município de Teofilândia.	81
QUADRO 09 - Classes com valores de cotas dos canais superficiais	86
QUADRO 10 - Cruzamentos de dados entre as classes de sinuosidade e as classes e níveis de cotas dos canais superficiais, tendo como base os quadros 08 e 09.	87
QUADRO 11 - Valores em Km ² das áreas de umidade	91
QUADRO 12 - Classes de potencialidade e respectivas áreas em Km ²	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização do Município de Teofilândia-BA	4
Figura 02 - Mapa hidrográfico do Município de Teofilândia	6
Figura 03 - Subdomínios hidrogeológicos do Município de Teofilândia	8
Figura 04 - Esboço Geológico do Município de Teofilândia	11
Figura 05 - Mapa de solos do Município de Teofilândia.	13
Figura 06 - Formas de relevo encontradas no município de Teofilândia	14
Figura 07 - Mapa geomorfológico do Município de Teofilândia	15
Figura 08 - Modelo inicial de fluxo superficial proposto por Horton (1945)	17
Figura 09 - Modelo de vertente assinalando as nove unidades hipotéticas (conforme Dalrymple, Blong e e Conacher, 1968)	20
Figura 10 - Componentes da interceptação	21
Figura 11 - Mapa de usos e coberturas da terra do Município de Teofilândia	26
Figura 12 - Mapa de uso e cobertura da terra gerado a partir da classificação supervisionada do recorte da cena 216/68 de 2008.	26
Figura 13 - Tanque de pedra	37
Figura 14 - Construção de barragem subterrânea	38
Figura 15 - Barragem sucessiva	38
Figura 16 - Barreiro de porte pequeno	39
Figura 17 - Pequeno açude	39
Figura 18 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa	43
Figura 19 - Fluxograma Metodológico do processamento do MDT para extração das principais variáveis a serem aplicadas na álgebra de mapas.	45
Figura 20 - Pontos de campo realizados no município para validação dos Dados	47
Figura 21 - Uso e cobertura da terra gerado a partir da classificação supervisionada Maxver da imagem Landsat ETM+	52
Figura 22 - Modelo Digital de Terreno do município de Teofilândia – 30m	57
Figura 23 - Interpolação de amostras de pontos semelhantes para criar uma superfície contínua.	58

Figura 24 - Representações de superfícies	59
Figura 25 - Representação do cálculo de declividade	61
Figura 26 - Ilustração da reamostragem de píxeis para resolução espacial maior.	63
Figura 27 - Declividade e gradiente	67
Figura 28 - Mapa de declividade do município de Teofilândia	70
Figura 29 - Representação do Aspecto	71
Figura 30 - Mapa de aspecto da área do município de Teofilândia-Ba.	72
Figura 31 - Direção do fluxo de um pixel a partir da declividade.	73
Figura 32 - Esquema da direção de fluxo do método D8	74
Figura 33 - Mapa de direção de fluxos	75
Figura 34 - Modelagem cartográfica para extração de pontos de acumulação.	76
Figura 35 - Mapa das sub-bacias extraídas a partir do MDT	77
Figura 36 - Mapa das áreas de retenção extraídas a partir das cotas das sub-bacias.	78
Figura 37 - Modelagem do Índice de sinuosidade dos canais fluviais.	80
Figura 38 - Cursos de rios intermitentes	82
Figura 39 - Mapa do índice de sinuosidade dos canais	83
Figura 40 - Modelagem cartográfica para classificação dos canais de drenagem.	84
Figura 41 - Representação dos valores das cotas dos principais canais de drenagem.	85
Figura 42 - Modelagem cartográfica para extração das áreas de umidade	89
Figura 43 - Mapa das áreas de umidade do município de Teofilândia.	90
Figura 44 - Modelagem da álgebra de mapas	93
Figura 45 - Representação da álgebra de mapas (aspecto 45° a 135° +áreas de umidade+áreas de retenção).	94
Figura 46 - Mapa de potencialidade hídrica superficial	95

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.1	Objetivo Geral	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
2.	ÁREA DE ESTUDO	4
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO MUNICÍPIO	4
2.1.1	Localização da Área	4
2.1.2	Recursos Hídricos	5
2.1.2.1	<i>Águas superficiais</i>	5
2.1.2.2	<i>Águas subterrâneas</i>	5
2.1.2	Compartimentação Hidrogeológica	7
2.1.3	Compartimentação Geológica	9
2.1.4	Tipos de Solos	12
2.1.5	Clima e Geomorfologia	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	O PROCESSO DE ESCOAMENTO E EROSÃO SUPERFICIAL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS	16
3.2	A INFLUÊNCIA DOS USOS E COBERTURA DA TERRA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	25
3.3	A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DAS RESERVAS HÍDRICAS NO SEMI-ÁRIDO.	33
3.4	GESTÃO DE RESERVAS HÍDRICAS	35
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
4.1	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS	44
4.1.1	Aquisição de Dados (SIG)	44
4.1.2	Identificação dos Usos da Terra	44

4.1.3	Modelagem do Escoamento Superficial.	44
4.1.4	Análise de Viabilidade da Área	46
4.1.5	Coleta de Campo	46
5	PROCESSAMENTO DO MDT E DA IMAGEM LANDSAT ETM+ 7	48
5.1	PROCESSAMENTO DA IMAGEM LANDSAT ETM+	48
5.1.1	Correção Atmosférica	48
5.1.2	Correção geométrica	49
5.1.3	Tripleto de Bandas	49
5.1.4	Classificação Não-supervisionada e Supervisionada	51
5.1.5	Validação do Mapa de Uso e Cobertura da Terra	53
5.2	PROCESSAMENTO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)	56
5.2.1	Modelagem das Áreas de Escoamento Superficial a partir do MDT	56
5.2.2	Análise dos Dados SRTM (MDT)	62
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.1	ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS DO MDT	65
6.1.1	Atributos Topográficos Primários	65
6.1.2	Mapa de Declividade (Slope)	66
6.1.3	Mapa de aspecto (Aspect)	71
6.1.4	Mapa de direção de Fluxo (Flow Direction)	73
6.1.5	Sub-bacias (watershed)	76
6.2	ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS SECUNDÁRIOS	80
6.2.1	Índice de Sinuosidade	80
6.2.2	Índice de Umidade	88
6.3	ÁLGEBRA DE MAPAS	92
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	100
	ANEXOS	107

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas da região semi-árida muito discutida nos meios científicos refere-se à ausência de políticas públicas que direcionem projetos ao acesso a água. Ao contrário do que muitas pessoas pensam, o problema que circunda o tema água nessa região, não se refere somente a sua escassez, mas a falta de projetos técnicos que tornem viáveis ações de aproveitamento da água superficial e também subterrânea para atender à demanda de uso das populações que dependem deste recurso quase que exclusivamente para sobreviver.

O uso dos recursos hídricos nestas regiões tem como principal direcionamento a busca pelo aproveitamento do volume d'água escoada superficialmente a partir do armazenamento em reservatórios superficiais e subterrâneos, imprescindíveis para o uso do homem em períodos de maior estiagem.

Para isso, são necessários estudos de viabilidade e adoção de técnicas que favoreçam a execução destes projetos, a exemplo do uso do Processamento Digital de Imagens (PDI) que tem se tornado uma técnica muito utilizada para o desenvolvimento de estudos ambientais. Nesta pesquisa o Modelo Digital de Terreno (MDT) constitui-se como base importante à identificação de áreas favoráveis e desfavoráveis ao armazenamento das águas superficiais, a partir da identificação dos potenciais hídricos, ou seja, áreas com maiores e menores declividades, áreas de retenção superficial, de maior umidade, direção de fluxos e canais de maior e menor sinuosidade.

As áreas com maior capacidade de armazenamento possuem tipos de solos e estruturas geológicas favoráveis ao acúmulo tanto superficial quanto subsuperficial, proporcionando maior capacidade de crescimento vegetal, favorecendo assim, a diminuição da erosão superficial e da perda do solo. Segundo Miranda (2005, p. 296) "A topografia, ou elevação da superfície da Terra pode ser representada no SIG por valores digitais. Esse conjunto de valores consiste da elevação de um grande número de pontos amostrais distribuídos através da área a qual está sendo representada".

Com base no uso do MDT, o estudo aqui proposto apresenta uma análise espacial das áreas com maior umidade, de potencial de retenção e insolação,

tendo como base a construção de modelos topográficos das variações de altitudes do terreno e sua influência no comportamento das águas superficiais, o que contribui para a localização estratégica de barragens superficiais e subsuperficiais, como também indicativo de áreas aptas ao uso agrícola.

O estudo sobre a potencialidade de escoamento e retenção hídrica superficial em regiões semi-áridas constitui-se num tema relevante nos meios científicos, devido o seu caráter técnico-metodológico, cujos resultados demonstram a importância do aproveitamento dos recursos hídricos, servindo de base para o aprofundamento deste estudo e como referência para outros projetos.

A presente pesquisa justifica-se pela importância de se identificar áreas potenciais para construção de reservas hídricas e implementação de áreas favoráveis ao desenvolvimento agrícola, fundamentais para o desenvolvimento social e econômico dos indivíduos que dependem do uso da terra para o seu sustento.

Buscou-se também, mostrar a importância das reservas hídricas, através do estudo de caso e das bases teórico-metodológicas envolvidas no processo de confecção da dissertação. A relevância desta proposta está também na possibilidade desta se constituir como base para gestão dos recursos hídricos tendo como parâmetro o planejamento de áreas.

A partir da proposta de Identificação das áreas com potencialidades de escoamento e retenção de água, foram construídos mapas temáticos como: mapa de retenção, de umidade, aspecto, declividade, que pela álgebra de mapas serviram para a construção do mapa-modelo contendo a indicação de áreas com níveis potenciais de escoamento e retenção superficial (baixo, médio, alto), e que se constituiu como base para fornecer indicativos de áreas potenciais.

A dissertação é composta por 6 capítulos: no primeiro consta da introdução e dos objetivos geral e específicos, no segundo a localização e caracterização da área de estudo, no terceiro o referencial teórico, no quarto os procedimentos metodológicos, no quinto o processamento do MDT e da Imagem Landsat, no sexto os resultados e discussão, seguido das conclusões e das referências bibliográficas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar e avaliar as principais áreas com potencial de escoamento, acumulação e retenção hídrica superficial no município de Teofilândia, como base à gestão estratégica e suporte técnico para atender as necessidades humanas locais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Construção de um banco de dados georreferenciado com informações sobre os recursos hídricos da região;
- Verificar o potencial hídrico (disponibilidade) para melhor compreender a situação de falta de água;
- Propor, com base nos resultados técnicos desta pesquisa, ações que auxiliem a construção de meios de acesso às fontes de água durante os períodos mais críticos de estiagem a partir da identificação das áreas propícias à construção de reservas hídricas e áreas potenciais ao uso agrícola.
- Classificar o uso e ocupação do solo do município para identificar áreas com presença ou ausência de corpos d'água, com validação a partir do trabalho de campo;
- Construir o mapa das principais áreas potenciais à construção de reservas hídricas do município.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO MUNICÍPIO

2.1.1 Localização da área

O município de Teofilândia-BA está localizado no nordeste baiano com coordenadas geográficas entre 11°22'00" e 11° 36' 00" de latitude sul e 38° 49' 00" e 39°04'00" de longitude oeste, especificamente na região de planejamento Nordeste do Estado da Bahia, limitando-se a leste com o Município de Biritinga, a sul com Serrinha, a oeste com Barrocas e a norte com Araci. A área municipal é de 336 km² segundo dados IBGE, (2010) e está inserida nas folhas cartográficas Santa Bárbara (SC.24-Z-C-I), Araci (SC.24- Z-C-IV), Santa Luz (SC.24-Y-D-III) e Serrinha (SC.24-Y-D-VI) na escala 1:100.000, estas últimas, editadas pelo MINTER/SUDENE em 1977. O acesso, a partir de Salvador, é efetuado pelas rodovias BR-324 e BR-116 num percurso total de 194 km (Figura 01), segundo BAHIA (2005). Está inserido no Polígono das Secas, ou seja, sujeita à repetidas e prolongadas estiagens com a maioria da população residente na zona rural, ou seja, 14.792 habitantes de um total de 21.484 habitantes (IBGE, 2010).

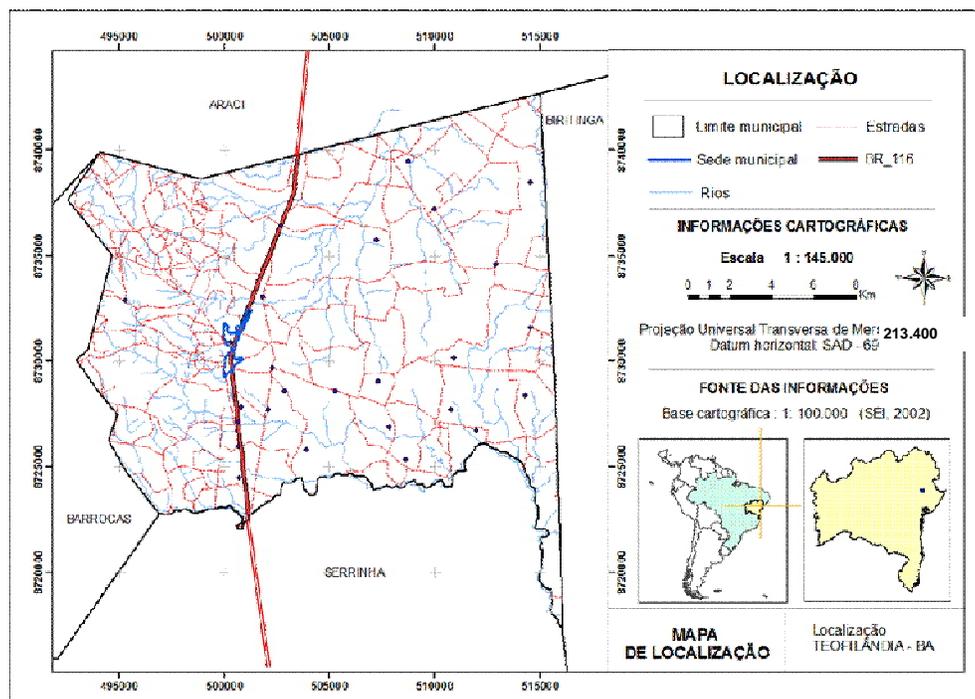


Figura 01 – Localização do Município de Teofilândia-BA.

2.1.2 Recursos Hídricos

2.1.2.1 Águas Superficiais

A rede de drenagem local é relativamente escassa. Apresenta, em maior proporção, uma distribuição paralela (que indica em geral, o caimento do terreno, seja topográfico ou estrutural) e secundariamente dendrítica resultante do seu modelamento sobre rochas granito-gnáissicas.

É caracterizada, por rios intermitentes, tendo como representantes principais os riachos Caroá, do Cedro, Varginhas, Dois Irmãos, Barreiro, Água Branca e Baixa do Caixão (Figura 02).

2.1.2.2 Águas Subterrâneas

Segundo dados do Projeto Cadastro de Fontes de abastecimento por água subterrânea da CPRM (2005) há no Município de Teofilândia, três domínios hidrogeológicos distintos: bacias sedimentares, metassedimentos/metavulcanitos e cristalino.

As *bacias sedimentares* são constituídas por rochas sedimentares bastante diversificadas, e representam os mais importantes reservatórios de água subterrânea, formando o denominado aquífero do tipo granular. Em termos hidrogeológicos, estas bacias têm alto potencial, em decorrência da grande espessura de sedimentos e da alta permeabilidade de suas litologias, que permite a exploração de vazões significativas. Em regiões semi-áridas, a perfuração de poços profundos nestas áreas, com expectativas de grandes vazões, pode ser a alternativa para viabilizar o abastecimento de água das comunidades assentadas tanto no seu interior quanto no seu entorno. Na área, este domínio está representado por unidades geológicas da bacia de Tucano.

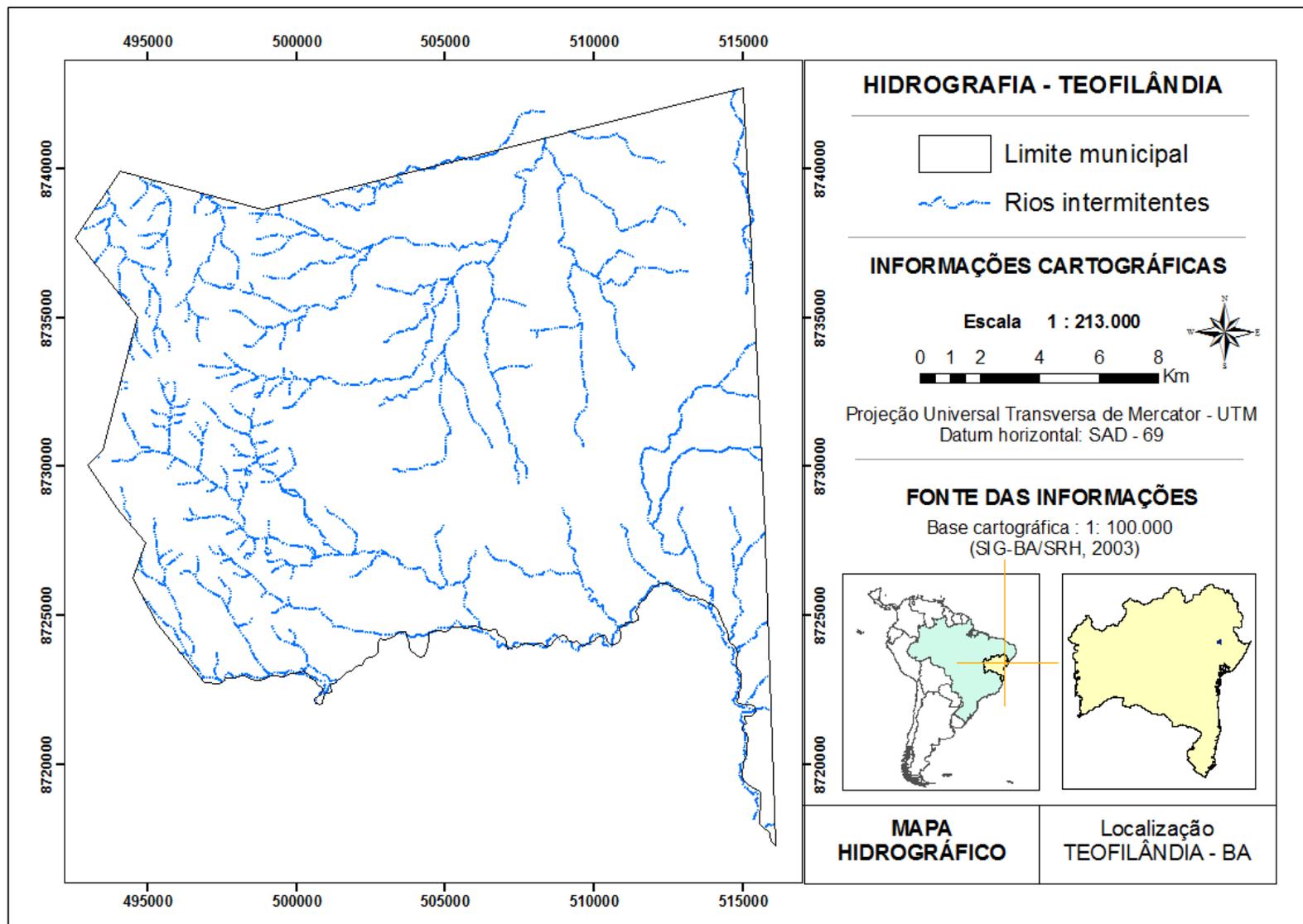


Figura 02:Mapa Hidrográfico do Município de Teofilândia-Ba.

2.2.2 Compartimentação Hidrogeológica

Uma das características da região em que se encontra o município de Teofilândia está relacionada à baixa favorabilidade hidrogeológica. Os litotipos relacionados aos Metassedimentos e Metavulcânicos reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfibolitos, quartzitos, ardósias e metavulcânicas, etc., que estão relacionadas ao denominado aquífero fissural.

Segundo dados da CPRM (2005), quase não existem uma porosidade primária nos Metassedimentos/Metavulcânicos, onde as ocorrências de água subterrânea são condicionadas por uma porosidade secundária por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Uma parcela significativa da região está no subdomínio das precipitações inferiores a 800mm/ano (Figura 03), enquanto que acima de 800mm/ano é identificada apenas numa pequena porção na parte sudoeste do município, o que proporciona uma característica particular a essas áreas.

Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços nessas áreas são pequenas, e a água é na maior parte das vezes salinizadas. Pode ser enquadrada neste domínio grande parte das supracrustais, aí incluídos os “greenstones belts”, a exemplo do Greenstones Belts do Rio Itapicurú. Já nas *bacias sedimentares* que engloba a Bacia de Tucano, possui uma diversidade de rochas sedimentares o que representa numa importante área de reservatórios de água subterrânea, formando o denominado aquífero do tipo granular.

As características hidrogeológicas são favoráveis, em maior proporção areal, à acumulação de água em reservatórios superficiais (açudes, barreiros, etc.), em virtude do baixo grau de infiltração das rochas do embasamento (BAHIA, 2005).

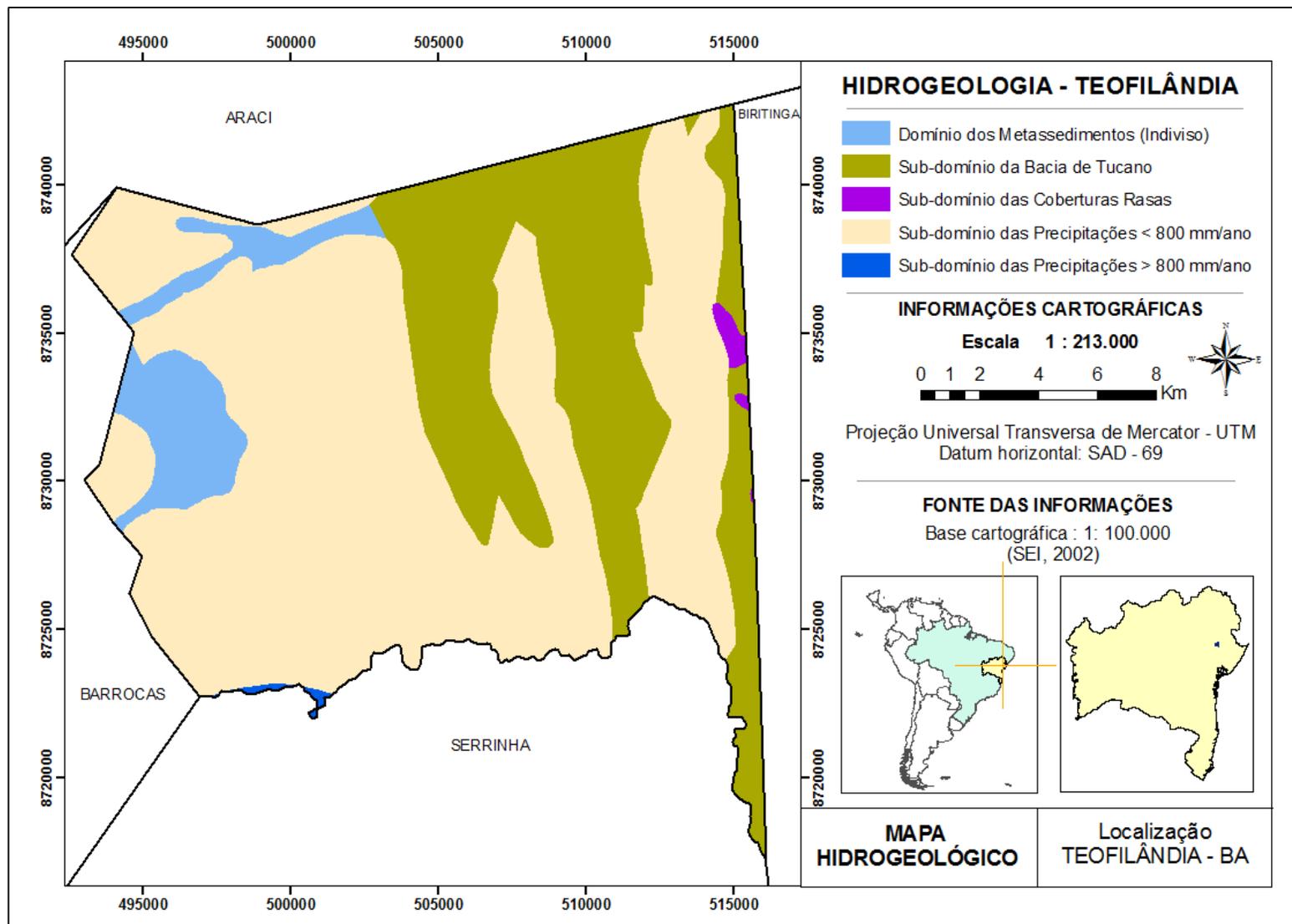


Figura 03: Subdomínios hidrogeológicos do Município de Teofilândia - BA

Os *metassedimentos/metavulcanitos* e *Embasamento cristalino* têm comportamento de aquífero fissural. Como basicamente não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação, dos efeitos do clima semi-árido caracterizado por irregularidade das chuvas e do tipo de rocha, é na maior parte das vezes salinizada.

Essas condições definem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa no abastecimento nos casos de pequenas comunidades, ou como reserva estratégica em períodos de prolongadas estiagens (BAHIA, 2005).

Dentre as dificuldades em torno do acesso à água subterrânea motivado pelas próprias características estruturais em que o município se insere, têm-se os altos custos que envolvem a captação desses fluxos subterrâneos que na maioria das vezes necessitam do tratamento de dessalinização da água para o consumo humano. Em contrapartida, a captação da água da chuva a partir do escoamento superficial, constitui-se como a forma mais simples e relativamente barata de captação e retenção hídrica, sendo o meio mais acessível para a maioria da população cujas características socioeconômicas são desfavoráveis.

2.2.3 Compartimentação Geológica

A geologia do município (Figura 04) engloba rochas do complexo Santa Luz (Arqueano), da sequência vulcanossedimentar do Greenstone Belt do Rio Itapicuru, de granitóides (Paleoproterozóico) e de sedimentos mesozóicos da bacia de Tucano. Os litótipos do complexo Santa Luz, considerados como embasamento do Greenstone Belt do Rio Itapicuru afloram no extremo sudoeste do território, e estão representados por ortognaisses migmatíticos, paragnaisses, quartzitos, metamáficas, calcissilicáticas e mármore.

Na região noroeste do município há a presença do Greenstone Belt do Rio Itapicuru constituído de rochas vulcanossedimentares geradas, deformadas e metamorfizadas durante o ciclo Transamazônico. Na área, as rochas do

“Greenstone” estão agrupadas em uma unidade vulcânica máfica, basal, composta de metabasalto toleítico, tufos máficos, brechas de fluxo, formações ferríferas, metachert e metapelitos grafitosos e na unidade vulcânica félsica, constituída de rochas efusivas e piroclásticas metandesíticas, metadacíticas e metarriodacíticas. Granitos, granodioritos, tonalitos, monzonitos, dioritos e augengnaisse cedo a tarditectônicos, predominam em cerca de 50% da região.

A leste e a sudeste da área afloram os sedimentos da bacia de Tucano, representados por arenitos finos a conglomeráticos, conglomerados, folhelhos e calcilutitos, do (grupo Brotas Indiviso) folhelhos e siltitos, em parte calcíferos com intercalações de arenitos e carvão do grupo Santo Amaro Indiviso e intercalações de folhelhos e arenitos, margas, arenitos calcíferos, folhelhos carbonosos, siltitos e calcilutitos do grupo Ilhas (CPRM, 2005).

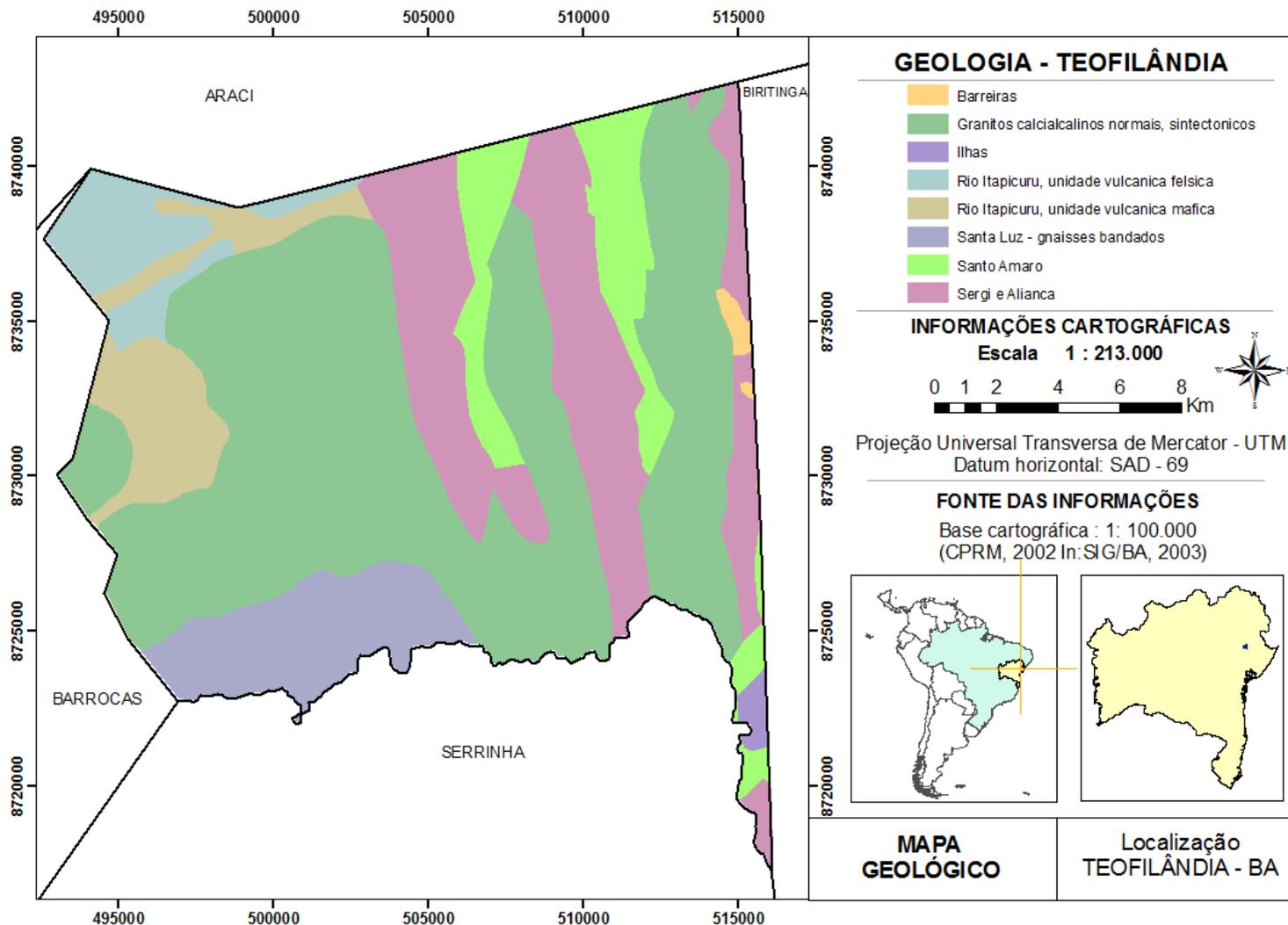


Figura 04: Esboço Geológico do Município de Teofilândia-BA.

2.2.4 Tipos de Solos

A predominância dos tipos de solos é a do PLANOSSOLO HÁPLICO EUTRÓFICO solódico (SXen) que abrange praticamente quase toda a área do município, equivalendo a 91%. Em seguida, o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVAd) o segundo maior com aproximadamente 5% do total da área, localizado na parte nordeste e leste do município.

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS distróficos (RLd) apresentam-se em uma pequena área na parte leste do município possuindo cerca de 2% do território. O NEOSSOLO REGOLÍTICO eutrófico (RRe), aparece somente em uma pequena área a sudoeste do município, também equivalendo a 2% da área do município (Figura 05). No quadro 01 constam algumas das características destes solos.

Quadro 01 Tipos de solos e potencial para uso e aptidão agrícola

TIPOS DE SOLOS	Características	POTENCIAL PARA USO AGRÍCOLA
NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos (RLd)	Solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) (EMBRAPA, 1973a, p.364, perfil RS-78).	Potencial Baixo/ Restrito a nulo
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (SXen)	Textura arenosa cascalhenta/argilosa	Potencial Baixo/ Restrito a nulo
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd)	Baixa reserva de nutrientes, adensamento, baixo armazenamento de água	Potencial Médio/ Baixo a médio
NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos (RRe)	São rasos, com textura arenosa e média, desenvolvidos de substratos rochosos formados por granitos e gnaisses, visíveis na superfície do solo, principal limitação para o uso agrícola.	Potencial Baixo/ Restrito a nulo

Fonte: Embrapa, 1973

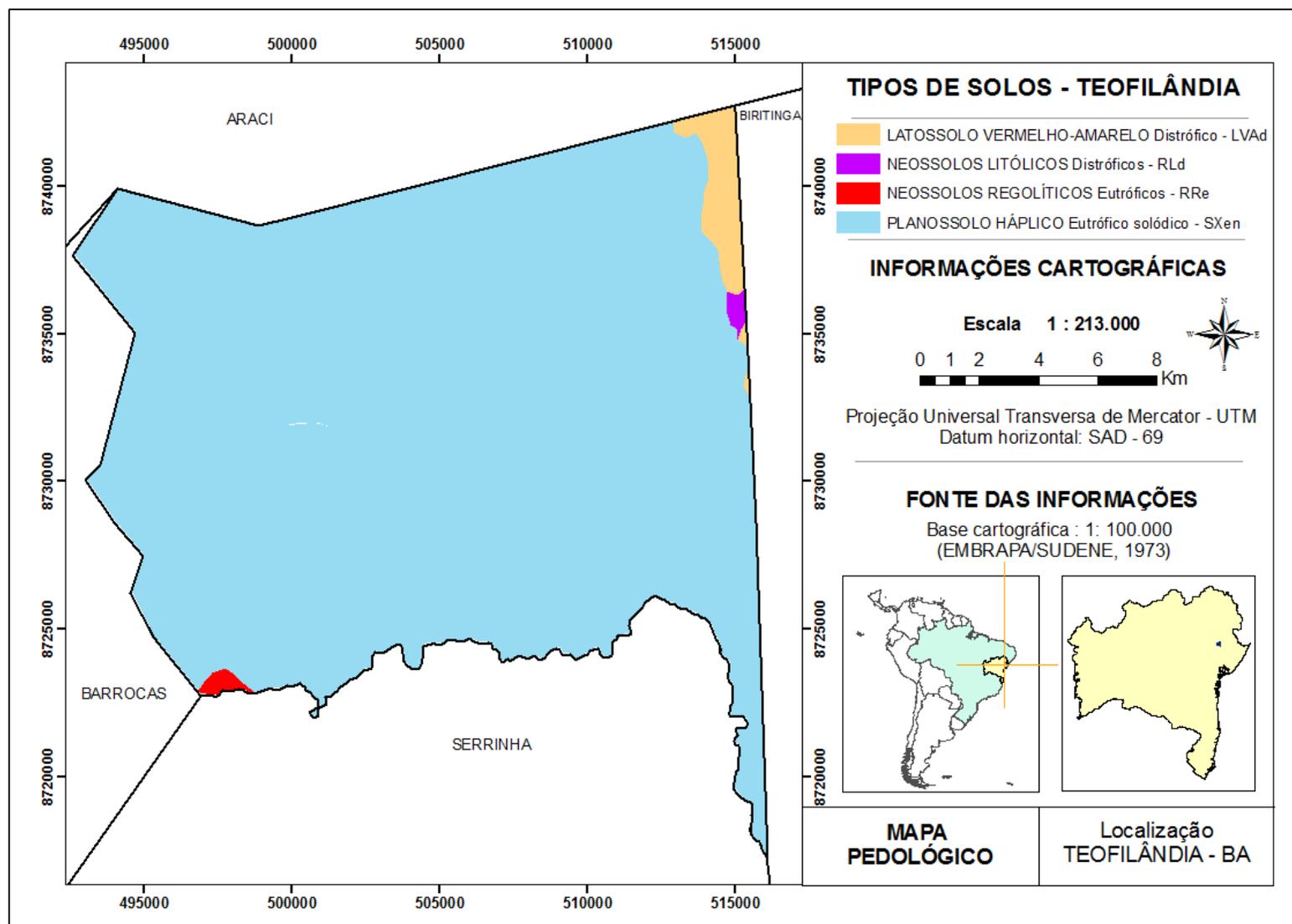


Figura 05: Tipos de solos do Município de Teofilândia-Ba.

Fonte: Levantamento exploratório/Reconhecimento dos solos do Estado da Bahia (EMBRAPA/SUDENE, 2006)

2.2.5 Clima e Geomorfologia

Segundo a CPRM (2005), o município está inserido no “Polígono das Secas” e tem um clima do tipo megatérmico-semiárido, com temperatura média anual de 23.4°C, precipitação pluviométrica média no ano de 600 a 800 mm e período chuvoso de maio a julho. A geomorfologia (Figura 7) é composta por relevo esculpido em rochas sedimentares da bacia do Tucano e ígneas/metamórficas do Greenstone Belt do rio Itapicuru, corresponde a pediplanos, colinas, morros em forma de meia laranja, serras, tabuleiros, cuestras e vales cortados por drenagens incipientes da bacia hidrográfica do rio Itapicuru, ou seja, pouco expressivas e caracterizada por leitos de pequenos rios e riachos temporários formando assim uma drenagem dendrítica. Apresentam ainda formação monoclinal (6a) e às vezes retilíneas separados por vales com desníveis da ordem de 20 a 50 metros (6b) e feições convexas, convexo-côncavas (6c).

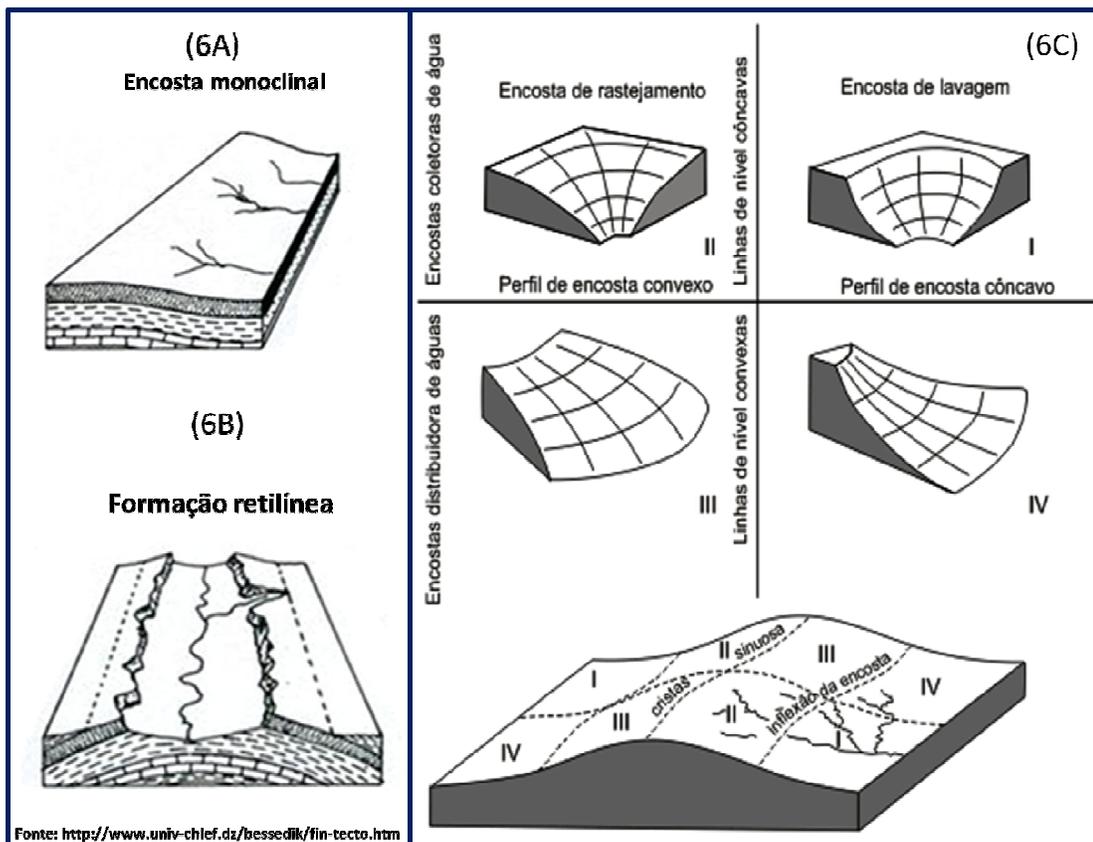


Figura 06 - Formas de relevo encontradas no município. Fonte: Adaptado de TROEH, 1965. <http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php>

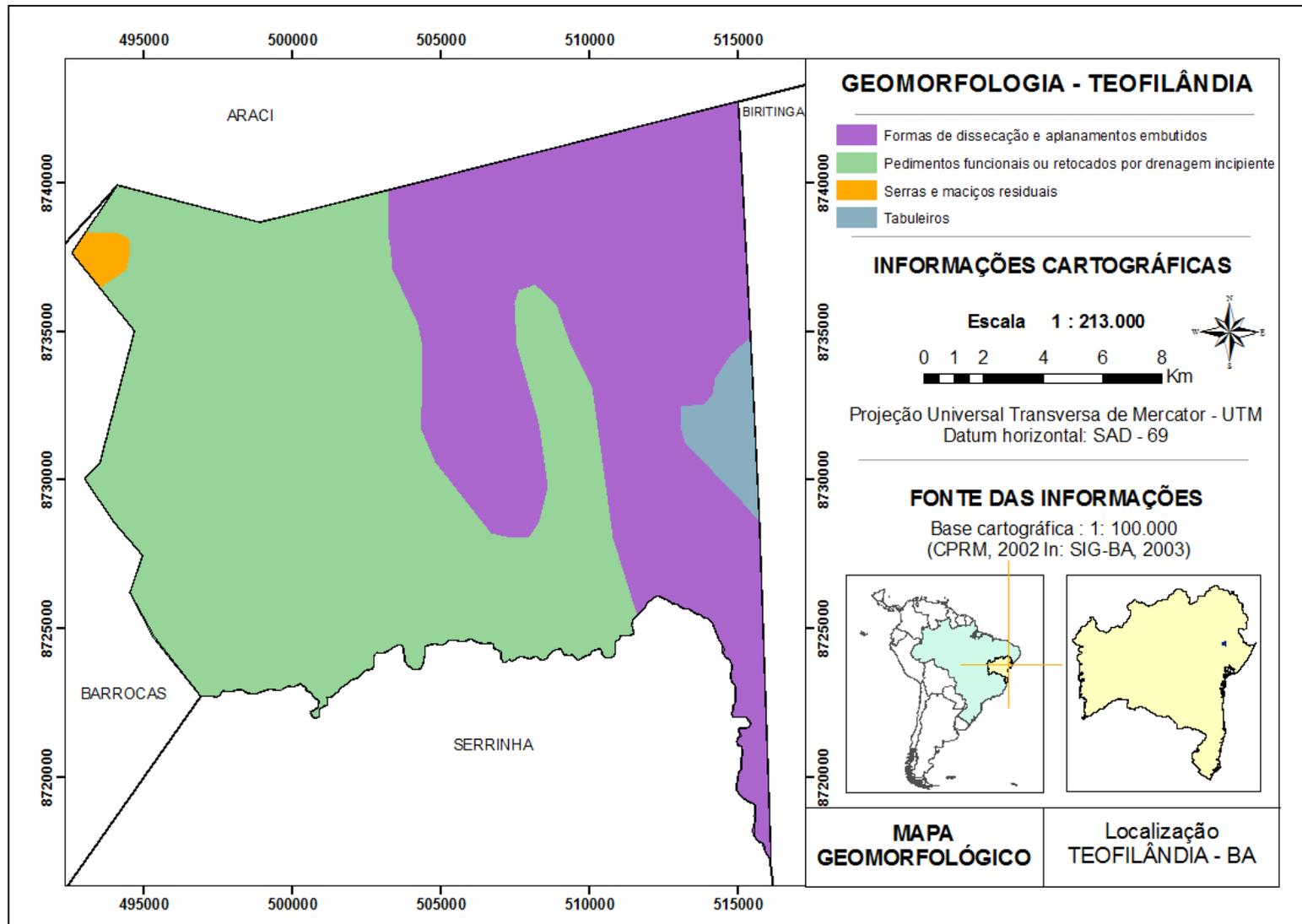


Figura 07: Mapa geomorfológico do Município de Teofilândia

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura abordada busca aprofundar os principais conceitos que dão suporte à compreensão dos fenômenos e elementos desta pesquisa e que são imprescindíveis para a análise dos resultados. Os itens que se seguem tratam do processo de escoamento e erosão superficial, influência dos usos e cobertura da terra no escoamento superficial, a importância da água e das reservas hídricas no semi-árido e a gestão das reservas hídricas.

3.1 O PROCESSO DE ESCOAMENTO E EROSÃO SUPERFICIAL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS

A área de estudo está inserida na região semi-árida, cujas características do sistema de drenagem possuem, especificamente, escoamentos superficiais efêmeros que segundo Lencastre e Franco (1992, p.31) ocorrem apenas durante ou após a precipitação. Nesta pesquisa são analisados os processos hidrológicos superficiais relacionados às condições climáticas da região semi-árida.

O conceito de escoamento superficial está ligado à ciência Hidrológica, que tem como principal foco de estudo a presença da água na Natureza. Esta ciência é parte da Geografia Física e busca compreender os fenômenos, as propriedades e a distribuição da água na superfície e no subsolo da Terra, tendo como enfoque principal o seu deslocamento. O escoamento superficial tem um papel importante na compreensão de fenômenos que ocorrem na natureza, a exemplo da formação de microrredes de drenagens e de áreas de acumulação essenciais para a manutenção da vida. Segundo Jorge e Uehara (1998, p. 101 e 102):

O escoamento superficial ou deflúvio corresponde à parcela da água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade que a conduz para cotas mais baixas... Conforme as características do seu deslocamento, as águas superficiais podem provocar a erosão dos solos, inundação de várzeas, etc.

Para a ocorrência do escoamento superficial algumas características são necessárias como a cobertura vegetal, a hidráulica das rochas e do solo, da declividade da superfície, entre outros.

Historicamente, estudos sobre o escoamento superficial têm buscado compreender e criar modelos conceituais que expliquem o comportamento dos diversos fluxos sobre a superfície terrestre. Dentre estes, o modelo de Horton (1945) tem por objetivo, analisar o escoamento superficial a partir da escala das vertentes, sendo com o passar do tempo, aperfeiçoado e incorporado novos elementos de análise, a exemplo dos modelos de fluxos existentes na superfície, além dos tipos de materiais existentes no ambiente de estudo como a presença do regolito, do tipo de solo, entre outros.

Horton (1945, apud CHRISTOFOLETTI, 1999) considerava a presença do fluxo superficial e do material em suspensão fazendo uma relação com setores não-erosivos, de erosão ativa e de deposição de sedimentos, além da ruptura do carreamento da cobertura vegetal de acordo a intensidade do escoamento superficial. Além deste estudo, Atkinson (1978 apud CHRISTOFOLETTI, 1999) cria um bloco diagrama (Figura 08) salientando as principais características dos fluxos d'água no perfil do solo, na zona de percolação e na zona subterrânea, além de caracterizar a dinâmica dos fluxos superficiais.

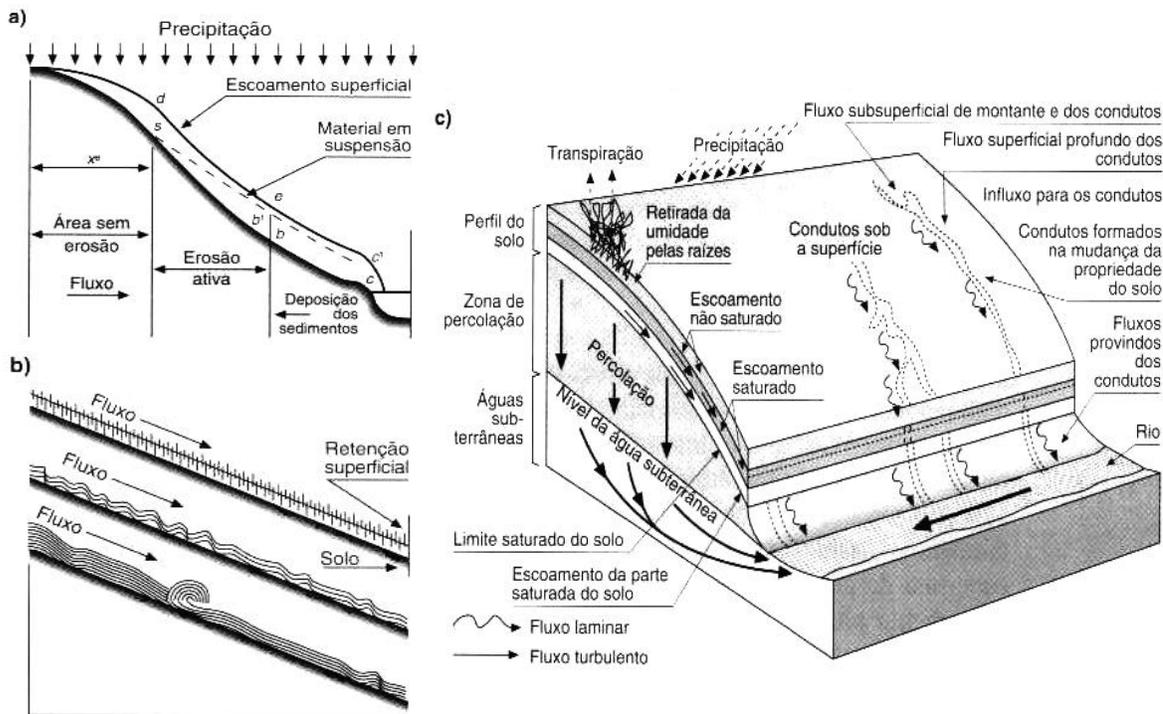


Figura 08: Modelo inicial de fluxo superficial proposto por Horton (1945) em (a) e o arranque das gramíneas em ocorrências de chuvas intensas (b). Em (c) o bloco diagrama de Atkinson (1978) exemplifica os fluxos d'água nos diferentes sistemas. Fonte: Christofolletti, 1999.

Segundo Pinto (1973, p.36) o estudo do escoamento superficial pela Hidrologia considera:

o movimento da água a partir da menor porção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade ou impermeável, escoar pela sua superfície, formando sucessivamente as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação.

A ocorrência do escoamento superficial origina-se a partir das precipitações que ao atingir a superfície da terra escorre superficialmente podendo infiltrar-se, ficar retida ou evaporar-se. A sua ocorrência dependerá de fatores que se constituirão como influenciadores para as características do escoamento, podendo, por exemplo, ser a água da chuva interceptada por uma cobertura vegetal.

Para Silva (2000, p.05) “a água que cai na superfície do terreno, sob a forma de precipitação, e encontra o seu caminho até o leito do curso d’água, sem infiltrar-se no terreno nem percolar até abaixo do nível d’água caracteriza-se como o escoamento superficial”.

Estes são denominados por Pinto (1973, p. 39) como fatores *Intervenientes*, que influenciam no afluxo de água na seção em estudo, ou seja, na quantidade e direção em que a água irá ocorrer. Menciona que a trajetória em que a água toma no terreno, será determinada, principalmente, pelas linhas de maior declive no terreno, sendo influenciadas por obstáculos existentes. Dos fatores intervenientes, podem-se citar os principais:

a) Conformação topográfica da área: declividade, depressões acumuladoras e retentoras de água;

b) Condições da superfície do solo e constituição geológica:

- i) existência de vegetação;
- ii) tipos de vegetação (natural ou plantada);
- iii) capacidade de infiltração no solo;
- iv) natureza geológica;
- v) tipos de rochas presentes;
- vi) condições de escoamento da água através das rochas.

c) Obras de controle e utilização da água na área:

- i) drenagem do terreno;
- ii) construção de barragens.

Dentre os fatores determinantes para a ocorrência em maior ou menor proporção do escoamento superficial ligada a conformação topográfica, está a *declividade*. Dependendo do grau de declividade existente no terreno, maior velocidade terá o escoamento superficial, ocasionando o surgimento de processos específicos. De acordo Christofolletti (1980, p. 27),

O escoamento é um grupo de processos que abarca toda uma série de mecanismos, desde os que estão próximos aos movimentos de massa até os que se assemelham aos processos fluviais. Tais processos morfogenéticos são os responsáveis pela dinâmica e pelo relacionamento funcional de todas as partes da vertente.

O escoamento acaba por sua vez provocando erosão do solo, principalmente em áreas com ausência de vegetação. Segundo Goudie (1995 apud GUERRA; MARÇAL, 2006 p. 79);

o volume total de erosão que ocorre numa encosta é o resultado de processos geomorfológicos que incluem a ação das gotas de chuva e o escoamento superficial difuso e concentrado, que, por sua vez, dependem de uma série de fatores que englobam a erosividade da chuva, a erodibilidade dos solos, as características das encostas, a cobertura vegetal e o uso e manejo do solo.

Com base na declividade da vertente do terreno, Christofolletti (1999, p. 58) apoiado em Dalrymple, Blong e Conacher (1968) elabora um *croqui* (Figura 08) e um quadro síntese (Quadro 02) demonstrando as principais características da forma das vertentes e os respectivos processos, denominados por ele como processos geomórficos.

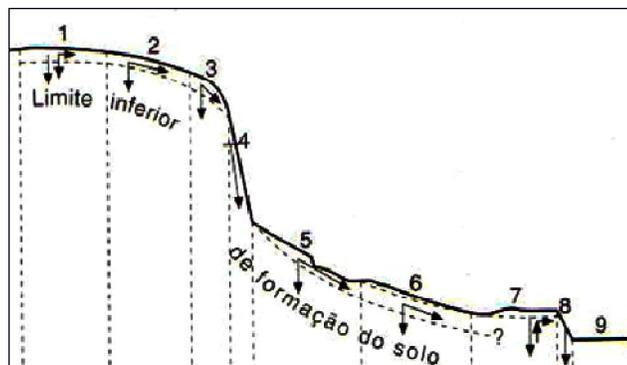


Figura 09 - Modelo de vertente assinalando as nove unidades hipotéticas (conforme Dalrymple, Blong e Conacher, 1968). Fonte: Christofolletti, A., 1999.

Quadro 02. Características da forma e dos processos geomórficos dominantes nas unidades do modelo sobre vertentes (conforme Dalrymple, Blong e Conacher, 1968). Fonte: Christofolletti, A. (1999).

Unidade da vertente		Processo geomórfico dominante
1	Interflúvio (0° - 1°)	Processos pedogenéticos associados com movimento vertical da água superficial.
2	Declive com infiltração (2° - 4°)	Eluviação mecânica e química pelo movimento lateral da água superficial
3	Declive convexo com reptação	Rastejamento do solo e formação de terracetes.
4	Escarpa (mínimo de 45°)	Desmoronamentos, deslizamentos, intemperismo químico e mecânico.
5	Declive intermediário de transporte	Transporte de material pelos movimentos entre coletivos do solo; formação de terracetes; ação da água superficial e subsuperficial.
6	Sopé coluvial (26° e 35°)	Reposição de material pelos movimentos entre coletivos e escoamento superficial; formação de cones de dejeção; transporte de material; reptação; ação superficial da água.
7	Declive aluvial (0° - 4°)	Deposição aluvial; processos oriundos dos movimentos subsuperficial da água.
8	Margem de curso de água	Corrosão; deslizamento; desmoronamento.
9	Leito do curso de água	Transporte de material para jusante pela ação do fluxo fluvial; gradação periódica.

Na medida em que a água da chuva direciona-se para pontos mais baixos do terreno vão se formando pequenos canais de drenagem. Aumentando o nível de força destes fluxos superficiais, proporcionalmente aumenta a dimensão dos canais de erosão, ocorrendo, portanto, a formação contínua de canais preferenciais.

A partir destes canais a água pode se acumular nas depressões do terreno os quais possuirão características específicas para a retenção da água. Destas características, a estrutura do terreno (declividade) com o tipo de formação rochosa e o tipo de solo é fator determinante para que a água proveniente do escoamento superficial fique retida ou se infiltre subsuperficialmente ou mesmo chegue até o aquífero.

Outro elemento importante para a compreensão do processo de deslocamento superficial relaciona-se às condições da superfície do solo. Dos fatores abordados, a *vegetação* constitui-se como um elemento relevante de análise, pois, sua presença em terrenos com grau declividade acentuada, se constitui como uma importante barreira contra a ação da chuva diretamente sobre o solo.

De acordo Lencastre e Franco (1992) essa barreira criada pela vegetação impedindo o contato direto da chuva com o solo é denominada de Intercepção. Ao considerar o momento da precipitação que ocorre em um determinado terreno com cobertura vegetal, parte é interceptada pelas copas das árvores (folhas, ramos e troncos) e parte é interceptada pela manta vegetal morta retornando à atmosfera por evaporação (Figura 10).

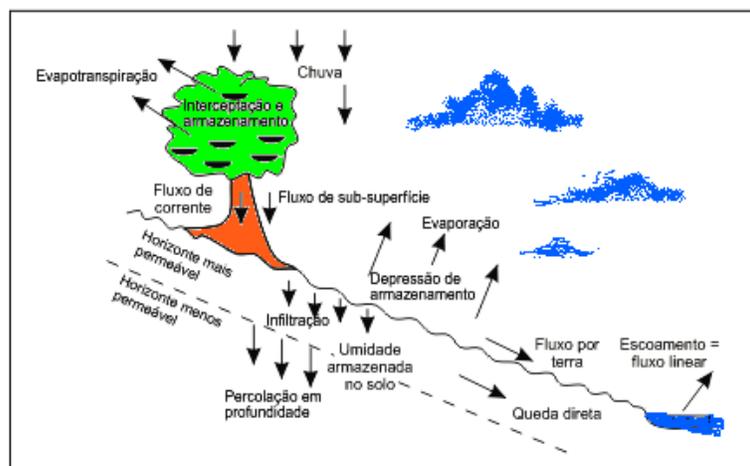


Figura 10 – Componentes da intercepção
Fonte: Adaptado de (Carson & Kirkby, 1972 apud Valter Cassetti).
www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php

A importância da interceptação da água da chuva por parte da vegetação é que esta passa a se constituir como um importante instrumento na conservação do solo, reduzindo consideravelmente a incidência da energia cinética (força) das gotas de chuva antes de atingirem a superfície do solo, diminuindo, conseqüentemente, a erosão superficial.

A variação das tipologias vegetais, sendo estas naturais ou plantadas, também influencia para uma maior ou menor ação do escoamento superficial. Quanto maior for o porte e a densidade do corpo vegetal, menor será o impacto provocado pela ação direta da chuva no solo. Em áreas de plantio ou mesmo com exposição do solo, é comum a ocorrência de perda do solo provocado pelas enxurradas, o que favorece o aparecimento da erosão superficial, a exemplo dos ravinamentos e das voçorocas, processos estes na maioria das vezes difíceis de serem revertidos.

Dos fatores superficiais que influenciam no escoamento superficial, a *capacidade de infiltração do solo* também está relacionada às variações físicas existentes, das quais se pode citar a ação de animais, dos desmatamentos, alteração das rochas superficiais, diferentes graus de umidade e tipos de solo, o estágio de desenvolvimento da vegetação, temperatura e também a quantidade e tempo da ocorrência da precipitação.

O solo se constitui também como fator influenciador para a movimentação e retenção da água, pois dependendo da textura e do tipo do solo, haverá variações no processo de infiltração.

A infiltração é o movimento da água para dentro do solo, marcado pela ação da gravidade e pelo potencial capilar. Durante uma chuvada, o solo pode absorver a água caída, até um certo valor de intensidade da chuva. A partir desse valor, a água não se infiltra, e começa o escoamento superficial. (LENCASTRE e FRANCO, 1992, p. 177)

Neste sentido, à medida que a espessura da camada do solo saturada aumenta, respectivamente aumenta o percurso da água infiltrada, reduzindo, assim, a infiltração. Outro fator que diminui a capacidade de infiltração é a compactação dos solos com texturas diferenciadas gerada por variados fatores, dos quais a “ação

devida a homens e animais, resultante do tráfego quer pedestre, quer de veículos, reduz a capacidade de infiltração.” (LENCASTRE e FRANCO, 1992, p. 182).

Solos de textura fina como os argilosos podem ser compactados pela chuva e formar crostas superficiais que desprovidos de vegetação podem se tornar impermeáveis e facilitar a ocorrência do escoamento superficial e ter uma maior capacidade de retenção.

Para Lancastre e Franco (1992, p. 182):

Quando o solo está muito seco, existem muitas partículas finas à superfície (estado pulverulento). A infiltração dos materiais finos, que são carregados para o interior do solo, tem tendência a colmatar os vazios intersticiais e a reduzir a infiltração.

A ausência de precipitações regulares na região semi-árida acaba favorecendo que seus solos fiquem durante grandes períodos sem umidade, gerando a compactação dos mesmos, por processos humanos e naturais. Fatores como a presença de solos expostos, usos inadequados do solo, compactação por animais e principalmente a ausência de chuva durante grandes períodos de estiagens, favorecem em períodos chuvosos a ocorrência de escoamentos superficiais em solos muito secos e compactados, como é característicos de regiões semi-áridas.

Considerando as características geológicas do município, estas são favoráveis, em maior proporção areal, à acumulação de água em reservatórios superficiais (açudes, barreiros, etc.), em virtude do baixo grau de infiltração das rochas do embasamento do *greenstone belt* do Rio Itapicuru. (BAHIA, 2005). De acordo Lencastre e Franco (1992, p.39) “existe uma interação estreita entre a constituição geológica de uma bacia hidrográfica e o tipo de solos resultante com a distribuição e o movimento da água nessa mesma bacia.”

Além destes fatores, as obras de controle e de utilização da água constituem-se também como fatores intervenientes para o escoamento superficial. Várias são as formas utilizadas para aproveitar as águas das chuvas a partir da drenagem, que varia desde obras rudimentares, onde são feitos, por exemplo, pequenos desvios nas áreas de enxurradas, para aproveitamento da água em pequenos reservatórios, até a utilização de técnicas mais aprimoradas como a construção de grandes barragens.

Contudo, é mais comum nestas regiões a construção de pequenas barragens devido ao alto valor de custo que envolve a construção de grandes reservatórios, sendo uma das medidas mais adotadas para a interceptação dos fluxos das águas superficiais nestas regiões.

Por ser um fenômeno dinâmico, a representação espacial do escoamento superficial torna-se complexa sem o auxílio do Sistema de Informações Georreferenciada (SIG). Tendo em vista o uso desta ferramenta, é necessário que as variáveis que determinam o escoamento superficial sejam ponderadas, possibilitando a partir do cruzamento destas, identificar padrões e comportamentos dos fluxos superficiais.

Segundo De Roo & Jetten (1999), a principal razão para se usar SIG é que o processo de escoamento superficial varia espacialmente e, assim, células de informação devem ser usadas para que a variação espacial seja levada em consideração. As células de informação podem ser representadas pelos índices de *sinuosidade* e de *umidade* para determinar os padrões de escoamento superficial existentes.

A aplicação destes índices fornece informações importantes sobre a dinâmica do escoamento superficial da área de análise, a exemplo da intensidade e duração da precipitação, pois quanto mais intensa e duradoura for, mais rapidamente o solo atinge a capacidade de infiltração; da *precipitação antecedente*, onde solos úmidos, devido a chuvas anteriores, terão maior facilidade para o escoamento e retenção; e *permeabilidade do solo*, quanto mais permeável, maior será a quantidade de água que ele pode absorver diminuindo a ocorrência do escoamento superficial.

Assim, a partir dos diversos elementos e fatores que influenciam no escoamento superficial é possível explicar como se processa a dinâmica dos fluxos superficiais e a capacidade de retenção em lugares com características estruturais diferenciadas a exemplo da região semi-árida.

3.2 A INFLUÊNCIA DOS USOS E COBERTURA DA TERRA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Dos elementos que influenciam no processo do escoamento superficial, os tipos de usos e coberturas da terra se constituem como elementos importantes na análise da dinâmica dos fluxos de águas superficiais.

Segundo o mapa da Embrapa, 1973 (Figura 11), os principais usos e coberturas encontrados no município são a agricultura/pecuária, representando a maior parte do município; a Caatinga Arbórea-Arbustiva com contato cerrado-caatinga, cujas características morfológicas são de espécies xerófitas, com plantas arbustivas e espinhentas composta principalmente de mandacarus, jurubebas, pinites, incós e palmeiras; presença de lagos, açudes e represas principalmente na parte oeste do município e pontos urbanos espaçados representados pela sede municipal e comunidades rurais.

Parte da vegetação nativa foi substituída por pastos e culturas cíclicas o que por sua vez influencia sobremaneira na dinâmica do escoamento superficial. A ausência de planejamento no momento de utilização da terra tem promovido durante décadas sérios problemas ambientais, trazendo conseqüências que na maioria das vezes são irreversíveis, como a perda do solo com o aparecimento de ravinamentos e voçorocas.

No mapa classificado (Figura 12) algumas diferenças são identificadas em relação ao mapa de uso e cobertura da Embrapa, tais como a presença da agricultura permanente (agave), áreas de solos expostos e maior presença de lâminas d'água na porção leste do município.

Apesar da retirada de boa parte da vegetação original, o município ainda possui áreas isoladas com presença da caatinga e que apresentam ainda cobertura vegetal mais preservada, por serem estas áreas de difícil acesso, com alto grau de declividade e com solos impróprios para o plantio, podendo ser consideradas com menor ação de erodibilidade devido a ausência de impactos antrópicos nestas regiões.

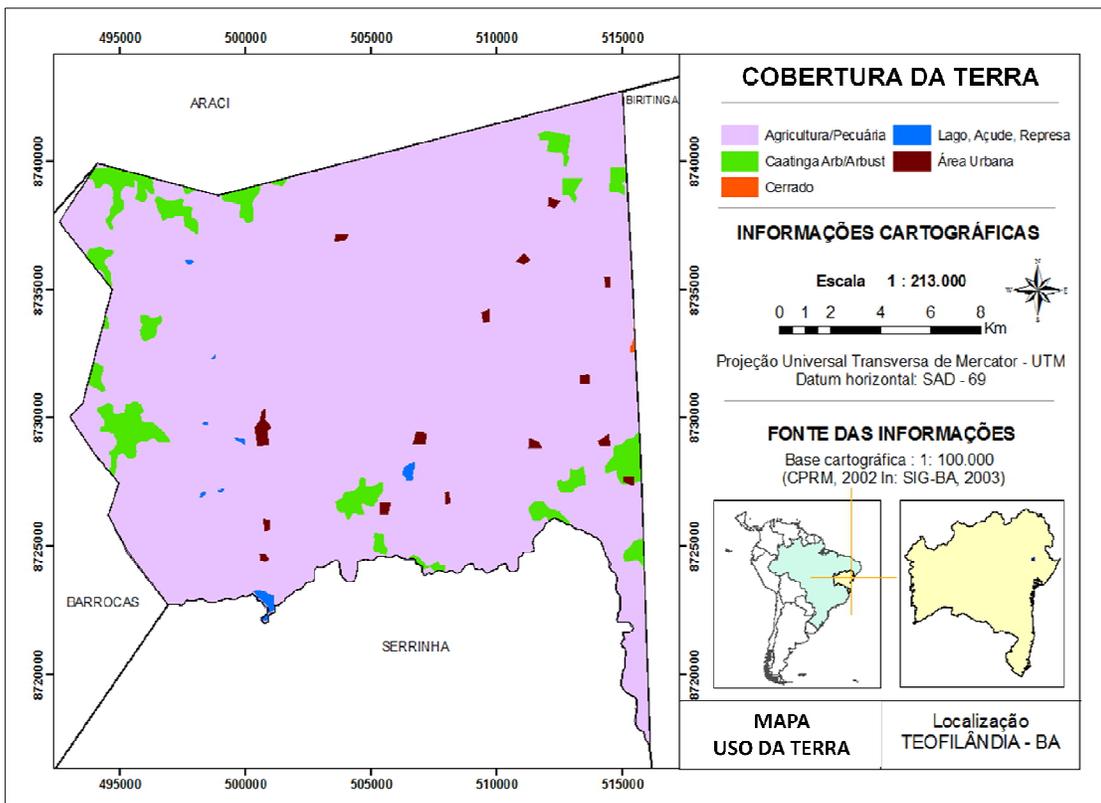


Figura 11: Mapa de usos e coberturas da terra do Município de Teofilândia
Fonte: (EMBRAPA/SUDENE, 1973)

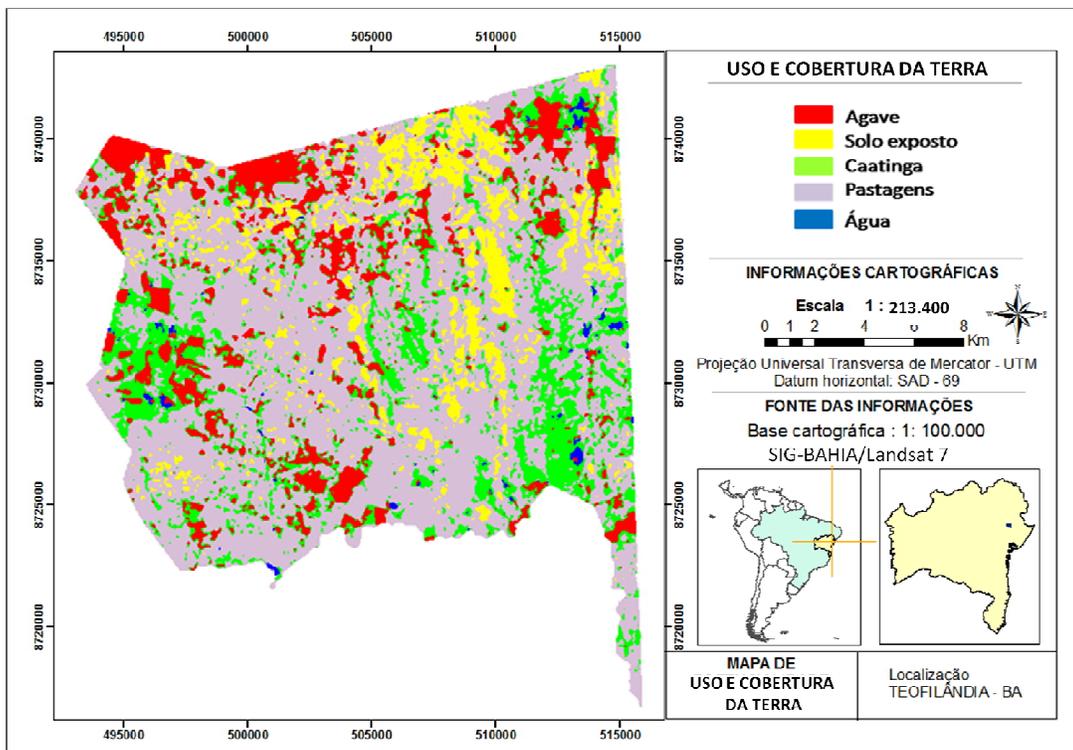


Figura 12: Mapa de uso e cobertura da terra gerado a partir da classificação supervisionada do recorte da cena 216/68 de 2008.

Pensar os aspectos ambientais significa identificar, compreender e analisar a partir dos processos nele envolvidos, as relações entre os atores e suas ações por sobre o espaço. A expressão “uso da terra” segundo Rosa (2003) pode ser entendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem.

O espaço geográfico que o homem ocupa se constitui como elemento e materialização resultante das relações traçadas entre ele e o meio ambiente.

Segundo Felgueiras (2001, p. 15):

o espaço não é humano porque o homem o habita, mas porque o constrói e o reproduz, tornando o objeto sobre o qual recai o trabalho em algo que lhe é próprio. [...] É assim um produto histórico que sofre e sofre um processo de acumulação técnica cultural apresentando a cada momento as características e determinações da sociedade que o produz.

Seguindo essa mesma lógica, Santos (1997, p. 22) diz que:

O espaço é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro único no qual a história se dá.

E ainda diz:

O espaço é hoje um sistema de objetos cada vez mais artificiais, povoado por sistemas de ações igualmente imbuídos de artificialidade, e cada vez mais tendentes a fins estranhos ao lugar e a seus habitantes.

Na lógica de funcionamento e ordenamento do espaço as mudanças que ocorrem no decorrer do tempo fazem parte de sua dinâmica e de sua estrutura. Tais mudanças são percebidas a partir das alterações produzidas pelo homem na paisagem, como ganhos e perdas de espaços territoriais, plantações temporárias e permanentes, construções de barragens, dentre outros.

A organização de um dado espaço se estabelece, portanto, a partir das ações dos agentes que nele estão inseridos, os quais modelam e constroem o espaço a partir da necessidade de cada um. Para Christofolletti (1999, p. 33) a organização “expressa a existência de ordem e entrosamento entre as partes ou elementos

componentes de um conjunto”, e que é a partir do funcionamento e da interação destes elementos que há ação dos processos nele existentes.

Os níveis de hierarquização dos fenômenos ou elementos do espaço passam a orientar os processos de classificação, facilitando a identificação e compreensão de sua ocorrência num dado espaço. Assim, Christofolletti (1999, p.36) menciona que:

A compreensão e a especificação desses níveis de abordagem influenciam e orientam os procedimentos de classificação. A escolha e o emprego dos critérios para estabelecer as classes e os tipos de organizações espaciais precisam ser adequados aos objetos e nível de tratamentos visados pelo pesquisador, e os exemplos citados devem preencher esses requisitos.

A necessidade de se estabelecer critérios de classificação é um fator importante, pois as análises estarão mais próximas da realidade visto que seguirão um padrão de interpretação. Um dado importante é que as organizações espaciais devem ser avaliadas em sua totalidade, buscando caracterizar a importância, função e integração dos elementos constituintes com o sistema em que os mesmos estão inseridos.

Para Christofolletti (2001, p.38) a organização espacial:

pode ser considerada como artefato da atividade social, pois a sua estrutura se organiza como expressão dos valores e necessidades da sociedade, para determinadas circunstâncias tempo-espaciais.

O homem a partir de suas necessidades estabelece padrões de usos que vão se modificando de acordo com as circunstâncias existentes, construindo modelos específicos com uma identidade própria naquele espaço.

Na presente pesquisa é possível identificar na área de estudo, elementos que fazem parte e que são caracterizadores e personificadores do município, pois, todo espaço apropriado trará em si elementos específicos que farão parte de seu contexto histórico de formação.

Para Morais (1988, p. 15):

O espaço produzido é um resultado da ação humana sobre a superfície terrestre que expressa, a cada momento, as relações sociais que lhe deram origem. Neste sentido, a paisagem manifesta a historicidade do desenvolvimento humano, associando objetos fixados ao solo e geneticamente datados. Tais objetos exprimem a espacialidade de organizações sócio-políticas específicas e se articulam sempre numa funcionalidade do presente.

A importância da análise do espaço com base no contexto dos agentes atuantes, é que a partir de suas práticas e materializações, o espaço passa a ter uma estrutura, uma forma e uma lógica de funcionamento, permitindo, portanto, que as análises e interpretações dêem respostas aproximadas da realidade.

A caracterização dos aspectos humanos e naturais de um determinado espaço ou mesmo município, a partir da geração de modelos ambientais, têm-se tornado na atualidade um caminho muito utilizado por diversos órgãos e por instituições privadas, como suporte e estratégia de gestão para fornecer à população melhorias de sobrevivência como também para a conservação da biodiversidade.

Para compreender a dinâmica do espaço, o homem busca encontrar cada vez mais maneiras de “conciliar-se com a natureza” tentando compreendê-la para melhor usá-la. E para que isso seja possível ele constrói instrumentos e técnicas relevantes para o desenvolvimento dos variados estudos que a cada dia surgem sobre o meio ambiente.

Dentre as técnicas referidas, a modelagem tem sido largamente empregada nos últimos anos como instrumento de apoio nos estudos e análises ambientais, como forma de melhor compreender e explicar os fenômenos da paisagem, como também, aproximar-se da realidade a partir da materialização de um dado fenômeno ou objeto, fazendo com que a ciência geográfica e muitas outras tenham em mãos uma ferramenta importante na construção de conhecimentos cada vez mais seguros e confiáveis acerca do objeto de estudo.

O uso de modelos e/ou representações espaciais, a exemplo dos mapas temáticos, se constituiu durante séculos como um importante aporte na divulgação dos conhecimentos geográficos. Na contemporaneidade, com o avanço da tecnologia, as formas de representação do espaço, têm incorporado importantes técnicas e instrumentais para a geração de resultados mais precisos e confiáveis.

Assim, para Shilling (1964, apud HAGGET e CHORLEY, 1997, p.03):

o modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma idéia estruturada. Pode ser uma função, uma relação ou uma equação. Pode ser uma síntese de dados. E, mais importante do ponto de vista geográfico, pode incluir também argumentos sobre o mundo real por meio de representações no espaço (para produzir modelos espaciais) ou no tempo (para produzir modelos históricos).

As argumentações apresentadas referem-se à construção de modelos que estão, em grande parte, diretamente ligados a uma base teórica que sustenta e dão credibilidade as informações geradas.

No processo de evolução da cartografia, várias técnicas foram empregadas para a melhoria da qualidade das representações espaciais, dentre estas, ferramentas tecnológicas como o geoprocessamento, o uso de Modelo Digital de Terreno (MDT), entre outros.

Pereira e Silva (2001, p. 97) mencionam que a cartografia com o passar do tempo é marcada pelo desenvolvimento tecnológico, pela influencia da necessidade militar, pelo levantamento de recursos naturais e na atualidade, pelo controle através do monitoramento ambiental. As informações geográficas colhidas e processadas passam então a se constituir como um modelo espacial servindo de base estratégica na administração, planejamento e pesquisa de cidades e regiões.

De acordo (PEREIRA e SILVA 2001, p.101) o modelo espacial representa "... um sistema – modelo – que representa um outro sistema – sistema do mundo real... acrescentando novos horizontes às atividades de análise, planejamento, projeto e gestão", quebrando uma série de limitações no processo de apresentação de informações geográficas que os mapas analógicos ofereciam e que depois de elaborados eram mais difíceis de serem reajustados ou corrigidos.

Segundo Chorley e Haggete (1975): "... os modelos podem ser considerados como aproximações seletivas que, pela eliminação dos detalhes acidentais, permitem salientar alguns aspectos fundamentais, importantes ou interessantes do mundo real sob forma generalizada".

De acordo com o autor os modelos se constituem como representações do mundo real, e que pelo tratamento dos dados é possível extrair informações relevantes para a compreensão dos elementos existentes do espaço. Contudo, é necessário deixar implícito que aproximações, generalizações e hipóteses sobre o objeto estudado, ocorrerão na hora de sua construção e interpretação. Para Pereira e Silva (2001, p.100) o modelo é: "... na sua essência uma representação

simplificada da realidade, uma abstração da realidade que, para ter mais clareza conceitual, reduz a complexidade do mundo real a aspectos que são relevantes para os propósitos da sua construção.”

Segundo os autores, os modelos espaciais se constituem como uma generalização de um determinado elemento, fato ou fenômeno, facilitando a compreensão dos aspectos constituintes da paisagem através da interpretação de todo o sistema o qual na situação real não é possível experimentar ou conhecer. Um exemplo é o estudo do uso da terra em pequenas escalas (1: 500.000, 1: 1.000.000), que devido a sua extensão torna-se na maioria das vezes, inviável avaliar e conhecer toda a área de estudo a partir de pesquisas de campo, só sendo possível a partir do uso de ferramentas de geoprocessamento.

Assim, para Pereira e Silva (2001, p.100), “a vantagem de utilizar um modelo é poder testar e avaliar um sistema em situações nas quais não é possível – por razões técnicas, econômicas ou políticas – experimentar ou construir a situação real”. Diante do enfoque sobre a análise do uso e cobertura da terra e o seu rebatimento no processo de escoamento superficial, é possível compreender a importância da quantificação e avaliação dos dados da área de estudo através da construção do mapa modelo com a identificação das classes contendo os principais usos e coberturas existentes.

De acordo, Apostel (1961, p.03 apud CHORLEY e HAGETT, 1975, p. 05), os modelos têm sua importância por se constituírem como uma ponte entre os níveis de observação e a teoria e se caracterizam por se preocuparem com a simplificação, a redução, a ação, a ampliação, a globalização, a formação de teorias e a explicação.

Na elaboração de um mapa temático, é necessário conhecer a maioria dos processos que estão envolvidos na construção de um determinado fenômeno ou objeto, ou seja, buscar não apenas em um ou outro elemento a resposta daquele fato, mas no conjunto dos elementos do sistema, para que se obtenha resultados apurados.

Em outras palavras, é necessário identificar quais elementos ou fatores influenciam diretamente para a ocorrência do escoamento superficial, pois a partir de sua identificação e análise é possível determinar com maior precisão a sua ocorrência.

Pereira e Silva (2001) argumentam ainda, que os modelos são instrumentos da abordagem sistêmica, representando a estrutura, o funcionamento e a inter-relação dos seus elementos, sendo, portanto, uma explicação “suficiente” deste sistema, mas não estando representada na totalidade do modelo.

Os modelos como instrumento de análise ambiental tem sido utilizado por inúmeros pesquisadores de várias ciências, que apoiados nestes modelos, têm conseguido a cada dia resultados cada vez mais confiáveis e próximos da realidade. A validação em campo constitui-se como um fator imprescindível para que os dados adquiridos tenham confiabilidade e possam servir como base para outros estudos.

A construção de um modelo constitui-se nada mais do que a representação estática de um fenômeno ou objeto que na maioria das vezes é dinâmico, demonstrando, assim, a complexidade que há em torno de sua elaboração.

Sobre esse assunto Santos (2006 p. 112) exprime:

as formas estáticas de representação que são aplicados em GIS não apreendem, a natureza do evento de maneira eficaz. Afirma-se, então, hodiernamente, que o desafio das Ciências Ambientais e das Ciências da Informação Espacial se traduz no aprimoramento e construção de técnicas inovadoras que consigam representar satisfatoriamente os fenômenos espaço-temporais essencialmente dinâmicos.

A necessidade de buscar instrumentos e técnicas cada vez mais precisos tem levado os cientistas do geoprocessamento a construir programas cada vez mais sofisticados e tecnicamente mais contemporâneos, como resposta às necessidades da evolução dos estudos sobre os sistemas ambientais dinâmicos.

Ainda à luz dos estudos de Santos (2006 p. 116) o mesmo ainda menciona que:

A perspectiva dos estudos ambientais contemporâneos aponta na direção da investigação de processos ambientais dinâmicos, uma vez que é significativo o desenvolvimento científico nos vários ramos do saber onde se aborda a complexidade dos processos da natureza somado às intervenções sociais, ou seja, uma série de interligações cada vez mais complexas e aleatórias e/ou imprevisíveis.

O estudo do uso e cobertura da terra é considerado como parte integrante desse processo dinâmico, pois, as mudanças sofridas pelos múltiplos usos do

território provocam uma dinâmica e uma mutabilidade constante na paisagem tornando o seu mapeamento extremamente complexo.

No contexto dos estudos das ciências que se dedicam à análise ambiental, o aprimoramento de softwares e das técnicas de processamento, tem estimulado a geração de informações e conhecimentos tendo como base as geotecnologias.

Muitas são as vantagens a partir da utilização de técnicas de modelagem ambiental, a exemplo da identificação de áreas degradadas, da avaliação de impactos ambientais, da representação e simulação de fenômenos naturais e sociais, dentre outros.

O desenvolvimento de pesquisas sobre a análise ambiental a partir do uso e cobertura da terra tem trazido novos conhecimentos sobre a situação em que se encontram os sistemas ambientais. Com o uso do geoprocessamento, novas metodologias são desenvolvidas para aquisição desses conhecimentos que passam a possuir operacionalidades inovadoras de análise.

3.3 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DAS RESERVAS HÍDRICAS NO SEMI-ÁRIDO.

Um dos grandes problemas enfrentados por municípios localizados no polígono da seca é a irregularidade das chuvas, o que acaba levando à falta de água durante uma considerável parte do ano. Historicamente a falta de reservas d'água sempre se constituiu como um dos principais problemas sociais da região nordestina, repercutindo seriamente na evolução destas populações. A água é neste sentido, elemento fundamental para o desenvolvimento econômico e fator determinante para o bem estar do homem nordestino.

No Direito Ambiental, a água se apresenta como elemento fundamental para a vida, onde cada indivíduo tem o direito ao acesso. Segundo Antunes, (1998, p. 325) "a água é um elemento indispensável a toda e qualquer forma de vida". E ainda aponta alguns dos princípios fundamentais para a utilização sustentada das águas e para a sua conservação para as futuras gerações, como se segue:

"a) A água é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente;

b) O desenvolvimento e a administração da água devem estar baseados em uma abordagem participativa, envolvendo os usuários, planejadores e elaborados de políticas públicas, em todos os níveis;”

A importância da água está diretamente ligada ao desenvolvimento do homem em termos econômicos e sociais, onde este, para se manter e manter sua propriedade depende da quantidade e da qualidade disponibilizada deste recurso. Para que a população do semi-árido tenha acesso à água nos períodos mais críticos, as barragens tornam-se a principal fonte de manutenção das necessidades humanas e animais.

Segundo Cadier (1984), “Numa região submetida regularmente ao flagelo de secas dramáticas, o açude, reservatório de água oferta à vista, constitui uma reserva palpável e por isso adquiriu um valor simbólico, à margem da sua efetiva e concreta importância”. Além do valor de consumo, existe também a importância simbólica das reservas para o homem nordestino, como forma de segurança para os períodos críticos das secas que geralmente ocorrem nesta região.

O desenvolvimento de pesquisas sobre recursos hídricos tem crescido nos últimos anos, reflexo da necessidade cada vez maior da busca de soluções para o problema do acesso à água. Mota (1995, p. 11), afirma que “entre os recursos naturais que o homem dispõe, a água aparece como um dos mais importantes, sendo indispensável para a sua sobrevivência”. O autor retrata a importância essencial da água para o ser humano, e de se criar mecanismos e métodos de aproveitamento principalmente em lugares onde a sua disponibilidade é extremamente difícil.

Uma questão citada por Morais, (2002), através da Lei nº. 9.433 de 08 de Janeiro de 1997, art. 1º, § III, diz que “em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”. Molle, (1982), afirma que:

O estímulo ao aproveitamento dos recursos naturais do Nordeste constitui um dos compromissos prioritários da SUDENE. Neste contexto, a formação de estoques de água, através da construção e recuperação de açudes e barragens – a partir da utilização das águas superficiais e subterrâneas – é de fundamental importância para as populações rurais e urbanas, e para o desenvolvimento da agricultura e da pecuária. (p.14)

Dentro desta perspectiva é preciso compreender que a necessidade de consumo de água no semi-árido, envolve uma complexa dinâmica, pois nos momentos mais graves de estiagem, toda a vida nela existente passa a depender das reservas de água, e sem estas a sobrevivência torna-se extremamente difícil.

Além destes problemas, é comum também que no período chuvoso a maior parte da água precipitada se perder por não haver aproveitamento do escoamento superficial, a partir da retenção por barramentos.

Segundo Pfafstetter (1976, p.09) a esse processo de escoamento superficial é conhecido tecnicamente como deflúvio superficial, que se constitui como “a parte da água do globo terrestre que circula sobre a superfície do solo, escorrendo, na sua maior parte, nas depressões do terreno que formam os leitos dos cursos de água.” Como nas regiões semi-áridas as condições econômicas da população são reduzidas, os deflúvios superficiais se constituem em fontes de água de baixo custo sendo apenas necessária a construção estratégica dos reservatórios.

Diante deste impasse, propõe-se nesta dissertação uma metodologia que forneça respostas práticas à identificação de captação de água no nordeste, destacando as áreas potenciais à construção de reservas hídricas. Para isso, as geotecnologias é a base principal para mapear e espacializar com riqueza de detalhe os fenômenos que ocorrem num determinado território.

Enfatiza também como os diversos usos da água são fundamentais para a sobrevivência do homem, e em especial o homem do campo, constituindo-se como uma possível medida de prevenção para os problemas de ordem econômica e social da maioria das famílias rurais nordestinas que sofrem no período mais grave da estiagem.

3.4 GESTÃO DE RESERVAS HÍDRICAS

Há décadas, o nordeste brasileiro é visto como uma região pobre de recursos naturais, motivado pela idéia de que, por possuir chuvas irregulares, não fornece condições naturais de sobrevivência às suas populações. Contudo, em períodos chuvosos, grande parte das águas do escoamento superficial se perde por não existir áreas de captação ou mesmo ausência ou má localização, o que reflete a

necessidade de estudos técnicos que analisem as condições estruturais de cada região e viabilizem projetos de construção de reservas hídricas superficiais.

Além deste problema, os recursos financeiros direcionados à construção de açudes e barragens, não são aplicados para o fim a que se destinam devido questões e interesses de políticas locais. Diante deste impasse, percebe-se que na medida em que a água se torna escassa em uma região, o conhecimento de parâmetros hidrológicos relacionados com o uso desse recurso hídrico passa a ter fundamental importância para o seu gerenciamento adequado, visando a minimizar as restrições e os conflitos pelo seu uso (SETTI et al., 2001).

Para que o acesso às reservas hídricas pelas populações rurais em regiões semi-áridas seja equacionado, é necessária a análise e implantação de políticas públicas direcionadas à gestão das reservas hídricas e de estudos técnicos para viabilidade das áreas em que serão implementadas estas reservas.

Segundo Molle (1992. p.13 apud F. GUERRA, 2003)

Grande parte do Nordeste oferece, de fato, condições muito favoráveis à construção de açudes. “O solo do sertão se oferece por todos os lugares à construção de açudes; córregos, rios, riachos, correm apertados entre altos, que de distância em distância, apresentam baixios, várzeas, ou pequenos vales, que logo adiante, de novo estreitam a passagem das águas.

Devido à ausência de projetos voltados para o acesso à água em zonas rurais por parte dos órgãos estaduais e federais, é que a própria sociedade através de organizações não governamentais cria estratégias para a convivência com o semi-árido, a partir de adoção de diversas técnicas de captação e retenção da água da chuva. Das organizações citadas, destacam-se o Movimento de Organização Comunitária (MOC) e a Articulação no Semi-Árido Brasileiro (ASA) que na busca por técnicas para a captação da água proporcionam melhorias para a convivência das populações sertanejas com o semi-árido.

Dentre as medidas criadas por esses órgãos pode-se destacar a criação de algumas técnicas de captação de água, das quais:

1- Caldeira ou Tanque de Pedra: Constitui-se de uma tecnologia comum em áreas de serra ou onde existem lajedos, que funcionam como área de captação da

água da chuva. São fendas largas, barrocas ou buracos naturais, normalmente de granito, que armazenam água da chuva, e seu volume varia muito. Para aumentar a sua capacidade, são erguidas paredes de alvenaria, na parte mais baixa ou ao redor, que servem como barreira para acumular água. Quanto mais alta for a parede, maior será a capacidade de armazenamento. A água acumulada nos caldeirões é mais uma reserva que garante o abastecimento das casas. Em geral, a água é utilizada nos afazeres domésticos e para o consumo dos animais (Figura 13).



Figura 13: Foto do Barreiro ou Tanque de pedra

2- Barragem Subterrânea: é construída em áreas de baixio e em leitos de riachos. É um barramento, normalmente de lona plástica, construído em subsuperfície, que retém a água da chuva que escorre subsuperficialmente (Figura 14). A água armazenada abastece o poço e pode ser utilizada em pequenas irrigações, possibilitando que as famílias agricultoras produzam no Semi-Árido durante o ano inteiro. No inverno é possível plantar na área da barragem culturas que necessitam de uma quantidade abundante de água, a exemplo do arroz e alguns tipos de capim.



Figura 14: Foto da Construção de barragem subterrânea.
Fonte: www.imagensgoogle.com.br, 2009.

3- Barragem Sucessiva: é uma parede de pedra, argamassa e concreto, construída de uma margem a outra de rios e riachos para reter a água que será utilizada durante o período seco (Figura 15). Dentre as utilidades é reter a água no leito dos rios, permitindo aumentar o nível de água nos poços escavados nos baixios próximos. Também visa a perenização de rios temporários do semi-árido brasileiro. É uma técnica de grande eficiência para fazer irrigação de lavouras e de pastagens e servir de fonte de dessedentação dos animais.

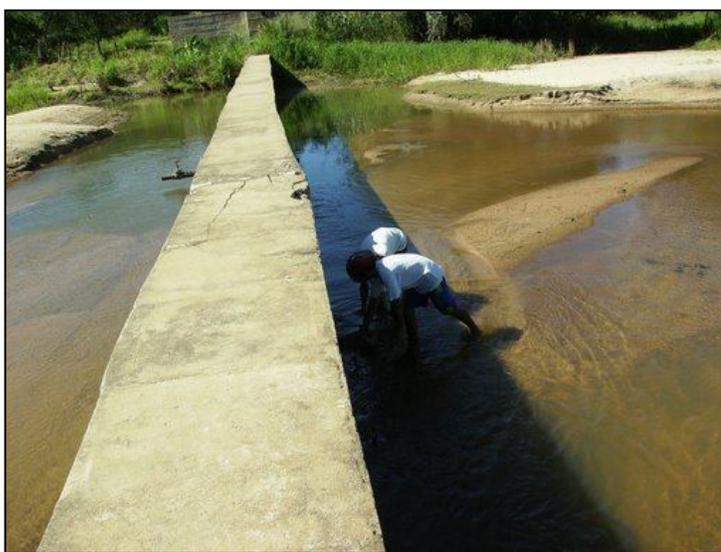


Figura 15: Foto de Barragem sucessiva.
Fonte: www.imagensgoogle.com.br

4- Barreiro: é uma pequena represa de barro, com sangradouro lateral rudimentar, que seca todo ano e serve principalmente de bebedouro intermitente para o gado (Figura 16).



Figura 16: Foto do Barreiro de porte pequeno

5- O pequeno açude: Sem dúvidas o mais difundido (Figura 17), serve principalmente para assegurar o abastecimento durante a estação seca, de maneira a estabelecer a junção entre dois períodos chuvosos, embora não seja de nenhuma serventia para lutar contra secas prolongadas; a probabilidade de ficar sem água (ou com água barrenta, não potável) é grande para que, em geral, seja a única fonte d'água disponível. (MOLLE, 1992, p. 15)



Figura 17: Foto do Pequeno açude.

Segundo Duque (2004, p.294) a barragem:

exerce uma função preponderante na economia da região e na preservação dos recursos naturais do País. Prendendo a água e fixando a terra agrícola, ela cria um conjunto de condições favoráveis à vida animal e vegetal em torno; ela permite um adensamento de população humana, vegetal e animal que forma centros de interesses produtivos, educativos e sociais; ela faz convergir forças naturais e humanas em harmonia com as necessidades essenciais da vida para um progresso e bem-estar gerais de modo mais racional e permanente.

A busca por mecanismos que atendam às principais necessidades e auxiliem na sobrevivência do homem nordestino, constitui-se como um passo importante para o desenvolvimento das populações que ocupam o semi-árido.

Além das ações desenvolvidas por instituições comunitárias, as ações governamentais se apresentam como pontos fundamentais na realização de projetos sociais a exemplo da construção de cisternas, perfuração de poços e construção de aguadas em regiões com maior incidência de escassez.

O aproveitamento da água da chuva, do escoamento superficial e de vazões de cursos intermitentes nas regiões semi-áridas, tem se tornado uma das poucas opções de acesso a água para o abastecimento humano, dessedentação de animais e irrigação de pequenas propriedades. A partir da construção de novos pontos de barramento aumentam-se as fontes de água proporcionando melhorias das propriedades rurais que dependem da água para se desenvolver.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo por objetivo identificar áreas com potencialidades de escoamento e retenção hídrica superficial em regiões semi-áridas, que este capítulo apresenta um quadro técnico-metodológico das etapas a serem desenvolvidas para a realização da pesquisa (Quadro 03).

As etapas seguem de forma geral os seguintes passos:

- 1- Revisão bibliográfica;
- 2- Coleta de dados da área de estudo, tais como **mapas observacionais** que se constitui de todo material que descreve o mundo real com um mínimo de interpretação, a exemplo de imagens de satélite, mapas geológicos, pedológicos, geomorfológico, de uso e cobertura da terra e fotografias;
- 3– Estruturação de um banco de dados com informações e arquivos necessários para o desenvolvimento tanto da base teórica quanto da base de processamento;
- 4 – Geração de **mapas analíticos** e **mapas fundidos**;
- 5 - Pesquisa de campo para validação dos dados gerados em laboratório;
- 6 - Integração e interpretação dos dados produzidos e colhidos em campo;
- 7 – Produção e discussão do mapa temático final de potencial de escoamento e retenção hídrica superficial;

Quadro 03 – Etapas metodológicas da pesquisa (materiais e métodos)

ETAPAS	DADO	PROCESSO	PRODUTO	TÉCNICA	SOFTWARE
Aquisição de dados (SIG)	1- MDT; 2-Mapas observacionais: solo, geológico, geomorfológico, hidrogeológico, vegetação, limite municipal, hidrográfico de órgãos institucionais.	1-Recorte dos temas tendo como base o limite municipal.	1- Mapas temáticos.	1- Máscara	1- Global mapper 2- Arc Gis.
Identificação dos usos da terra	1-Imagem LANDSAT ETM+, cena 216/68, 2008.	1- Classificação não-supervisionada e supervisionada	1- Mapa de uso e cobertura da terra.	1- Maxima verossimilhança	1- ENVI; 2- Arc Gis.
Modelagem do escoamento superficial	1- Modelo Digital de Terreno (MDT).	1- Extração de mapas analíticos.	1- declividade; 2- direção de fluxo; 3- aspecto; 4- escoamento; 5- índice de umidade 6- índice de sinuosidade 7- sub-bacias	1- Feature Extraction 2- Linhas de maior declive	1- IDRISI; 2- Arc Gis; 3- Global Mapper.
Análise de viabilidade da área	1- Mapas analíticos, observacionais e temáticos.	1- Operações algébricas de mapas	1- Índice de Sinuosidade 2- Índice de umidade 3- Áreas de retenção de água 4- Áreas sugeridas para barragem de terra	1- Operações algébricas cumulativas e não-cumulativas	1- IDRISI; 2- Arc Gis; 3- Global Mapper.
Coleta de campo	1- GPS; 2- Mapas anteriormente processados;	1- Aquisição de pontos de GPS; 2- Fotografias; 3- Descrição ambiental;	1- Identificação de áreas de escoamento e retenção;	1-Observação do espaço	1- GPS; 2- Mapas analógicos.

As etapas acima listadas podem ser vistas esquematicamente a partir do fluxograma da Figura 18:

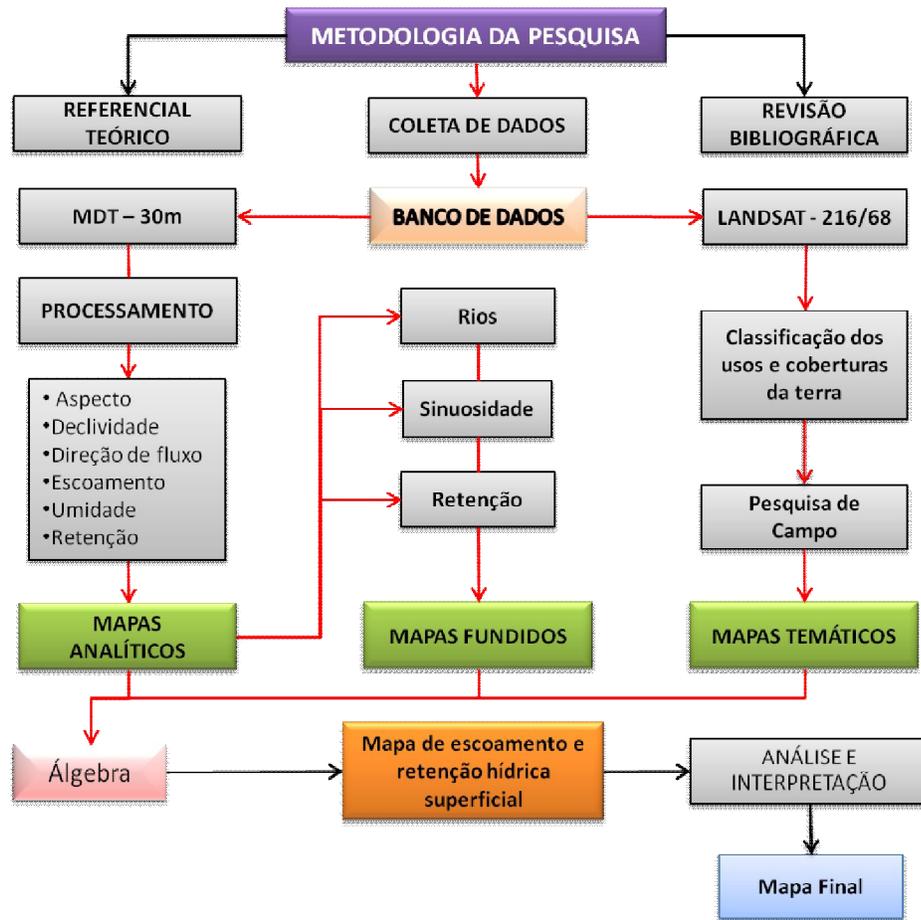


Figura 18 – Fluxograma Metodológico da Pesquisa

O método de construção de modelos integrados onde são analisados simultaneamente os elementos da paisagem, tem como característica a aproximação dos fenômenos da realidade, indo das constatações mais particulares às leis e teorias, testando posteriormente a partir do laboratório e do trabalho de campo a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese.

Considerando a necessidade de apresentar planos de aproveitamento das águas superficiais para o desenvolvimento da região, são utilizadas principalmente técnicas de modelagem a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT), para identificação das características físico-estruturais dos sistemas hídricos que tem como principal unidade de análise as micro-bacias locais.

4.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS

4.1.1 Aquisição de Dados (SIG)

Para a pesquisa foi construído um banco de dados contendo os arquivos necessários ao desenvolvimento tais como: imagem de satélite, mapas observacionais de geologia, hidrogeologia, hidrografia, geomorfologia e de solos de órgãos como a SEI e do IBGE, o Modelo Digital de Terreno (MDT) da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), identificação de técnicas de processamento e armazenamento de dados baseados na escolha da ferramenta mais acessível para a manipulação do MDT, compatibilização de todos os dados (Projeção cartográfica, números de linhas e colunas, tamanho do pixel). Esse procedimento permite gerar resultados mais precisos para identificar padrões de escoamento, áreas de umidade e retenção hídrica superficial existentes na área de estudo

4.1.2 Identificação dos Usos da Terra

Para a identificação dos usos da terra foi utilizado o recorte da cena LANDSAT ETM+, 216/68, e utilizada a técnica de classificação supervisionada como parâmetro a seleção de píxeis representativos de uma determinada classe. Para orientar esse procedimento foi aplicada anteriormente no recorte da cena uma classificação não-supervisionada (automática) para um reconhecimento prévio dos alvos da imagem. Munido do mapa com as classes geradas a partir classificação supervisionada e dos dados de campo, foram aplicados os cálculos de validação para a comprovação dos resultados. Esse procedimento permite fazer comparativos entre os resultados do processamento digital e a classificação da imagem de satélite.

4.1.3 Modelagem do Escoamento Superficial.

Para compreender a dinâmica do escoamento superficial é necessária uma metodologia para identificar o padrão topográfico da área, ou seja, as características da superfície e/ou do relevo nela existentes. O fluxograma a seguir, descreve esquematicamente a metodologia adotada para o processamento do MDT na

construção/elaboração dos principais mapas analíticos necessários para a identificação do padrão de escoamento superficial do município.

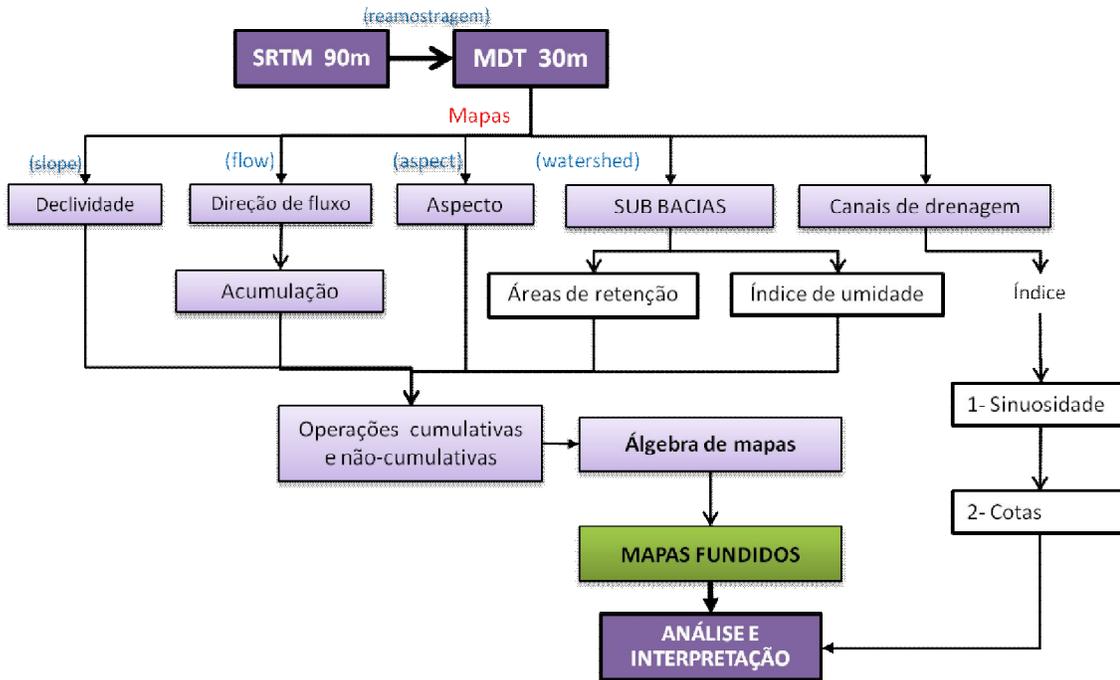


Figura 19 – Fluxograma Metodológico do processamento do MDT para extração das principais variáveis a serem aplicadas na álgebra de mapas.

De acordo o fluxograma (Figura 19) a base de dados principal é o MDT o qual foi reamostrado para 30 metros. Posteriormente foram extraídas as principais variáveis (mapas de declividade, direção de fluxo, aspecto, umidade, etc.), necessárias para o processamento do mapa de potencialidade gerado a partir da álgebra de mapas.

Com os mapas extraídos do MDT segue-se para a fase de fusão dos *mapas analíticos (álgebra de mapas)*. Da fusão entre os mapas analíticos e observacionais obteve-se os *mapas fundidos* derivados de operações algébricas cumulativas, tais como adição, multiplicação e subtração.

As etapas se dividem pela reamostragem do MDT, extração dos mapas derivados (imagens em falsa cor, mapas de declividade, direção de fluxo, aspecto, de escoamento superficial, índice de umidade), álgebra de mapas para a geração do mapa de potencialidade hídrica e finalmente análise e interpretação dos resultados.

4.1.4 Análise de Viabilidade da Área

Para a avaliação do potencial da área foram utilizados métodos de análise a partir da fusão de mapas analíticos e observacionais. Os mapas analíticos constituem-se de mapas originados do MDT, a exemplo do mapa de direção de fluxos e do mapa de declividades. A partir destes mapas são aplicadas operações algébricas não-cumulativas gerando por sua vez mapas integrados. A fusão pode ser compreendida como uma sobreposição matemática, ou seja, combinar diferentes planos de dados para produzir um resultado composto como adicionar, subtrair, multiplicar e dividir. (EASTMAN, 1998). Com a fusão dos mapas é possível identificar padrões distintos de escoamento e de retenção de águas superficiais, levando em consideração a influência de um determinado elemento em relação a outro, estabelecendo padrões potenciais, determinando assim, a viabilidade da área para aproveitamento dos recursos hídricos superficiais.

4.1.5 Coleta de Campo

Nesta fase são adquiridos informações e dados necessários para a confirmação dos resultados elaborados em laboratório. Das informações mencionadas, tem-se a aquisição de pontos de coordenadas por GPS para a validação dos mapas, a descrição dos aspectos físicos da paisagem (relevo, vegetação, usos da terra) para reconhecimento dos processos atuantes em cada área específica. Nesta etapa foram adquiridos 37 pontos (ANEXO A) que representam especificamente a localização exata de áreas com presença de barragens, açudes, tanques e riachos presentes na área de análise e 80 pontos de áreas diferenciadas para a validação do mapa de uso e cobertura da terra (Figura 20).

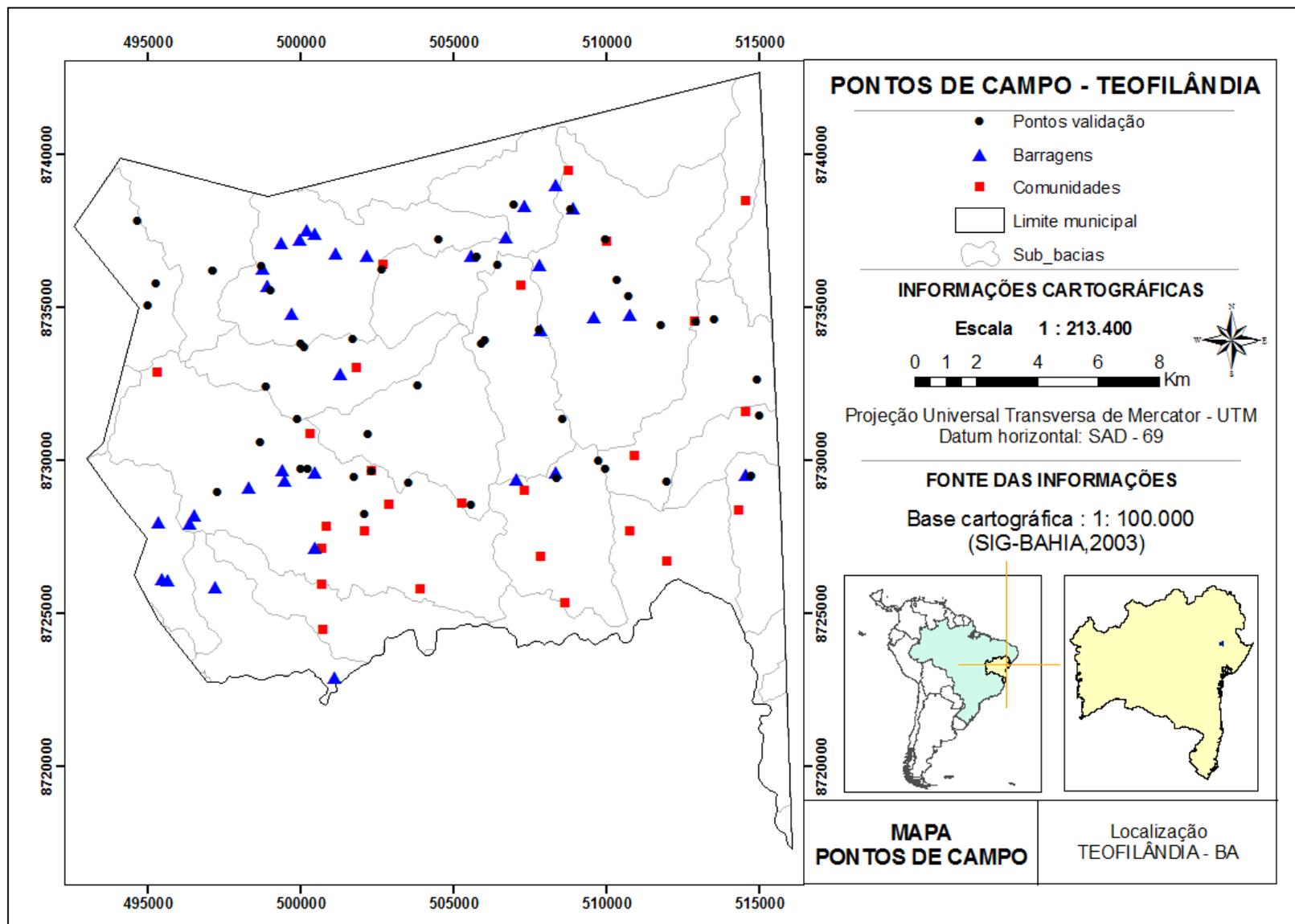


Figura 20: Pontos de campo realizados no município de Teofilândia-BA para validação dos dados.

5 PROCESSAMENTO DO MDT E DA IMAGEM LANDSAT ETM+

Neste capítulo são descritos os principais conceitos e métodos utilizados para o processamento do MDT e da Imagem Landsat ETM+, detalhando-se também os procedimentos metodológicos utilizados para a aquisição dos resultados finais desta pesquisa. Contém também resultados preliminares que se constituem fundamentais para o processamento dos dados finais a partir da álgebra de mapas.

5.1 PROCESSAMENTO DA IMAGEM LANDSAT ETM+

O objetivo da classificação é buscar identificar os diversos usos e coberturas existentes no município, principalmente a presença de corpos d'água na superfície do território. Com as classes identificadas é possível traçar correlações entre os resultados obtidos pelo Processamento Digital de Imagens (PDI) e a classificação supervisionada, a partir dos elementos contidos no espaço. Neste tópico, são detalhados os passos para a obtenção do mapa de uso e cobertura da terra.

5.1.1 Correção Atmosférica

Para o processamento da imagem é necessário identificar se a cena utilizada já possui as correções geométricas e atmosféricas. No caso em específico as correções já tinham sido realizadas na cena 216/68 pela FUNCATE. A correção atmosférica constitui-se pelo processo que objetiva segundo Novo (1995, p 224), reduzir os efeitos da interferência da atmosfera sobre os valores de nível de cinza de uma determinada cena.

Os efeitos atmosféricos têm uma ligação direta ao comprimento de onda da radiação eletromagnética e da composição química da atmosfera, tendo como efeito a absorção, o espalhamento e a refração da luz.

A subtração do menor valor de radiância dos alvos escuros, com comprimento de onda do infravermelho (1 μm - 1 mm) se baseia na idéia de que uma imagem possui píxeis com radiância abaixo da sensibilidade de captação do sensor, resultante da topografia e da presença de sombras de nuvens da cena imageada,

sendo necessário, portanto, subtrair os baixos valores para equilibrar os níveis de cinza da imagem.

5.1.2 Correção Geométrica

A correção geométrica está relacionada a reamostragem de píxeis em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica, tendo por função corrigir distorções de caráter geométrico que ocorre no momento em que a imagem é adquirida. Das distorções que ocorrem podem ser citadas aquelas referentes à curvatura da terra, problemas de detecção do sensor, da velocidade, da variação de altitude entre outros.

Esse método proporciona que a imagem não tenha distorções expressivas e possua uma boa qualidade geométrica. Das técnicas para correção geométrica, as principais são: a interpolação bilinear, interpolação do vizinho mais próximo e a convolução cúbica.

5.1.3 Tripleto de Bandas

Para o início do processamento de classificação da imagem, cujo objetivo reside em identificar as principais classes é necessário definir as bandas que melhor se aplicam para a identificação dos objetos alvos (água, uso da terra, vegetação).

Neste sentido, para a seleção de bandas em PDI é necessário calcular o valor da variância e da covariância das bandas da imagem e posteriormente a correlação que melhor se aplica. Esses cálculos determinam a seqüência de valores de todas as bandas e como elas estão correlacionadas.

Em seguida, aplica-se o coeficiente de correlação, que se constitui por um cálculo que define estatisticamente a melhor interação existente entre 3 bandas (tripleto), significando um melhor resultado visual dos alvos da imagem (Rank visual).

Para início do processamento foram selecionadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 necessárias para o início dos cálculos acima mencionados. Cada banda passa a ser avaliada individualmente, pois seus valores nos cálculos de variância e covariância

são fundamentais para determinar aquela que se destaca das demais (maior valor). Quanto maior for o valor desta banda em relação às outras, menor correlação existirá entre elas, o que proporciona um bom resultado para a composição RGB.

Tabela1 Matriz de variância e covariância

COVARIÂNCIA	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
BANDA 1	134,6					
BANDA 2	81,0	53,6				
BANDA 3	138,0	90,0	163,0			
BANDA 4	44,3	35,3	46,2	88,2		
BANDA 5	299,1	183,5	337,4	105,2	1.099,0	
BANDA 7	191,6	119,0	220,6	54,8	638,5	398,5

Identificada a primeira banda, parte-se para a tabela de matriz de correlação. Das bandas analisadas, aquelas que possuírem menores valores de correlação serão as bandas escolhidas.

Tabela 2 Matriz de coeficiente de correlação

CORRELAÇÃO	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 7
BANDA 1	1,00					
BANDA 2	0,95	1,00				
BANDA 3	0,93	0,96	1,00			
BANDA 4	0,40	0,51	0,38	1,00		
BANDA 5	0,77	0,75	0,79	0,33	1,00	
BANDA 7	0,82	0,81	0,86	0,29	0,96	1,00

Na tabela de matriz de correlação é possível identificar dentre as bandas aquela que possui o maior valor. Isso significa que esta banda não pode ser utilizada devido o seu alto valor de correlação com as demais bandas. Para definir a posição de cada banda calcula-se o OIF (CHAVEZ et al, 1982) que se constitui pelo Rank

formado pelo tripleto de bandas. O rank é definido pelo valor do OIF, pois quanto maior for o valor, melhor será a composição colorida para o objetivo do estudo.

Contudo, o cálculo do OIF, fornece mais de duas possibilidades de composição, sendo necessário, assim, que o próprio pesquisador escolha visualmente o tripleto que melhor se aplica à sua pesquisa sendo necessário, portanto, a realização do rank visual.

Tabela 03 – Rank com os valores dos melhores resultados da composição de bandas RGB

RANK	OIF	TRIPLETO (RGB)	RANK VISUAL
1º	36,35	435	1º
2º	35,54	415	4º
3º	31,01	425	3º
4º	27,27	437	2º
5º	25,25	357	5º

5.1.4 Classificação Não-supervisionada e Supervisionada

Após definido o conjunto de bandas e seus respectivos canais, passa-se à classificação da imagem. Num primeiro momento aplica-se uma classificação não-supervisionada, cujo intuito é poder observar e identificar em um primeiro momento, padrões espectrais de alvos na imagem.

Realizada esta etapa é possível, a partir das classes geradas automaticamente, ter uma noção de cada elemento existente na área de estudo. Esse procedimento constitui-se como um primeiro e importante passo antes da classificação supervisionada, onde o próprio pesquisador colhe os pixels representativos de cada alvo ou elemento da paisagem e posteriormente aplica um algoritmo classificador (máxima verossimilhança) com um filtro de média gerando assim o mapa com as classes determinadas (Figura 21).

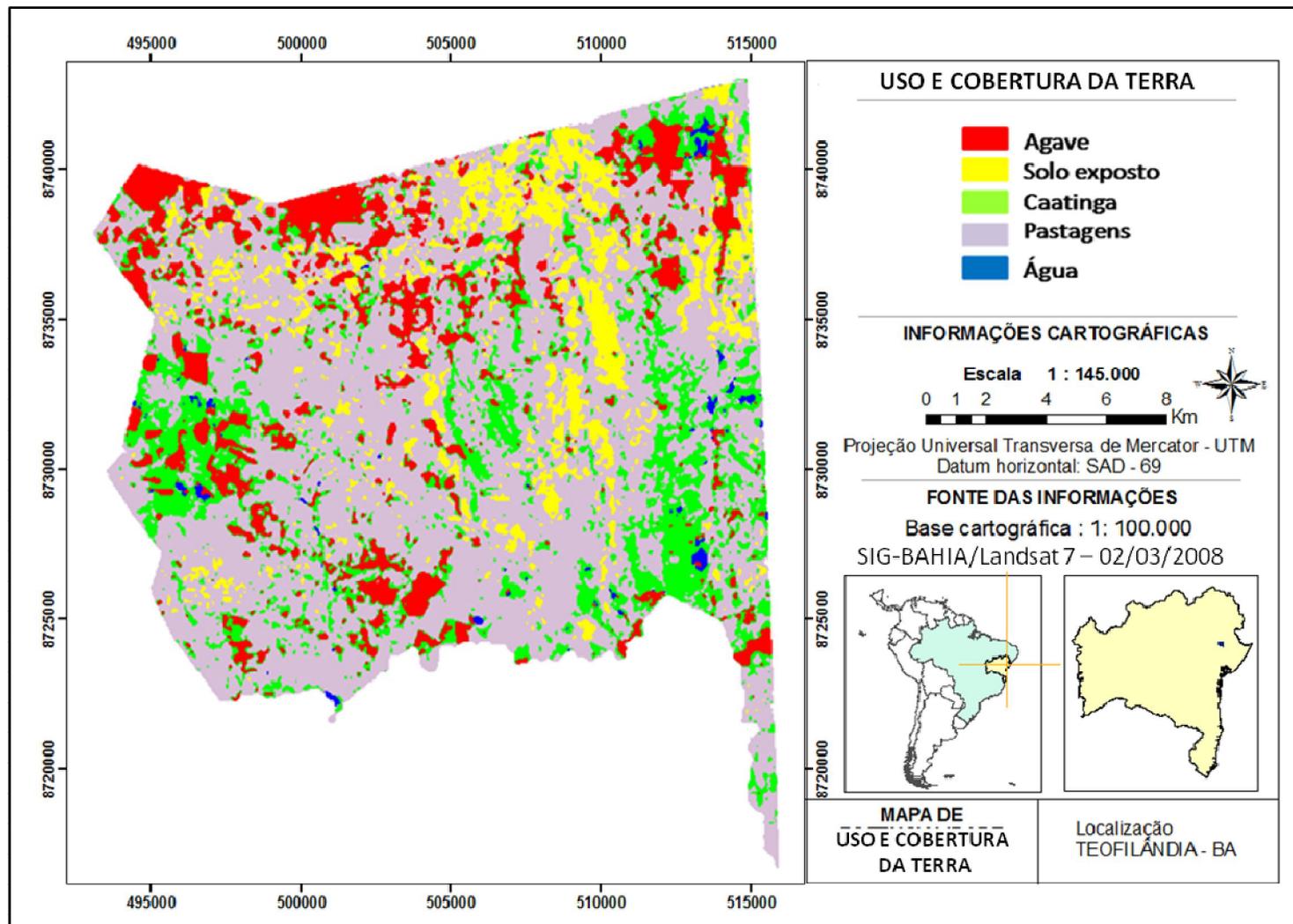


Figura 21: Uso e cobertura da terra gerado a partir da classificação supervisionada Maxver da imagem Landsat ETM (2008).

5.1.5 Validação do Mapa de Uso e Cobertura da Terra

Após a classificação da imagem uma etapa fundamental para que os resultados tenham confiabilidade, é a da validação dos dados. Muitos erros de interpretação são comuns em pesquisas quando as informações geradas não são validadas. Assim, é necessário que os dados produzidos em laboratório sejam comparados e confrontados com os dados de pesquisas de campo.

Dos métodos criados para validação, o Erro de Comissão (EC) e Erro de Omissão (EO) e o índice KAPPA (IK) e PABAK são exemplo de cálculos que confirmam se as informações de laboratório são realmente confiáveis e condizem com a realidade de campo. Segundo Silva (2003, p. 118), o “Erro de Comissão é aquele decorrente da interpretação de pixels que não existem no terreno e o Erro de Omissão é a não-interpretação de pixels existente no terreno.” Para a validação foram coletados em campo 80 pontos (ANEXO B) e posteriormente aplicados os cálculos.

Tabela 4 Validação cruzada para cálculo de EC E EO

CLASSES	Pec. Exten./ Cult. Temp.	Solo exposto	Sav. Estépica Arborizada	Agricultura Permanente	Espelho d’ água	TOTAL	ERRO DE COMISSÃO
Pec. Exten./ Cult. Temp.	9	1	1	7	0	18	(1-9/18) 0,5
Solo exposto	0	25	1	2	0	28	(1-25/28) 0,10
Sav. Estépica Arborizada	0	0	11	0	0	11	(1-11/11) 0
Agricultura Permanente	2	3	1	16	0	22	(1-16/22) 0,27
Espelho d’ água	0	0	0	0	1	1	(1-1/1) 0
TOTAL	11	29	14	25	1	62	
ERRO DE OMISSÃO	(1-11/11) 0	(1-25/29) 0,13	(1-11/14) 0,21	(1-16/25) 0,36	(1-1/1) 0	80	(1-62/80) 0,22

Após a aplicação da validação cruzada para o cálculo de EC e EO é possível concluir se a maioria das classes mapeadas e descritas possuem valores próximos de 0 ou de 1. Quanto mais próximo de zero for o resultado, maior proximidade da realidade o mapa classificado estará e próximo de 1 os dados não são confiáveis. O erro de comissão é aquele decorrente da interpretação de píxeis que não existem no terreno. Erro de comissão é a não-interpretação de píxeis existentes no terreno. De maneira geral, esse procedimento calcula separadamente o grau de correspondência de cada elemento, com valores que variam de 0 (erro nulo) a 1(maior erro).

Para confirmar estes resultados os índices KAPPA e PABAK também se constituem como cálculos de validação que aumenta a segurança dos dados analisados. Para Silva (2003, p.120) o índice KAPPA, “mede a acurácia dos dados espaciais, desde que colecionados em campo sejam utilizados como referência”. A equação do Índice KAPPA está representada pela seguinte equação:

$$IK = \frac{(D - Q)}{(T - Q)} \quad (1)$$

Sendo,

D = o total de píxeis com correspondência entre os dados de campo e aqueles interpretados;

T = ao total de píxeis examinados e,

Q = representa a coincidência entre os pixels interpretados e os resultados dos trabalhos de campo.

Para encontrar o valor de Q , é utilizada a seguinte equação:

$$Q = (11*18/80 + 29*28/80 + 14*11/80 + 25*22/80 + 1*1/80) = \mathbf{14,6} \quad (2)$$

Aplicando a fórmula temos:

$$IK = (60-14,6 / 80-14,6) = \mathbf{0,70} \quad (3)$$

Com os valores da tabela de correlação cruzada e aplicando a fórmula acima, obteve-se um IK de **0,70** o que representa pela tabela de importância que os dados alcançaram **Substancial correspondência** com a realidade de campo. Para análise do IK final tem-se como fonte de análise a tabela contendo a escala de importância do índice KAPPA que varia desde *sem correspondência (<0,00)* até *quase perfeito (0,81 – 1,00)*.

Tabela 5 Escala de Importância - Índice de Kappa

INDICE KAPPA (IK)	GRAU DE IMPORTÂNCIA
<0,00	Sem correspondência
0,00 – 0,20	Insignificante
0,21 – 0,40	Discreto
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Substancial correspondência
0,81 – 1,00	Quase perfeito

Fonte: Landis e Koch, 1977 (apud Silva, 2003)

Depois de aplicado o índice Kappa, calculou-se o índice PABAK (*Prevalence and bias adjusted kappa*), a partir da seguinte equação:

$$PABAK = 2 * P_o - 1 \quad (4)$$

Onde :

$$P_o = D \text{ (total de píxeis / T (total de píxeis examinados))}$$

$$PABAK = [2*(62/80) - 1] = 0,55$$

Também com base na tabela da escala de importância, o valor do índice PABAK (0,55) foi considerado como moderado, portanto, sendo os valores dos dois índices considerados confiáveis pela validação.

5.2 PROCESSAMENTO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

5.2.1 Modelagem das Áreas de Escoamento Superficial a partir do MDT

O uso de tecnologias computacionais tem se constituído como um dos principais meios para a representação e análise espacial de áreas que envolvem grandes quantidades de dados/informações. Tal motivo está diretamente relacionado às melhorias, disponibilidade e rapidez que essas tecnologias adquiriram para o desenvolvimento de pesquisas cada vez mais precisas e com uma representação aproximada da realidade.

Segundo Miranda (2005, p. 296) “A topografia, ou elevação da superfície da Terra pode ser representada no SIG por valores digitais. Esse conjunto de valores consiste da elevação de um grande número de pontos amostrais distribuídos através da área sendo representada.”

A análise espacial de modelos topográficos constitui-se, como o processo que envolve a compreensão das variações de altitudes do terreno e sua influência no comportamento e nas características de um determinado fenômeno.

Com a aquisição dos dados espaciais da superfície terrestre pelos instrumentos sensores e depois manipulados em sistemas computacionais, estes por sua vez são transformados em dados digitais a exemplo dos Modelos Digitais ou Modelos Numéricos de Terreno (MDT ou MNT) (Figura 22).

“O MNT é um caso específico dos modelos numéricos de elevação (MNE) que se refere a qualquer imagem que armazene dados que possam ser vistos como elevação sobre uma superfície. Se essa elevação for a altura média acima do nível do mar, então ele será chamado de MDT.” (MIRANDA, 2005, p. 297)

O uso do Modelo Digital de Terreno (MDT) se estabelece como um dos meios importante para a análise topográfica, pois a partir dele é possível calcular volumes, áreas, representar perfis, traçar planos altimétricos, construir curvas de nível, representar perspectivas tridimensionais, que sem o auxílio da computação seria muito mais complexo de se elaborar.

Segundo Silva (2003 p. 186):

[...] o Modelo Digital de Terreno...corresponde à descrição espacial dos diversos tipos de terreno, expressando de forma contínua o tipo de relevo. A partir do MDT, pode-se extrair automaticamente a drenagem de uma determinada bacia, além da declividade e do aspecto.

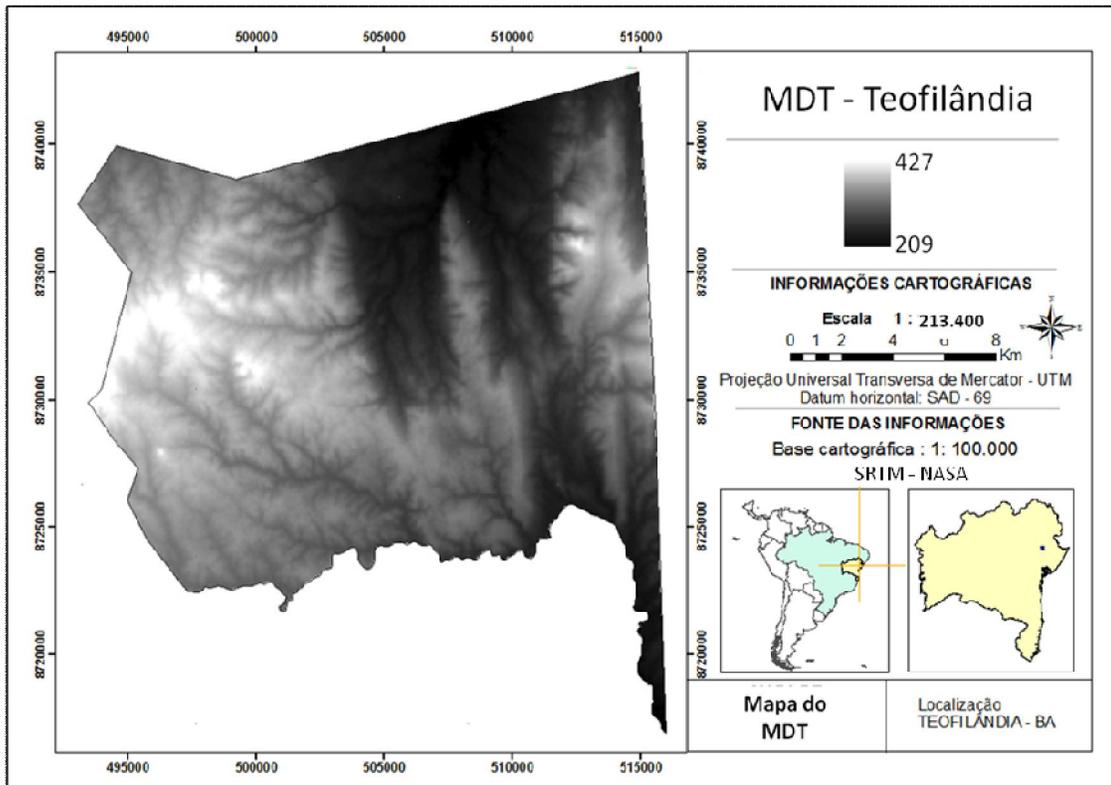


Figura 22 – Modelo Digital de Terreno do município de Teofilândia – resolução de 30m x 30m.

Compreendido como uma representação matemática da distribuição de um determinado fenômeno, o MDT tem um papel importante para a configuração de superfícies. Das representações possíveis do MDT, temos: a elaboração de mapas de declividade, topográficos, de aspectos, de acumulação, além de servir de base para compreensão de processos erosivos e construções tridimensionais de diversas variáveis.

Para Felgueiras et al.(2001) a geração de um modelo de terreno pode ser dividida em duas etapas: na primeira tem-se a aquisição de amostras ou amostragem que representa a soma de um conjunto representativo de amostras do fenômeno analisado, podendo ser por curvas de isovalores ou por pontos

tridimensionais. Na segunda etapa tem-se a geração do modelo ou simplesmente interpolação.

A interpolação envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos no SIG. As estruturas de dados mais utilizadas são a grade regular e a malha triangular. (FELGUEIRAS e CÂMARA 2001, p. 2)

A variação da elevação de uma superfície é adquirida a partir de pontos de controle que são interpolados para assim se obter um modelo do terreno, ou seja, a criação de superfícies contínuas a partir de pontos que estão distribuídas no espaço, além de se constituírem como base para a geração das curvas de nível (Figura 23).

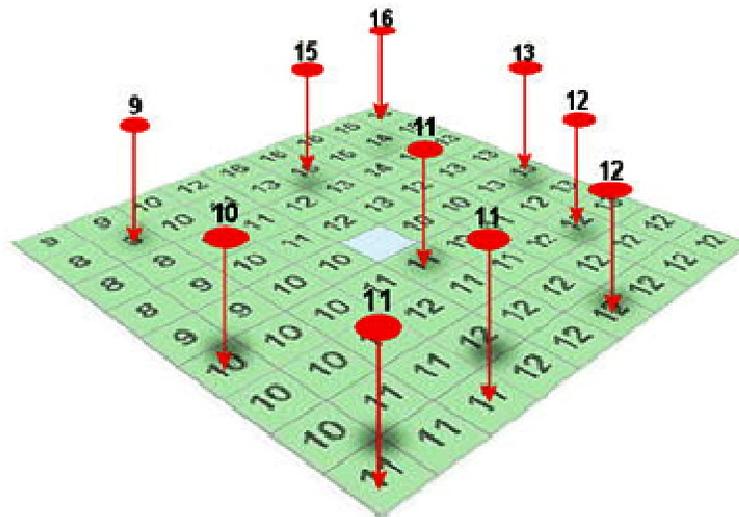


Figura 23: Interpolação de amostras de pontos semelhantes para criar uma superfície contínua. Fonte: www.cfh.ufsc.br/gcn3506/documents/Aula10_000.pdf

Para a modelagem de superfícies muitos métodos foram criados. A primeira é através de grades regulares, conhecidas como “matrizes de altitude”, a segunda são as redes triangulares irregulares (TIN) e por último por curvas de nível. (Figura 24)

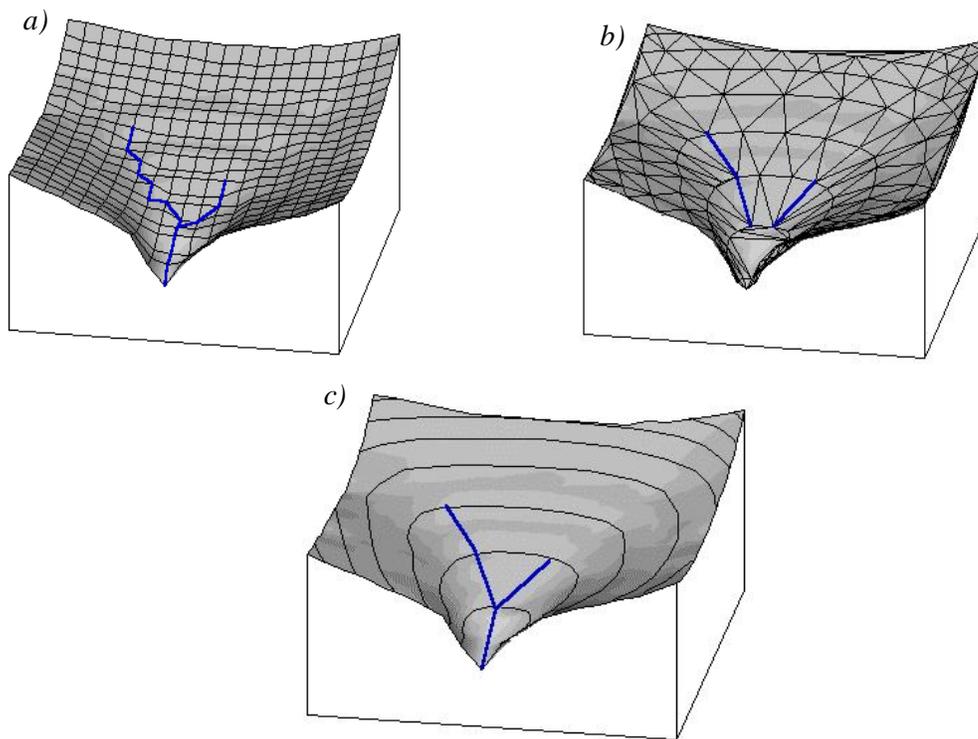


Figura 24: Representações de superfícies: em a) grande regular ou “matriz de altitude”, em b) representação de rede de triangulação irregular e c) curvas de nível. Fonte: (RENNÓ, 2005)

“Matrizes de altitude” segundo Miranda (2005, p.297) são as formas mais comuns de representação de superfícies de elevação discretas, derivadas de medidas quantitativas de fotografias aéreas estereoscópicas, as quais podem ser produzidas por interpolação de pontos de dados espaçados, de dados regulares ou irregulares.

A rede de triangulação Irregular ou “Triangular Irregular Network” (TIN) baseia-se no uso do modelo de dado vetorial. De acordo Silva (2003, p. 178) a TIN:

é um modelo de superfície contínua que se utiliza de uma rede de triângulos conectados, baseados na triangulação de Delaunay. É um modelo vetorial com estruturação topológica no qual o banco de dados consiste em três conjuntos de registros, denominados lista dos nós, listas dos apontadores e lista dos triângulos.

Diferente do MDT o modelo TIN usa pontos de elevação espaçadamente irregulares (pontos de controle) para gerar uma rede de faces triangulares. É conhecida como rede de triangulação, pois a interligação de qualquer conjunto de três pontos de elevação forma-se um triângulo. Esse método de interpolação foi elaborado por Peucker *et al* (1978) para a modelagem de áreas de elevação digital, evitando assim, redundâncias do MDT, além de gerar mapas de aspecto (sombreamento), mapa de declividade, geração de perfis, entre outros.

Para melhor compreender as diferenças entre os dois métodos, o quadro abaixo contém as principais vantagens e desvantagens.

Quadro 04: Principais vantagens e desvantagens da Malha triangular e da Grade regular.

	Malha triangular	Grade regular
Vantagens	Melhor representação de relevo complexo Incorporação de restrições como linhas de crista	Facilita manuseio e conversão Adequada para dados não-altimétricos
Desvantagens	Complexidade de manuseio Inadequada para Álgebra de mapas	Representação de relevo complexo. Cálculo de declividade

Fonte: Miranda (2005).

Apesar da grade regular ou matriz de altitude ser útil para cálculos de declividade e aspecto, existe segundo Burrough e McDonnell,1998 apud Miranda (2005) algumas desvantagens, das quais:

- a) a grande quantidade de redundância de dados em áreas de terreno uniforme; b) a incapacidade de se adaptar a áreas de diferentes complexidades de relevos sem mudar o tamanho da grade; e c) a ênfase exagerada ao longo dos eixos da grade para certos tipos de cálculos, como cálculo de linha de visão.

Mesmo com essas desvantagens o uso dessa matriz para a geração da declividade e do aspecto ainda assim é bastante utilizado. O cálculo para a geração do modelo de declividade a partir do ambiente SIG tem como princípio o uso do MDT. Para o cálculo da declividade considera-se a raiz dos valores dos 4 pixels vizinhos (na vertical e na horizontal) tendo como referência o pixel central como pode ser observado na Figura 25:

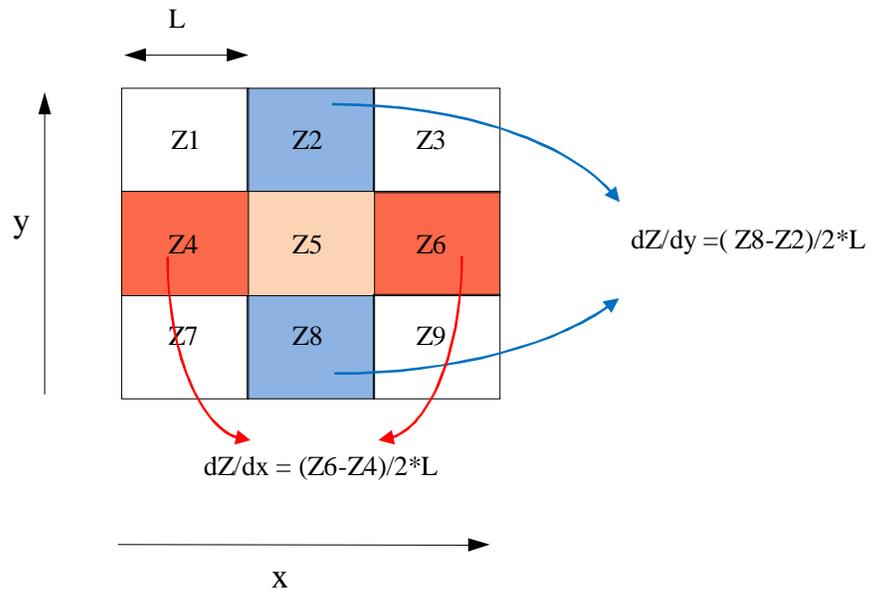


Figura 25: Representação do cálculo de declividade.
Fonte: adaptado de MIRANDA, 2005 p. 301

Pela equação tem-se:

$$DEC = Arc\ tg\ \sqrt{\left(\frac{Z_8-Z_2}{2*L}\right)^2 + \left(\frac{Z_4-Z_6}{2*L}\right)^2} \quad (5)$$

Onde:

Z = cota do pixel

L = comprimento do pixel

5.2.2 Análise dos Dados SRTM (MDT)

A importância da análise da base de dados é que a partir da identificação e tratamento de seus atributos, os resultados gerados a partir deles terão uma maior fidedignidade com a realidade. Neste estudo os dados utilizados são as grades retangulares de dados topográficos – os Modelos Digitais de Terreno – que a partir do tratamento estatístico dos valores da matriz defini-se o grau de proximidade ou de distanciamento dos resultados obtidos com a realidade da área analisada.

Os dados SRTM desta pesquisa foram reamostrados de 90m para resolução de 30 metros pelo INPE (2009). Os dados altimétricos da SRTM são disponibilizados originalmente pela NASA na resolução de 30m para os Estados Unidos da América (EUA) e em 90 metros para o restante do globo. Na correção destes dados podem ser mantidas a escala original ou melhorando a resolução dos dados, utilizando interpoladores espaciais que aperfeiçoam tanto a resolução da matriz, quanto as distorções altimétricas (VALERIANO, 2002).

Dentre os métodos de interpolação a reamostragem por Krigagem é uma das mais utilizadas. Este processo constitui-se por valores estimados a partir de variáveis distribuídas no espaço tendo como base valores adjacentes e estes por sua vez considerados independentes, as chamadas médias móveis. De acordo Valeriano (2004) a vantagem da Krigagem é que a mesma preserva as características morfométricas da imagem. A técnica da Krigagem tem como objetivo encontrar um valor em certa posição x_0 , utilizando valores dos n dados vizinhos x_i a partir de uma combinação linear com ponderadores, como pode ser visto na equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x_0) Z(x_i) \quad (6)$$

Segundo Grohmann, (2008)

A resolução de aproximadamente 90 m dos dados SRTM disponíveis pode ser considerada razoável para análises em escalas pequenas ou médias, mas não pode ser aplicada em estudos de detalhe. Uma alternativa viável consiste em interpolar os dados originais com uma resolução maior (ou seja, para obter células de tamanho menor ao original). Esta abordagem não irá aumentar o nível de detalhe do modelo resultante, porém resultará em uma superfície com coerência de suas propriedades angulares (p.ex.,

declividade, orientação de vertentes etc) entre as células vizinhas, fator importante em análise morfométrica.

Segundo o autor, os dados SRTM disponibilizados em resolução de 90m são considerados razoáveis quando se aplica a estudos em escalas médias e pequenas, porém, em estudos de detalhe (grandes escalas), esta resolução não se aplica de maneira satisfatória. Dessa forma, a solução está na reamostragem dos dados originais em uma resolução maior, ou seja, gerar células de tamanho inferior aos dados originais (Figura 26).

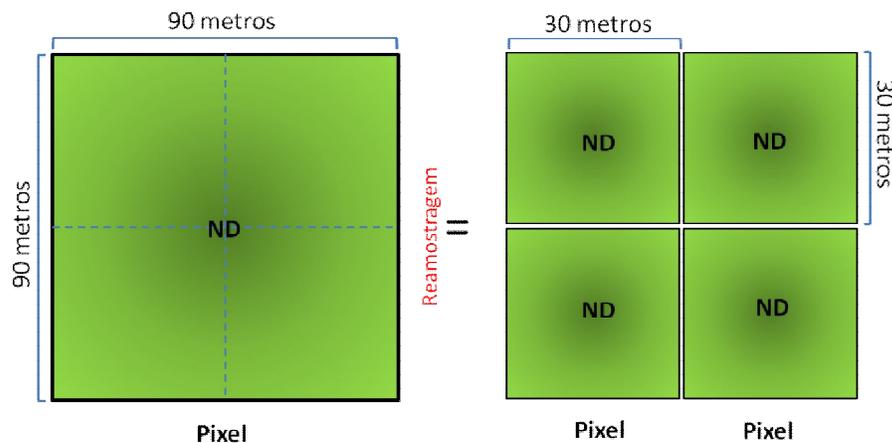


Figura 26: Ilustração da reamostragem de píxeis para resolução espacial maior.

Menciona ainda, que essa técnica não aumentará o nível de detalhe do produto gerado, mas resultará em valores angulares mais precisos e concisos com os valores das células vizinhas, detalhe importante para a análise de dados que representam a superfície terrestre.

Em relação a manipulação dos dados pra alterar o tamanho do pixel Hengl,(2006) diz que a resolução do pixel constitui-se como um dos fatores mais importantes para que o mapeamento seja confiável e que a seleção do tamanho do pixel só poderá ser melhorada até um certo nível para satisfazer tanto o processamento quanto a variabilidade espacial. Segundo Vink (1975), para a definição da resolução espacial, ou seja, o tamanho do pixel deve-se analisar cuidadosamente as propriedades inerentes dos dados, entender conceitos cartográficos e avaliar parâmetros estatísticos.

Segundo Rossier (2003) para uma amostragem legível mínima (ALM) ou o menor tamanho de área mapeada podem ser utilizados 4 píxeis.

$$p \leq \sqrt{\frac{ALM}{4}} = \frac{\sqrt{EN^2 * 0,000025}}{2} = EN * 0,0025 \quad (7)$$

Onde,

“*p*” é o tamanho do pixel,

ALM é a menor área de amostragem legível no terreno em m² e,

EN a escala numérica.

Outra possibilidade de se identificar a resolução espacial é usando a exatidão cartográfica. Tendo como parâmetro o menor objeto possível de ser visto pelo olho humano que corresponde a 0,2mm, aplicando à equação abaixo se define o tamanho do pixel.

$$p \geq 0,2mm * EN \quad (8)$$

Assim, além da importância da reamostragem, é importante para a qualidade dos resultados, estabelecer uma padronização de todos os dados a serem processados, como a conversão em uma mesma projeção (UTM por exemplo), em um mesmo formato, padronização de todos os dados em mesmos números de linhas e colunas e o tamanho do pixel como fora mostrado para processamento com a extração dos mapas derivados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS DO MDT

Para a confecção dos mapas analíticos foi adotado como base para processamento o software Idrisi onde foram extraídos os principais atributos topográficos derivados do MDT. Esses se constituem como atributos quantitativos, podendo ser divididos em *primários* e *secundários* (SILVEIRA, 2010). Nesta pesquisa adotou-se conceitualmente como atributos primários os resultados extraídos diretamente do MDT e os atributos secundários como os resultados obtidos a partir do processamento dos dados dos atributos primários. Os *atributos topográficos primários* conhecidos como primeira derivada, são calculados diretamente a partir do MDT e se estabelece pela extração de variáveis como declividade, aspecto, direção de fluxo, escoamento, formas de relevo e sub-bacias. Os *atributos topográficos secundários* têm como função a representação de processos espaciais específicos, a exemplo dos fatores determinantes para a ocorrência do escoamento superficial que são mensurados a partir dos índices de Sinuosidade e de Umidade.

6.1.1 Atributos Topográficos Primários

Para a modelagem do escoamento superficial e das áreas de retenção foram estabelecidos os atributos primários principais a serem extraídos a partir do MDT (Quadro 05). No quadro consta a descrição dos principais atributos e os respectivos operadores no software IDRISI.

Quadro 05: Características e operadores dos principais atributos primários derivados do MDT.

Atributos	OPERADOR	CARACTERÍSTICAS
Declividade	<i>Slope</i>	Corresponde ao gradiente de um determinado terreno e é obtida a partir da primeira derivada do MDT, uma matriz 3x3.
Aspecto	<i>Aspect</i>	Variável que corresponde à direção ou a orientação que a superfície assume em relação às componentes dos ângulos horizontal e vertical.
Direção de fluxo	<i>Flow</i>	Determina a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos.
Escoamento	<i>Runoff</i>	Calcula o escoamento superficial das águas da chuva.
Sub-bacias	<i>Watershad</i>	Extraí a partir dos interflúvios dos cursos d'água as principais sub-bacias.

6.1.4 Mapa de Declividade (Slope)

Dentre os atributos topográficos primários citados, a declividade constitui-se como preponderante para a identificação e análise de áreas potenciais ao escoamento superficial, visto que, a partir deste atributo é possível determinar as características morfodinâmicas do relevo.

O mapa de declividade torna-se importante para identificação de áreas de potencialidade quando este é correlacionado com outros elementos ou fenômenos da superfície terrestre, como o tipo e usos da terra, coberturas vegetais, geologia, etc.

A partir da declividade é possível descrever áreas susceptíveis a erosão, ao uso de maquinários agrícolas, à construção de açudes, entre outros. De modo geral a declividade pode ser considerada como a relação existente entre a diferença da altitude e da distância horizontal entre dois pontos.

Segundo Miranda (2005, p. 300) a declividade corresponde “à taxa de variação da elevação do terreno, podendo ser calculada na direção X e Y ou na direção da declividade máxima” ou corresponde ainda segundo Silva (2003, p. 186)

ao gradiente de um determinado terreno que pode ser medido em percentagem ou graus.

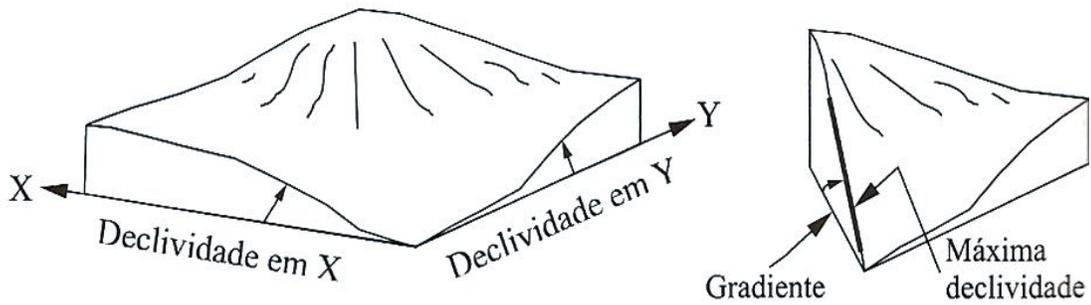
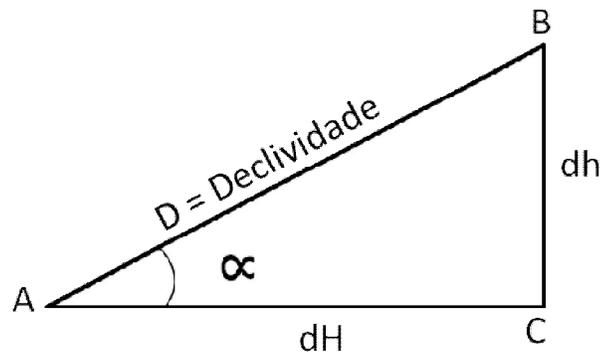


Figura 27: Declividade e gradiente
Fonte: Miranda, 2005.

Em uma representação geométrica temos:



Onde: dh = Diferença de altura BC (Eqüidistância vertical)

dH = Distância horizontal AC (distância entre os pontos)

Assim,

Declividade (D) é a relação: $\frac{dh}{dH}$

A tangente representa o coeficiente angular de uma reta em relação ao eixo das abscissas.

$$\text{Tg } \alpha = \frac{dh}{dH} \tag{9}$$

Para representar a declividade em graus:

$$\text{arc tg } \frac{dh}{dH} = \alpha = D \quad (10)$$

Para representar a declividade em percentual temos:

$$\text{Rampa} = \text{tg } \alpha \times 100 = \frac{dh}{dH} \times 100 \quad (11)$$

Foram adotados valores da declividade em graus o que possibilita determinar áreas viáveis à implantação de diferentes projetos, pois, proporciona melhor visualização das características das declividades, como também, determinar a velocidade do escoamento superficial e sub-superficial em canais de drenagem.

A partir destes valores determinam-se intervalos percentuais que classificam a dinâmica das águas superficiais do terreno. No quadro 6, estão os valores percentuais de declividades e as respectivas características morfodinâmicas apresentadas por cada intervalo.

Quadro 06: Declividades e características morfodinâmicas

DECLIVIDADES (%)	CARACTERÍSTICAS
<3	Relevo plano ou quase plano com escoamento superficial lento ou muito lento.
3 a 7	Relevo suave ondulado com interflúvios extensos e aplainados, vertentes ravinadas de pequena expressão e vales abertos.
8 a 12	Relevo medianamente ondulado, com as mesmas características da categoria 3 - 7 %. O escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos.
13 a 20	Relevo ondulado dissecado, vales abertos a fechados. O escoamento superficial é rápido.
>20	Relevo fortemente ondulado, topografia movimentada, formada por morros, com declives fortes. Grande velocidade do escoamento superficial, provocando fortes ravinamentos.

Adaptado: ROSA, 2003.

Para a extração da declividade foi utilizado o operador de contexto SURFACE no software IDRISI, que usa valores dos píxeis vizinhos para calcular a declividade de cada pixel da imagem (Figura 28). Os operadores de contexto também conhecidos como operadores de vizinhança ou operadores locais têm por objetivo criar novos planos com base em informações de um mapa existente e no contexto em que ele se encontra. O valor de declividade de cada pixel depende de sua altitude e da altitude de seus quatro vizinhos mais próximos. (EASTMAN, 1998 p. 79 e 83).

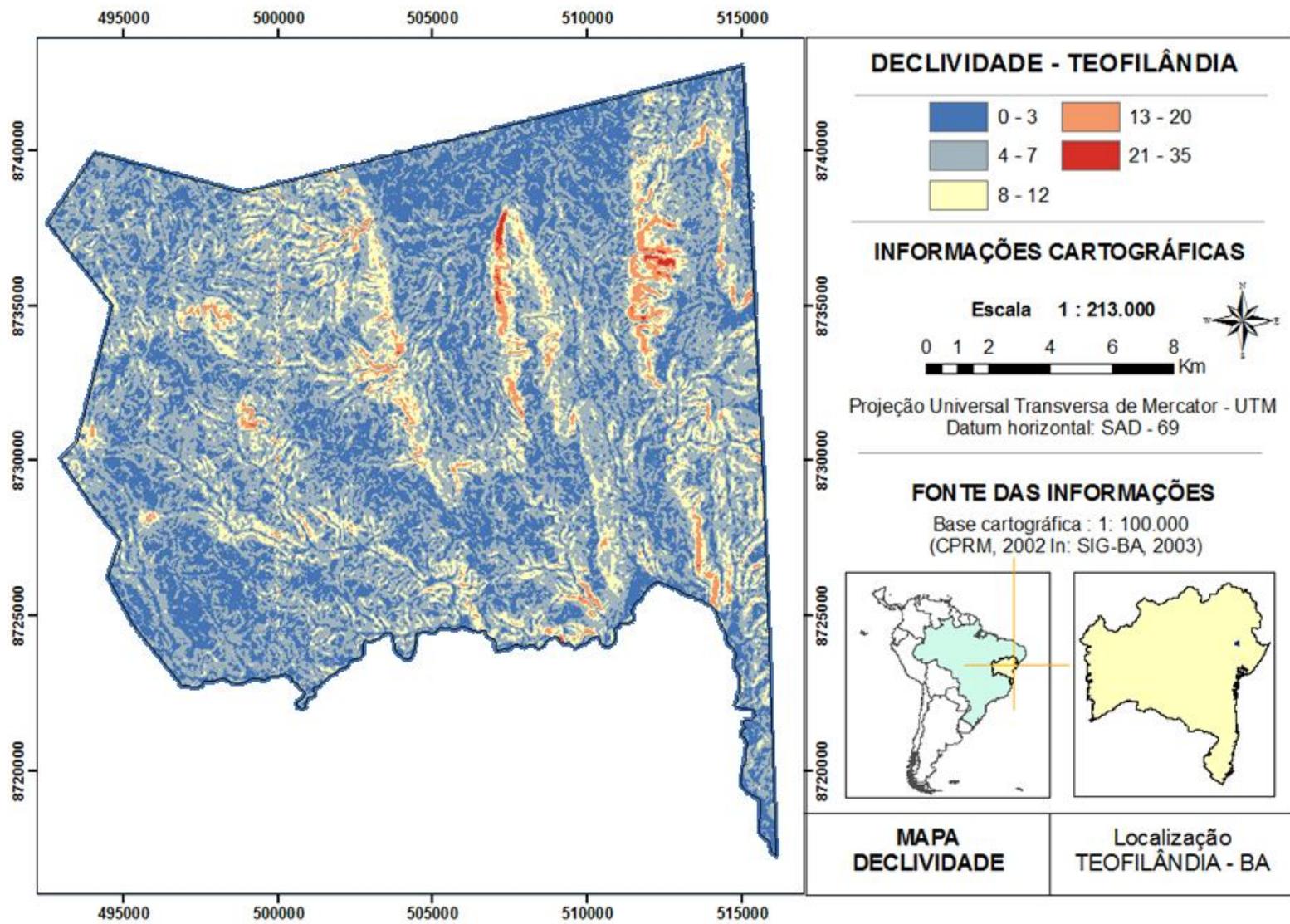


Figura 28: Mapa de declividade do município de Teofilândia

6.1.5 Mapa de Aspecto (*Aspect*)

O mapa de aspecto tem por característica calcular o ângulo de orientação das vertentes e a extração de feições, podendo ser aplicado para medir a irradiância solar, calcular outras variáveis topográficas, entre outros.

“O ângulo horizontal é usualmente medido em graus de azimuth. Esse ângulo é a direção do aspecto. Ele é o ângulo formado movendo-se no sentido horário a partir do norte para a direção de máxima declividade ou gradiente. (MIRANDA, 2005 p. 300). O ângulo vertical ou ângulo de elevação é o ângulo positivo do horizonte para uma linha desenhada perpendicularmente à superfície. Esse ângulo é igual a 90°. (ARONOFF, 1989 apud Miranda, 2005 p. 300)”.

O aspecto é uma variável que corresponde à direção ou a orientação que a superfície assume em relação às componentes dos ângulos horizontal e vertical (Figura 29).

$$\text{Arc } tg = \left(\frac{\frac{Z8-Z2}{2*L}}{\frac{Z4-Z6}{2*L}} \right) \quad (12)$$

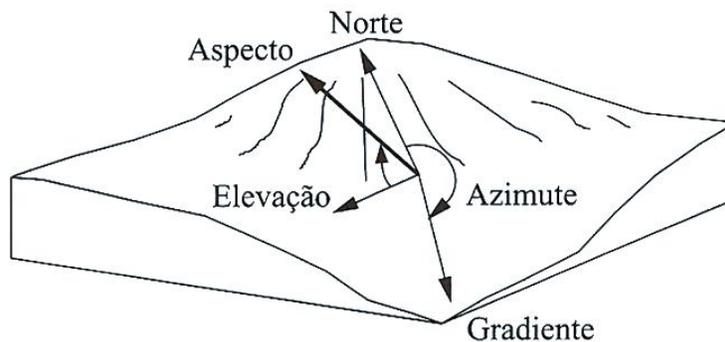


Figura 29: Representação do Aspecto
Fonte: Miranda, 2005.

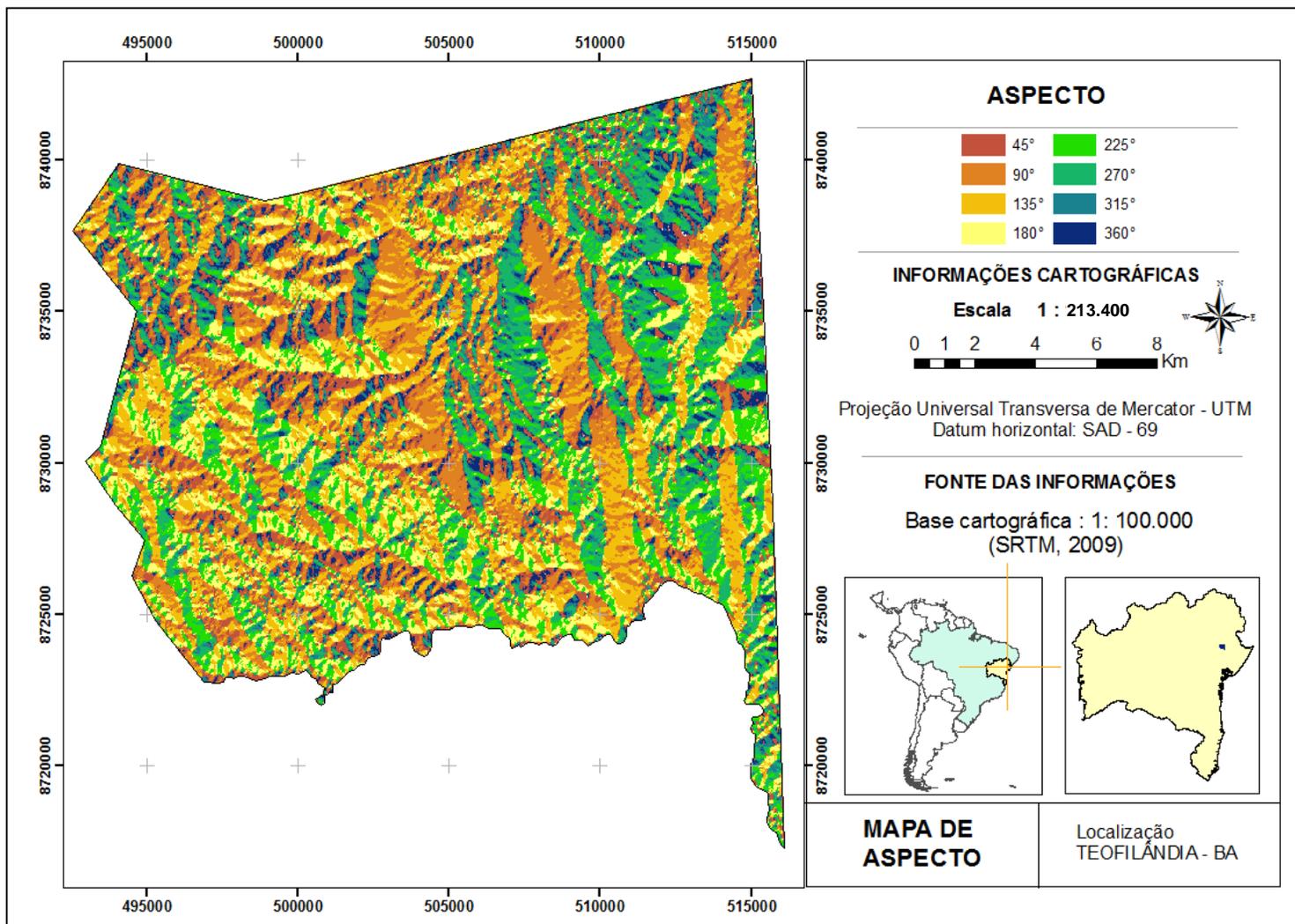


Figura 30: Mapa de aspecto da área do município de Teofilândia-Ba.

6.1.4 Mapa de Direção de Fluxo (Flow Direction)

Calcula a direção do fluxo de cada pixel. Para este cálculo são consideradas áreas de maior declive, onde se considera o sentido do escoamento para áreas de menor declive, ou seja, o escoamento se processa para as células vizinhas que apresentam menor elevação da superfície do terreno em relação à célula de referência, dividida pela distância entre as mesmas (Figura 31).

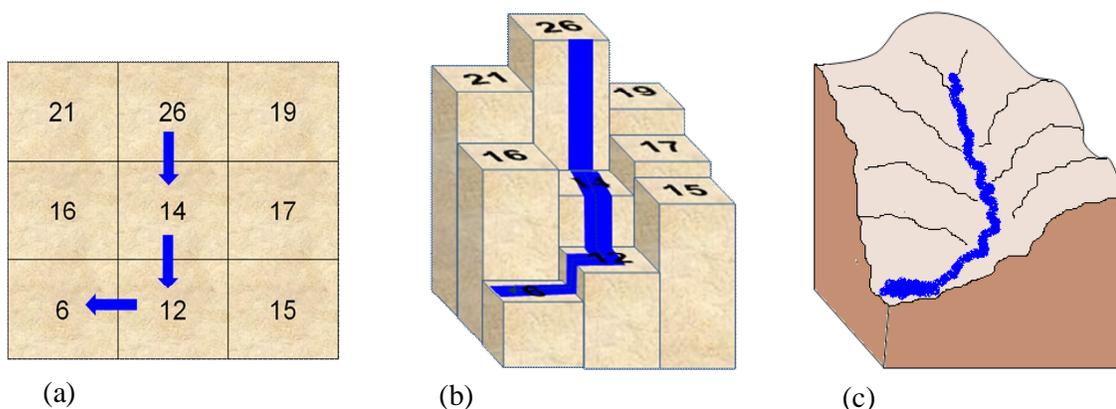


Figura 31: Direção do fluxo de um pixel a partir da declividade. (a) grade matricial de valores representativa de superfície contínua (b) píxeis em 3D representando área contínua, (c) representação da superfície contínua.

Os píxeis vizinhos se constituem como referência para estabelecer a direção de maior declividade de um determinado pixel (Figura 30a). Assim, o mapa de direção de fluxo constitui-se por uma grade digital em que os valores de cada pixel representam a direção do escoamento superficial (Figura 30b). Esta direção será aquela que levará a água para o pixel vizinho de menor valor de altitude. (MENDES e CIRILO, 2001).

O método em que se leva em consideração os 8 píxeis vizinhos é conhecido como D8, e é tido como o mais apropriado para a determinação da direção de fluxo na relação entre a célula central e as vizinhas, considerando que o escoamento se dará, conseqüentemente, para uma das 8 células vizinhas (Figura 32).

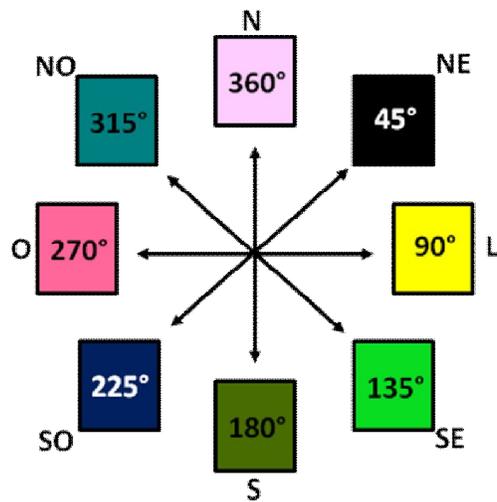


Figura 32: Esquema da direção de fluxo do método D8

Fonte: Adaptado de Tarboton, 1997.

<http://www.engineering.usu.edu/dtarb/dinf.pdf>

Utilizando-se do operador FLOW, foi possível extrair o mapa de direção de fluxo (Figura 33), o que possibilita analisar as principais áreas de escoamento a partir da direção preferencial do fluxo d'água.

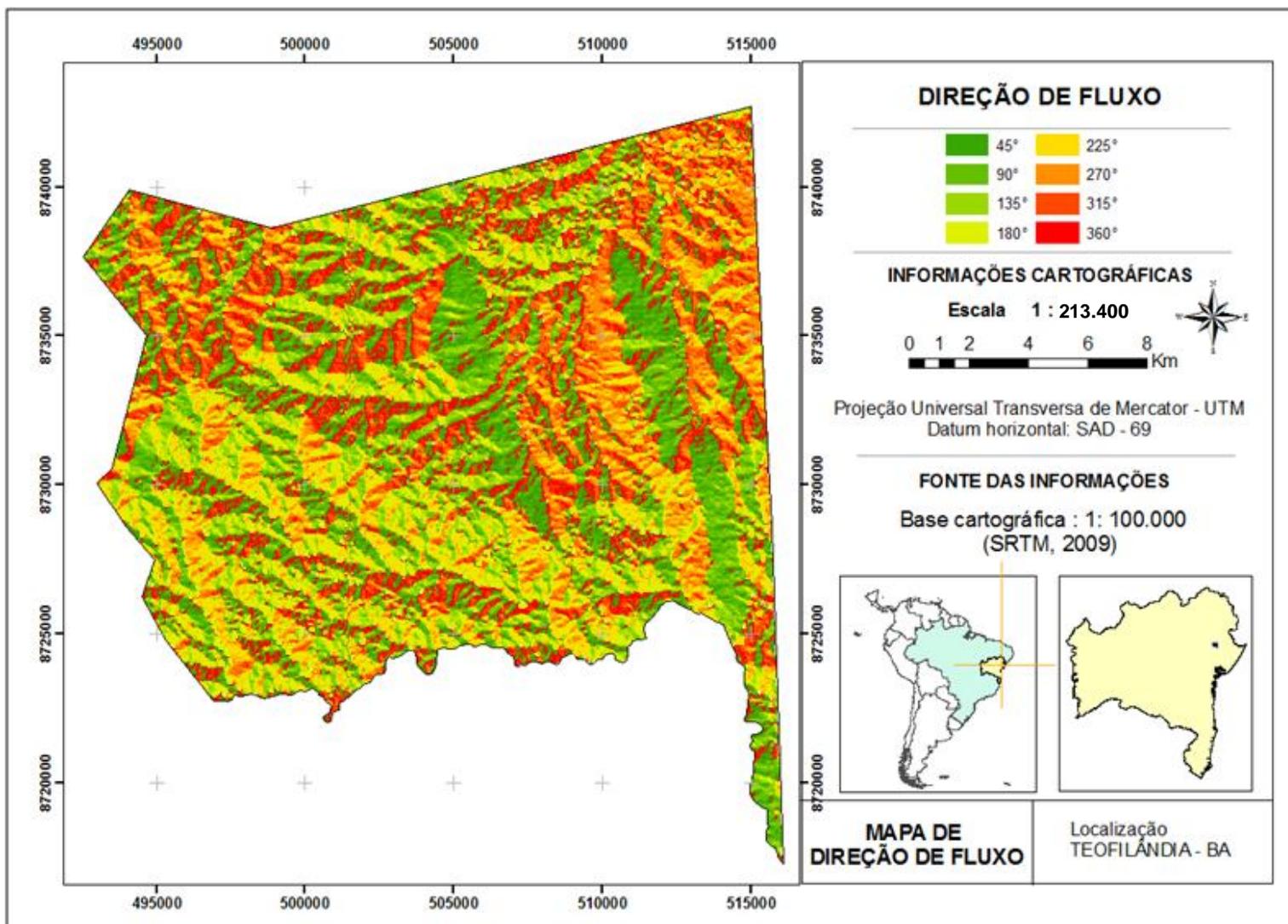


Figura 33: Mapa de direção de fluxos

6.1.5 Sub-bacias (watershed)

A partir do Modelo Digital de Terreno – MDT foram extraídas no software Idrisi 25 sub-bacias (Figura 35) da área do município para posterior identificação das áreas de retenção. Esses procedimentos podem ser visualizados na modelagem cartográfica abaixo:

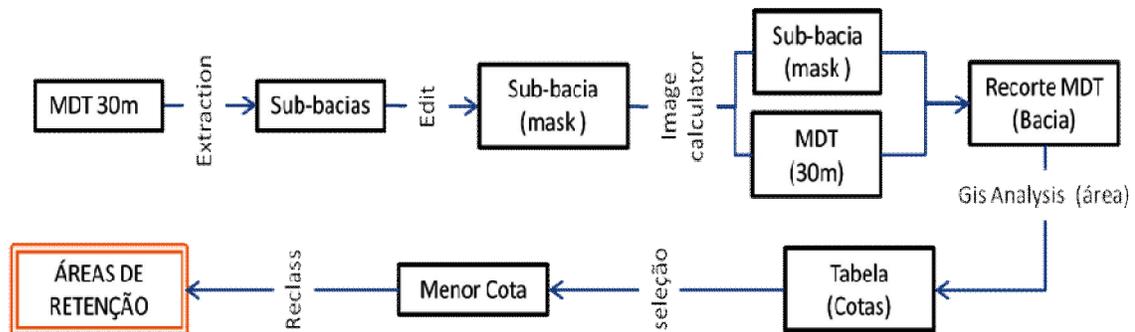


Figura 34: Modelagem cartográfica para extração de pontos de acumulação.

Para a obtenção destas áreas foram extraídas as menores cotas existentes no recorte do MDT da sub-bacia, sendo estas o ponto de retenção dos principais fluxos superficiais das sub-bacias, ou seja, pontos onde conseqüentemente o escoamento tende a se direcionar. Para a extração das sub-bacias mínimas, foram identificadas a maior e menor cota existente da área de cada sub-bacia.

Das áreas identificadas, constatou-se que os pontos de retenção destes fluxos superficiais localizam-se na foz dos principais canais superficiais de cada sub-bacia, o que representa as áreas com menores cotas da sub-bacia, identificadas pelos pontos em azul do mapa (Figura 36.)

Esse processo fornece informações necessárias para entender a dinâmica dos fluxos superficiais por sobre a superfície, oferecendo base para compreender quais caminhos os fluxos superficiais tendem a se direcionar.

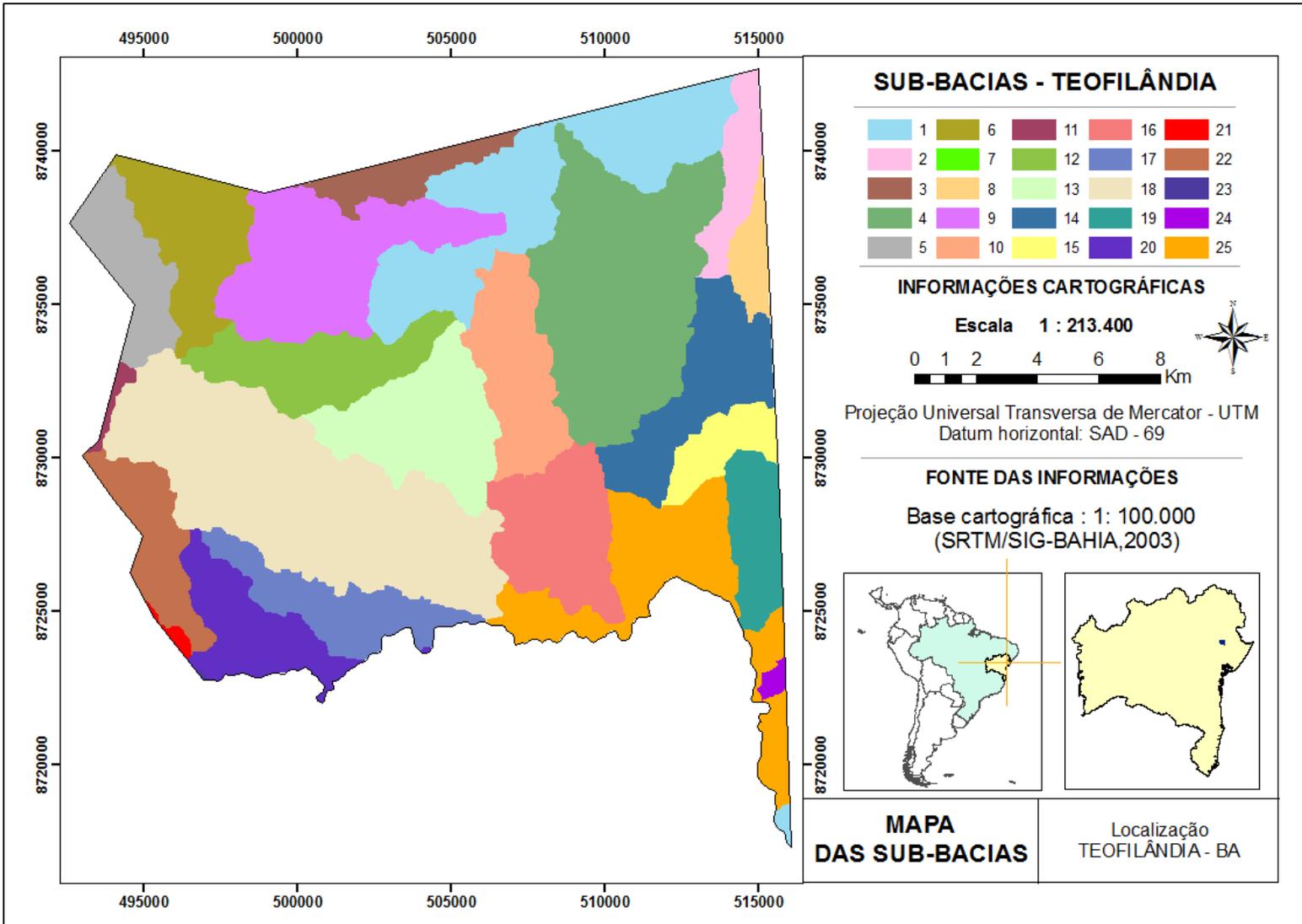


Figura 35: Mapa das sub-bacias extraídas a partir do MDT.

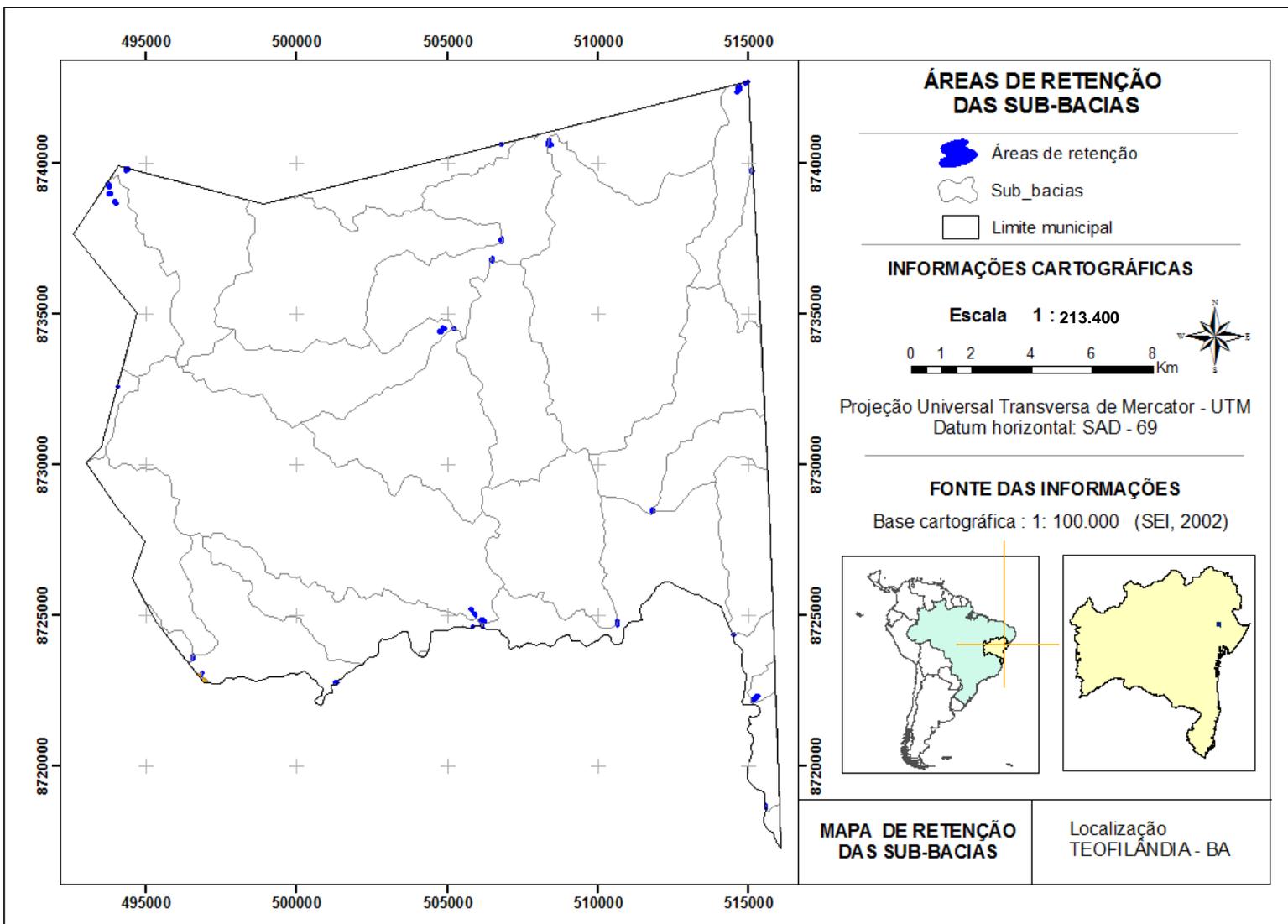


Figura 36: Mapa das áreas de retenção extraídas a partir das cotas das sub-bacias.

Na Quadro 07 constam em m² os valores das áreas de retenção de cada sub-bacia totalizando 172,3 m².

Quadro 07: Valores das cotas e áreas de acumulação das sub-bacias.

SUB-BACIA	MENOR COTA	CÉLULAS (píxeis)	Área das sub- bacias em Km²	Área de retenção em m²
4	250	28	6.7	25.774
8	224	3	6.4	2.761
9	227	14	42.1	12.887
10	212	29	10.5	26.695
11	308	11	15	10.125
12	268	1	0.002	920
13	268	7	4	6.443
14	227	8	25.9	7.364
15	229	6	15.4	5.523
17	389	2	1	1.841
18	247	19	14.9	17.490
19	244	6	19.4	5.523
20	256	7	16.6	6.443
21	256	3	6.1	2.761
22	256	6	17	5.523
23	276	1	12.4	920
24	277	3	53.6	2.761
25	241	2	8.7	1.841
26	304	7	12.5	2.761
28	317	2	0.6	1.841
29	317	1	10.3	920
30	233	20	0.05	18.410
34	255	5	0.7	4.602
TOTAL				172.129

6.2 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS SECUNDÁRIOS

6.2.1 Índice de Sinuosidade

O *índice de sinuosidade* determina as características morfométricas dos canais fluviais (SCHUMM, 1963). O cálculo se dá pela seguinte expressão:

$$Is = \frac{Dv}{L} \quad (10)$$

Onde:

Is = índice de sinuosidade

Dv = distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.

L = comprimento do canal principal

Este índice determina a relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (linha reta) entre dois pontos extremos de um canal principal, em que os valores igual ou próximo de 1 expressam que o canal possui características retilíneas, enquanto que valores próximos e acima de 0 passam a representar canais com maior sinuosidade.

Os valores intermediários representam canais cujas características apresentam formas regulares e irregulares ou transicionais. Para determinação da sinuosidade, são consideradas também como aspectos influenciadores a declividade dos canais, a litologia e as cargas de sedimentos.

Na modelagem cartográfica apresentado na Figura 37 estão as etapas para classificação dos canais de drenagem com os valores de sinuosidade:

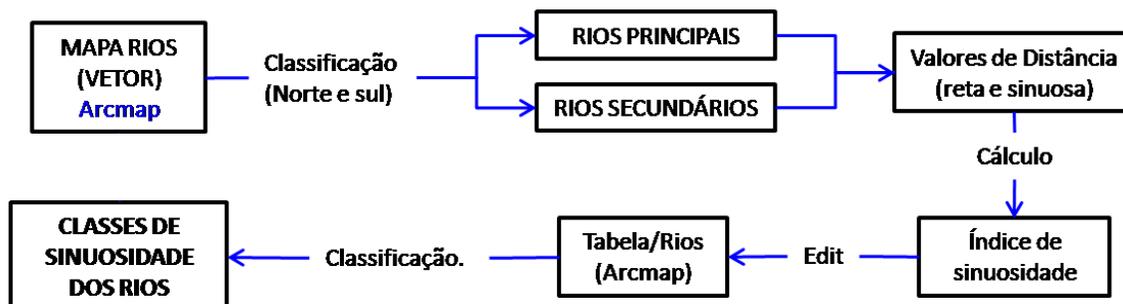


Figura 37: Modelagem do Índice de sinuosidade dos canais fluviais.

O índice de sinuosidade possibilita identificar as características morfométricas dos canais de drenagem, ou seja, a maior ou menor sinuosidade do canal de escoamento superficial. Para classificação dos canais como de maior e menor sinuosidade, considerou-se como ponderadores os valores centesimais, sendo os valores próximos de 0 mais sinuosos e aqueles próximos de 1 retilíneos.

Para determinar o intervalo das classes para o índice de sinuosidade e para as cotas, foi adota a Regra de Sturges (FINGER, 1992):

$$K = 1 + 3,3 \log_{10} N \quad (11)$$

Onde:

K = número de classes
N = número total de observações

De forma aplicada temos:

$K = 1 + 3,322 \cdot \log(209)$, onde 209 é a quantidade de canais
K = 8.6 ou 9 classes

No quadro 8 constam as classes de sinuosidade, a quantidade de canais e o percentual de canais para cada classe.

Quadro 08: Índices de sinuosidade dos canais fluviais no município de Teofilândia.

Classes de Sinuosidade		Cores	Canais (Quant.)	Percentual (%)
SINUOSOS	0.579 - 0.626		5	2.4
	0.627 - 0.673		28	13.4
	0.674 - 0.721		27	12.9
INTERMEDI-ÁRIOS	0.722 - 0.769		24	11.5
	0.770 - 0.816		27	12.9
	0.817 - 0.864		32	15.3
RETILÍNEOS	0.865 - 0.911		21	10.0
	0.912 - 0.959		23	11.0
	0.960 - 0.998		22	10.5
TOTAIS			209	100

Com a precipitação, o escoamento superficial passa a percorrer estes canais ganhando velocidade. Nas áreas com mesma cota os canais retilíneos tendem a possuir velocidade maior do que nos canais sinuosos, fazendo com que o tempo de percurso do fluxo d'água superficial nestes últimos seja maior do que nos canais retilíneos, favorecendo assim, uma maior permanência dos fluxos superficiais nestes canais. No mapa de sinuosidade (Figura 39), os valores variam de 0,579 (sinuosos) à aproximadamente 0.998 (retilíneos).

Na análise do mapa e da tabela, observa-se que os canais retilíneos caracterizam-se por possuir menor extensão de seus cursos, os chamados rios tributários, com índice de sinuosidade que varia de 0.865 - 0.998 (representados no mapa por cores que vão do laranja ao vermelho escuro); os intermediários são também alguns tributários, porém, com maior extensão do canal de drenagem, apresentando níveis de sinuosidade cujos índices apresentam-se na faixa entre 0.722 - 0.864 (canais representados pelo intervalo de cores que vai do azul ao verde oliva) e por último os canais sinuosos que variam entre 0.579 - 0.721, representados por canais principais, caracterizados por grande extensão do seu curso (variam na tabela entre o cinza e o azul escuro).

Estes, por receberem grande fluxo d'água dos canais tributários possuem maior profundidade e largura de seus leitos se comparados aos seus tributários (Figura 38).



Figura 38: Cursos de rios intermitentes, 38-a: Canal em período de estiagem. 38-b: Canal em período chuvoso, com acúmulo d'água em seu curso.

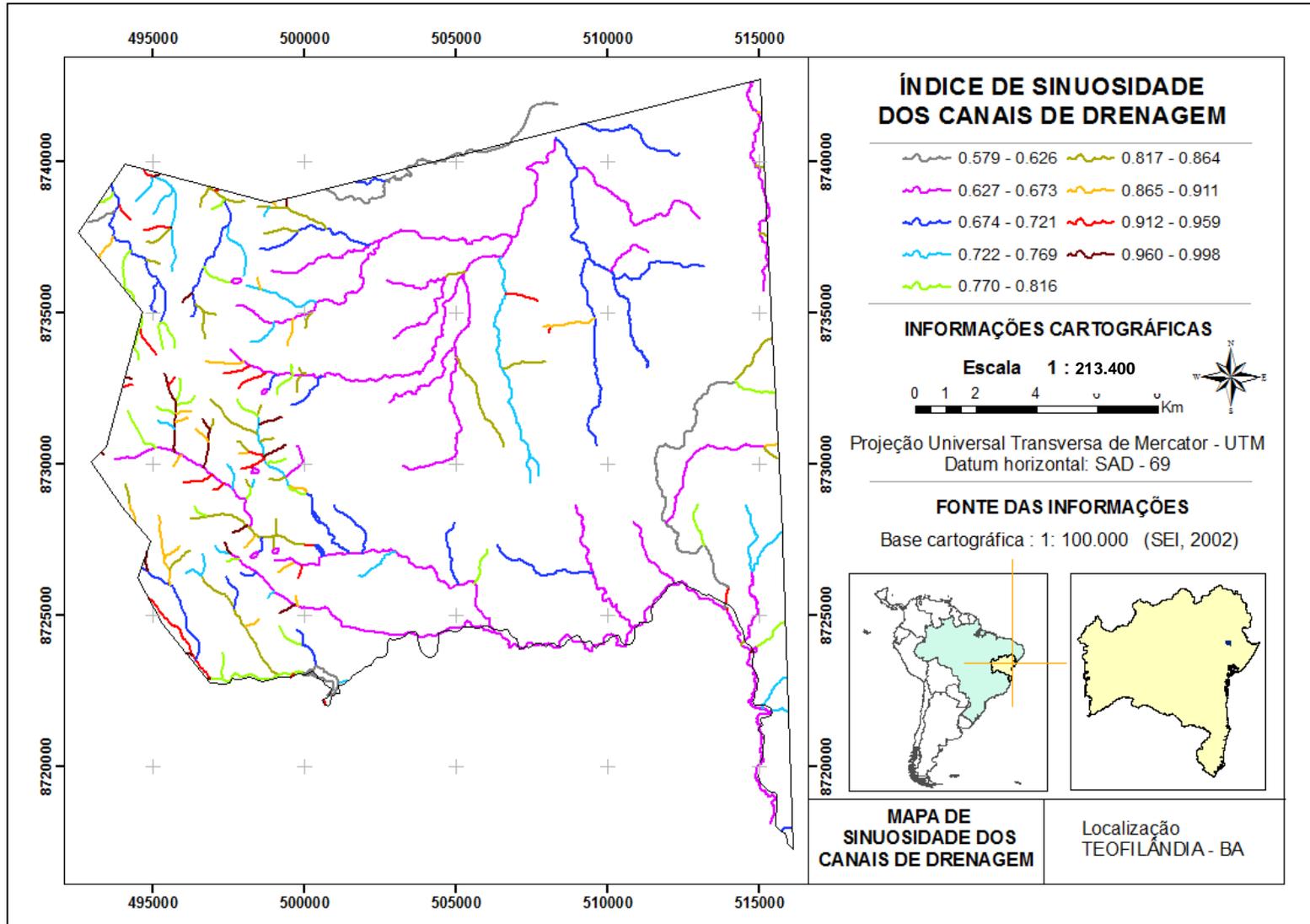


Figura 39: Mapa do índice de sinuosidade dos canais, Teofilândia - BA.

Outra variável importante para a característica dos fluxos superficiais está diretamente relacionada às diferentes cotas dos canais fluviais, ou seja, a diferença entre a cota máxima (nascente) e mínima (foz) do curso d'água. A partir da variação da cota determina-se a maior ou menor velocidade e a acumulação dos fluxos superficiais.

Mesmo canais sinuosos com grande diferença de cota entre a nascente e a foz se comparada a um canal retilíneo em uma área plana, conseqüentemente, este último possuirá um fluxo superficial mais lento do que o sinuoso. Assim, a declividade é fator preponderante para o comportamento do fluxo superficial na superfície do terreno. Com a determinação das cotas dos canais traçou-se as classes para cada um dos cursos d'água na área do município (Figura 41).

Na modelagem abaixo estão as etapas da classificação dos canais de drenagem a partir dos valores das cotas:

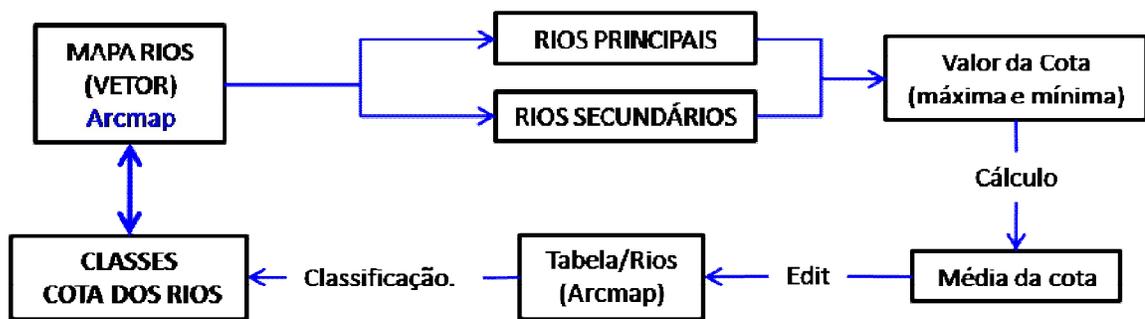


Figura 40: Modelagem cartográfica para classificação dos canais de drenagem.

De acordo os valores encontrados, as classes de cotas dos canais variam de 1 a 134 metros. Esses valores têm como referência a diferença entre a cota da nascente (cota máxima) e a cota da foz (cota mínima) de cada canal.

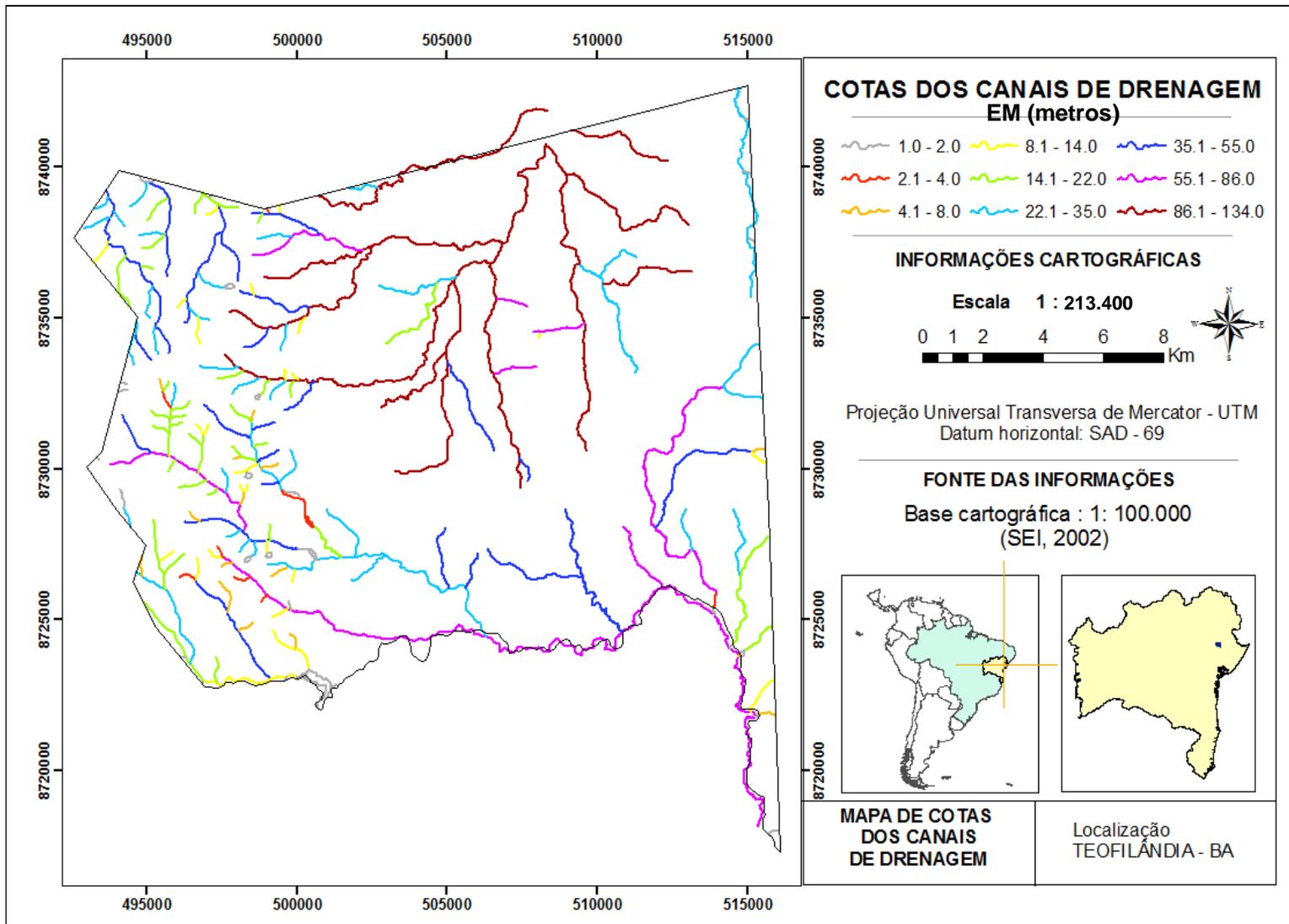


Figura 41: Representação dos valores das cotas dos principais canais de drenagem, Teofilândia - BA.

Para uma melhor representação destes valores, foram estabelecidas classes de referência para cada cota (baixa, média e alta), sendo estas por sua vez subdivididas em níveis (1, 2, 3, 4, 5, 6) como pode ser observado no quadro 09:

Quadro 09: Classes com valores de cotas dos canais superficiais.

Classes	Nível	Cotas dos Rios	Cores	Canais (Quant.)	Percentual (%)
BAIXA	1	1.0 - 2.0		37	17.7
	2	2.1 - 4.0		11	5.3
	3	4.1 - 8.0		15	7.2
MÉDIA	4	8.1 - 14.0		26	12.4
	5	14.1 - 22.0		37	17.7
	6	22.1 - 35.0		38	18.2
ALTA	7	35.1 - 55.0		24	11.5
	8	55.1 - 86.0		10	4.8
	9	86.1 - 134.00		11	5.3
TOTALIS				209	100%

Depois de organizados os valores das cotas por classes e níveis, realizou-se uma tabulação cruzada entre o mapa de índice de sinuosidade e o mapa das diferenças de cotas dos canais superficiais. Nesta etapa foram identificados para cada classe de sinuosidade, os níveis de cotas que ocorriam nos respectivos intervalos das classes.

Esse procedimento fornece um comparativo entre a forma do canal (sinuosos ou retilíneos) e as classes de cotas existentes (baixa, média e alta) buscando identificar a relação existente entre a forma do canal e o comportamento dos fluxos superficiais.

Os resultados encontrados podem ser observados no quadro 10:

Quadro 10: Cruzamentos de dados entre as classes de sinuosidade e as classes e níveis de cotas dos canais superficiais, tendo como base os quadros 08 e 09.

	Classes de sinuosidade	COTAS (classes/nível)	Varição de Cotas encontradas (m)	
SINUOSOS	A	0.579 - 0.626	Baixa* (1)** e Alta (8)	1 e 57
	B	0.627 - 0.673	Baixa (1) e Média (6)	1 e 26
	C	0.674 - 0.721	Alta (9)	93 e 124
INTERMEDIÁRIOS	D	0.722 - 0.769	Média (5) e Alta(8,9)	22 a 134
	E	0.770 - 0.816	Baixa (1), Média (6) e Alta (7,8,9)	1 a 102
	F	0.817 - 0.864	Baixa (1), Média (5,6) e Alta (7,8,9)	1 a 101
RETILÍNEOS	G	0.865 - 0.911	Baixa(1,2,3), Média (4,5,6) e Alta(7,8,9)	1 a 123
	H	0.912 - 0.959	Baixa(1,2,3), Média (4,5,6) e Alta(7,8)	1 a 57
	I	0.960 - 0.998	Baixa(1,2,3), Média (4,5,6) e Alta(7,8)	1 a 83

*Classes; **Níveis.

De acordo a tabela, a classe de sinuosidade **A** apresentou classes e níveis de cotas **Baixa (1) e Alta (8)** sem os níveis de cotas 2, 3, 7 e 9 e sem a ocorrência da classe de cotas **Média (4,5,6)**; a classe de sinuosidade **B** apresentou canais com cotas **Baixa (1) e média(6)**, sem os níveis 2, 3, 4 e 5 e sem a classe de cotas **Alta(7,8,9)**. Para a classe de sinuosidade **C** só uma classe e um nível de cota foram identificados (o nível 9 da classe **Alta**). As classes **A, B e C** se constituem pelos canais que apresentaram menores valores do índice de sinuosidade, ou seja, foram classificados como SINUOSOS. Nestas foram identificados todas as classes de cotas, porém, só um nível para cada classe de cotas.

Nos canais INTERMEDIÁRIOS a classe de sinuosidade **D** apresentou classe de cota **Média** com nível 5 e classe **Alta** com nível 8 e 9; A classe **E** apresentou as três classes de cotas (**Baixa**, **Média** e **Alta**), contendo respectivamente, níveis 1, 6 e 7,8 e 9. Na classe de sinuosidade **F** foram identificadas 3 classes de cotas e os respectivos níveis (Baixa (1), Média (5,6) e Alta (7,8,9)).

Nas classes de sinuosidade **G**, **H** e **I** - canais RETILÍNEOS – a classe **G** apresentou classes e níveis de cotas: **Baixa**(1,2,3), **Média** (4,5,6) e **Alta**(7,8,9), as classes **H** e **I** apresentaram as mesmas classes e níveis de cotas: **Baixa**(1,2,3), **Média** (4,5,6) e **Alta**(7,8).

6.2.2 Índice de Umidade

O *índice de umidade* corresponde ao logaritmo da razão entre a área de contribuição (A_c) e a tangente da declividade em graus (β) como pode ser visto na equação 12:

$$w = \ln\left(\frac{A_c}{\tan \beta}\right) \quad (12)$$

Sendo:

w = índice de umidade

A_c = área de contribuição

β = a *tangente da declividade em graus*

\ln = *logaritmo natural*

O índice de umidade é função apenas da declividade variando a partir das funções da tangente e do logaritmo natural. A partir desta característica é possível compreender que este índice apresenta a seguinte restrição: se a declividade do terreno aproxima-se de 0° torna-se uma função infinita e aproximando-se de 90° tende a 0 (zero).

O significado físico desse comportamento é que quanto mais plano for o relevo, mais úmido (alto valor de umidade) o solo apresenta. Essa característica do

índice de umidade possibilita a identificação de solos com caráter hidromórfico. (SILVEIRA, 2010)

Para identificar as áreas com os diferentes graus de umidade no município, foram adotadas algumas etapas para aquisição do resultado final - o mapa de índice de umidade (Figura 43) - e para isso, construiu-se uma modelagem cartográfica contendo o passo a passo com as principais funções utilizadas.

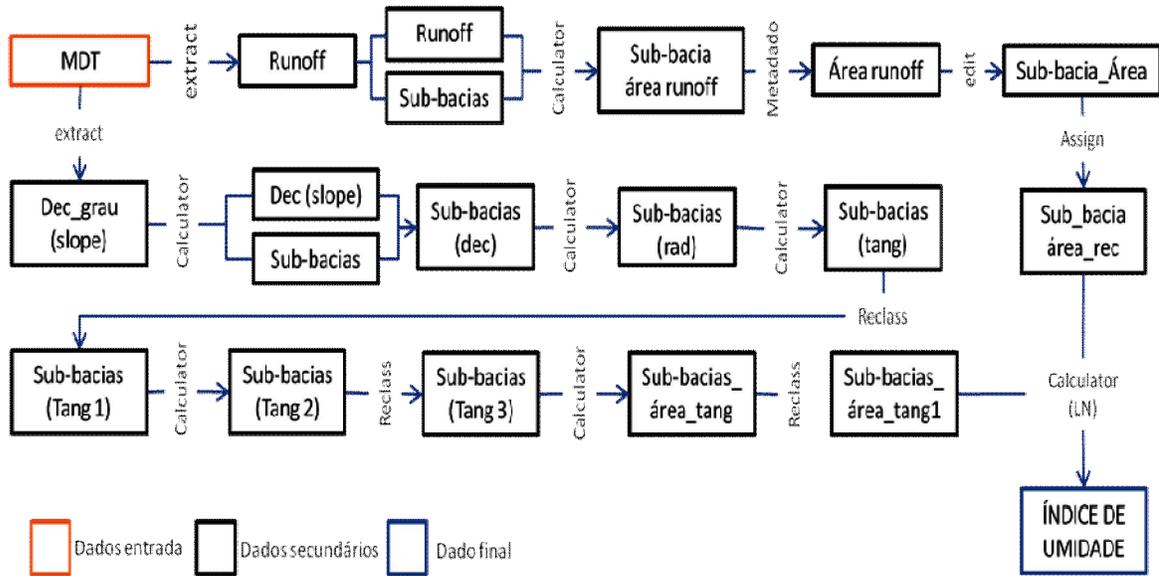


Figura 42: Modelagem cartográfica para extração das áreas de umidade.

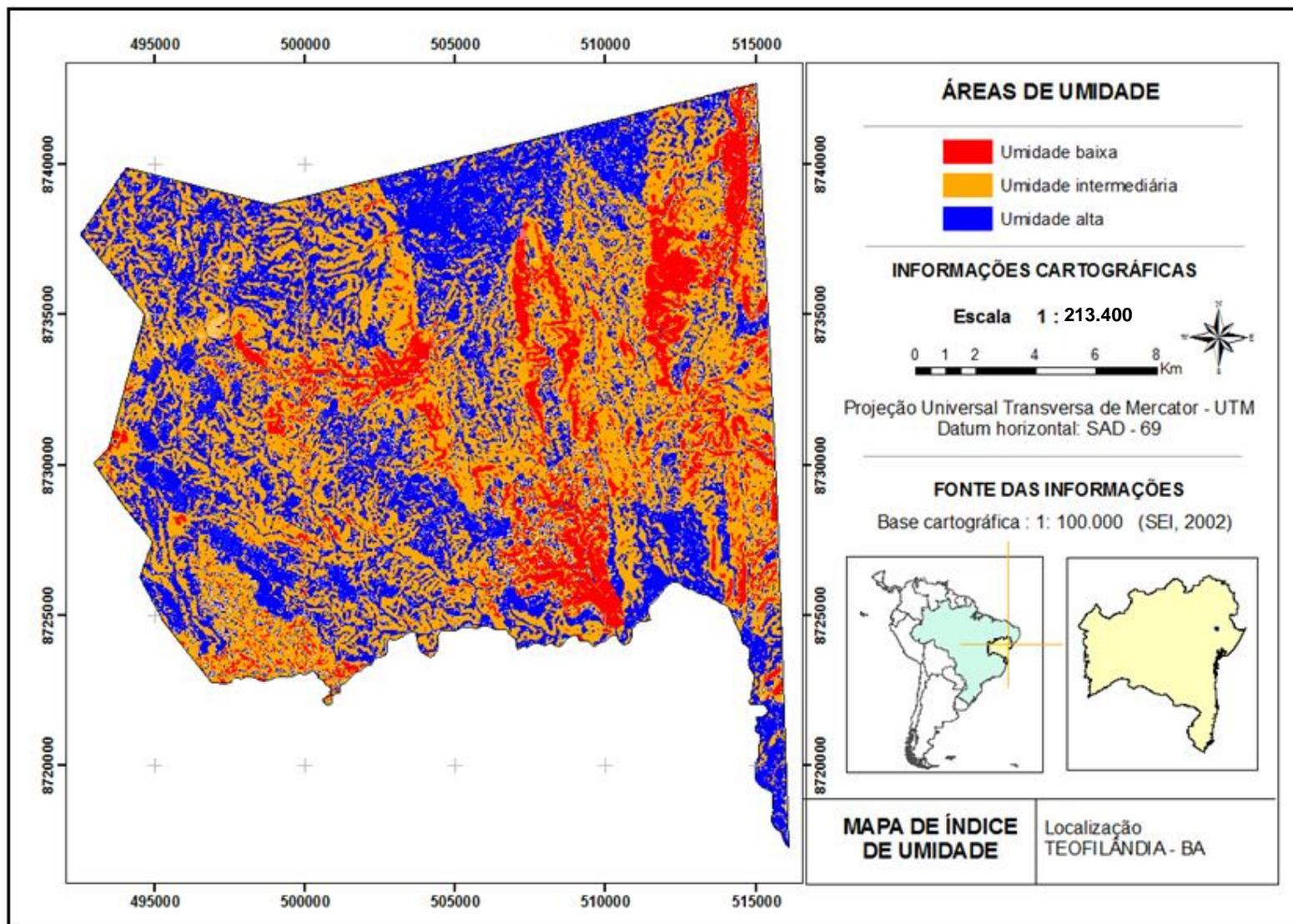


Figura 43: Mapa das áreas de umidade do município de Teofilândia - BA.

A partir do mapa de umidade é possível avaliar em uma determinada área o comportamento dos fluxos superficiais em relação à permanência destes na superfície do terreno. De maneira geral, esse índice permite identificar áreas mais aplainadas onde a água da chuva tende a permanecer por um maior tempo após as precipitações. No mapa das áreas de umidade foi possível identificar três graus de umidade (baixa, média e alta). No quadro abaixo constam as áreas em Km² para cada classe de umidade.

Quadro 11: Valores em Km² das áreas de umidade.

Classe de Umidade	Cor	Área Km²
Umidade baixa		24,7
Umidade intermediária		199,3
Umidade Alta		121,1

De acordo os valores, as áreas mais úmidas representam 121 Km² da área do município, caracterizadas por superfícies aplainadas geralmente próximas dos canais de drenagem. As áreas de umidade intermediária representam a maior parte do município com 199,3 Km², e se caracterizam por áreas com cotas mais elevadas e próximas das áreas de maior umidade. Com 24,7 Km² as áreas de umidade baixa localizam-se nas partes mais altas do município com menor tendência a acumulação e conseqüentemente menor umidade.

6.3 ÁLGEBRA DE MAPAS

Compreendida como um conjunto de procedimentos de análise espacial e matemático, a álgebra de mapas tem como característica, gerar novos dados a partir de funções de manipulação de um ou mais mapas, Tomlin (1990). Segundo Berry (1993), a “álgebra de mapas” ou “álgebra de campos”, pode ser compreendida como uma extensão da álgebra tradicional, contendo operadores cujas variáveis são interpretadas como elementos geográficos. Para Eastman (1998) álgebra com mapas refere-se ao uso de imagens como variáveis em operações aritméticas normais.

Em algumas literaturas (CÂMARA, 1998; BARBOSA, 2010) discute-se que a álgebra de mapas se subdivide em operações que se agrupam em três classes:

- a) **Pontuais:** quando o resultado ou mapa derivado possuem valores diretamente ligados aos dados ou mapas de entrada (Ex.: fatiar um modelo numérico de terreno, classificar uma imagem)
- b) **Vizinhança:** quando os mapas resultantes dependem dos valores da sua vizinhança, como a filtragem espacial de uma imagem e o cálculo da declividade de um MDT.
- c) **Zonais:** as operações se estabelecem sobre áreas específicas de um mapa de entrada tendo como base de restrição dados de outro mapa temático (Ex: identificação da declividade média para cada tipo de solo, utilizando um mapa de solos e um de declividade de uma mesma área).

No IDRISI as operações algébricas podem ser acessadas a partir dos módulos (OVERLAY, SCALAR e TRANSFORM) ou ainda pela calculadora para imagens, uma extensão que contém as funções desses três módulos. Dos módulos citados, o OVERLAY realiza operações matemáticas entre duas imagens, enquanto que o SCALAR e o TRANSFORM trabalham com apenas um único mapa.

O SCALAR altera matematicamente todos os pixels de uma imagem a partir de uma constante, enquanto que o TRANSFORM transforma matematicamente cada pixel da imagem de maneira uniforme. Um detalhe importante na manipulação de dados a partir da álgebra de mapas é que necessariamente estes devem estar

em formato raster, sendo fundamental a conversão dos formatos para a representação computacional. Na construção dos dados preliminares, foram gerados resultados derivados do MDT, tais como o mapa de declividade, mapa de aspecto, de direção de fluxo, áreas de escoamento superficial e áreas de umidade.

Dos dados gerados pelo cruzamento de mapas preliminares, obtiveram-se três outros mapas principais: o mapa de aspecto, de índice de umidade, de áreas de retenção (Figura 45). Da álgebra entre estes três mapas, obteve-se como resultado a identificação de áreas potenciais ao escoamento e retenção hídrica superficial como pode ser observado no mapa da Figura 46.

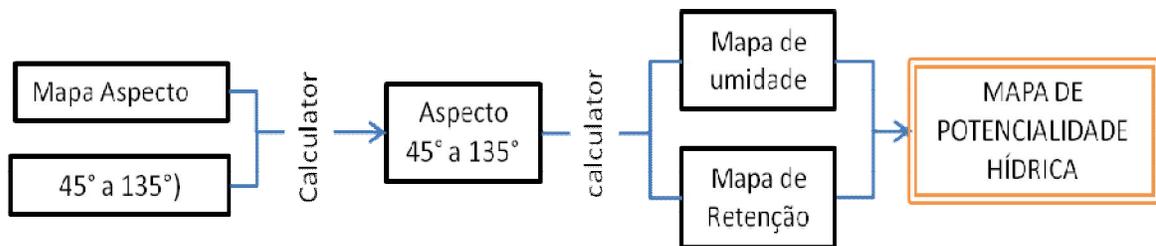


Figura 44: Modelagem da álgebra de mapas

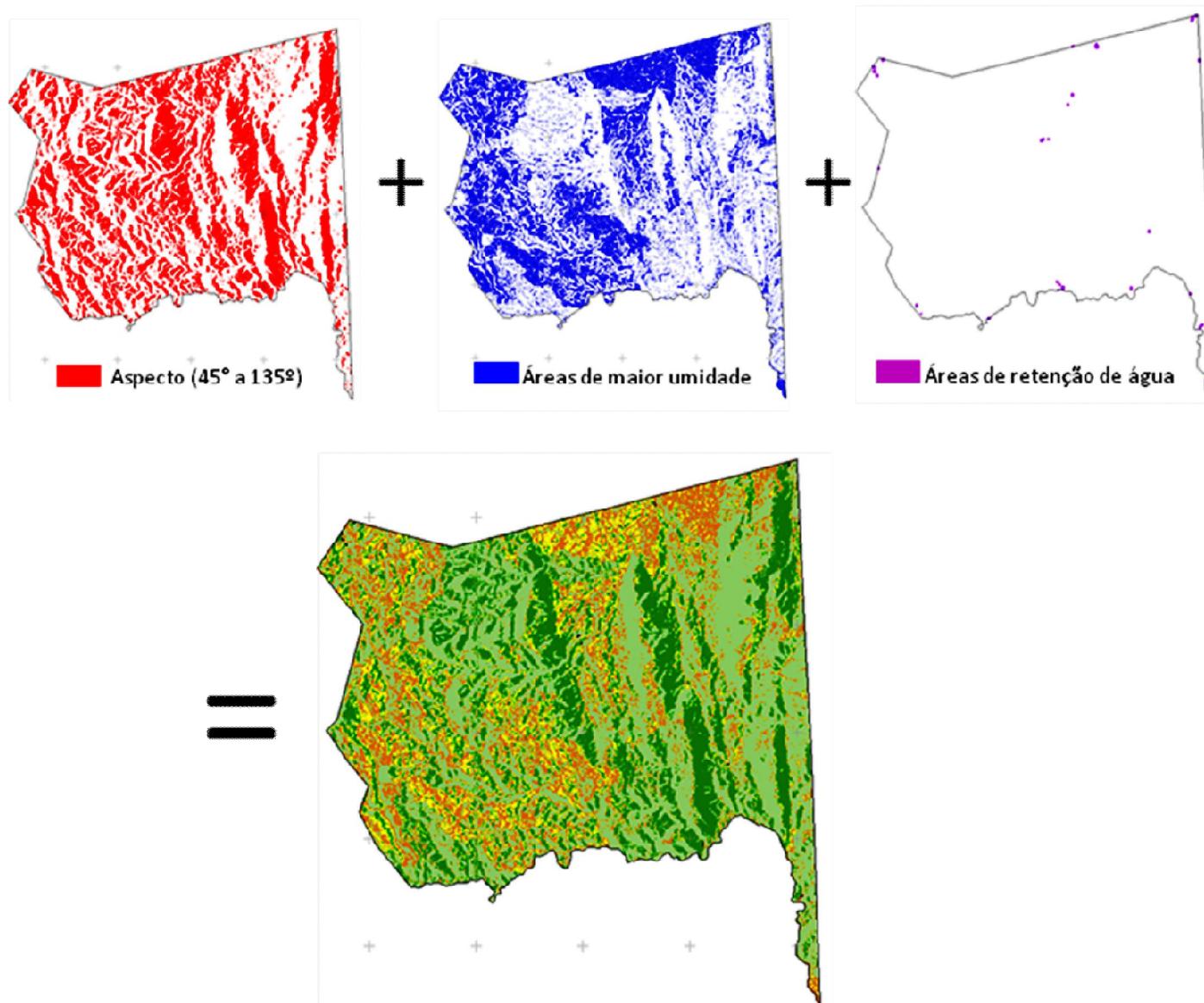


Figura 45: Representação da álgebra de mapas (aspecto 45° a 135° + áreas de umidade+ áreas de retenção).

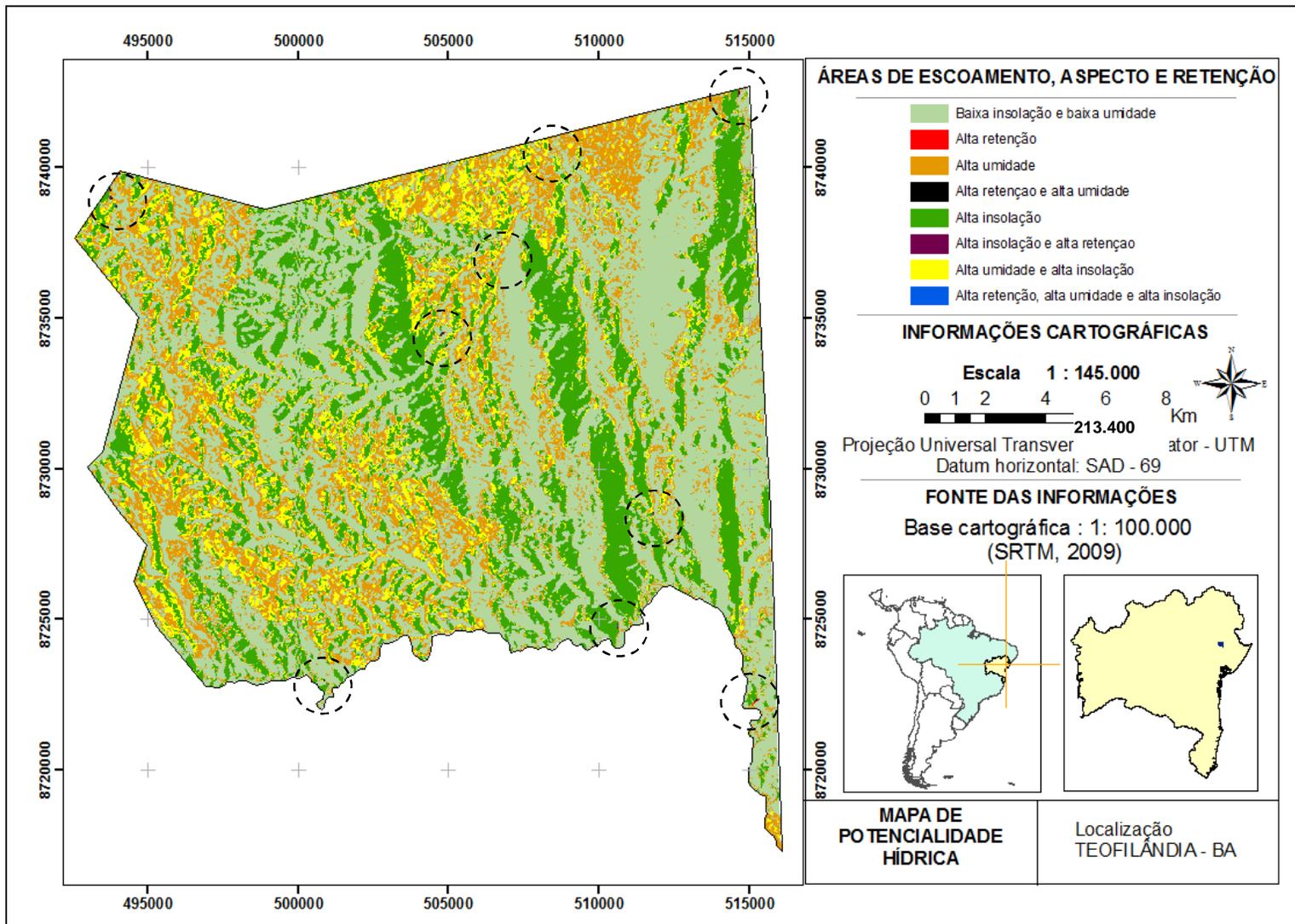


Figura 46: Mapa de potencialidade hídrica superficial do município de Teofilândia-BA.

A partir dos resultados da aplicação da álgebra de mapas que resultou no mapa de potencialidade, foi possível identificar 8 classes que apresentaram características distintas para aproveitamento, conseqüentemente, potenciais diferenciados para a sua utilização. As classes identificadas e as respectivas áreas em Km² podem ser observadas no quadro 12:

CLASSES	AREA EM Km²
1- Baixa insolação e baixa umidade	160
2- Alta retenção	0.07
3- Alta umidade	61
4- Alta retenção e alta umidade	0.05
5- Alta insolação	84
6- Alta insolação e alta retenção	0.02
7- Alta umidade e alta insolação	31
8- Alta retenção, alta umidade e alta insolação.	0.03
TOTAL	336

Quadro 12: Classes de potencialidade e respectivas áreas em Km²

A classe 1 *Baixa insolação e baixa umidade*, foi a que apresentou maior extensão em área, seguida pela classe 5- *alta insolação*. As duas outras classes com maior extensão foram: 3- *Alta umidade* e 7- *Alta umidade e alta insolação*. As classes 2- *Alta retenção*, 4- *Alta retenção e alta umidade*, 6- *Alta insolação e alta retenção* 8 - *Alta retenção, alta umidade e alta insolação* aparecem de forma pontual, sem grande extensão de área, contudo apresentam características essenciais para a construção de barramentos. A classe 3 por apresentar potencial de umidade, constitui-se como área cujas características são satisfatórias para a prática da agricultura. As classes 2 e 4 se constituem como aquelas onde há maior favorabilidade para a implantação de barramentos d'água, devido sua alta capacidade de retenção e também alta umidade do solo. Estas classes estão representadas no mapa de potencialidade por 29 espaços geográficos (fragmentos), que por sua vez apresentam tamanhos diferenciados. Os maiores são favoráveis à construção de açudes de grande porte, enquanto que os menores, para a construção de barramentos de menor porte. Ainda é possível mencionar que dos 29 fragmentos, 3 se localizam em solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e 1 em NEOSSOLOS REGOLÍTICOS EUTRÓFICOS. Nesta análise é possível perceber que a classificação dos padrões de potencialidade das áreas identificadas se estabelece como importante meio para o aproveitamento e a gestão destas áreas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem sobre a água tem ganhado espaço importante nos meios acadêmicos, devido este tema envolver temáticas sociais, econômicas e políticas, além de se constituir como elemento imprescindível no sustento da vida. Diante dos impasses que há anos permeiam o tema sobre a água, principalmente no que se refere ao acesso pela população mais carente, que diversas pesquisas têm buscado identificar problemas de disponibilidade da água e desenvolvido métodos e técnicas que auxiliem no processo de universalização do acesso a água.

Neste sentido, esta pesquisa utilizando-se do uso de ferramentas tecnológicas, traz uma abordagem metodológica que fornece respostas à dinâmica dos fluxos superficiais em regiões semi-áridas, trazendo métodos e técnicas que auxiliam na identificação de áreas potenciais ao aproveitamento dos recursos hídricos de forma planejada. Com base nos resultados primários, constatou-se que os procedimentos utilizados para a construção da modelagem temática, foram tecnicamente positivos, oferecendo respostas direcionadas para a construção do resultado final. Dentre os métodos mencionados, o MDT representou a base primária para geração de todos os dados posteriores, permitindo produzir mapas analíticos (mapa de retenção, mapa de umidade) que se constituíram como variáveis importantes para a geração do mapa final.

Outra fonte importante para compreender a dinâmica dos fluxos superficiais foi a base digital dos canais de drenagem, que a partir do processamento do índice de sinuosidade e dos níveis de cotas dos canais da região, foi possível identificar para cada canal as características morfométricas o que possibilitou determinar padrões de drenagem a partir da tabulação cruzada destas duas variáveis.

A partir do índice de sinuosidade, constatou-se que de acordo com o maior ou menor nível de sinuosidade, a tendência dos fluxos superficiais permanecerem em canais mais sinuosos é maior do que naqueles com características retilíneas, pois por possuírem maior comprimento real o tempo em que a água percorre nesses canais, seria a principio maior.

Contudo, ao cruzar o índice de sinuosidade com a média dos valores de cotas entre estes mesmos canais, a dinâmica dos fluxos superficiais muda completamente. Um exemplo é a presença de canais com alto índice de sinuosidade (maior retenção), mas com alto valor médio da cota altimétrica o que proporciona maior

velocidade do fluxo d'água superficial naquele canal. Assim, percebe-se que não é apenas a forma do canal que determina a velocidade do fluxo d'água, e, conseqüentemente a permanência destes fluxos, mas também a diferença de cota existente entre a nascente e a foz do canal analisado.

Os resultados adquiridos a partir do processamento do MDT - índice de umidade, áreas de retenção e aspecto - determinaram, a partir da álgebra de mapas, as áreas de escoamento, acumulação e retenção hídrica superficial no município, sendo identificadas áreas de baixo a alto potencial à implementação de barragens e áreas agricultáveis. Das classes identificadas, aquelas que apresentaram alta retenção e alta umidade foram consideradas as áreas mais aptas à construção de barragens e as de alta umidade são áreas favoráveis à prática da agricultura.

Essas classes estão representadas por 29 espaços geográficos distribuídos no município, com uma área total de 175.818 m². Destes, vinte e seis espaços (141.752 m²) estão em solos do tipo PLANOSSOLO HÁPLICO eutrófico, cujas características são de textura arenosa o que representa menor capacidade de retenção. Três espaços com 33.138 m² localizaram-se em LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO distrófico e estes solos por sua vez apresentam baixo armazenamento de água, o que representa maior capacidade de retenção se comparado aos LATOSSOLOS. Por fim, somente um espaço com 920 m² foi identificado em solos do tipo NEOSSOLOS REGOLÍTICOS eutróficos, solos rasos, com substratos rochosos formados por granitos e gnaisses, caracterizando-se como áreas com grande potencial para construção de reservas hídricas pela alta capacidade de retenção. As demais classes obtiveram variação entre as classes, como áreas que apresentaram alta umidade, mas que também tinha alta insolação, fator desfavorável a implementação tanto de barragens quanto de uso agrícola, o que acarreta em alta evaporação das lâminas d'água e ressecamento do solo.

A importância em se identificar áreas potenciais é que a partir do seu reconhecimento é possível traçar planos de gestão que estabeleçam áreas prioritárias para implementação de projetos que sejam viáveis tecnicamente e que respondam positivamente para a sociedade. Ao delimitar essas áreas permite-se que ações planejadas sejam realizadas, proporcionando desenvolvimento econômico e social dos sujeitos que dependem diretamente do uso dos recursos hídricos locais.

Nesta pesquisa, os dados colhidos em campo serviram para traçar um comparativo com os resultados de laboratório gerados a partir do processamento do MDT e da Imagem. Foram identificados 37 pontos de barramento de água (Anexo A), com características diferenciadas, desde pequenos barreiros até grandes barragens. Na análise entre os dados, percebeu-se que poucas barragens foram construídas em áreas de escoamento superficial favorável e muitas vezes construídas em áreas com alto nível de insolação o que proporciona alta perda de água pela evaporação. Da correlação entre os valores de sinuosidade e de cotas encontrados dos canais de drenagem, todas as três classes de sinuosidades apresentaram cotas baixa, média e alta, contudo com níveis de cotas muito diferenciados, a exemplo dos canais com maior índice de sinuosidade (0.579 – 0.626) que apresentaram apenas cotas baixa e alta com níveis 1 e 8 respectivamente.

Dos resultados obtidos a partir do cruzamento de dados primários, abrem-se ainda perspectivas para que outros dados sejam incorporados nesta pesquisa, a exemplo do cruzamento entre tipos de solos, geologia, uso e ocupação, os quais também se constituem como variáveis que influenciam no resultado final desta pesquisa. O mapa de solos que por possuírem tipos diferenciados, influi para uma maior ou menor retenção dos fluxos superficiais dependendo da estrutura do mesmo, bem como da geologia que pela sua conformação, pode interferir diretamente na retenção de corpos d'água superficiais e subsuperficiais, e dos usos e coberturas da terra que dependendo do tipo de cobertura existente, influencia sobremaneira na forma em que os fluxos superficiais atingem e percorrem a superfície terrestre.

Assim, a partir dos resultados apresentados, foi possível construir uma análise integrada dos elementos, demonstrando a importância da correlação dos dados para melhor compreender a dinâmica dos processos hídricos existentes e poder indicar ações e projetos que melhor se adequem a realidade de uma determinada região. Como foi observado na classificação da hierarquia de potencialidade é possível fazer levantamentos que indiquem as áreas mais viáveis à implantação de projetos cujo direcionamento pauta-se no aproveitamento das águas superficiais.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, P. de B. **Direito Ambiental**. Rio de Janeiro: LUMEN JURIS, 1998.

BAHIA; SECRETARIA DO PLANEJAMENTO, Ciência e Tecnologia. **Recursos Hídricos do Estado da Bahia: ênfase ao semi-árido**. Salvador, CAR, 2005.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. (Dissertação, Ministério da ciência e tecnologia. INPE. São José dos Campos, 1997. Disponível em : <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/banon/1998/05.07.15.37/doc/index.html> acesso em: 18 Ago. 2010

BERRY, J.K.; "Cartographic Modeling: The Analytical Capabilities of GIS". In: Goodchild, M.; Parks, B.O., Steyaert, L.T., **Environmental Modeling with GIS**. Oxford, Oxford University Press, 1993, pp. 58-74. Disponível em:[http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=nJo3eoOhONwC&oi=fnd&pg=PA58&dq=BERRY\(1993\)+Cartographic+Modeling:+The+Analytical+Capabilities+of+GIS](http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=nJo3eoOhONwC&oi=fnd&pg=PA58&dq=BERRY(1993)+Cartographic+Modeling:+The+Analytical+Capabilities+of+GIS) Acesso em: 23 Abr. 2010

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press. 1998.

BRASIL. Diagnóstico do estado atual da cobertura vegetal em áreas prioritárias para conservação da Caatinga. In: **Análise das variações do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. Francisca Soares de Araujo et al (orgs.) Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CADIER, E. **Método de avaliação dos escoamentos das pequenas bacias do Semi-árido**. Recife: SUDENE, 1984.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Modelagem de Dados em Geoprocessamento. In : Assad, E.; Sano, E.E.(eds.). **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. Brasília, DF, EMBRAPA, 1998.

CÂMARA G., Moreira, F. R., Barbosa, C., Almeida Filho, R., Bönisch, S.(eds.) Técnicas de inferência geográfica. In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: http://www.rc.unesp.br/igce/geologia/GAA01048/aulas_files/cap9-inferencia.pdf Acesso em: 26 nov. 2010.

CARSON, H.A.; KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process**. Cambridge, Univ. Press, 1972.

Componentes da interceptação. Disponível em: Adaptado de www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php. Acesso em 26 Nov. 2009

Construção de barragem subterrânea. Disponível em: www.imagensgoogle.com.br, 2009. Acesso em 26 Ago. 2010

CHAVEZ JR., P. S.; BERLIN, G. L.; SOWERS, L. B. Statistical method for selection Landsat MSS ratios. **Journal of Applied Photogrammetric Engineering**, v. 8, p. 23-30, 1982.

CHORLEY, Richard John; HAGGETT, Peter. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, São Paulo: USP – Coordenadoria de Comunicação Social, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas ambientais**. São Paulo, Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgar Blücher, 2.^a edição, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (org) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4^o ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. In: **Diagnóstico do Município de Teofilândia - Bahia** / Organizado [por] Ângelo Trévia Vieira, et al. Salvador: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/bahia/relatorios/TEOF175.pdf>. Acesso em: 20 Jun 08

DALRYMPLE, J. B., BLONG, R.J., CONACHER, A.J. **An hypothetical nine unit land-surface model**. Z. Geomorphol., 1968. Disponível em : [http://books.google.com.br/books?id=2RAM9DQPKuQC&pg=PA137&dq=Dalrymple,+Blong+e+Conacher+\(1968\)](http://books.google.com.br/books?id=2RAM9DQPKuQC&pg=PA137&dq=Dalrymple,+Blong+e+Conacher+(1968))

DE ROO, A.P.J. & JETTEN, V.G. **Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa**. Catena, 37:477-493, 1999.

DUQUE, Jose Guimarães. **Solo e água do polígono das secas**. 6. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil: 2004.

EASTMAN, J. R. IDRISI for Windows. **Introdução e Exercícios tutoriais**. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998.

Embrapa Solos. UEP, Recife, 2006. Disponível em: (www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html). Acesso em: 19 Nov. 2010

Embrapa Solos. UEP, Recife, 1973. Disponível em: (www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html). Acesso em: 19 Nov. 2010

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em 26 nov. 2009

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 201p.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. **Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia**. Edição Especial SRTM - Conceitos e Aplicações / Special Issue SRTM - Concepts and Applications. Rev. Geográfica Acadêmica v.2 n.2 (viii.2008)73-83 Disponível em: <http://www.rga.ggf.br/index.php?journal=rga&page=search&op=results>. Acesso em 19 Abril 2010

GOUDIE, A. The Changing Earth. In: **Rates of Geomorphological Processes**. Oxford, Blackwell Publishers.

GUERRA, A. J. T. & MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia ambiental**. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HENGL, T. Finding the right pixel size Computers & Geosciences 32: 9. (2006) p. 1283-1298. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1296598> Acesso em: 15 Out. 2010

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, Washington, v.56, n.1, p.275-370, 1945

IBGE (2010). Primeiros Resultados do Censo 2010. In: **Censo populacional do município de Teofilândia-BA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 18 Jan. 2011

Imagens de formas de relevo. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap4/index.php>. Acesso em: 14 de Jan. 2011.

INPE (2009). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Modelo Digital de Terreno. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>> ,

Interpolação de amostras de pontos semelhantes para criar uma superfície contínua. Disponível em: www.cfh.ufsc.br/gcn3506/documents/Aula10_000.pdf. Acesso em 02 Ago. 2010

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de superfície. In: OLIVEIRA, A., M. S.; BRITO, S. N. A. (eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, cap. 7, 1998. 587p.

LANDSAT ETM+: imagem de satélite. São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Cena 216-68. Resolução 30m. Canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Composição colorida 437RGB.

LENCASTRE, Armando; FRANCO, F. M. **Lições de hidrologia**. 2. ed., rev Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1992.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MOLLE, François. **Manual do pequeno açude**. Recife, SUDENE – PRN-DPP-APR, 1992.

MORAES, Antônio Carlos Robert. **Ideologias Geográficas**. São Paulo: Annablume, 1988.

MORAIS, Luiz Carlos Silva de. **Curso de Direito Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2002.

MOTA, Suetônio. **Preservação e conservação de recursos hídricos** – 2.ed. rev. e atualizada. – Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.

NOVO, EVELYN M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

PEREIRA, Gilberto Corso; Universidade Estadual Paulista. **Geoprocessamento e urbanismo em Salvador: uma contribuição cartográfica**. Rio Claro, SP: [s.n.], 1999.

PEREIRA, G.C., SILVA B.C.N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: MENDES, I., GERARDI, L. (orgs.) **Teorias, Técnicas, Espaços e Atividades**. Rio Claro: UNESP/PPG, 2001

PEUCKER, T.K., FOWLER, R.J., LITTLE J.J., MARK, D.M. **The Triangulated Irregular Network. American Society for Photogrammetry(ASP)-ACSM Proceedings of Digital Terrain Models(DTM)**. Symposium, St.Louis, 1978. pp. 516-540 Disponível em: <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-4-vol-2/pdf/the-triangulated-irregular-network.pdf> Acesso em: 22 Ago. 2010

PFAFSTETTER, Otto. **Deflúvio Superficial**. [Rio de Janeiro]: Departamento Nacional de Obras de Saneamento – Serviço de divulgação. 1976.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, Jose Augusto. **Hidrologia de superfície**. São Paulo: E. Blücher, c1973.

_____. **Hidrologia básica**. São Paulo: E. Blücher, 1998.

RENNÓ. C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação Hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. (Tese de Doutorado do Curso da Pós-Graduação e Sensoriamento Remoto). INPE. São José dos Campos. 2004

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 5ª ed. Uberlândia. Ed da Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 203 p. Disponível em <http://\marte.dpi.inpe/col/ltid.inpe.br/sbssr>. Acesso em: 18 Jan 2008.

ROSSIER J.; SCHENK F. Olfactory and/or visual cues for spatial navigation through ontogeny: **Olfactory cues enable the use of visual cues**. Behav Neurosci. 2003.

SANTOS, J. M. *et al.* **Reflexões Contemporâneas**. 1ª. ed. Salvador; GRASB, 2006.

SANTOS, Milton. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. 5 ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SEI - SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Dez anos de economia baiana**. Salvador, BA: SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2002. 280p

SETTI, A.S.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3.ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional das Águas, 2001. 328 p.

SILVEIRA, Claudinei Taborda da. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes Neurais artificiais**. - Curitiba, 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

SILVA, Ardemírio de Barros. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista da. **Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos**. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. CD ROM. – (Embrapa Solos, Documentos : n. 21).Disponível em:
<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/doc212000metodeterminacao.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2009.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. ***Geological Society of America Bulletin***. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scieloOrg/php/reflinks.php> Acesso em: 18 Out. 2010.

SRTM: Modelo Digital de Terreno. Flórida: NASA-USA, 2003. In:
<http://seamless.usgs.gov/>. Acesso em: 14 nov. 2010.

TARBOTON, D. G., **A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models**. Water Resources Research, 1997. Disponível em: <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/dinf.pdf>. Acesso em: 11 de Dez. 2010.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling.** Prentice Hall, New York, 1990.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. *Soil Science Society American Journal.* New York, v.263, p.616-27. 1965.

VALERIANO, M. M. **Modelos Digitais de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** INPE, São José dos Campos, 2004.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem.** São José dos Campos: INPE, 2002, 56p.

VINK, A. (1975). Land use in advance a agriculture. Vol. 10 - Springer. NY. p. 394

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. *Cartas Topográficas dos municípios de Santa Bárbara SC.24-Z-C-I, Araci SC.24- Z-C-IV, Santa Luz SC.24-Y-D-III e Serrinha SC.24-Y-D-VI.* Digital. Escala 1:100.000, 1975.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de pontos das principais barragens do município de Teofilândia - BA

LOCALIZAÇÃO	ALT.	Longitude (utm)	Latitude (utm)	DESCRIÇÃO
Divisa Teofilândia/Serrinha	277m	501106	8722927	Açude amplo sem parede de contenção
Estrada sentido Barrocas	301m	500465	8727153	Barragem média; forma alongada
Primeira encruzilhada sentido Barrocas	337m	497197	8725888	Tanque pequeno;
Estrada sentido Barrocas	335m	495637	8726096	Riacho intermitente
Estrada sentido Barrocas	337m	495429	8726147	Tanque pequeno; formato arredondado com pouca área de escoamento superficial
Estrada sentido Barrocas	345m	494357	8726517	Barragem de porte grande; encaixado no vale com expressiva área de escoamento
Sentido Cedro/Morrinho	353m	494045	8726945	Tanque pequeno; formato arredondado;
Sentido Cedro/Morrinho	354m	494144	8727779	Barragem média; formato alongado
Sentido Cedro/Morrinho	355m	495326	8727991	Açude sem barramento (parede); fomato alongado
Fazenda Morrinho	370m	496347	8727977	Tanque pequeno com barramento (parede)
Sentido Morrinho/Teofilândia	357m	496489	8728240	Tanque médio com barramento (parede)
Sentido Morrinho/Teofilândia	338m	498278	8729156	Tanque pequeno com barramento (parede)
Teofilândia (Rua da Olaria)	338m	499386	8729706	Riacho intermitente com acumulo de água constante (sem fluxo)
Teofilândia (Açude Matadouro Velho)	338m	499468	8729352	Açude com barramento (parede); fomato alongado
Teofilândia (Tanque do Governo)	335m	500465	8729632	Barragem de porte médio;
Teofilândia sentido Br 116 N	349m	501268	8732857	Barragem de porte pequeno
Teofilândia sentido comum. Gato	338m	499699	8734834	Riacho intermitente com acumulo de água no leito
Barragem do Gato	348m	498911	8735753	Barragem média
Comunidade do Gato	365m	498737	8736326	Tanque pequeno sem área de fluxo

Estrada Gato/Araticunzeiro	349m	499330	8737135	Tanque pequeno sem área de fluxo
Fazenda Araticunzeiro	332m	499957	8737247	Barragem de pequeno porte com áreas de escoamento superficial
Fazenda Araticunzeiro	326m	500168	8737573	Tanque de pequeno porte com pouca área de escoamento superficial
Fazenda Araticunzeiro	331m	500431	8737450	Tanque de pequeno porte com pouca área de escoamento superficial
Sentido Fazenda Araticunzeiro/Com Barreiro	295m	501117	8736799	Riacho intermitente sentido Oeste/leste
Barreiro	297m	502162	8736742	Barragem de porte médio em área de escoamento
Comum. Sítio Novo	225m	505560	8736711	Barragem de grande porte; área de baixada
Comum. Sítio Novo (prop. Particular)	225m	506693	8737349	Tanque pequeno com drenagem construída pelo proprietário
Comum. Sítio Novo	223m	507322	8738371	Riacho intermitente (sem acúmulo de água no leito)
Sítio Novo sentido estrada acesso Teof.	228m	508898	8738280	Barragem de porte médio com áreas de escoamento superficial
Estrada Teofilândia/Comum. Setor	238m	508339	8739047	Tanque de pequeno porte com pouca área de escoamento superficial
Estrada sentido estrada Setor	293m	507801	8736409	Barragem de porte médio encaixado no vale
Faz. Pedreira	326m	507861	8734310	Tanque de pequeno porte sem área de escoamento superficial
Açude público	252m	509608	8734730	Barragem de porte médio com áreas de escoamento superficial
Roça de baixo	253m	510790	8734806	Barragem de porte médio com poucas áreas de escoamento superficial
Giraw	303m	514552	8729552	Barragem de pequeno porte com poucas áreas de escoamento superficial
Giraw	318m	508349	8729632	Barragem de pequeno porte com poucas áreas de escoamento superficial
Sentido comunidade Brasa	321m	507042	8729415	Tanque de pequeno porte, pouca drenagem superficial

ANEXO B – Tabela de pontos de campo no município de Teofilândia-BA

E (X)	N (Y)	Z (ALT)	CLASSE
500213	8729746	353	Área Urbana
501727	8729468	363	Veg. Rasteira área de plantio
502093	8728247	347	Pastagem e campo
502325	8729669	361	Povoado da Bola Verde
503515	8729284	352	Solo exposto
505565	8728576	332	Solo exposto e caatinga
508397	8729449	316	Pastagem e campo
508576	8731384	321	Solo exposto
509738	8729995	331	Solo exposto
509986	8729746	331	Solo exposto
512002	8729334	269	Pastagem e campo
514753	8729525	302	Solo exposto
515035	8731509	351	Solo Exposto (Pov. do Baixão)
515983	8731181	356	Solo exposto
516916	8731053	355	Solo exposto-caatinga
514957	8732678	344	Pastagem e campo
513533	8734647	337	Solo exposto
512950	8734584	351	Povoado do Setor
511818	8734445	283	Pastagem, campo-caatinga-agave
507831	8734298	324	Solo exposto
505931	8733827	262	Pastagem e campo
503848	8732460	302	Pastagem e campo
502207	8730878	362	Solo exposto
506042	8733961	260	Agricultura - Agave
517740	8734310	410	Caatinga densa
520589	8735529	462	Caatinga densa
523295	8736063	480	Caatinga rala - campo
523640	8732814	460	Caatinga densa
526556	8731588	428	Caatinga densa - plantação de mandioca

523480	8737529	472	Caatinga Rala - área desmatada com capim
523724	8739136	465	Caatinga rala
524405	8742076	465	Caatinga rala - campo
524861	8744032	465	Caatinga rala - campo
524707	8744685	463	Pastagem/campo - caatinga desmatada
526540	8744547	451	Pastagem/campo
521996	8745215	431	Caatinga densa e rala
520867	8745496	404	Caatinga densa e areas desmatadas
519672	8745698	367	Solo exposto
519252	8745987	350	Povoado do Quererá - solo exposto
518098	8745862	297	Caatinga densa
515523	8745865	254	Caatinga rala - pastagem
513977	8745882	239	Água, pastagem
510546	8745550	236	Pastagem - caatinga rala
509073	8745465	217	Espelho d'água, açude do Maracuja
506155	8745671	238	Campo e solo exposto
504545	8746611	257	Área Urbana
501724	8734013	348	Solo exposto - vegetação rasteira
502656	8736279	325	Solo exposto - pov. Do Barreiro
503632	8740722	256	Pastagem e agave
503955	8741268	250	Caatinga densa
504259	8741720	246	Caatinga densa - pastagem
503681	8742633	263	Caatinga densa
504211	8744861	256	Agave - caatinga
506013	8749181	229	Agave
508311	8753448	211	Caatinga
509926	8756183	205	Pasto e Campo
506269	8749775	212	Agave
502933	8747267	266	Solo exposto e pastagem
502297	8747976	305	Caatinga

501584	8748316	304	Caatinga rala
500004	8749048	345	Caatinga rala
503169	8746690	295	Solo exposto
504515	8737260	240	Pasto/Campo - solo exposto
505757	8736679	237	Esp. d'água - caatinga - pastagem
506437	8736436	235	Agave
506999	8738411	231	Passtagem baixa
508852	8738265	226	Esp. d'água - pastagem
509968	8737257	253	Solo exposto. Povoado da Ipoeira
510350	8735950	244	Solo exposto - pastagem
510728	8735393	244	Agave
500128	8733741	372	Solo exposto
500190	8748962	350	Pastagem/campo