

SIMONE MACIEL DE SOUZA

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO PROJETO PILOTO DE
IRRIGAÇÃO MANUEL ALVES – DIANÓPOLIS – TOCANTINS**

PALMAS
2005

SIMONE MACIEL DE SOUZA

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO PROJETO PILOTO DE
IRRIGAÇÃO MANUEL ALVES – DIANÓPOLIS – TOCANTINS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ciências do Ambiente.

Orientador:
Prof. Dr. Leonardo Santos Collier

PALMAS
2005

SIMONE MACIEL DE SOUZA

VULNERABILIDADE AMBIENTAL DO PROJETO PILOTO DE IRRIGAÇÃO MANUEL ALVES – DIANÓPOLIS – TOCANTINS

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ciências do Ambiente.

BANCA EXAMINADORA:

Palmas - TO, 30 de maio de 2005

Banca: 
Prof.^a. Dr.^a. Iracy Coelho de Menezes Martins


Prof. Dr. José Ramiro Lamadrid Marón


Prof. Dr. Leonardo Santos Collier


Simone Maciel de Souza (candidata)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me guia, me protege e me dá a vida, pois sem Ele nem teria começado este trabalho!

À minha família, pelo apoio, o carinho e a compreensão, pelo exemplo de dignidade, de luta e de postura diante da vida. Pela paciência de não ter a filha presente quando precisaram, pela tolerância de serem muitas vezes trocados pelo trabalho e pelo estímulo que sempre representaram para eu fazer cada dia mais e melhor.

Ao amigo e professor Jandislau Lui, dedico, que por motivo de força maior, não foi possível concretizar esse trabalho, mas mesmo assim esteve presente discutindo questões relacionadas ao trabalho, exemplo de pesquisador, professor, ser humano, pela generosidade e pela confiança no momento em que mais precisei durante o início do curso, minha eterna gratidão!

Ao Prof. Dr. Leonardo Santos Collier, modelo de pesquisador brilhante, que nos últimos minutos do segundo tempo, teve de assumir a responsabilidade de orientador e não se isentou. Obrigada pelo carinho, respeito, pelos ensinamentos e pelas contribuições valiosas, pela oportunidade de aprendizado e pela compreensão! Um exemplo de pessoa e profissional, ao mesmo tempo um parceiro e um mestre, sem o qual esse trabalho não teria chegado ao final.

À UFT (Universidade Federal do Tocantins) pela oportunidade de crescimento e de poder ver o mundo de forma diferente.

Aos funcionários da Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, em especial a Keile, que sempre nos atendeu com cordialidade.

Aos meus amigos e colegas Adrian da Silva e Admar da Silva, pela convivência enriquecedora durante todos esses anos, tanto pela amizade no campo pessoal como pelas discussões e construções no campo profissional, pelos ensinamentos e pela postura profissional sempre demonstrada.

Ao Edson Venturelli, pelo apoio e amizade e pelas oportunidades que me proporcionaram de conhecer na prática o significado das expressões cooperação, liderança e motivação, pelo exemplo profissional e por ser sempre tão generoso.

Ao Jairo Barth pela disponibilização de informações necessárias e fundamentais para realização deste trabalho.

A minha irmã Alexsandra e meu cunhado Pablo Fernando pela grande ajuda na formatação e revisão dos textos, pois sem eles dificilmente conseguiria chegar a esse resultado.

Aos familiares tia Dida e prima Marina por ter-me acolhido no período de trabalho de pesquisa em São Paulo, meu muito obrigada!

A minha querida amiga Simone Dutra, pela disposição em me ajudar a fazer as cartas temáticas deste trabalho usando Sistema de Informação Geográfica, pela solidariedade, gentileza e paciência infinita.

Aos colegas de pós-graduação e todos os outros, pelo convívio, alegrias, tristezas e aprendizado compartilhados!

A empresa CMT Engenharia e aos funcionários, em especial a equipe de meio ambiente, pelo fundamental apoio que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

A amiga Roberta, Nolan e Calcedônia, pelos conselhos e pela constante disposição em ajudar, agradeço o incentivo e o apoio dado em todo o transcorrer deste trabalho.

Ao colega e amigo César Santos, pelo carinho, amor e compreensão, sabendo que mesmo à distância, sempre esteve muito próximo, sendo lembrado e querido, me proporcionou convivência enriquecedora, tanto pela amizade, incentivo, paciência, demonstrando também confiança e imensa paz.

Aos irmãos da igreja Adventista, pelo carinho e orações.

À banca examinadora pela disponibilidade em participar deste trabalho, trazendo contribuições necessárias ao desenvolvimento dela.

A realização deste estudo não seria possível sem a generosa e cordial colaboração de um grande número de pessoas, com as quais gostaria de dividir os méritos dos resultados apresentados neste trabalho.

Tudo posso nAquele que me fortalece.

Filipenses: 4:13.

RESUMO

Esse estudo foi realizado buscando avaliar a interação entre os componentes físico, biótico e antrópicos, e, como esta informação poderá subsidiar processos de gestão e planejamento ambiental em uma área que será utilizada para agricultura irrigada. Localizada no município de Dianópolis, Estado do Tocantins. O Projeto de Irrigação da Área Piloto do rio Manuel Alves, insere-se num conjunto de ações integradas que visam, dentre outros objetivos do Programa de Perenização do Estado do Tocantins (PROPERTINS), o aproveitamento hidroagrícola, a introdução da tecnologia de irrigação e o desenvolvimento da fruticultura irrigada na região. Para realização deste estudo, utilizou-se a metodologia baseada nos conceitos de paisagem, Ecodinâmica de Tricart (1977) e interpretação de imagens. A paisagem é um produto de um conjunto de diferentes elementos, tais como pedológicos, geomorfológicos, ecológicos e sócio-econômicos que, de acordo com a combinação e arranjo espacial apresentados, caracterizam-se em diferentes níveis de vulnerabilidade. Para a integração e disponibilização de todos estes elementos numa base cartográfica e de banco de dados, utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas, o que permitiu que dados cartográficos fossem armazenados num mesmo banco de dados, gerando os mapas de pedologia, geologia, geomorfologia, clima e cobertura vegetal. A partir dos valores de vulnerabilidade proposta por Tricart (1977), obteve-se a classe de vulnerabilidade para cada tema num valor variando de 1 a 3. Da sobreposição dos planos de informação de unidades de paisagem natural gerou-se o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do Projeto Hidroagrícola Manuel Alves. A classificação obtida resultou em 63% da área denominada mediana a moderadamente vulnerável. As características climáticas relacionadas à precipitação concentrada, predominância de cambissolos, mesmo sob relevo suave ondulado, e existência atual de uma cobertura vegetal de menor densidade levam a identificação da limitação natural do meio físico à atividade antrópica proposta. Essa identificação em um mapa poderá subsidiar o trabalho de gestão e o planejamento da agricultura irrigada sustentável, sendo possível acreditar que os modelos de projetos de agricultura irrigada existentes no país deverão considerar estas limitações e incorporar técnicas de manejo diferenciadas, visando sua sustentabilidade.

Palavras chave: agricultura irrigada; vulnerabilidade; planejamento ambiental; sistema de informações geográficas

ABSTRACT

This dissertation seeks to assess the interaction between the different components of the environment and the way this information may be able to support environmental planning and management at an area that will be used for irrigated agriculture. The “Pilot Irrigation Area of the Manuel Alves River” is at the Municipality of Dianópolis, State of Tocantins, and is under the “Water Perennialization Program of the State of Tocantins” (PROPERTINS). The objectives of this program, amongst others, are: the inception of irrigated agriculture, the introduction of irrigating technology and the development of irrigated fruit crops in the region. This study used a methodology based on Landscape Ecodynamics (Tricart, 1977) and image interpretation. According to this concept, landscape is the product of a series of different elements, such as soils, geomorphology, ecology and social economy. Depending on the combination of these elements and their spatial arrangement, different levels of vulnerability are derived. In order to access and integrate all these elements a Geographic Information System was used. This allowed cartographic and attribute data to be stored in the same database so soils, geology, geomorphology and land cover and use maps were produced. Based on a scale proposed by Tricart (1977) for vulnerability, each theme’s class was given a value varying from 1 to 3. Overlaying these maps resulted in the Vulnerability Map for the “Manuel Alves River” Hydro-agricultural Project. The final classification shows that 63% may be classified as moderately vulnerable. The climatic characteristics related to rain concentration, a predominance of *incept soils*, even under slightly undulated relief, and the present existence of a vegetation cover of low density lead to the identification of natural environmental limitation to the proposed activity. This limitation, expressed in the form of a map, may support the management and planning of sustainable irrigated agriculture, making it possible to take for sure that presently existing irrigated projects in the country shall account for these limitations and incorporate management techniques that consider these natural enforcements, having as final objective their sustainability.

Key-words: irrigated agriculture; vulnerability; environmental planning; geographic information systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição percentual das áreas irrigadas no Brasil por regiões. Fonte: IBGE (2004).	9
Figura 2. Ecótopo e níveis hierárquicos. Fonte: Zonneveld (1989).	32
Figura 3. Roteiro geral da metodologia. Fonte: Baseado em Becker e Egler (1996) e Crepani et al. (1996)	43
Figura 4. Localização da área de estudo. Fonte: ACL (2002)	44
Figura 5. Concepção básica do Projeto de Irrigação Manuel Alves, Dianópolis – TO (ACL, 2002)	46
Figura 6. Rio Manuel Alves	47
Figura 7. Ponte de madeira sobre o Rio Manuel Alves	47
Figura 8. Identificação das variáveis para obtenção do mapa de vulnerabilidade.	52
Figura 9. Estruturação dos layers temáticos no sistema de informação geográfica (SIG).	54
Figura 10. Geração do mapa de cobertura vegetal e uso do solo por meio do SIG	56
Figura 11. Roteiro metodológico do processo de geração do mapa de vulnerabilidade	58
Figura 12. Rocha granito gnaisse, onde são extraídos para a construção civil.....	76
Figura 13. Rocha metamórfica (ardósia), mantém contato com os xistos e gnaisses do Complexo Basal Goiano.....	76
Figura 14. Mapa de geologia da região de estudo, município de Dianópolis, Tocantins.....	78
Figura 15. Mapa de Geomorfologia da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.	80
Figura 16. Relevo acidentado ao fundo característico da região onde está inserida o do Projeto de Irrigação no município de Dianópolis, Tocantins.....	81
Figura 17. Vista geral da área a ser irrigada, observando-se o relevo plano da mesma, com ocorrência de Cerrado, no município de Dianópolis, Tocantins.....	81
Figura 18. Mapa de Declividade da Região de Estudo, município de Dianópolis - TO.	82
Figura 19. Perfil do solo cambissolo, localizado nas coordenadas UTM 8718613 e 2808971, no município de Dianópolis, Tocantins	84
Figura 20. Perfil do solo latossolo vermelho, localizado nas coordenadas UTM 8715210 e 279177 no município de Dianópolis, Tocantins	85
Figura 21. Perfil do solo argissolo acidentado, localizado nas coordenadas UTM 8720186 e 283017, no município de Dianópolis, Tocantins.	86

Figura 22. Perfil do solo planosso nátrico, localizado nas coordenads UTM 284529,87 e 8718360, no município de Dianópolis, Tocantins.	87
Figura 23. Mapa de pedologia da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.	88
Figura 24. Faixa Ciliar degradada para retirada de areia, rio Gameleira, no município de Dianópolis, Tocantins.	90
Figura 25. Faixa Ciliar acima no margeando os canais, no Projeto Manuel Alves, município de Dianópolis, Tocantins.	90
Figura 26. Campo cerrado da área de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.	91
Figura 27. Campo cerrado da área de estudo, porém antropizada	91
Figura 28. Abaixo apresenta-se a fisionomia cerrado	92
Figura 29. Ao fundo apresenta-se a fisionomia cerrado	92
Figura 30. Ao fundo cerrado com floresta de galeria.....	92
Figura 32. Implantação do canteiro de obras	93
Figura 33. Abertura de vias de acesso	93
Figura 34. Desmatamento para formação de pasto	93
Figura 35. Queimada para formação do reservatório	93
Figura 36. Mapa de cobertura vegetal e uso da terra da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.	95
Figura 37. Mapa de clima da região de estudo no município de Dianópolis, Tocantins.	97
Figura 38. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema geologia.....	99
Figura 39. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema geologia no município de Dianópolis, Tocantins.	100
Figura 40. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema geomorfologia município de Dianópolis, Tocantins.	102
Figura 41. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema pedologia.....	104
Figura 42. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema pedologia, município de Dianópolis, Tocantins.	107
Figura 43. Mapa de UTB's para cobertura vegetal, Dianópolis, Tocantins.....	108
Figura 44. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal.....	109
Figura 45. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema cobertura vegetal de uso da terra município de Dianópolis, Tocantins.	112
Figura 46. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema clima, município de Dianópolis, Tocantins	115
Figura 47. Mapa de vulnerabilidade ambiental da área do Projeto Manuel Alves, município de Dianópolis, Tocantins	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Relação de estações climatológicas instaladas em Paraná, Taguatinga, Peixe e Porto Nacional. Fonte: ACL (2002).....	50
Quadro 2	Valores de estabilidade de unidades de paisagem. Fonte: Becker e Egler (1997, p34).....	57
Quadro 3.	Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas. Fonte: Tricart (1977)	58
Quadro 4.	Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns. Fonte: INPE (2001).	60
Quadro 5.	Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (INPE, 2001).	61
Quadro 6.	Valores de vulnerabilidade para a amplitude altimétrica. Fonte: INPE (2001).....	62
Quadro 7.	Valores de vulnerabilidade para o tema declividade. Fonte: INPE (2001).	63
Quadro 8	Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade (INPE, 2001).....	63
Quadro 9.	Valores de vulnerabilidade para o tema solos. Fonte: INPE (2001).	67
Quadro 10	.Valores de vulnerabilidade para o tema vegetação. Fonte: INPE (2001).	69
Quadro 11.	Valores de escala de erosibilidade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo (INPE, 2001).	71
Quadro 12.	Descrição das rochas encontradas na área de estudo.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAMPO	Companhia de Promoção Agrícola
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CODEVASF	CIA de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DZE	Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
GEIDA	Grupo de Estudos Integrados de Irrigação e Desenvolvimento Agrícola
GEIR	Grupo Executivo de Irrigação
GERH	Grupo Executivo de Recursos Hídricos
GESAI	Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JICA	Agência Japonesa de Cooperação Internacional
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MAVALE	Macrozoneamento do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
ONU	Organização das Nações Unidas
PI	Planos de Informação
PIN	Programa de Integração Nacional
PNUD	Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPI	Programa Plurianual de Irrigação
PROINE	Programa de Irrigação do Nordeste
PRONI	Programa Nacional de Irrigação
PRONOR	Programa de Desenvolvimento Hidroagrícola Sustentável da Região Norte
PROPARECIS	Programa Desenv. Hidroagrícola Sust. da Região da Chapada dos Parecis
PROPERTINS	Programa de Perenização das águas do Tocantins
PZEEAL	Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEA	Secretaria de Estado da Agricultura
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente
SEPRO	Secretaria da Produção
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
ZAE	Zoneamento Agroecológico

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo Geral	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Agricultura Irrigada	5
2.1.1. Conceito	5
2.1.2. Histórico e Situação Atual	7
2.1.3. Disposições Legais	9
2.1.4. Planos, Programas e Projetos	15
2.2. Sustentabilidade da Agricultura Irrigada	16
2.2.1. Manejo Racional da Agricultura Irrigada	18
2.3. Agricultura Irrigada e Meio Ambiente.....	21
2.3.1. Potenciais Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada	21
2.3.2. Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada no Bioma Cerrado	26
2.4. Avaliação da Vulnerabilidade	27
2.4.1. Vulnerabilidade Natural	27
2.4.2. Estudo de Ecologia da Paisagem	28
2.4.3. Elaboração de uma carta de Vulnerabilidade Natural	33
2.4.4. Critérios de Avaliação de Vulnerabilidade	33
2.4.5. Uso do SIG no Estudo da Vulnerabilidade.....	37
2.4.6. Elaboração do Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs)	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1. Área de Estudo.....	44
3.2. O Projeto de Irrigação	45
3.3. Materiais Utilizados	49
3.3.1. Dados para os temas Geologia e Geomorfologia	49
3.3.2. Dados para os temas Declividade e Drenagem.....	49
3.3.3. Dados para o tema Pedologia	49
3.3.4. Dados para o tema Clima	49
3.3.5. Dados para o tema Cobertura Vegetal	50
3.4. Equipamentos e softwares	51
3.5. Identificação das Variáveis para a Elaboração do Diagnóstico Geobiofísico	51
3.5.1. Definição de Escalas	52
3.6. Geração dos Mapas Temáticos.....	52
3.6.1. Geração do Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra.....	54
3.6.2. Geração do Mapa de Vulnerabilidade	56
3.6.3. Atribuição da Escala de Valores	60
3.6.4. Valores de Vulnerabilidade para o tema Geologia.....	61
3.6.5. Valores de Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.....	62
3.6.6. Valores de Vulnerabilidade para o tema Pedologia	67
3.6.7. Valores de Vulnerabilidade para o tema Vegetação	69
3.6.8. Valores de Vulnerabilidade para o tema Clima	72

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1.	Caracterização Ambiental da Área de Estudo	75
4.1.1.	Geologia	75
4.1.1.1.	Complexo Basal Goiano (Pré Cambriano Inferior)	75
4.1.1.2.	Grupo Natividade (Pré-Cambriano Médio)	76
4.1.1.3.	Pré-Cambriano Superior	77
4.1.1.4.	Terciário	77
4.1.2.	Geomorfologia	81
4.1.3.	Declividade	83
4.1.4.	Pedologia	85
4.1.4.1.	Cambissolo	85
4.1.4.2.	Latossolo Vermelho	86
4.1.4.3.	Argissolo Acizentado	87
4.1.4.4.	Planossolo Nátrico	88
4.1.5.	Cobertura Vegetal e Uso da Terra	91
4.1.5.1.	Mata ciliar	91
4.1.5.2.	Campo Cerrado	92
4.1.5.3.	Cerrado	93
4.1.5.4.	Cerrado com Floresta de Galeria	94
4.1.5.5.	Área Antropizada	94
4.1.6.	Clima	98
4.2.	Vulnerabilidade	100
4.2.1.	Vulnerabilidade para o tema Geologia	100
4.2.2.	Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia	103
4.2.3.	Vulnerabilidade para o tema Pedologia	105
4.2.4.	Vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso da terra	110
4.2.4.1.	Delimitação das UTB's	110
4.2.4.2.	Vulnerabilidade	111
4.2.5.	Vulnerabilidade para o tema Clima	115
4.2.6.	Geração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental	118
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda pela expansão da fronteira agrícola e a constatação de que práticas correntes de uso de exploração da terra levam ao esgotamento dos recursos naturais, tem despertado no mundo inteiro preocupações quanto ao futuro das terras potencialmente produtivas.

No Brasil, a agricultura sofreu uma significativa modificação em decorrência de um processo de crescente integração da agricultura ao sistema capitalista industrial, especialmente através de mudanças tecnológicas. Por meio de créditos subsidiados, foram realizados grandes investimentos em novas tecnologias (INCRA, 1999).

Para a otimização da produção e colheita são utilizadas maquinárias pesadas que compactam o solo, danificando sua estrutura física, reduzindo a sua capacidade de armazenamento de água e nutrientes e diminuindo sua atividade biológica. Como os solos se tornam degradados, são sempre necessárias novas áreas, e para isso outras áreas são desmatadas, ameaçando não somente as espécies vegetais, mas também animais, além de comprometer a proteção dos rios, do solo, a qualidade do ar e a biodiversidade (PRIMAVESI, 1992).

Dentre as práticas agrícolas que estão em expansão no bioma dos cerrados a que mais compromete a qualidade ambiental é a irrigação. A irrigação é uma prática utilizada de forma a complementar a necessidade de água, naturalmente promovida pela precipitação, proporcionando teor de umidade ao solo suficiente para o crescimento das plantas. As áreas irrigadas podem ampliar em até três vezes a produtividade das lavouras, mas a maior parte dos solos irrigados apresenta problemas de salinização, erosão, entre outros. A terra salinizada oferece dificuldades à germinação das sementes e afeta o desenvolvimento vegetativo das

plantas, podendo levá-las à morte. Além disso, a água aplicada em excesso retorna para córregos, rios ou para os lençóis freáticos, carregando sedimentos e resíduos de agroquímicos.

Os sedimentos provenientes da erosão, em consequência da irrigação, contêm nitrogênio e fósforo que podem desencadear processos de eutrofização, isto é, um aumento de nutrientes que possibilita o rápido desenvolvimento de vegetais aquáticos, principalmente as algas, que elevam o consumo de oxigênio e impedem a sobrevivência de outros organismos como peixes e crustáceos (BRADY, 1983).

Os animais aquáticos também são afetados pelo aumento da turbidez da água provocada pelo aumento das partículas em suspensão. Outro problema é que os sedimentos podem conter resíduos de metais pesados presentes em fertilizantes e corretivos.

Em busca de sustentabilidade ao desenvolvimento nacional, o modelo de intervenção no espaço econômico nacional passou a dar ênfase aos Pólos de Desenvolvimento Regional e aos Eixos Estruturantes de desenvolvimento. Exemplo disso são os programas Brasil em Ação (PPA, 1997) e o programa Avança Brasil (PPA, 2000).

Inserido no PROPERTINS do Governo do Estado, tem-se o Projeto de Irrigação da Área Piloto do Rio Manuel Alves, a jusante da Barragem do Rio Manuel Alves (Eixo 03) no município de Dianópolis, que abrange 8.348,32 ha, dos quais 3.210,28 ha corresponde a área destinada para reserva legal do projeto e destina-se, principalmente, à exploração da fruticultura irrigada.

No que tange aos aspectos de vulnerabilidade ambiental, há duas linhas metodológicas básicas. A primeira refere-se à equação universal de perda de solo (EUPS) de Wischmeier e Smith (1978). A segunda, que serviu de base para o

presente estudo, que adota princípios da ecodinâmica, estabelece diferentes categorias de estabilidade ou instabilidade ambientais com base na morfogênese e pedogênese (TRICART, 1977; BECKER; EGLER, 1997; ROSS, 1994). Visa-se, com isto, expandir a base de conhecimentos que poderão ser úteis para planejamentos agroambientais, políticas públicas, análise de risco agroambiental, gestão, diagnóstico e ordenamento agroambiental.

A escolha da localização da área de estudo para análise justifica-se que o Projeto de Irrigação da Área Piloto do Rio Manuel Alves está em fase de implantação e os resultados obtidos a partir deste trabalho, poderão servir de subsídios para os gestores do projeto, no caso, o governo estadual, irrigantes, cooperativas, usuários da bacia, entre outros.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a interação entre os componentes dos meios físico, biótico e socioeconômico, visando propor subsídios para o manejo sustentável para agricultura irrigada, utilizando para tal o método de avaliação da vulnerabilidade ambiental no Projeto Piloto de Irrigação do Rio Manuel Alves, considerando os parâmetros pedologia, clima, geomorfologia, cobertura vegetal e geologia.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Elaborar o mapa da vulnerabilidade ambiental do Projeto Piloto de Irrigação Manuel Alves;
- Espacializar as informações em diferentes unidades de análise através de técnicas de geoprocessamento para a gestão ambiental, identificando-se

as áreas com maior ou menor potencial de vulnerabilidade ambiental;

- Fornecer subsídios para o planejamento geo-ambiental da área, mediante propostas e recomendações, integrando a pesquisa com as necessidades das administrações municipais, estadual e federal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Agricultura Irrigada

2.1.1. Conceito

A irrigação é uma técnica agrícola que consiste na aplicação artificial de água às plantas, através de métodos que melhor se adaptem ao solo e seu declive e à cultura a explorar, visando proporcionar umidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas, suprimindo a falta, a insuficiência ou a má distribuição das chuvas, com o propósito de incrementar a produção sem o inconveniente de provocar a erosão ou o acúmulo de sais no solo (ANA, 2004).

Para Christofidis (1997), denomina-se irrigação o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região.

Fernandez e Garrido (2002) conceituam irrigação como o método artificial de aplicação de água na agricultura, que tem a finalidade de suprir as necessidades hídricas da planta em caráter total ou suplementar. Considera-se água para a agricultura irrigada o volume desse recurso natural que não é suprido naturalmente por meio de chuvas, necessário à aplicação artificial aos cultivos, de forma a otimizar o seu desenvolvimento biológico.

De acordo com Silva (2002), um adequado sistema de irrigação deverá ser capaz de propiciar ao produtor a possibilidade de fazer uso do recurso da água com a máxima eficiência, aumentando a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e, conseqüentemente, maximizando o retorno dos investimentos.

Por meio da irrigação, pode-se intensificar a produção agrícola, regularizando,

ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de cultivares, uma vez que esta prática permite uma produção na contra-estação. Além disso, a agricultura irrigada reduz as incertezas, prevenindo o irrigante contra a irregularidade das chuvas. A irrigação e a drenagem dos campos irrigados são atividades que permitem compensar os efeitos negativos da má distribuição, espacial e temporal, das águas de precipitação (BERNARDI, 2003).

Uma irrigação pode ser feita de várias formas e sistemas, cada um com características próprias. Os principais tipos de irrigação são os por superfície, aspersão e irrigação localizada. Na irrigação por superfície, os sistemas de inundação e sulcos são mais comuns. Estes sistemas têm limitações em relação à terrenos muito acidentados e também arenosos, onde a taxa de infiltração é alta. São os sistemas que mais consomem água (HERNANDEZ, 2003).

Seguindo a linha do mesmo autor, o método de irrigação por aspersão é a aplicação de água ao solo, que resulta da fragmentação de um jato de água lançado sob pressão no ar atmosférico, por meio de simples orifícios ou bocais de aspersores. Estes sistemas normalmente gastam menos água que o método anterior, mas necessitam de investimentos na aquisição de equipamentos e têm um custo de operação tido como alto, uma vez que trabalham à altas pressões, necessitando de motores maiores.

Os principais sistemas que compõem o método de irrigação localizada são a microaspersão e o gotejamento. São os sistemas que consomem menos energia e água, pois se caracterizam pela baixa pressão de serviço e também por molhar apenas parte da superfície do solo.

Em relação aos sistemas de irrigação, as perdas podem ser desde desprezíveis ou muito significativos, chegando a inviabilizar a irrigação. Assim tem-

se os sistemas mais eficientes, como os que utilizam a irrigação localizada em que a eficiência de aplicação de água pode atingir níveis de até 95-98%, a aspersão, com eficiência de 65-85% e, a inundação (tabuleiros para a cultura do arroz) onde as eficiências, no Brasil, estão muito aquém das recomendadas, alcançando, em algumas áreas menos de 40% (MOREIRA, 2004).

2.1.2. Histórico e Situação Atual

A história da irrigação começou há aproximadamente 5.000 anos atrás, no Egito Antigo, nas margens do Rio Nilo. Ali também ocorreu a primeira obra de "engenharia" relacionada à irrigação, quando o Faraó Ramsés III ordenou a construção de diques, represa e canais, que melhoravam o aproveitamento das águas do Rio Nilo. As grandes civilizações de outrora se desenvolviam nos vales dos grandes rios, sempre com o intuito de se aproveitar de suas águas (LÉO; HERNANDEZ, 2001).

De acordo com Testezlaf et al. (2002), estima-se que, no princípio do século XX, a área total irrigada mundial estava em torno de 40 milhões de hectares. Em 1950, esse valor se elevou para 160 milhões de hectares e, segundo este autor, a área irrigada mundial em 1998 era de 271 milhões de hectares. Deste total, a Índia irriga em torno de 59 milhões, a China aproximadamente 52 milhões, os Estados Unidos 22 milhões, o Paquistão 18 milhões, contribuindo esses países com 56% da área irrigada mundial.

Observa-se que Israel e Japão constituem países que utilizam a técnica de irrigação de forma expressiva. O índice em Israel está 154% acima do indicador de países do mundo, sendo ainda 3,04 vezes superior no Japão (TESTEZLAF, 2002).

A área irrigada no mundo, em 1990, representava aproximadamente 17% das

terras sob cultivo permanente e temporário, permitindo a obtenção de cerca de 40% da produção agrícola total mundial (FAO, 1996).

A primeira fase, iniciada na metade do século XIX, estendeu-se até a metade da década de 60 do século XX, tendo-se a atuação, no domínio da irrigação contínua, sem a correspondente estrutura de políticas ou de programas nacionais (HENZE, 2002).

A segunda fase iniciou-se em fins dos anos 60, com a criação do Grupo de Estudos Integrados de Irrigação e Desenvolvimento Agrícola (GEIDA), cujas orientações produziram efeitos até o final da primeira metade dos anos 80. As características relevantes dessa fase foram a busca da ampliação do conhecimento global sobre os recursos naturais disponíveis e pela concepção e implementação de programas nacionais, a exemplo do Programa Plurianual de Irrigação (PPI), em 1969, e do Programa de Integração Nacional (PIN), em 1970 (HENZE, 2002).

A terceira fase caracterizou-se pela instituição do Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE) e do Programa Nacional de Irrigação (PRONI), ambos em 1986, marcada por decisões adotadas em função de prioridades estabelecidas pelo governo federal entre o setor público e a iniciativa privada, no desenvolvimento de projetos de irrigação (TESTEZLAF, 2002).

A quarta fase ocorreu em 1995, caracterizando um novo direcionamento para a Política Nacional de Irrigação e Drenagem, que foi denominado na fase executiva de Projeto Novo Modelo de Irrigação (TESTEZLAF, 2002).

O Brasil ocupa lugar de pouca expressão entre os países que utilizam a irrigação intensivamente. Apesar de possuir uma superfície territorial de 851 milhões de hectares, o país utiliza com agricultura, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico (IBGE, 2004), cerca de 220 milhões de hectares, dos quais

42 milhões com lavouras e 178 milhões com pecuária.

A área total irrigada no Brasil é estimada em 2.870.244 ha, com forte concentração nas regiões Sul e Sudeste, que representam 72,7%, conforme se visualiza na Figura 1. O Nordeste brasileiro respondia, em 1998 por 17,26% da área irrigada no país.

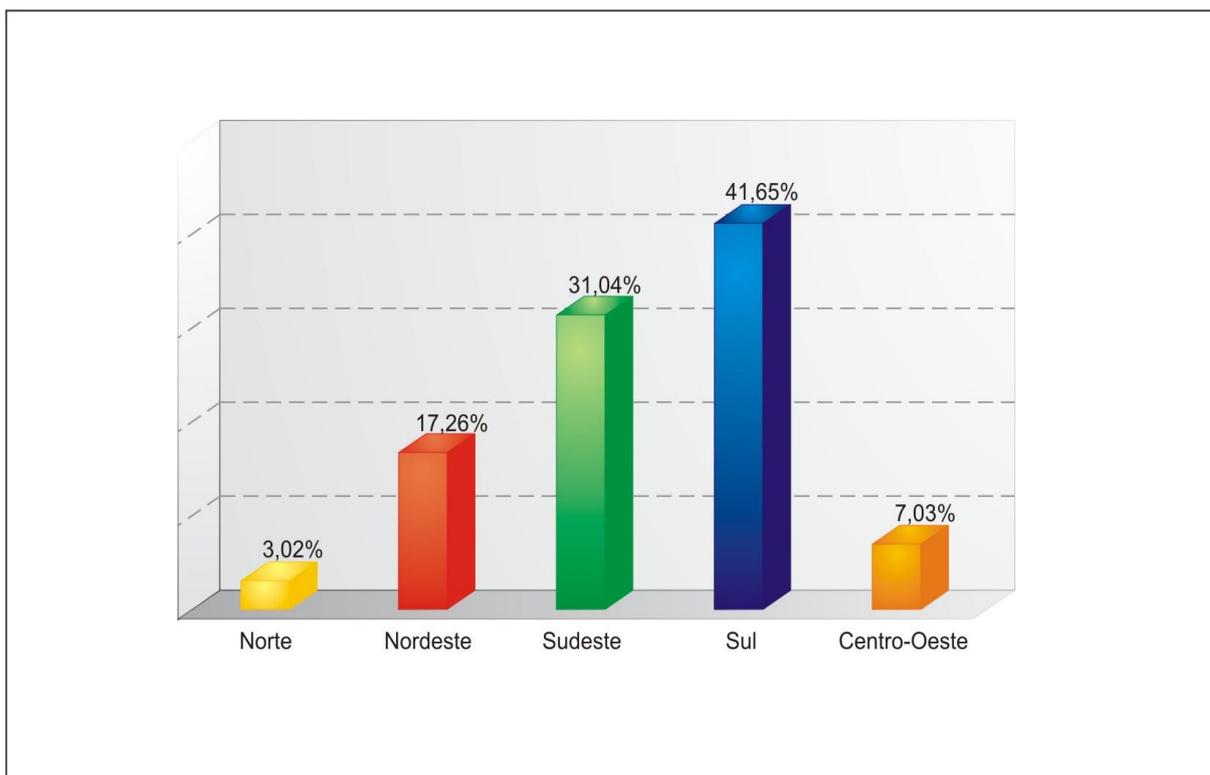


Figura 1. Distribuição percentual das áreas irrigadas no Brasil por regiões. Fonte: IBGE (2004).

Os dados apresentados demonstram que, apesar das ações governamentais adotadas e das iniciativas das empresas privadas em algumas regiões específicas do país, a área irrigada brasileira é bem inferior ao potencial irrigável, e muito baixa quando comparada com países dotados de níveis de desenvolvimento agrícola bem menos elevados (IBGE, 2004).

2.1.3. Disposições Legais

A lei básica de irrigação no Brasil é a de nº 6.662, de 25 de junho de 1979.

Essa lei, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, define os conceitos de projetos públicos e privados de irrigação e estabelece as condições gerais de destinação dos lotes nos projetos públicos e normas gerais de uso da água, dispõe sobre obras e benfeitorias nos projetos públicos de irrigação, obrigações do irrigante, e condições gerais de desapropriação para a implantação dos referidos projetos (BRASIL, 1979).

O Decreto nº 89.496, de 29 de março de 1984, amplia a Política Nacional estabelecida na lei mencionada. Tal decreto, por sua vez, além de reafirmar o disposto na lei anterior, dispõe sobre: emancipação dos projetos públicos de irrigação; destinação dos lotes nos mesmos, segundo as categorias de lotes familiares e de pequenas empresas; condições gerais relativas aos lotes familiares (dimensão mínima, regime de propriedade e adjudicação); condições gerais para aquisição dos lotes dos tipos familiar e empresarial; normas para remembramento e desmembramento dos imóveis preexistentes; medidas para permanência dos proprietários expropriados, sob o regime de comodato temporário e outras formas de permanência; e estabelece condições para a concessão de uso de águas públicas para irrigação, bem como a forma de pagamento pelo uso deste bem público (BRASIL, 1984).

A lei da irrigação define os projetos públicos como os que possuem a infraestrutura de irrigação planejada, projetada, construída e operada direta ou indiretamente por uma autoridade pública; e os projetos privados como os sistemas nos quais as infra-estruturas de irrigação é construída e operada pelos irrigantes, como ou sem assistência do governo. Cada tipo de projeto é governado por normas sobre o uso da terra, aquisição e expropriação da terra, e ressarcimento dos custos. A referida lei estabelece ainda que os projetos públicos de irrigação serão

localizados prioritariamente em terras do patrimônio público, para esse fim reservadas ou adquiridas (BRASIL, 1979, art. 12).

Os projetos públicos, conhecidos como Perímetros Irrigados, foram largamente incentivados no Brasil em parte das décadas de 70 e 80, e passaram a direcionar investimentos em obras de infra-estrutura social, prestação de serviços aos agricultores e comercialização dos produtos, implicando no aumento significativo dos valores investidos sem sua adequada remuneração (MENDES, 2003).

Estes projetos integram-se à programação do governo em ações com grande capacidade de maximizar o desenvolvimento econômico e social. Tais ações assumem dimensão nacional, seguindo duas linhas estratégicas. Na primeira, atende-se as demandas de infra-estrutura para irrigação complementar, em áreas situadas principalmente nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, que já dispõem de investimentos e equipamentos, para produção agrícola que ficam ociosos nas épocas de ausência ou de baixa precipitação pluviométrica, enquanto que na segunda, o propósito é a promoção das condições necessárias para viabilizar a atividade agrícola, em áreas com baixos e irregulares níveis de precipitação pluviométrica (MENDES, 2003).

As ações do Programa estão distribuídas, principalmente, por três importantes projetos: estudos para o aproveitamento hidroagrícola em áreas irrigáveis; implantação de projetos de irrigação; e emancipação de perímetros de irrigação.

Dos programas realizados ressalta-se o Programa de Desenvolvimento Hidroagrícola Sustentável da Região da Chapada dos Parecis (PROPARECIS – MT), com a elaboração do projeto de zoneamento agro-ecológico-econômico, visando o aproveitamento hidroagrícola de uma área de 39.065 ha e o Programa de Desenvolvimento Hidroagrícola Sustentável da Região Norte (PRONOR – MT),

também para a elaboração do projeto de zoneamento agro-ecológico-econômico, visando o aproveitamento hidroagrícola de uma área de 43.700 ha. Além destes, deve-se destacar o Estudos para Aproveitamento Hidroagrícola em Bacias Hidrográficas na Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul, numa área de 65.900 ha, além dos estudos elaborados pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Projeto Básico da 1ª Etapa do Projeto Baixo de Irecê – BA, com 5.278 ha, a elaboração dos estudos de viabilidade, projeto básico e estudos do EIA/RIMA dos Projetos Salitre – BA, com 18.601 ha e Jaíba – MG, com 40.000 ha (MIN, 2002).

No tocante à Implantação de Projetos de Irrigação, o Governo Federal, por meio do Decreto nº 3.746/01, definiu o conjunto de Projetos Estratégicos, cuja meta inicial proposta para 2002 era de 24.941 ha, com investimentos da ordem de R\$ 162,8 milhões, contra R\$ 201,8 milhões em 2001. No elenco dos Projetos Estratégicos assumiram papel de destaque: Pindorama – AL; Santa Terezinha – MS; Tabuleiro de Russas – CE e Baixo Acaraú – CE que, no conjunto, participaram na ampliação da área irrigada com 22.536 ha, envolvendo aplicações no montante de R\$ 15,6 milhões (MIN, 2002).

De acordo com o Ministério da Integração Nacional (MIN, 2002), o projeto Emancipação de Perímetros de Irrigação, que consiste no desenvolvimento de ações em perímetros públicos para torná-los auto-sustentáveis, visa transferir, para os usuários, as atividades assumidas pelo Estado, quando da implementação do projeto. O processo, de acordo com a estratégia atual de antecipar as providências para aquela finalidade, inicia-se a partir do momento em que esteja disponível, em cada projeto, uma área com estrutura que permita a sua incorporação ao processo produtivo. Em 2002 foram investidos, nesse segmento, recursos da ordem de R\$ 9,7

milhões com a implementação de um conjunto de atividades em projetos que, consolidados, totalizam, aproximadamente, 104.452 ha, contra R\$ 14,3 milhões aplicados em 2001 numa área de 110.000 ha.

A legislação ambiental constitui-se em instrumento indispensável para a proteção e a preservação do meio ambiente, fornecendo subsídios para especificar normas e medidas a serem adotadas para a manutenção da qualidade ambiental, indicando, inclusive, os órgãos e entidades que tenham atribuições de observância e competência para aprovação de projetos que possam vir a causar qualquer forma de alteração no meio ambiente físico, biótico e antrópico (ACL, 2002).

No Brasil, com a promulgação da Lei 6.938/81, estabeleceu-se que a implantação de empreendimentos agrícolas a partir de determinado porte deve ser precedida de um estudo de seus possíveis impactos sobre o meio ambiente de forma integrada.

Entendendo-se por meio ambiente o Meio Físico (estrutura abiótica: clima, topografia, pedologia, regime e distribuição dos corpos d'água), Meio Biológico (estrutura biótica: estuda os organismos vivos e suas relações), e Meio antrópico (atividades humanas e aspectos que incluem variáveis sociais, culturais e econômicas) (BRASIL, 1981).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001, de 23 de janeiro de 1986, vincula o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos para fins de irrigação e drenagem, à elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão (BRASIL, 1986).

O Decreto Federal no 99.274, de 6 de junho de 1990, que regulamenta a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras dependerão de prévio licenciamento do órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

A Resolução CONAMA n. 237/97 define licenciamento ambiental como o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente verifica a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais considerados efetivos ou potencialmente poluidores ou que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

A resolução estabelece a expedição das seguintes licenças: Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo; Licença de Instalação (LI), autorizando o início de implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado; e Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada (ACL, 2002).

Criado pela Lei nº 858, de 26/07/96 o Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), autarquia do Governo do Estado do Tocantins, é responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição e como atribuição a execução da Política Estadual de Controle Ambiental através da Resolução COEMA/TO número 06 de 21 de setembro de 2004 que dispõe sobre o Sistema Integrado de Controle Ambiental do Estado do Tocantins.

2.1.4. Planos, Programas e Projetos

Em busca de sustentabilidade ao desenvolvimento nacional, o modelo de intervenção no espaço econômico nacional passou a dar ênfase aos Pólos de Desenvolvimento Regional e aos Eixos Estruturantes de desenvolvimento, através dos programas Brasil em Ação (PPA 1997-1999) e Avança Brasil (PPA 2000-2002).

No estado do Tocantins, as prioridades do Plano Plurianual Avança Brasil durante esse período, previram a implantação de empreendimentos diretamente associados ao Programa de Perenização das Águas do Tocantins (PROPERTINS), como o Projeto Piloto de Aproveitamento Hidroagrícola a jusante da barragem do Rio Manuel Alves (Eixo 03) no município de Dianópolis, o qual atualmente está em fase de implantação, que contempla uma área de aproximadamente 5.000 ha e destina-se, principalmente, à exploração da fruticultura irrigada. Encontra-se também em implantação o Projeto Hidroagrícola no município de Sampaio, na região do Bico do Papagaio (ACL, 2002). O Projeto de Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) é um projeto que veio somar-se aos esforços de viabilização da agricultura irrigada para exportação pelo Projeto Rio Formoso.

O Projeto Rio Formoso, realizado em 1979 pelo então Estado de Goiás abrange uma área de 61.000 hectares no tributário do rio Javaés, com uma área plantada de 20.500 hectares. A infra-estrutura da área conta com três barragens com capacidade para 150 milhões de m³ de água que cobrem um total de 10.360 há. (RIMA, 1998).

As duas primeiras etapas do PRODECER contemplaram os Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia e a terceira etapa está atingindo o Estado do Maranhão e Tocantins, que incorpora 40 mil hectares na região de Pedro Afonso e agora a região de Campos Lindos, no Nordeste do Tocantins. o PRODECER

funciona em regime de contrato de parceria com a Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA) destinado a viabilizar a produção do milho, soja e outros grãos. A JICA participa com 60% dos recursos financeiros e os Governos do Tocantins e Maranhão com 30% dos recursos para a realização de infra-estrutura de transporte e energia.

A Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO) responsável pela coordenação do PRODECER III, o Ministério da Agricultura e dos Negócios Exteriores começaram a negociar com a JICA a implantação da IV etapa do PRODECER. Para isso, o Governo Federal tomou medidas de rolagem das dívidas dos produtores envolvidos nos programas anteriores e redução dos juros cobrados nos financiamentos. Com isso abriu possibilidades do país receber investimentos japoneses da ordem de US\$ 510 milhões para a implantação do PRODECER IV, beneficiando vários estados dentre eles, o Tocantins.

2.2. Sustentabilidade da Agricultura Irrigada

Foi realizada em Estocolmo, em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, que teve como ponto marcante a contestação às propostas do Clube de Roma sobre o crescimento zero para os países em desenvolvimento. Porém, ficou reconhecida por toda a comunidade internacional, em função de comprovações científicas, a vinculação entre desenvolvimento e meio ambiente, sendo aceita a consideração que é responsabilidade majoritária dos países desenvolvidos a contaminação do planeta. Foram criados programas e comissões importantes tais como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), estabelecendo o assunto definitivamente na agenda e nas discussões da

Organização das Nações Unidas (ONU). A mais importante reunião, depois de Estocolmo, foi a Conferência de Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92), que promoveu definitivamente a internacionalização da proteção ambiental e das questões ligadas ao desenvolvimento (CARVALHO, 1994).

Para o mesmo autor, o conceito de sustentabilidade ligado à preservação do meio ambiente é uma idéia recente, visto que nos países desenvolvidos o ambientalismo somente tomou corpo a partir da década de 50. Isto se deve ao fato de que, a partir desta época, ficaram evidentes os danos que o crescimento econômico e a industrialização causaram ao meio ambiente, fazendo prever as dificuldades de se manter o desenvolvimento de uma nação com o esgotamento de seus recursos naturais.

Devido ao progressivo esgotamento dos recursos naturais e aos efeitos visíveis da deterioração ambiental, tem-se o conceito de desenvolvimento sustentável que se refere à capacidade de se obter maiores níveis de bem-estar, sem comprometer a base que sustenta a população atual, mas satisfazendo a necessidade das gerações futuras (VALENZUELA et al., 1994).

Para Costanza (1991) o conceito de desenvolvimento sustentável deve ser inserido na relação dinâmica entre o sistema econômico humano e um sistema maior, com taxa de mudança mais lenta, o ecológico. Para ser sustentável esta relação deve assegurar que a vida humana possa continuar, com crescimento e desenvolvimento da sua cultura, observando-se que os efeitos das atividades humanas permaneçam dentro de fronteiras adequadas, de modo a não destruir a diversidade, a complexidade e as funções do sistema ecológico, por atividades antrópicas entre elas a agricultura.

Souza (1996) explica que a Sociedade Americana de Agronomia define a

agricultura sustentável como aquela que no longo prazo promove a qualidade do meio ambiente e dos recursos básicos dos quais depende a agricultura, provê as fibras e alimentos necessários para o ser humano, é economicamente viável e melhora a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade em conjunto.

Altieri (2002) explica que os elementos básicos de um agroecossistema sustentável são a conservação dos recursos renováveis, a adaptação da espécie cultivada ao ambiente e a manutenção de um elevado e sustentável nível de produtividade. Este autor se refere à agricultura sustentável como sendo um modo de agricultura que visa proporcionar rendimentos sustentáveis em longo prazo, por meio do uso de tecnologias e práticas de manejo que melhorem a eficiência biológica do sistema.

Segundo Maser et al. (1999), um dos maiores desafios enfrentados pela discussão sobre agricultura sustentável, é a elaboração de metodologias aplicadas que permitam avaliar a sustentabilidade de diferentes projetos, tecnologias ou agroecossistemas em situações concretas. Este desafio tem como uma de suas causas à necessidade de questionamento das formas convencionais de avaliar esses projetos, tecnologias e sistemas de manejo de recursos naturais.

2.2.1. Manejo Racional da Agricultura Irrigada

De acordo com (ZOCOLER, 2002), a nível mundial, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1997). No Brasil, quase metade da água consumida destina-se a agricultura irrigada (CARDOSO et al, 1998).

As novas tecnologias de irrigação constituem uma importante estratégia para

o uso eficiente dos recursos naturais garantindo assim o manejo racional da agricultura irrigada. Nos últimos anos tem-se registrado uma revolução na ciência da irrigação; tem-se alcançado, também, alto conhecimento das relações interativas solos-cultivos-água, decorrentes do clima e dos métodos de aplicação de água. Esses avanços tecnológicos coincidem com uma série de inovações com recursos computacionais que permitiram a adoção de práticas mais eficazes de aplicação de água, adubos, controle de umidade no solo e estimativa da necessidade de água das culturas, a partir de complexos modelos agroclimatológicos (PAZ, 2000).

Para Mantovani et al. (2003), apesar da significativa evolução dos equipamentos modernos, tem havido negligência com o manejo da irrigação, principalmente na distribuição da água onde se necessita um eficiente programa de manejo. Para estes mesmos autores, parte da solução destes problemas podem ser resolvidos com o auxílio de programas de simulação, como o IRRIGA. Este é um sistema de apoio à decisão na área da agricultura irrigada, composto de vários “softwares” voltados para o manejo da água. Foi desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. O sistema incorpora uma visão técnica sem perder a operacionalidade necessária ao seu funcionamento. Uma vez implantado, é uma ferramenta de fácil utilização e controle do momento adequado para irrigar, definir a lâmina e o tempo de irrigação necessária e, também, relacionar a avaliação e definição das condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação.

Dentre os avanços tecnológicos apresenta-se também o Sistema de Suporte à Decisão Agrícola (SISDA), um projeto desenvolvido pela Secretaria de Irrigação (SIR) conjuntamente com o Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento

(PNUD) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), que tem como objetivo um melhor aproveitamento dos recursos hídricos em áreas agrícolas irrigadas, para atender pequenos, grande e médios agricultores, irrigantes, técnicos e pesquisadores que atuam na área de gestão dos recursos hídricos (MOREIRA, 2004).

Segundo a FAO (1996) para se aumentar, de maneira significativa, a produtividade da agricultura irrigada, será necessário fazer um grande esforço para transferir os conhecimentos e tecnologias de cultivo irrigado aos agricultores, corrigindo as insuficiências que têm demonstrado até agora muitos programas de informação e difusão.

De acordo com Paz et al. (2000), estima-se que, em média, a eficiência de irrigação é de 37% em nível mundial. Muito do volume perdido torna-se severamente degradado em sua qualidade, ao arrastar sais, pesticidas e elementos tóxicos do solo, motivo pelo qual, além da dificuldade de recursos hídricos adicionais, em muitos casos tem-se o uso não eficiente como causa da redução da disponibilidade e da qualidade.

No caso do uso da água de irrigação, por exemplo, a eficiência integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação nas parcelas irrigadas. Os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de eficiência do uso da água (PAZ et al, 2000).

Segundo von SPERLING (1998) houve necessidade de reformulação na legislação brasileira dos recursos hídricos, elaborando-se uma lei que prevê a cobrança pelo uso por todos os setores, para utilizar racionalmente a água.

No que diz respeito à agricultura irrigada, principalmente nos países em desenvolvimento, a outorga e a cobrança pelo uso da água podem tornar-se instrumentos eficazes para a racionalização e conservação do recurso, além de incentivar a adoção de tecnologias de irrigação com maior eficiência produtiva (PAZ et al., 2000).

Para LIMA (2002), sem o manejo e a administração adequados e confiáveis no planejamento da irrigação, não será possível uma agricultura irrigada sustentável. Para o autor, o planejamento de uso de recursos hídricos no Brasil que levou à criação de leis e regulamentações será elemento essencial ao desenvolvimento sustentável.

2.3. Agricultura Irrigada e Meio Ambiente

2.3.1. Potenciais Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada

O termo impacto ou impacte, do latim impactus (do verbo impingere - ativar, lançar, quebrar uma coisa na outra, com noção de "impelido contra", "arremessado com ímpeto para outro"), tanto em seu sentido próprio como no figurado, significa choque de um corpo contra outro corpo, algo que se quebra violentamente em decorrência de uma "colisão", com efeitos evidentemente danosos (CUSTÓDIO, 1995).

Na terminologia do Direito Ambiental, segundo CUSTÓDIO (1995) adotou-se a palavra impacto com sentido, também, de choque ou colisão de substâncias (sólidas, líquidas gasosas), de radiações ou de formas diversas de energia, decorrentes da realização de atividades ou da execução de projetos de serviços ou obras, alterando o meio ambiente de forma danosa, em decorrência da

contaminação do ar, das águas, do solo, do subsolo, dos alimentos, da poluição sonora, da deterioração da paisagem, do desequilíbrio ecológico, com sério prejuízo à qualidade ambiental.

O conceito oficial de impacto ambiental, segundo a Resolução CONAMA 1/86, é "... qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetem: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais".

De acordo com AZEVEDO (2004), apesar de a legislação ambiental brasileira ter definido critérios de responsabilidade e estudos prévios dos impactos desde 23.01.1986, apenas em 1992 o IBAMA elaborou documento estabelecendo diretrizes para projetos de irrigação. Durante a década de 80, época dos grandes Programas de Irrigação, a irrigação era efetuada de maneira livre, sem ordenação por parte dos órgãos ambientais.

O tipo de impacto é dependente do tamanho dos projetos, bem como do tipo de irrigação utilizado. Em geral, grandes projetos de irrigação incluem barragens, lagos, unidades de bombeamento, canais, tubulações, sistemas de distribuição de água nas parcelas, sistema de drenagem, entre outras.

RODHE (1988) caracterizou os impactos, segundo diversos elementos de tempo, extensão, duração, magnitude (escala), importância, sentido (positivo, negativo), dando uma noção mais real da complexidade do que seja Impacto Ambiental.

Bernardo (1997) chama a atenção para as diversas evidências mundiais de

grandes áreas que tiveram benefícios iniciais da irrigação e tornaram-se impróprias para a agricultura em função dos impactos ambientais adversos causados ao solo, à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública, à fauna e flora e, em alguns casos, às condições sócio-econômicas da população local.

A conservação do solo é uma preocupação constante em áreas irrigadas porque o manejo inadequado pode acarretar a formação de crostas superficiais, e afetar a bioestrutura. Dentre os sistemas de irrigação o mais agressivo à bioestrutura do solo é o sistema por inundação, seguido pela aspersão, infiltração e irrigação subterrânea (Primavesi, 1979).

Para Bernardo (1997), a irrigação em grandes áreas contínuas e o seu cultivo intensivo tem causado distúrbios às condições naturais locais, eliminando a vegetação nativa e, como consequência imediata, alterando a microflora e fauna regional, a produção de peixes, a população de insetos e as condições de erosão e de sedimentação na bacia hidrográfica.

As áreas de várzeas irrigadas por qualquer método e, com deficiência na drenagem, provocam uma elevação do lençol freático e, se ocorrer super-irrigação, existe a possibilidade de o solo ser salinizado (Klar, 2000). As várzeas correspondem ao leito maior dos cursos d'água suscetíveis a inundações periódicas. O cultivo dessas áreas, além do desmatamento, em razão do uso intensivo das terras, pode contaminar o canal fluvial com resíduos químicos provenientes da lavoura. Nas inundações, o risco é o transporte de partículas desagregadas do solo, aumentando a carga em suspensão no leito fluvial.

Os solos submersos dos sistemas de irrigação por inundação sofrem alterações induzidas pelo anaerobismo, levando à perda do oxigênio presente nos compostos químicos. As características de textura do solo e as técnicas empregadas

no cultivo são determinantes na formação da camada anaeróbica, apresentando maior intensidade em solos arenosos (Primavesi, 1979).

Outro problema da irrigação é o processo de salinização. O termo salinidade se refere à presença, no solo, de sais solúveis; quando a concentração de sais se eleva ao ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas, diz-se que tal solo está salinizado. A salinização do solo afeta a germinação e a densidade das culturas, bem como seu desenvolvimento vegetativo, reduzindo sua produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas. O processo de salinização (concentração de sais na solução do solo) ocorre, de maneira geral, em solos situados em região de baixa precipitação pluviométrica e que possuam lençol freático próximo da superfície, Bernardo (1997). Sua ocorrência é consequência direta da relação entre infiltração e evaporação, ou seja, quando a infiltração for mais intensa que a evaporação, os compostos são lixiviados e o solo se acidifica. Inversamente, quando predomina a evaporação, os sais são depositados na camada superficial, salinizando-a, Primavesi, (1977).

Solos salinizados apresentam restrições de uso para a maioria das culturas com potencial econômico, restrições essas que podem ser manifestadas no início do pela redução da taxa de crescimento das plantas, redução ou perda total da produtividade. A salinidade limita a retirada de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico e, assim, do potencial total de água no solo, reduzindo sua permeabilidade; além disso, certos elementos como cloreto, sódio, boro e nitrato podem tornar-se tóxicos ou causar desequilíbrios nutricionais, se presentes em concentrações não toleradas pelas plantas. Esses efeitos ocorrem de forma similar para todas as plantas, porém as mais tolerantes podem extrair água do solo com mais facilidade (RHOADES & LOVEDAY, 1990; AYERS & WESTCOST, 1991).

Segundo esses autores, para evitar tais problemas, não basta apenas conhecer o teor de sais; é necessário analisar também sua natureza, uma vez que nem todas as soluções salinas produzem os mesmos efeitos. Por outro lado, além da composição química, devem-se considerar fatores relacionados com a cultura, o solo, o sistema de irrigação, a drenagem e o clima, como discutido por MEDEIROS & GHEYI (1997) e SANTOS & HERNANDEZ, (1997)

O excesso de água aplicada na irrigação retorna aos rios, por meio do escoamento superficial e subsuperficial ou vai para os depósitos subterrâneos, por percolação profunda, arrastando consigo resíduos de fertilizantes, de defensivos, de herbicidas e de outros elementos tóxicos, denominados de sais solúveis. Os recursos hídricos assim contaminados requerem tratamento apropriado quando destinados ao suprimento de água potável. A contaminação das águas superficiais, notadamente de rios e córregos é rápida e acontece imediatamente após a irrigação.

A implantação de vários projetos de irrigação, sem a prévia quantificação da vazão possível de ser usada, tem acarretado, em algumas bacias, falta água para as áreas situadas a jusante. Tem-se chegado ao extremo da total falta de água para o consumo humano, animal e da fauna, causando sérios impactos ambientais e conflitos entre os usuários.

A prática da irrigação pode acarretar problemas de saúde pública relacionados com a contaminação do irrigante, da comunidade próxima à área irrigada e do consumidor dos produtos irrigados. Os principais problemas são as propagações da esquistossomose, a proliferação de mosquitos e a ocorrência de verminoses.

2.3.2. Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada no Bioma Cerrado

O cerrado representa o segundo maior bioma do Brasil e da América do Sul. Participa da formação das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul e ocupa uma posição geográfica que se caracteriza pela riqueza dos recursos biológicos (ASSAD, 1996).

O termo cerrado é utilizado para designar tanto a formação vegetal encontrada no Brasil Central na sua totalidade, como um tipo fisionômico dessa formação. Desta flora, distinguem-se mais de quarenta tipos fitofisionômicos (SILVA et al., 1995) destacando-se as seguintes formações: a) cerrado, representado por agrupamento de árvores baixas, com ramificações irregulares, troncos retorcidos de casca com cortiça grossa, fendida ou sulcada, folhas coriáceas e caducas, gemas apicais protegidas por densa pilosidade, distribuída sobre um extrato herbáceo e subarbustivo; b) cerradão, com árvores maiores, pouco retorcidas, com razoável cobertura vegetal, dando um aspecto de mata e uma vegetação herbácea e arbustiva; c) campo limpo, com vegetação herbácea, raros arbustos e ausência de árvores; d) veredas, onde predominam palmeiras (buritis) e árvores distribuídas em campo limpo, em locais de solos úmidos e, por fim, e) mata de galeria, de vegetação densa, árvores grandes, distribuídas ao longo dos vales e rios (RIBEIRO et al., 1998).

As áreas irrigáveis, no cerrado, são estimadas em 10 milhões de hectares, nos quais são utilizados todos os métodos de irrigação (GOEDERT, 1988). A irrigação é o principal fator que determina a produção agrícola na região de maio a setembro, já que nesse período a precipitação pluvial é muito pequena, insuficiente para suprir as necessidades hídricas das culturas (GUERRA; CUNHA, 1994).

De acordo com o PRODIAT (1982), a agricultura intensiva, praticada em

sistemas irrigados com uso excessivo de pesticidas e fertilizantes, utilizados de forma descuidada e inadequada, tem causado a contaminação dos cursos d'água, reduzindo a disponibilidade dos recursos hídricos. Esses problemas, agravados pelo uso de práticas inadequadas de conservação e preparo do solo, aceleram a erosão e podem promover o assoreamento dos cursos d'água. A localização de sistemas de irrigação em pontos de nascente, a falta de manejo criterioso da água e o mau dimensionamento dos equipamentos têm concorrido para a perda de eficiência no uso da água e, em alguns casos, gerado conflitos entre usuários.

No Estado do Tocantins, um estudo realizado por Martins (2005), na Área de Proteção Ambiental Ilha do Bananal – Cantão, identificou 3.334 impactos ambientais provocados por projetos hidroagrícolas, aproximadamente 90% deles negativos.

Para Martins (2005), caso a parte suprimida da área de proteção ambiental seja utilizada para o agronegócio, especialmente para o cultivo de arroz e soja, haverá uma ampliação dos efeitos que aconteceram nas áreas já estudadas e cita que dentre as primeiras mudanças drásticas que já aconteceram estão o afundamento de vários segmentos de florestas preservadas, as chamadas ipucas. Isso iria acontecer naturalmente, mas os processos naturais estão sendo acelerados pela irrigação.

2.4. Avaliação da Vulnerabilidade

2.4.1. Vulnerabilidade Natural

A vulnerabilidade de um ecossistema ou de uma determinada área pode ser definida como a incapacidade de se lidar com fatores que causam stress, incluindo fatores naturais e se baseia nas forças internas necessárias para que se mantenham

as características essenciais do ecossistema, considerando-se os limites do mesmo (KRUIJF; SCHOUTEN, 1987). Neste sentido, vulnerabilidade pode ser entendida como sendo resultado de qualidades essenciais do ecossistema, tais como: estabilidade, persistência e potencial de restauração (BATISDAS, 1995).

Tendo em vista os fatores que envolvem a vulnerabilidade das terras e as interações entre geologia, pedologia, geomorfologia e cobertura vegetal é importante se definir os termos ecologia da paisagem para auxiliar a compreensão da abordagem vulnerabilidade dada neste estudo.

2.4.2. Estudo de Ecologia da Paisagem

No âmbito científico, a primeira pessoa a introduzir o termo “paisagem” foi um geo-botânico, Alexander Von Humboldt, no início do século XIX, no sentido de “característica total de uma região terrestre”. Em 1939, o termo “ecologia de paisagens” foi pela primeira vez empregado pelo biogeógrafo alemão Carl Troll (1899/1975), apenas quatro anos após Tansley (1935) ter introduzido o conceito de “ecossistema”. O ponto de partida da ecologia de paisagens é muito semelhante ao da ecologia de ecossistemas: a observação das inter-relações da biota (incluindo o homem) com o seu ambiente, formando um todo. No entanto, a definição de paisagem difere grandemente da definição de ecossistema. Enquanto Tansley, ao definir ecossistema, deixa claro que se trata de um “sistema”, onde há interdependência de seus componentes, existência de um ciclo de matéria e de mecanismos de auto-regulação (TROPPMAIR, 2000), para Troll (1971) a noção básica de paisagem é a espacialidade, a heterogeneidade do espaço onde o homem habita.

O embasamento teórico da pesquisa está calcado na abordagem sistêmica

através do estudo dos conceitos de paisagem por Bertrand (1971). Tal abordagem coloca a paisagem como um todo que, para ser compreendido deve ser compartimentado, mas não se constitui como o somatório destes compartimentos, e sim, pelo entendimento da função destes.

O conceito de paisagem para Bertrand (1971) denota o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, bióticos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um elemento único e indissociável, em contínua evolução.

Selman e Doar (1992) relatam a importância da ecologia da paisagem para o planejamento e manejo das terras, uma vez que esta analisa as mudanças na estrutura e funções das unidades da paisagem ao longo do tempo e reconhece a grande influência exercida pelos fatores antropogênicos.

Tricart (1977) analisa o ambiente sob o prisma da Teoria dos Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as forças de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico. Entretanto, este equilíbrio, é freqüentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

Nesse contexto, Tricart (1977) classificou a paisagem em unidades ecodinâmicas em meios estáveis e meios instáveis. A primeira classe diz respeito, genericamente, às situações onde o relevo, o clima e a vegetação predispõem ao domínio da pedogênese sobre a morfogênese (cobertura vegetal densa, pouca dissecação do relevo, chuvas bem distribuídas, substrato pedológico profundo, consolidado e sem mudanças estruturais abruptas, ausência de falhas geológicas consideráveis e de processos vulcânicos e tectônicos. O segundo caso pode ser aceito como o extremo oposto do primeiro, enfatizando que as atividades antrópicas,

interferindo sobre a cobertura vegetal, podem contribuir para a conversão de quadros estáveis naqueles de instabilidade.

Os diferentes tipos de uso acabam por provocar diferentes processos sobre o meio natural gerando desequilíbrios. O conhecimento das formas de uso da terra, o seu monitoramento e o registro das informações permitem a avaliação dos impactos produzidos, trazendo informações básicas para o manejo dos recursos naturais.

Segundo Becker e Egler (1997), as unidades territoriais básicas são as células elementares de informação e análise para um zoneamento ecológico - econômico. Como em um ser vivo, cada célula contém um conjunto de informações fundamentais à manutenção e à reprodução da vida e compõe um tecido que desempenha determinadas funções em seu desenvolvimento. Uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais.

Tricart (1977) propôs uma metodologia para classificação do ambiente com base no estudo da dinâmica dos ecótopos, a qual denominou de ecodinâmica. A premissa básica é que a dinâmica do ambiente onde incluem-se os ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos, quanto para a dinâmica das próprias biocenoses. Como dito anteriormente, o conceito de ecodinâmica está intimamente relacionado ao conceito de ecossistema, ou seja, baseia-se na abordagem sistêmica e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia-matéria no ambiente.

Sendo a morfogênese a componente mais importante da superfície terrestre, a ótica da dinâmica deve ser o ponto de partida para um sistema de avaliação,

orientando para uma classificação dos ambientes em dois níveis taxionômicos. Esta classificação é baseada na relação morfogênese/pedogênese, sendo que o primeiro nível de classificação refere-se ao aspecto da instabilidade ou não, e o segundo nível refere-se à resolução temporal. São identificados três grandes tipos de ambientes morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais, a saber: ambientes estáveis, ambientes instáveis e intermediários (TRICART, 1977).

Nos ambientes estáveis a evolução do modelado é lenta e os processos mecânicos atuam pouco e de modo lento. A dominância é da pedogênese, sustentada por transformações químicas. Os meios morfodinamicamente estáveis encontram-se em regiões dotadas das seguintes condições: a) cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese; b) dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem sapeamentos vigorosos e com vertentes de lenta evolução; c) ausência de manifestações vulcânicas susceptíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos moderadamente catastróficos (TRICART, 1977).

Outra forma de classificação é a de Zonneveld (1989) que propõe o estudo das paisagens do espaço geográfico, considerando-as como entidades holísticas constituídas de diferentes elementos que influenciam uns aos outros, são as unidades de terra (*land units*), denominadas de unidades de paisagem (*landscape units*). Nesta proposta a classificação pode ser realizada em dois níveis, o topológico, que trata dos fluxos de energia e relações entre os elementos que compõe as unidades de paisagem (heterogeneidade vertical) e o corológico que trata das relações entre as unidades de paisagem (heterogeneidade horizontal).

Do ponto de vista cronológico, foram definidos os níveis hierárquicos, apresentados na Figura 2 e descritos a seguir:

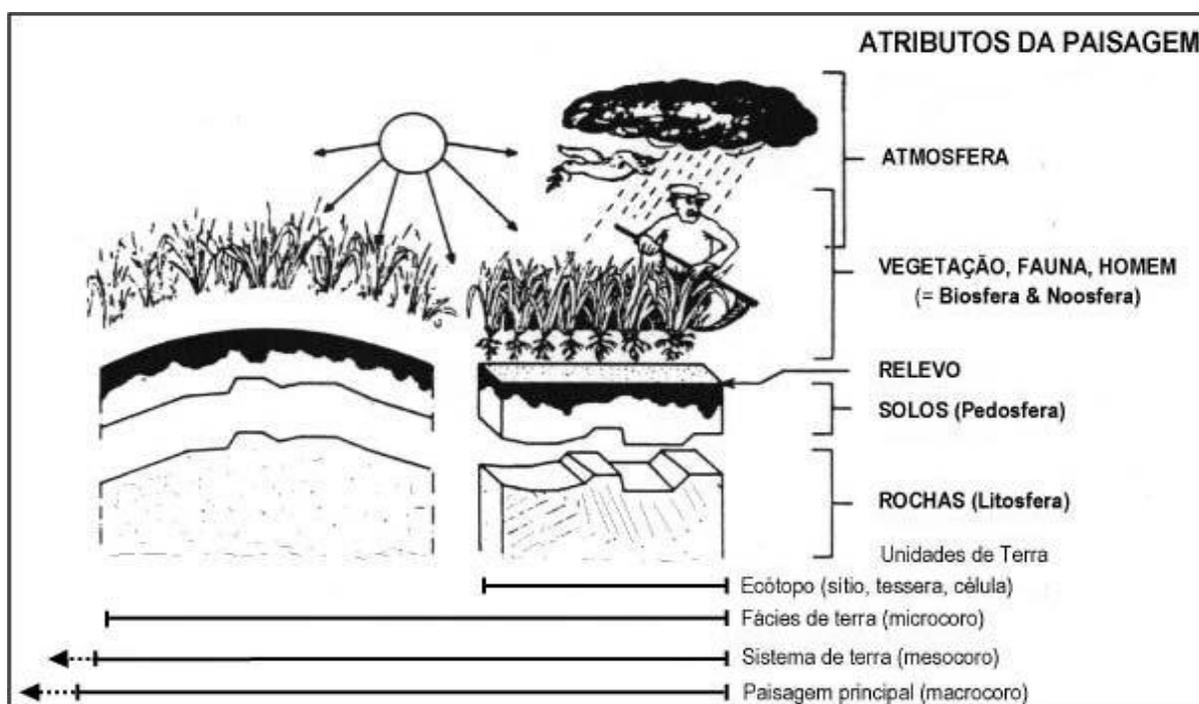


Figura 2. Ecótopo e níveis hierárquicos. Fonte: Zonneveld (1989).

O Ecótopo – *land unit* é a menor unidade de terra holística, caracterizada pela homogeneidade de pelo menos um dos atributos da terra na geosfera - atmosfera, vegetação, solos, relevo, rocha, água.

O Fácies da Terra – *land facet* é uma combinação de ecótopos, formando um padrão de relações espaciais no qual as propriedades de pelo menos um dos atributos dos ecótopos estejam intimamente relacionadas.

O Sistema de Terra – *land system* é uma combinação de fácies que formam uma unidade de mapeamento adequada numa escala de reconhecimento.

A Paisagem Principal – *main landscape* é uma combinação de sistemas de terra numa região geográfica.

Zonneveld (1989) afirma ainda que seja mais prático descrever as unidades combinando-se os sistemas de classificação tradicionalmente utilizados para descrever os atributos da paisagem, isto é, a taxonomia de relevo, solos, vegetação,

uso da terra e, se for possível ou desejável, de clima e hidrologia, incluindo-se as informações de flora e fauna. Também enfatiza que este tipo de descrição não indica que as unidades de paisagem sejam a soma destes atributos separadamente, que trata-se somente de uma forma de descrevê-las utilizando-se as taxonomias e simbologias conhecidas.

2.4.3. Elaboração de uma carta de Vulnerabilidade Natural

Para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Natural de uma determinada área é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia e precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se antevêja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação. (TRICART, 1977).

2.4.4. Critérios de Avaliação de Vulnerabilidade

As unidades de paisagem podem ser estabelecidas, basicamente, de duas formas. A primeira parte de um estágio bastante analítico em que cada atributo da paisagem é estudado intensivamente e mapeado em separado pelos seus especialistas. Num estágio subsequente, é realizada a integração dos dados para delimitação das unidades de paisagem, sendo uma atividade especial para a qual são requeridos experiência, tempo e recursos financeiros. A segunda forma inicia com a delimitação das unidades de paisagem com base na interpretação de

fotografias aéreas ou imagens de sensores orbitais. Nesse caso, a interpretação e o trabalho de campo posterior, visando a caracterização das unidades de paisagem, são realizados por um grupo de profissionais que tem, em conjunto, conhecimento dos diversos atributos da paisagem. Esta segunda forma é menos analítica, porém mais prática e econômica (ZONNEVELD, 1989).

Ross (1994) ao analisar as fragilidades dos ambientes inseriu novos critérios para definir as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis preconizadas por Tricart (1977). As unidades ecodinâmicas instáveis ou de instabilidade emergente referem-se àquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais. As unidades ecodinâmicas estáveis ou de instabilidade potencial são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se em seu estado natural. Para ambas as unidades foram atribuídas cinco níveis de instabilidade: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

A análise empírica da fragilidade é realizada a partir de produtos cartográficos temáticos (de geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, vegetação, uso da terra) e seus respectivos relatórios técnicos, obtidos através de levantamentos de campo e serviços de escritório e seguindo-se as seguintes orientações (ROSS, 1994):

- A carta geomorfológica juntamente com a análise genética é um dos produtos intermediários para a construção da carta de fragilidade. Para análise em escalas médias e pequenas (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000) utiliza-se como base de informação os padrões de forma de relevo com a rugosidade topográfica ou os índices de dissecação do relevo. Para análise em escalas grandes ou de detalhe (1:2.000 até 1:25.000) utiliza-se as formas das vertentes e as classes de declividade;

- A carta de solos utiliza os critérios de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, profundidade/espessura dos horizontes superficiais e sub-superficiais. Tais características estão relacionadas com o relevo, litologia, clima, elementos motores da pedogênese e fatores determinantes das características físico-químicas;
- A carta de vegetação e uso da terra é utilizada para avaliar o grau de proteção dos solos pela cobertura vegetal, onde as áreas de florestas naturais fornecem um grau de proteção muito alto, contrapondo as áreas de solo exposto e de culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, cuja proteção é baixa ou nula;
- Para o clima, os dados mais importantes referem-se a intensidade e distribuição das chuvas.

Além destas orientações, Ross (1994) sugere que as pesquisas básicas associadas à erosão dos solos, muito utilizadas nas práticas agrícolas conservacionistas, podem ser usadas na determinação da fragilidade como um suporte quantitativo à análise, até então feita de maneira qualitativa.

Também apoiados no conceito de ecodinâmica (TRICART, 1977), Crepani et al. (1996) basearam-se na relação morfogênese/pedogênese e no aspecto sinótico-holístico-repetitivo fornecido pelas imagens de sensoriamento remoto, para propor uma metodologia de análise da vulnerabilidade dos ambientes naturais e antrópicos, cujos passos operacionais são apresentados a seguir:

- O primeiro passo é a elaboração de um mapa preliminar contendo unidades homogêneas, obtido através da análise e interpretação com enfoque multidisciplinar de imagem TM-LANDSAT (composição colorida das bandas 3, 4 e 5), considerando-se os padrões fotográficos identificados pelas variações

de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo;

- No segundo passo é a realização de associações das informações temáticas auxiliares preexistentes (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e dados climatológicos) com o mapa preliminar de unidades homogêneas para caracterizar tematicamente as unidades ambientais ou de paisagens;
- Realiza-se a classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, segundo as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese e a vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores de estabilidade (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade ambiental.

Comparativamente, os procedimentos de Ross (1994) e de Crepani et al. (1996) partem do mesmo princípio – a ecodinâmica (TRICART, 1977) para delimitar áreas no contexto dos diagnósticos ambientais. Estas áreas podem ser denominadas de unidades homogêneas.

A principal diferença está na operacionalização dos métodos: Ross (1994) utiliza um procedimento de classificação do espaço geográfico por divisão, quando parte da análise (multidisciplinar) dos temas isoladamente até chegar nas unidades homogêneas complexas (a síntese); Crepani et al. (1996), utilizam um procedimento de classificação por agrupamento ou agregação, quando identificam inicialmente as unidades homogêneas complexas, a partir de produtos (“âncora”) que são as imagens de sensoriamento remoto e depois agregam os atributos multitemáticos que caracterizam tais unidades. Também pode-se dizer que os procedimentos de Crepani et al. (1996) representam uma adaptação da proposta de Zonneveld (1989) e utilizam a ecodinâmica (TRICART, 1977) como o critério de classificação.

2.4.5. Uso do SIG no Estudo da Vulnerabilidade

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são conjuntos de programas computacionais utilizados para armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos (gráficos e alfanuméricos), com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG), como definido por Burrough (1986), é um “poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real”. Na verdade, existem diversas definições para o que é um SIG, porém, Silva (1998) sintetizou-as na definição dos requisitos necessários a um sistema para que este seja considerado um SIG: “o SIG necessita usar o meio digital, portanto o uso intensivo de informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada, estes dados precisam estar geo-referenciados e com controle de erro; o SIG deve conter funções de análise destes dados, variando de álgebra cumulativa (ex.: operações do tipo soma, subtração, multiplicação e divisão) até álgebra não cumulativa (operações lógicas)”.

Num SIG, dados da paisagem e da cobertura vegetal podem ser analisados juntamente com outros conjuntos de dados (ex.: solos, modelos digitais de elevação, restrições) para se modelar cenários futuros e se avaliar a efetividade de políticas de planejamento, em termos de mudanças na paisagem, monitoradas para cada área (Peccol et al., 1994).

A seguir, apresenta-se algumas aplicações importantes de aplicações do SIG em estudo de vulnerabilidade e planejamento ambiental.

Desenvolvimentos metodológicos podem ser vistos em Simões-Meirelles (1997), em Medeiros (1999). Da mesma forma pode ser visto em De Pablo et al.

(1994) uma proposta de um sistema de informação para planejamento ambiental, objetivando facilitar a tomada de decisão dos governos regionais e centrais da Espanha. Na proposta metodológica para zoneamento de áreas de proteção ambiental, Griffith et al. (1995) indicam o uso de Sistemas de Informações Geográficas SIGs como forma de agilizar a separação de unidades homogêneas inicialmente e auxiliar na tomada de decisões.

Como exemplo de utilização de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado do meio-ambiente, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 1992) desenvolveu no projeto Macrozoneamento do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (MAVALE), que abrangeu 40 municípios, uma metodologia para planejamento regional. Este projeto foi realizado para dar suporte ao Consórcio para o Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba e Litoral Norte (CODIVAP) na formulação de diretrizes para ordenamento territorial da região e, colocando à disposição da comunidade uma metodologia de planejamento regional baseada na utilização de dados de sensoriamento remoto orbital. Foram desenvolvidos estudos relativos aos seguintes temas: geologia, pedologia, geomorfologia, cobertura vegetal, uso da terra, áreas urbanas e sua expansão na última década, áreas favoráveis à recarga e concentração de água subterrânea; compartimentação da região em sub-bacias e estudo das relações uso da terra x qualidade de água; elaboração da aptidão agrícola das terras e diagnóstico sócio-econômico-demográfico. Os procedimentos que envolveram o diagnóstico ambiental do meio físico e sócio-econômico foram integrados na busca de um entendimento holístico do espaço regional e de seus problemas inerentes ao uso e ocupação das terras (INPE, 1992). Neste trabalho foram utilizadas imagens do satélite Landsat, nas escalas de 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, complementadas com informações

bibliográficas, cartográficas e trabalho de campo, sendo os produtos finais apresentados na escala 1:250.000.

No Brasil, há diversos estudos integrados, com a utilização de SIGs, abrangendo diferentes tamanho de áreas geográficas e diferentes objetivos. Basicamente, podem-se identificar dois tipos de estudos: uni-objetivo e multi-objetivos (SILVA; SANTOS, 2004). Os estudos multi-objetivos referem-se aqueles que buscam identificar unidades homogêneas no ecossistema sem a preocupação, a priori, de um empreendimento ou atividade a ser instalada. Porém, em função da vulnerabilidade e da aptidão do meio ambiente buscam determinar uma série de indicações de uso e a construção de cenários alternativos. Exemplos destes estudos podem ser vistos em Mato Grosso do Sul (1989; 1990), INPE (1992), SÃO PAULO (1990; 1996a; 1996b), Luz (2000) e Silva et al. (2001).

No Brasil, o trabalho de Taltasse (1972) é considerado como um dos pioneiros em cartografia de vulnerabilidade, o qual propôs um mapa para o município de Campinas (SP), descrevendo a suscetibilidade das unidades litoestratigráficas a um evento qualquer de contaminação.

No caso de estudo integrado para zoneamento ambiental, vulnerabilidade, manejo ou qualquer outro, é possível definir, a priori, regras de cruzamento entre os fatores ambientais ou atributos, a fim de delimitar as zonas homogêneas dentro da paisagem, como por exemplo, classes de potencial erosivo ou classes de aptidão agrícola das terras, que podem ser delimitadas manualmente ou utilizando SIGs. Estas regras já são usuais em alguns SIGs e visam eliminar parte da subjetividade, tornando o processo mais rápido e eficiente, podendo ser testadas várias regras, adicionando ou retirando informações.

Há outras maneiras de se determinar e delimitar zonas homogêneas dentro

da paisagem, como por exemplo, a análise multivariada, que trata da descrição integrada do ambiente mediante a detecção multivariada de suas relações espaciais mais relevantes.

Essas pesquisas abordam a descrição integrada do território em diferentes escalas de detalhe, tratando de otimizar a análise da informação e sua expressão cartográfica, considerando a relação custo-eficiência da descrição como o estudo das interdependências espaciais entre diferentes fatores ambientais e seus condicionantes no uso humano da paisagem.

2.4.6. - Elaboração do Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

As UTBs são consideradas, segundo Becker e Egler (1997), as células elementares de informação e análise para o Zoneamento Ecológico-Econômico. Ou seja, uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Crepani et al. (1996) as dividem em unidades de paisagem natural (ou polígono de paisagem natural) e polígonos de intervenção antrópica. A partir da decomposição do espaço em áreas-unidade, o pesquisador poderá relacionar, para cada uma destas partições, as correspondentes características físicas-bióticas que a individualizam em relação a todas as demais componentes do espaço.

Por exemplo, na metodologia para Zoneamento Ecológico-Econômico descrita em Crepani et al. (1996) e Becker e Egler (1996), o uso de imagens de satélite serve como base para definição de unidades de paisagem (chamadas *unidades territoriais básicas*). Uma *unidade territorial básica* (UTB) exprime o

conceito geográfico de zonalidade através de atributos ambientais que permitem diferenciá-la de outras unidades vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Estas UTBs são definidas por foto-interpretação em imagens de satélite e servem como âncora para a definição dos mapas derivados do meio físico-biótico.

Uma UTB exprime o conceito geográfico de zonalidade através de atributos ambientais que a diferenciam de unidades vizinhas ao mesmo tempo mantendo vínculos dinâmicos com toda complexa rede de unidades a que está integrada. A avaliação da vulnerabilidade natural de cada UTB a partir da análise integrada das ocorrências de rochas, solos, relevo e vegetação nas regiões correspondentes a cada uma, se baseia na atribuição de valores para quantificar a estabilidade em uma escala de graduação entre 1 e 3 para indicar menor ou maior contribuição para vulnerabilidade, (BECKER et al, 1996).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo anterior discutiu vários aspectos ligados ao conceito de desenvolvimento sustentável e os conceitos que estão relacionados à análise da vulnerabilidade ambiental, os quais servem como base para definição do referencial metodológico utilizado neste estudo.

Neste capítulo, são apresentadas a orientação metodológica deste estudo, o sistema empregado para as ferramentas de avaliação e as categorias de análise que subsidiaram a geração do mapa de vulnerabilidade ambiental.

Os métodos envolveram técnicas de processamento de dados, operações aritméticas, sensoriamento remoto, trabalho de campo, para coleta de informações, utilizando-se de cartas, mapas, imagens e dados secundários.

Os procedimentos de estudo consistiram na realização de um levantamento preliminar dos documentos (dados secundários, mapas, trabalhos técnicos e científicos) já existentes na área, trabalhos de campo, tratamento e interpretação das informações, resultando no presente estudo.

As informações geográficas da área de estudo foram estruturadas em um SIG baseado na organização em projetos, no qual cada projeto foi composto por Planos de Informação (PI), também conhecidos como níveis ou camadas de informação, cada uma representando uma informação diferente (CÂMARA et al., 2001).

Na Figura 3 são apresentadas as etapas de processamento seguidas neste trabalho, as quais são detalhadas a seguir.

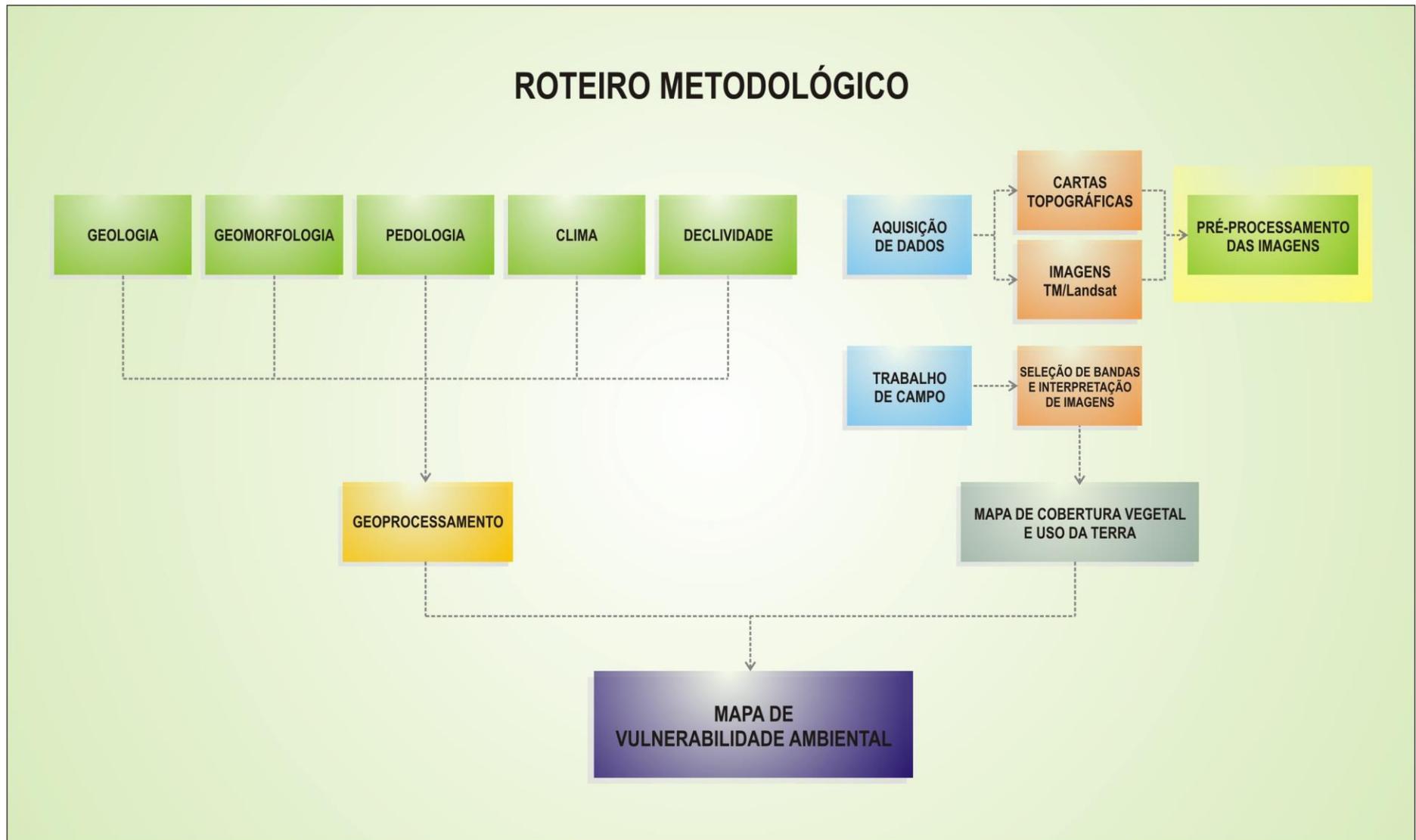


Figura 3. Roteiro geral da metodologia. Fonte: Baseado em Becker e Egler (1996) e Crepani et al. (1996)

3.1. Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho localiza-se região sudeste do Estado do Tocantins, no município de Dianópolis, estando delimitada pelas coordenadas geográficas $11^{\circ}31'03''$ w $11^{\circ}38'02''$ de latitude sul e $46^{\circ}58'01''$ e $47^{\circ}03'04''$ de longitude oeste e pelas coordenadas UTM zona 22L 8.726.400 e 8.713.000 de latitude sul e 277.000 e 286.000 de longitude oeste, distante 340 km da capital Palmas. A área faz parte do empreendimento de Irrigação da Área Piloto do Rio Manuel Alves que abrange 8.348,32 ha, dos quais 5.313,67 ha correspondem à área destinada à irrigação, 3.034,65 ha à Reserva Legal, e sendo contornada, na sua porção oeste, pelo Rio Manuel Alves (Figura 4).

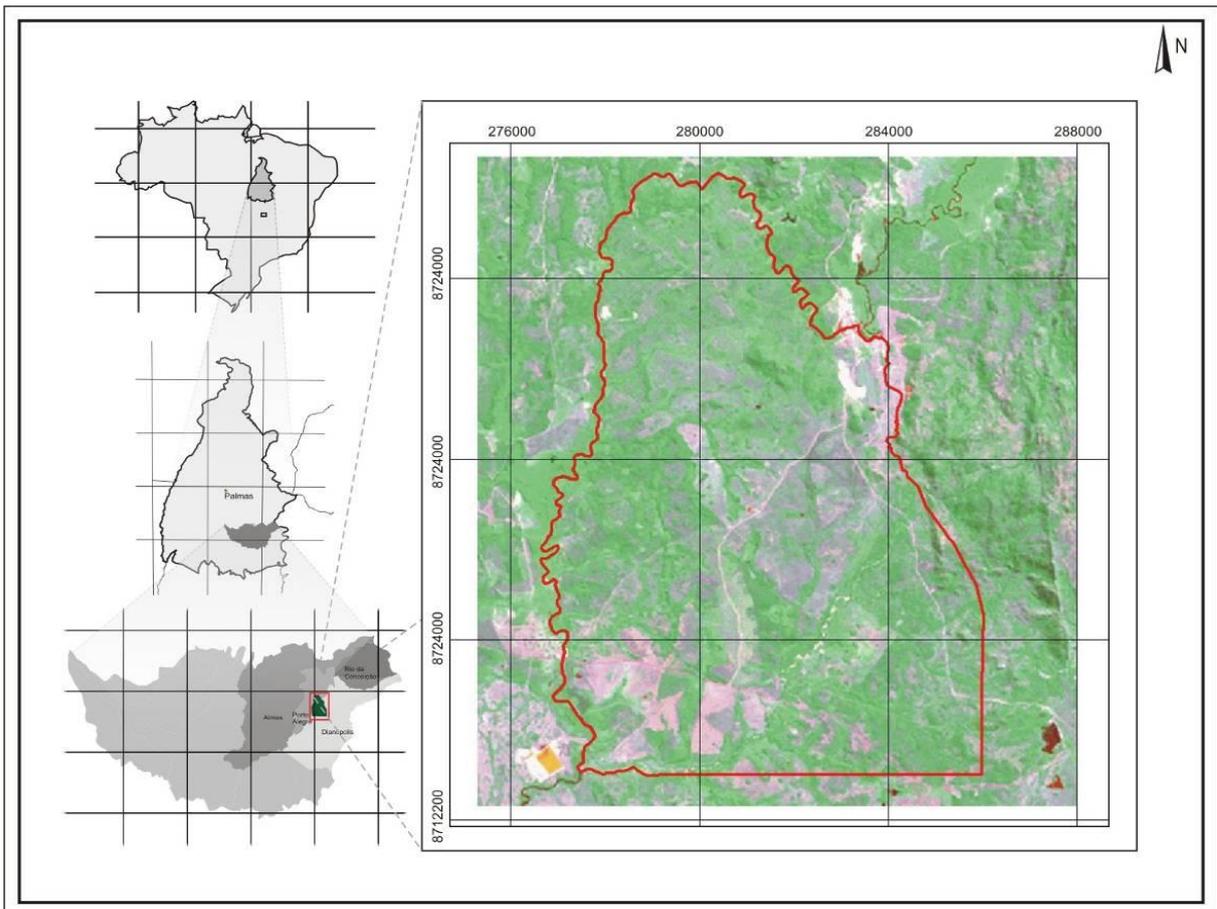


Figura 4. Localização da área de estudo. Fonte: ACL (2002)

3.2. O Projeto de Irrigação

O Projeto de Irrigação da Área Piloto do Rio Manuel Alves insere-se num conjunto de ações integradas que visam, dentre outros objetivos de desenvolvimento regional componentes do PROPERTINS, ao aproveitamento hidroagrícola de áreas aptas e, ao mesmo tempo, a introdução da tecnologia de irrigação e o desenvolvimento da fruticultura irrigada na região.

O parcelamento da Área Piloto do Projeto de Irrigação Manuel Alves consistiu na distribuição espacial dos solos em quatro setores hidráulicos para lotes familiares ou de colonização (SH-1, SH-2, SH-3 e SH-4) e um setor hidráulico para empresários (Figura 5).

Os setores hidráulicos para uso dos colonos ou pequenos empresários foram subdivididos em lotes com Superfície Agrícola Geométrica (SAG) de aproximadamente 9,00 ha (lote tipo 300 x 300 m). A área e dimensões do lote tipo SAG foram adotadas almejando uma maior quantidade de lotes padronizados facilitando, assim, o dimensionamento e, conseqüentemente, a otimização dos equipamentos “*on farm*” (determinação de quantitativos e custos), (ACL, 2002).

A área destinada aos lotes empresariais foi subdividida em parcelas de aproximadamente 25 a 55 ha, levando em consideração os fatores econômicos, pedológicos e topográficos, que seguiu a experiência em perímetros irrigados destinados a lotes empresariais (ACL, 2002).

O custo total para a implantação das obras relativas ao Projeto de Irrigação da Área Piloto está estimado em R\$ 98 milhões. Considerando a área do Projeto de Irrigação, tem-se um custo estimado por hectare de R\$ 14 mil/ha, o que equivale, na cotação do dólar de março/2002, a um valor próximo a US\$ 6 mil/ha, valor este

aceitável para projetos desta natureza tomando-se como base a experiência nacional e internacional na área (ACL, 2002).

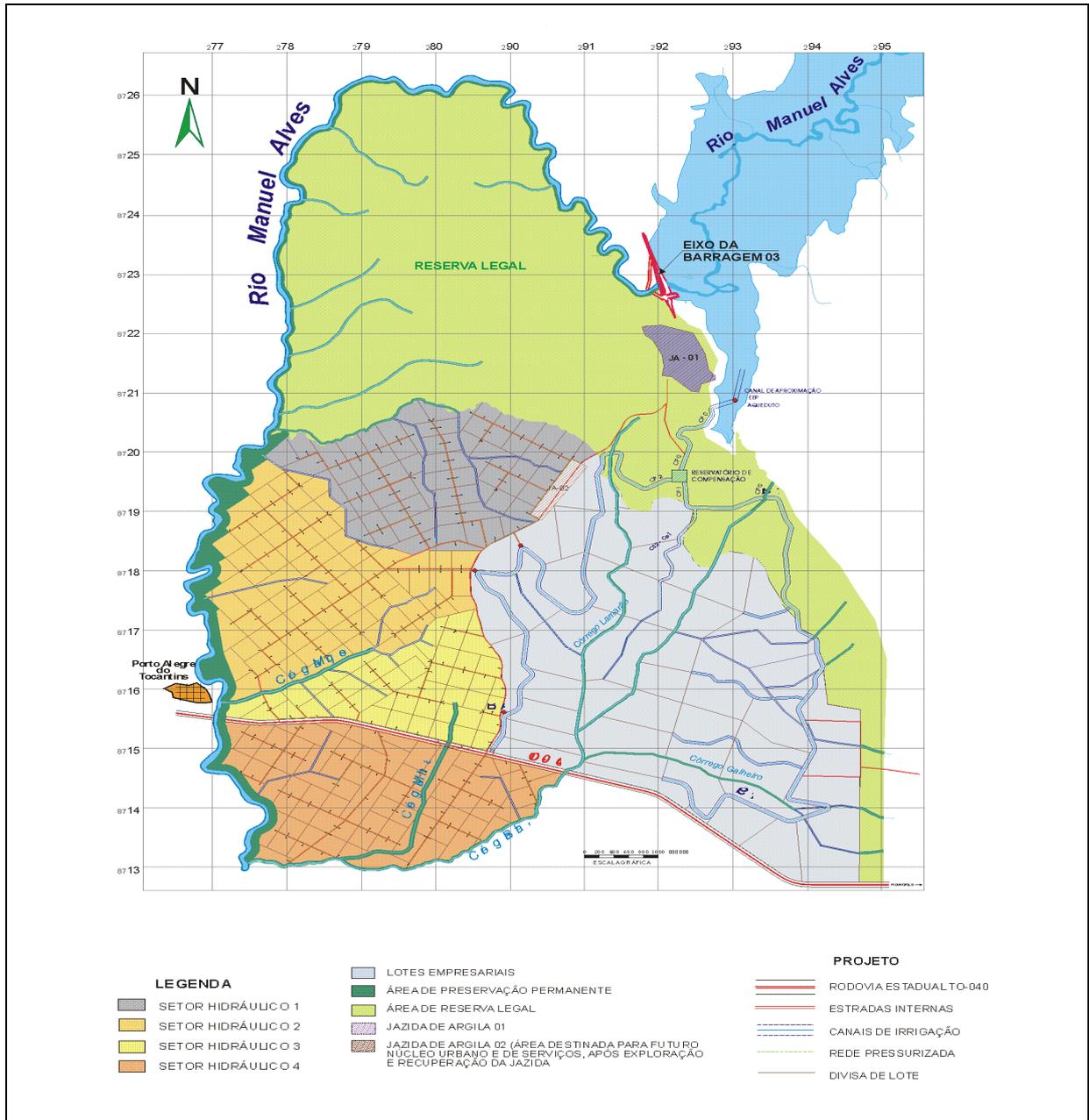


Figura 5. Concepção básica do Projeto de Irrigação Manuel Alves, Dianópolis – TO (ACL, 2002)

A área está inserida na bacia hidrográfica do Rio Tocantins e sub-bacia rio Manoel Alves da Natividade (Figura 6) com uma área de 14.938,0 km² totalizando 5,4% da área do Estado. Situa-se entre as bacias hidrográficas dos rios das Balsas e Palma/Paraná, desaguando no rio Tocantins a montante de Porto Nacional (ACL, 2002).

O Rio Manuel Alves tem aproximadamente 300 km de comprimento, sendo que suas nascentes estão localizadas nos municípios de Rio da Conceição, Porto Alegre do Tocantins e Almas, na Serra Geral de Goiás, que faz a divisa leste do Estado de Tocantins com o Estado da Bahia. A direção do Rio Manuel Alves é no sentido leste-oeste, tendo sua foz no Rio Tocantins próximo a cidade de Ipueiras. No seu percurso tem na sua margem somente duas cidades, Rio da Conceição e Porto Alegre do Tocantins (ACL, 2002).

Tem como principais afluentes os rios do Peixe e Bagagem, ambos pela sua margem esquerda. O Rio Peixe tem suas nascentes ao norte nos municípios de Natividade e Almas, fazendo também a divisa entre esses municípios. Enquanto o Rio Bagagem tem suas nascentes próximas a cidade de Pindorama do Tocantins na Serra de Belo Horizonte, sendo que no seu percurso passa próximo a Santa Rosa do Tocantins (ACL, 2002).



Figura 6. Rio Manuel Alves



Figura 7. Ponte de madeira sobre o Rio Manuel Alves

A região possui duas estações bem caracterizadas, uma chuvosa e outra seca. O período chuvoso se estende, via de regra, entre fins de outubro e final de março, podendo se estender até abril em algumas localidades. O período de seca ocorre entre os meses de abril/maio até setembro ou outubro, dependendo da área (ACL, 2002).

A Região Sudeste apresenta, de modo geral, baixa precipitação média anual em relação às outras regiões do Estado. Em sua maior parte, considerando a partir de sua área mais central até sua fronteira à oeste, os índices anuais variam entre 1.200 mm a 1.300 mm. Em sua área mais oriental, nas divisas dos municípios de Dianópolis, Novo Jardim e Ponte Alta do Bom Jesus, a precipitação média varia entre 1.700mm a 1.900 mm anuais. A temperatura média anual do ar oscila entre 26° C e 28°C (ACL, 2002).

A maior parte da bacia do Rio Manuel Alves da Natividade está coberta pela Região do Cerrado Brasileiro, com a ocorrência pontual de Floresta Estacional Decidual, Latifoliada e Submontana. Estas florestas ocorrem nos municípios à leste, próximos à Serra Geral e se caracteriza predominantemente, em sua constituição, por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas, tendo as folhas adultas esclerofilas ou membranáceas decíduais (caducas). Na bacia do Rio Manuel Alves ocorre uma grande diversidade de classes e associações de solos devido, essencialmente, à heterogeneidade das unidades geológicas observadas na região (ACL, 2002).

A geologia apresenta dois grandes domínios litológicos de comportamentos geotectônicos semelhantes, o das rochas sedimentares e o das rochas do embasamento cristalino. As rochas sedimentares estão representadas pela formação Urucuia, que ocorre na porção nordeste da região e os sedimentos terciários, apresentam recobrando as formações cristalinas com comportamentos bastante próximos às formações sedimentares. As rochas cristalinas distribuem-se no restante da área, apresentando gnaisses e migmatitos do Complexo Basal Goiano e micaxistos, quartzitos, calcários, filitos e metassedimentos dos grupos Bambuí e Natividade e alguns corpos intrusivos de granito. (Tocantins, 1999).

3.3. Materiais Utilizados

3.3.1. Dados para os temas Geologia e Geomorfologia

Base cartográfica digital na escala elaborada pela EMBRAPA em parceria com o Governo do Estado do Tocantins (SEPLAN, 1999), Atlas digital em formato dxf e shp.

3.3.2. Dados para os temas Declividade e Drenagem

Base Cartográfica Digital Contínua do Estado do Tocantins, estruturada m ARCSDE / ORACLE 8i/9i, escala 1:100.000, elaborada pela GEMPI em parceria com o Governo do Estado do Tocantins, de 2004 (Coordenadoria de Ordenamento Florestal do NATURATINS) em formato shapefile (shp).

3.3.3. Dados para o tema Pedologia

Levantamento Pedológico detalhado (mapa de solos na escala 1:25.000, juntamente com o respectivo memorial descritivo), realizado pelo Consórcio Técnico ACL/ENGEPLUS/MAGNA (ACL, 2002), tendo como resultado a subdivisão da área em estudo em 8 unidades de mapeamento com 4 classe de solos distintas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999c).

3.3.4. Dados para o tema Clima

O plano de informação do clima faz parte de um banco de dados georreferenciados, disponível para ambientes SGI/INPE e IDRISI, na escala 1:1.000.000, Zoneamento Agroecológico (ZAE), executado pela Embrapa Monitoramento por Satélite em parceria com a Diretoria de Zoneamento Ecológico-

Econômico (DZE), da Secretaria Estadual de Planejamento e Meio Ambiente (SEPLAN). No referido trabalho, a regionalização climática para a totalidade do Estado do Tocantins foi realizada adotando-se o Método de Thornthwaite, considerando os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica (evapotranspiração potencial), derivados diretamente da precipitação e da temperatura, e dos demais elementos resultantes do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955).

A descrição do comportamento dos principais elementos do clima é em geral feita com base em normais climatológicas correspondentes a um período suficientemente longo, de modo a garantir a representação adequada das características climáticas regionais em termos médios. Para tanto, buscou-se dentre a rede mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), aquelas estações situadas nas proximidades da área do empreendimento, com disponibilidade de Normais Climatológicas Standard para o período 1961-1990 (Quadro 1).

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	ENTIDADE	LAT	LONG	PERÍODO
83231	Paraná	INMET	12,55	47,83	1961 - 1990
83235	Taguatinga	INMET	12,40	46,43	1961 - 1990
83228	Peixe	INMET	12,05	48,53	1961 - 1990
83064	Porto Nacional	INMET	10,72	48,42	1961 - 1990

Quadro 1. Relação de estações climatológicas instaladas em Paraná, Taguatinga, Peixe e Porto Nacional. Fonte: ACL (2002).

3.3.5. Dados para o tema Cobertura Vegetal

Para obtenção do mapa de cobertura vegetal, utilizou-se cena de imagem de satélite Landsat – TM , Órbita/Ponto 221/68, datada de 23 de maio de 2003. No processamento utilizaram-se as bandas espectrais 3,4 e 5, resolução espacial de 30 m no modo multiespectral, georeferenciada para UTM, Zona 23 e Datum SAD 69, cujo quadrante apresentam as seguintes coordenadas UTM: 172765.671221, 8820853.448717, 391045.671221, 8618983.448717.

3.4. Equipamentos e softwares

- computador Toshiba Satélite móbile, Processador Intel Pentium 4 de 2.8Ghz, 512 MB of RAM;
- sistema Microsoft Windows XP 2002 - Service Pack 2;
- sistema Microsoft Office 2003, ambientes Word e Excel;
- sistema computacional relacionado a cartografia digital AutoCAD 2004;
- softwares SPRING - Sistema de Processamento de Imagens georreferenciadas (CÂMARA, et al. 1996) na versão 3.6, sendo que o SPRING é acessado gratuitamente pela Internet (<http://www.dpi.inpe.br/spring>);
- softwares ARC VIEW GIS 3.2 for Windows;
- softwares CorelDRAW 12 for Windows;
- GPS Garmin e-Trex – Legend.

3.5. Identificação das Variáveis para a Elaboração do Diagnóstico

Gebiofísico

O primeiro passo foi identificar as variáveis e indicadores que serão considerados para a geração do Diagnóstico Gebiofísico da área estudada o quais auxiliam no conhecimento da área como um todo. No referido estudo, foram definidas as seguintes variáveis gebiofísicas:

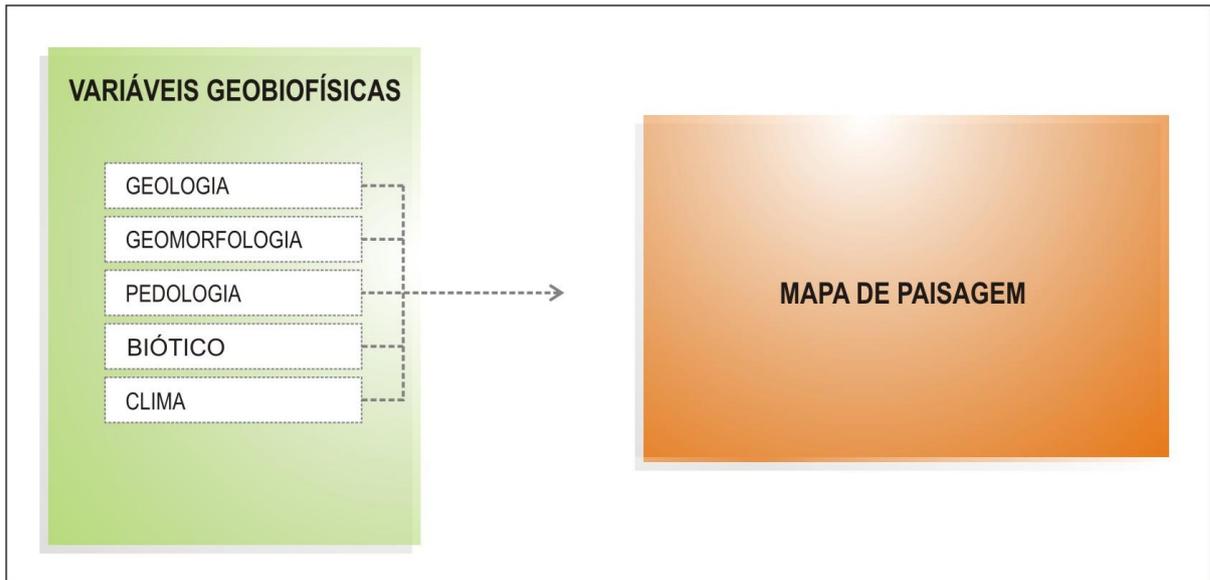


Figura 8. Identificação das variáveis para obtenção do mapa de vulnerabilidade.

3.5.1. Definição de Escalas

O segundo passo foi à definição das escalas a serem utilizadas: a escala de trabalho assim como a escala cartográfica.

A escala de trabalho é aquela a ser utilizada para a análise e integração das variáveis temáticas selecionadas. A escala de trabalho para geração dos mapas foi 1:25.000, definida baseada nos objetivos específicos do estudo, nas características da área e de acordo com as variáveis utilizadas.

3.6. Geração dos Mapas Temáticos

Aquisição da base cartográfica digital referente à série de mapas temáticos elaborada pela EMBRAPA em parceria com o Governo do Estado do Tocantins, de 1999 (Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins), em formato dwg e shape, referente aos temas geologia, geomorfologia e clima na escala de 1:250.000 e a base digital dos temas drenagem e declividade em formato shape do NATURATINS.

As informações adquiridas na base digital em AutoCad R14 (AUTODESK, 2000) em formato dwg, foram manipuladas, contendo informações referentes ao limite, pedologia, traçado do loteamento, a quantidade de lotes propostos e suas respectivas áreas, e outras.

Posteriormente, esse arquivo foi inserido num outro arquivo dwg, onde foram congelados os layers desnecessários ao trabalho proposto, salvando os layers em arquivos individuais e convertido para dxf 12, para geração de identificadores dos polígonos no ARC/INFO.

Os arquivos dxf 12 foram importados para o ARC/INFO e, em seguida, tiveram os seus polígonos ajustados, para serem convertidos em shape file através do comando covarage, gerando nós nas intersecções de linhas e transformando os arcos e linhas em poli-linhas.

Esta operação foi realizada com sucesso, e, em seguida, foi feita a identificação (rotulação) dos polígonos.

Esta etapa consistiu em criar um rótulo para cada polígono, de forma a associá-los com o banco de dados. Depois de criados todos os rótulos, o plano de informação mapa/polígono foi exportado no formato Shape File para o software ARC VIEW, Figura 9.

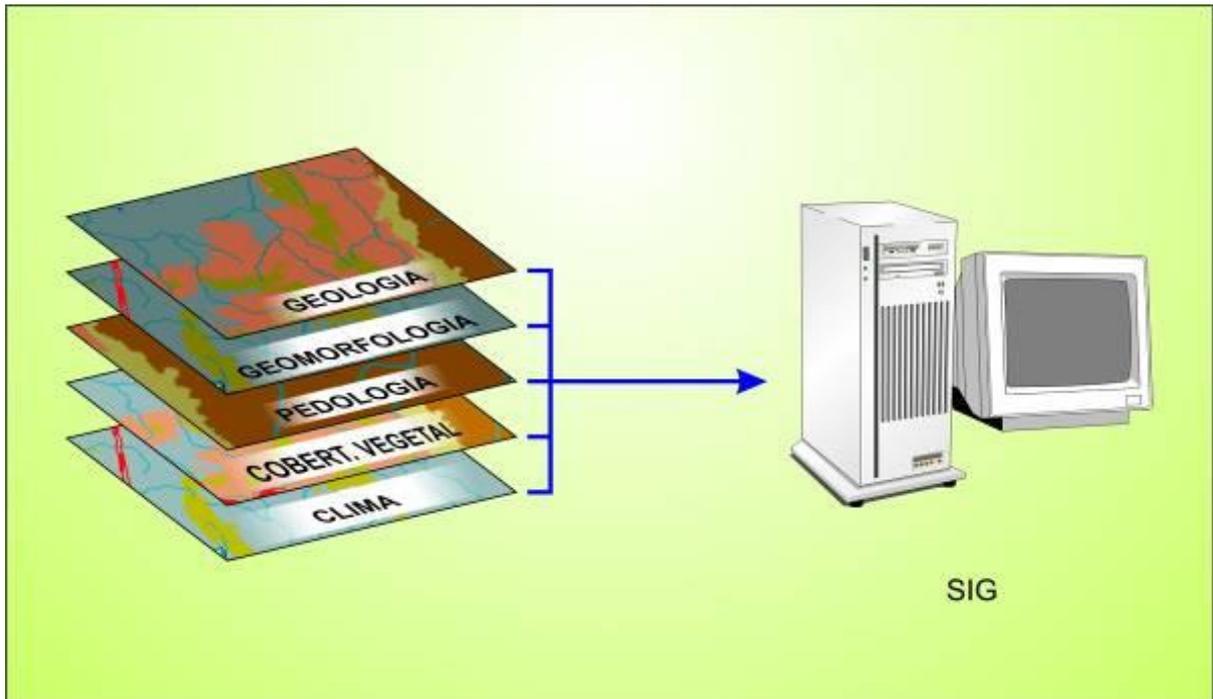


Figura 9. Estruturação dos layers temáticos no sistema de informação geográfica (SIG).

3.6.1. Geração do Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

Para a classificação do uso da terra foram utilizadas imagens de satélite LANDSAT/TM, correspondente à Órbita/Ponto 221/68, datada de 23 de maio de 2003, georeferenciada.

Este mapeamento objetivou dimensionar quantitativa e espacialmente as porções territoriais efetivamente usadas ou ocupadas.

Utilizaram-se as técnicas de classificação multiespectral "pixel a pixel" que é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para achar regiões homogêneas.

Para executar a classificação, utilizou-se o programa SPRING desenvolvido pelo INPE.

Descreve-se a seguir a seqüência lógica de operações seguidas:

- criação do arquivo de contexto - este arquivo armazena quais as bandas farão

parte do processo de classificação, qual o método utilizado (pixel ou região) e as amostras no caso da classificação por pixel;

- segmentação - dividiu-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de “pixels” contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.
- classificação - de posse da amostras e das bandas escolhidas a imagem foi classificada;
- execução do Mapeamento para Classes - permite transformar a imagem classificada (categoria Imagem) para um mapa temático raster (categoria Temática).

Com base nos padrões levantados fez-se os trabalhos de campo que, dado o tamanho da área e a escala básica do trabalho, optou-se pela seleção prévia de pontos onde foram estabelecidos correlações entre os padrões de imagem e os principais tipos de uso da terra.

A classificação de uso das terras resultou em seis categorias: área antropizada, campo cerrado, mata ciliar, savana arbórea aberta com floresta de galeria, savana arbórea densa e vegetação secundária.

Após serem digitalizadas, corrigidas e preparadas para serem utilizadas em processo de integração, as informações do uso e cobertura vegetal ficaram disponibilizadas no SIG na forma de geocampos temáticos juntamente com os mapas temáticos.

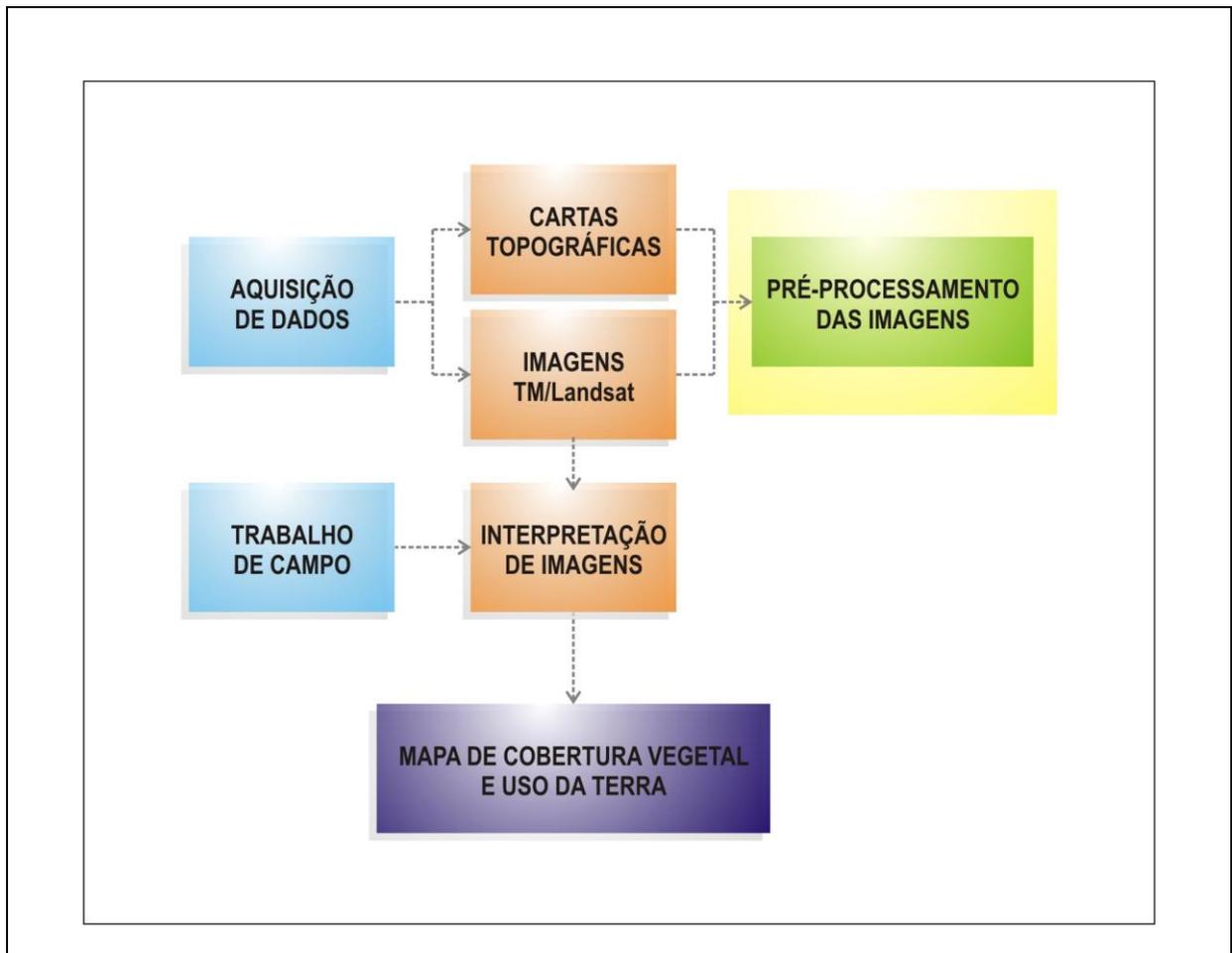


Figura 10. Geração do mapa de cobertura vegetal e uso do solo por meio do SIG

3.6.2. Geração do Mapa de Vulnerabilidade

No presente estudo, o termo vulnerabilidade está relacionado à fragilidade das terras para fins de agricultura irrigada.

Segundo Quintela (1995), a execução destas análises irá permitir obter critérios muito importantes sobre os aspectos vinculados com a estabilidade e a sensibilidade da paisagem, sobre os mecanismos que determinam o fluxo de substâncias e energia, e sobre o impacto da atividade humana expresso em termos do grau de transformação e modificação de origem antrópica.

Os procedimentos para a elaboração da carta de vulnerabilidade natural iniciam com a identificação e delimitação de espaços homogêneos, denominados

Unidade Territorial Básica (UTB) a partir da análise e interpretação de imagens TM-LANDSAT e mapas temáticos. Em seguida, é avaliada a vulnerabilidade natural de cada unidade considerando a relação dos processos de morfogênese e pedogênese, a partir da análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo e vegetação, bem como do clima e uso da terra. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores a cada unidade considerando o conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977). As regras para atribuição dos valores são apresentadas no Quadro 2.

UNIDADE	RELAÇÃO PEDOGÊNESE/MORFOGÊNESE	VALOR
ESTÁVEL	PREVALECE A PEDOGÊNESE	1
INTERMEDIÁRIA	EQUILÍBRIO PEDOGÊNESE/MORFOGÊNESE	2
INSTÁVEL	PREVALECE A MORFOGÊNESE	3

Quadro 2. Valores de estabilidade de unidades de paisagem. Fonte: Becker e Egler (1997, p34).

A seguir apresenta-se o fluxograma da descrição do processo de geração do Mapa de Vulnerabilidade onde serão apresentados os detalhes (Figura 11).

As unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0 enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0.

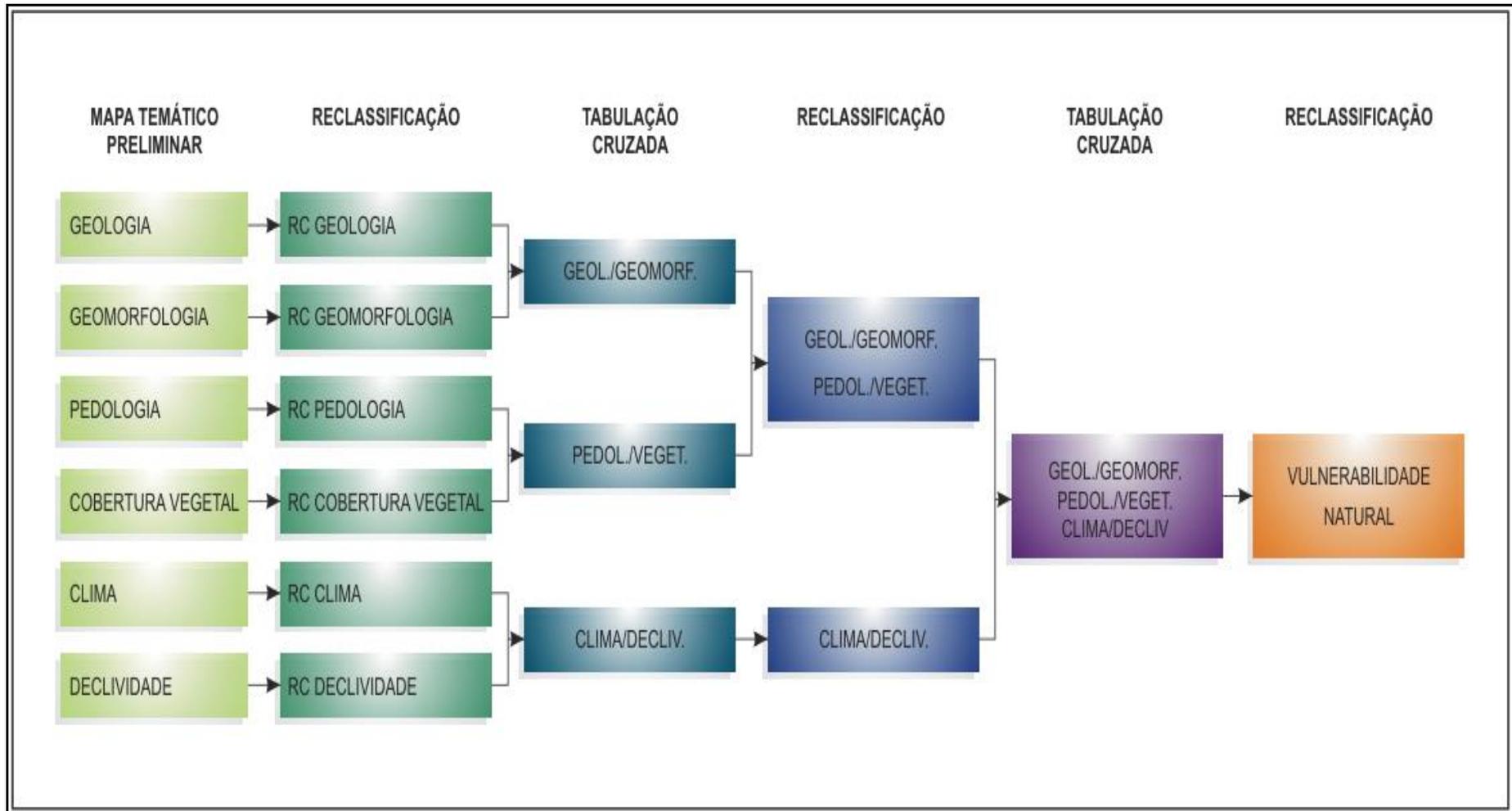


Figura 11. Roteiro metodológico do processo de geração do mapa de vulnerabilidade

Para a representação cartográfica da estabilidade, ou vulnerabilidade, das unidades territoriais básicas selecionou-se 21 cores obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (Azul, Verde e Vermelho) de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associe a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associe a cor verde e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha. Aos valores situados entre 1,1 e 1,9 na escala de vulnerabilidade associam-se cores resultantes da combinação entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo à medida que se aproxima de 2,0, enquanto que aos valores situados entre 2,1 e 2,9 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo a medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0. Na escolha das cores procurou-se obedecer aos critérios de comunicação visual que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) situações de emergência, e às cores “frias” e seus matizes (azul, verde) situações de tranqüilidade (CREPANI et al., 2001). A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores a cada unidade considerando o conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977). As regras para atribuição dos valores são apresentadas no Quadro 3.

De posse dos mapas temáticos é feita uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial baseada nos processos de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem, onde é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico e de uso da terra da área em estudo (CREPANI et al., 2001).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERMELHO	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		V	2,7			255	153	
U5	U	2,6		MODERADAMENTE VULNERÁVEL	255	204	0	
U6		L	2,5		E	255	255	
U7	N	2,4	S	MODERADAMENTE VULNERÁVEL	204	255	0	
U8		E	2,3		T	153	255	
U9	R	2,2	A	MEDIANAMENTE ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10		A	2,1		B	51	255	
U11	B	2,0	I	MEDIANAMENTE ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	0	255	0	
U12		I	1,9		L	0	255	
U13	L	1,8	I	MODERADAMENTE ESTÁVEL	0	255	102	
U14		I	1,7		D	0	255	
U15	D	1,6	A	MODERADAMENTE ESTÁVEL	0	255	204	
U16		A	1,5		D	0	255	
U17	D	1,4	E	MODERADAMENTE ESTÁVEL	0	204	255	
U18		E	1,3			0	153	
U19	↓	1,2		ESTÁVEL	0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Quadro 3. Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas. Fonte: Tricart (1977)

3.6.3. Atribuição da Escala de Valores

Segundo Crepani et al. (2001), para a atribuição de valores na escala de vulnerabilidade, procurou-se destacar em cada um dos temas, os parâmetros que se apresentam como indicadores de categoria morfodinâmica (como a espessura e maturidade do solo), ou aqueles capazes de influir decisivamente no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos (como o grau de coesão das

rochas, a densidade de cobertura vegetal, a declividade e a intensidade pluviométrica). A seguir apresenta os valores na escala de vulnerabilidade para o tema proposto em estudo.

3.6.4. Valores de Vulnerabilidade para o tema Geologia

A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra, e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem (INPE, 2001).

Como toda rocha é um agregado de minerais, sua resistência ao intemperismo vai depender da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem (o que depende da natureza das ligações entre os átomos dos diferentes elementos químicos que os constituem), bem como da resistência à desagregação entre os minerais (o que vai depender da natureza das forças que juntaram as partículas, cristais ou grãos). O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que nas rochas bastante coesas prevalecem os processos de formação de solos.

Com o objetivo de se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão), absolutamente relativa e empírica, as litologias mais comumente encontradas foram reunidas no Quadro 4, onde se procurou considerar todos os aspectos com relação ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estauroilita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc	3,0

Quadro 4. Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns. Fonte: INPE (2001).

3.6.5. Valores de Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

Para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem natural com relação à geomorfologia são analisados os seguintes índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno. Maior quantidade de água em superfície implica em um número maior de canais de drenagem, maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial (*runoff*) e, portanto, uma maior capacidade erosiva ou de promover a morfogênese.

Quanto maiores forem os interflúvios (ou menor for a intensidade de dissecação) menores são os valores atribuídos às unidades de paisagem natural na escala de vulnerabilidade, ou seja, valores mais próximos à estabilidade (valores

próximos a 1,0), da mesma forma as unidades de paisagem natural que apresentem os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) recebem valores da escala de vulnerabilidade mais próximos de 3,0 (próximos da vulnerabilidade), Quadro 5.

AMPLITUDE DO INTERLÚVIO (m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE DO INTERLÚVIO (m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE DO INTERLÚVIO (m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Quadro 5. Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo (INPE, 2001).

A intensidade da dissecação pela drenagem pode ser obtida a partir de medidas, realizadas nas cartas topográficas ou nas imagens de satélite, da amplitude dos interflúvios (distância entre canais de drenagem) ou da densidade de drenagem (número de canais/unidade de área), parâmetro este inversamente proporcional ao primeiro.

A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o “runoff”. Quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois a água das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno adquirirá maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese.

Aos maiores valores de amplitude altimétrica estão associados os valores mais próximos de 3,0 na escala de vulnerabilidade e, portanto, as situações de maior vulnerabilidade; por outro lado, aos menores valores de amplitude altimétrica estão

associados os menores valores da escala de vulnerabilidade (próximos de 1,0), que traduzem situações de maior estabilidade das unidades de paisagem natural, onde prevalecem os processos pedogenéticos.

A amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima contidas na unidade de paisagem natural, realizado a partir dos dados de altimetria das cartas topográficas.

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA(m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA(m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA(m)	VULNERAB./ ESTABILIDADE
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77	1,6	132 - 141,5	2,3	>200	3,0

Quadro 6. Valores de vulnerabilidade para a amplitude altimétrica. Fonte: INPE (2001).

– O termo declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. A declividade guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo “*runoff*”. Quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo e, portanto, pela morfogênese.

Sem levar em consideração a ação da água em movimento, as partículas rochosas separadas pelo intemperismo movem-se sempre que forças suficientes atuam sobre elas. Isto é verdadeiro tanto para partículas de colóides submicroscópicos de sílica em suspensão na água subterrânea como para gigantescos blocos diaclasados que caem das encostas. A sempre presente força de

gravidade adiciona uma componente descendente aos movimentos produzidos por outras forças e, por isso, quando partículas rochosas se movem nas encostas o movimento preferencial é descendente.

De acordo com o Quadro 7, os valores próximos de 1,0 da escala de vulnerabilidade estão associados a pequenos ângulos de inclinação das encostas, situação em que prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese e os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde prevalecem os processos erosivos da morfogênese.

DECLIVIDADE		VULNERAB./ ESTABILIDADE	DECLIVIDADE		VULNERAB./ ESTABILIDADE	DECLIVIDADE		VULNERAB./ ESTABILIDADE
GRAUS	PORCENTAGEM		GRAUS	PORCENTAGEM		GRAUS	PORCENTAGEM	
<2	<3,5	1,0	9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
4,6 - 5,9	5,2 - 10,3	1,3	13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Quadro 7. Valores de vulnerabilidade para o tema declividade. Fonte: INPE (2001).

– Como se tinha à disposição dos dados referente às classes de declividade para a área de estudo, utilizou-se o Quadro 3 com as classes de declividade os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE	VALORES DE VULNERABILIDADE
MUITO BAIXA	<2	1,0
BAIXA	2 - 6	1,5
MÉDIA	6 - 20	2,0
ALTA	20 - 50	2,5
MUITO ALTA	>50	3,0

Quadro 8. Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade (INPE, 2001).

A partir da determinação dos valores de cada índice morfométrico a vulnerabilidade das unidades territoriais básicas com relação à Geomorfologia pode ser definida, empírica e relativamente, através da equação 1:

$$R = \frac{G + A + D}{3} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação.

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.

– **D** = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Aplicando metodologia desenvolvida pelo INPE (2001), verifica-se que para as formas de origem estrutural e denudacional, caracterizadas por relevos planos a suavemente ondulados, como as superfícies pediplanadas, os interflúvios tabulares e as colinas de topos aplainados, o mais provável é que os valores de vulnerabilidade variem entre 1,0 e 1,6, porque quanto mais baixos forem individualmente os índices morfométricos mais próximos de 1,0 serão os valores de vulnerabilidade e quanto mais altos forem esses índices mais próximos de 1,6 serão os valores de vulnerabilidade destas formas.

Para as formas de origem estrutural e denudacional caracterizadas por relevos ondulados dissecados em colinas, o mais provável é que os valores de vulnerabilidade variem entre 1,7 e 2,3, porque quanto mais baixos forem individualmente os índices morfométricos mais próximos de 1,7 serão os valores de vulnerabilidade e quanto mais altos forem esses índices mais próximos de 2,3 serão os valores de vulnerabilidade destas formas.

Para as formas de origem estrutural e denudacional caracterizadas por relevos fortemente ondulados a escarpados, dissecadas em cristas, ravinas e pontões, o mais provável é que os valores de vulnerabilidade variem de 2,4 a 3,0, porque quanto mais baixos forem individualmente os índices morfométricos mais próximos de 2,4 serão os valores de vulnerabilidade e quanto mais altos forem esses índices mais próximos de 3,0 serão os valores de estabilidade destas formas.

3.6.6. Valores de Vulnerabilidade para o tema Pedologia

A resistência dos solos aos processos erosivos é consequência do tipo de solo, e também, das suas características físicas, tais como, textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, profundidade e pedregosidade.

O grau de desenvolvimento do solo é um importante elemento para estabelecer valores as classes de vulnerabilidade. Uma unidade de paisagem é estável quando favorece o processo de pedogênese, ou seja, o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo. Nestes ambientes são encontrados solos bastante desenvolvidos, intemperizados e envelhecidos. Já uma unidade de paisagem natural é instável quando prevalece a formação do relevo (morfogênese), e existe um processo de erosão do solo em detrimento ao processo de formação e desenvolvimento deste.

Sendo assim, foi atribuída aos solos uma escala de valores para estabelecer sua vulnerabilidade à erosão. Portanto, unidades de paisagem onde ocorrem solos estáveis adotaram-se valores próximos a 1,0. Esta classe de solos é representada pelos Latossolos, os quais, são solos maduros, bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade; possuem boas propriedades físicas: permeabilidade a água e ao ar, são porosos, friáveis, de baixa plasticidade. Apresentam horizontes A, B e C bem desenvolvidos, ocorrem geralmente em topografias suaves, sua principal limitação ao uso agrícola é a baixa fertilidade natural, e em geral, são solos pouco susceptíveis aos processos erosivos.

Já nas unidades de paisagem onde ocorrem solos intermediários com relação a sua vulnerabilidade, foram atribuídos valores de estabilidade 2,0, que atualmente na classificação de solos EMBRAPA (1999c), apresentam-se como argissolos, chernossolos e luvisolos. Estes solos são representados pela classe dos

Podzólicos. Estes solos quando comparados com os Latossolos apresentam profundidade menor, são menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem em topografia um pouco mais dissecada, e a diferença de textura entre os horizontes A e B dificulta a infiltração de água no perfil destes solos, favorecendo o processo erosivo.

Nas unidades de paisagem onde ocorrem solos vulneráveis foram atribuídos valores próximos a 3,0. Estes tipos de solos podem ser representados pelos Neossolos Litólicos, Aluviais, Neossolos Regolíticos, Organossolos, Plintossolos. São solos jovens e pouco desenvolvidos; o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C ou diretamente sobre a rocha mãe (não possuem horizonte B). Estes solos ainda estão em fase inicial de formação, ou porque ainda estão se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então, porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999b)	VULNERAB.
LATOSSOLOS AMARELOS	LATOSSOLOS AMARELOS	1,0
LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	
LATOSSOLOS VERMELHO-ESCUROS	LATOSSOLOS VERMELHOS	
LATOSSOLOS ROXOS	LATOSSOLOS VERMELHOS	
LATOSSOLOS BRUNOS	LATOSSOLOS BRUNOS	
LATOSSOLOS HÚMICOS	LATOSSOLOS (...) HÚMICOS	
LATOSSOLOS HÚMICOS BRUNOS	LATOSSOLOS BRUNO (...) HÚMICOS	
PODZÓLICOS AMARELOS	ARGISSOLOS	2,0
PODZÓLICOS VERMELHO-AMARELOS	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS NITOSSOLOS	
PODZÓLICOS VERMELHO-ESCUROS	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS NITOSSOLOS	
TERRAS ROXAS ESTRUTURADAS	ARGISSOLOS NITOSSOLOS	
BRUNOS NÃO-CÁLCICOS	LUVISSOLOS	
BRUNIZÉNS	CHERNOSSOLOS	
BRUNIZÉNS AVERMELHADOS	CHERNOSSOLOS	
RENDZINAS	CHERNOSSOLOS	
PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	
SOLOS HIDROMÓRFICOS (ABRÚPTICOS)	PLANOSSOLOS	
PODZÓIS	ESPODOSSOLOS	
CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	2,5
SOLOS LITÓLICOS	NEOSSOLOS LITÓLICOS	3,0
SOLOS ALUVIAIS	NEOSSOLOS FLÚVICOS	
REGOSSOLOS	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	
AREIAS OUARTZOSAS	NEOSSOLOS OUARTZARÊNICOS	
VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	
SOLOS ORGÂNICOS	ORGANOSSOLOS	
SOLOS HIDROMÓRFICOS (NÃO ABÚPTICOS)	GLEISSOLOS	
GLEI HÚMICO	GLEISSOLOS PLINTOSSOLOS	
GLEI POUCO HÚMICO	GLEISSOLOS PLINTOSSOLOS	
PLINTOSSOLO	PLINTOSSOLOS	
LATERITA HIDROMÓRFICA	PLINTOSSOLOS	
SOLOS CONCRECIONÁRIOS LATERÍTICOS	PLINTOSSOLOS	
AFLORAMENTO ROCHOSO	AFLORAMENTO ROCHOSO	

Quadro 9. Valores de vulnerabilidade para o tema solos. Fonte: INPE (2001).

3.6.7. Valores de Vulnerabilidade para o tema Vegetação

Compete à cobertura vegetal um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de

drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração, pois o ingresso imediato provoca incremento do “*runoff*” (massas de água em movimento), com o conseqüente aumento na capacidade de erosão pela transformação de energia potencial em energia cinética.

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção. Assim aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

Para o tema vegetação, a densidade de cobertura vegetal é o parâmetro a ser obtido, da documentação existente e da interpretação das imagens de satélite para se determinar as 21 classes de vulnerabilidade. A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão, por isso para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0). Abaixo, apresentam-se os valores de vulnerabilidade para o tema Cobertura Vegetal e Uso da Terra. De acordo com a metodologia, para as áreas antropizadas atribui-se o valor (3,0), considerando ser área de alta vulnerabilidade.

ECOSSISTEMA	LEGENDA		VULNERAB.
	ATUAL	ANTERIOR	
GRAMÍNEO-LENHOSA	Lg	Campinarana Gramíneo- Lenhosa, depressão (C21)	2,7
SEM PALMEIRAS	Lgs		2,7
COM PALMEIRAS	Lgp		2,7
SAVANA	S		
FLORESTADA	Sd	Cerradão - Se Savana Arbórea densa (Sad) Savana arbórea densa (Sd)	1,7
ARBORIZADA	Sa	Campo cerrado - Sr Savana Arbórea aberta (Saa) Savana Arbórea aberta (Sa)	2,1
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Sas	Savana arbórea aberta sem floresta de galeria (Sas)	2,1
COM FLOR.-DE-GALERIA	Saf	Savana arbórea aberta com floresta de galeria (Saf)	2,1
PARQUE	Sp	Cerrado parque (Sp) Savana DareJue (Sp)	2,5
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Sps	Savana parque sem floresta de galeria (Sps)	2,5
COM FLOR.-DE-GALERIA	Spf	Savana parque com floresta de galeria (Spf)	2,5
GRAMÍNEO-LENHOSA	Sg	Savana gramíneo-lenhosa (Sm) Savana gramíneo-lenhosa (Sg) Campo (Sm)	2,7
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Sgs	Savana gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (Sgs)	2,7
COM FLOR.-DE-GALERIA	Sgf	Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Sgf)	2,7
SAVANA ESTÉPICA	T		
FLORESTADA	Td	Savana Estépica Arbórea densa (Cd) Savana Estépica arbórea densa (Td)	1,7
ARBORIZADA	Ta	Savana Estépica Arbórea aberta (Ca)	2,1
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Tas	Savana Estépica Arborizada sem floresta de galeria (Tas)	2,1
COM FLOR.-DE-GALERIA	Taf	Savana Estépica Arborizada com floresta de galeria (Taf)	2,1
PARQUE	Tp	Savana Estépica parque (Cp)	2,5
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Tps	Savana Estépica Parque sem floresta de galeria (Tps)	2,5
COM FLOR.-DE-GALERIA	Tpf	Savana Estépica Parque com floresta de galeria (Tpf)	2,5
GRAMÍNEO-LENHOSA	Tg	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg)	2,7
SEM FLOR.-DE-GALERIA	Tgs	SavanaEstépicaGramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (TgS)	2,7
COM FLOR.-DE-GALERIA	Tgf	SavanaEstépicaGramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Tgf)	2,7
ESTEPE	E		

Quadro 10. Valores de vulnerabilidade para o tema vegetação. Fonte: INPE (2001).

3.6.8. Valores de Vulnerabilidade para o tema Clima

– O clima controla o intemperismo diretamente, através da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região, e também indiretamente através dos tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem.

As informações climatológicas necessárias à caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural representam o contraponto ao papel de defesa desempenhado pela cobertura vegetal. Estas informações, relativas à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, que definem a intensidade pluviométrica, permitem a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem, pois situações de intensidade pluviométrica elevada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o “runoff” é muito grande, portanto, é maior a capacidade de erosão. Estas situações reúnem as melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos cujo vetor principal, para nossas condições climáticas, é o “runoff”. De forma inversa, a baixa pluviosidade anual distribuída em um maior período de tempo, caracterizando intensidade pluviométrica reduzida, leva a situações de menor risco para a integridade da unidade de paisagem, pois é menor a disponibilidade de água para o “runoff”. O Quadro 11 apresenta esta escala de erosividade.

As unidades de paisagem natural localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem natural localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores

próximos da vulnerabilidade (3,0).

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/mês)	VULNERABILIDADE	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/mês)	VULNERABILIDADE	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/mês)	VULNERABILIDADE
<50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Quadro 11. Valores de escala de erosibilidade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo (INPE, 2001).

Para estabelecer-se a relação entre a pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso, o que define a intensidade pluviométrica da região onde se localizam as unidades de paisagem natural, utilizou-se o banco de dados geográficos da Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins.

A partir dessa primeira aproximação procurou-se contemplar maior variedade de categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma escala de vulnerabilidade para situações que ocorram naturalmente. Desenvolveu-se então o modelo mostrado no Quadro 11, que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

O modelo é aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) que compõem cada unidade territorial básica, que recebe posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica (Equação 2), que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$\mathbf{VULNERABILIDADE} = \frac{(G + R + S + V + C)}{5} \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação

– C = vulnerabilidade para o tema Clima

Para a geração do Mapa de vulnerabilidade, utilizou-se a sobreposição por média ponderada com pesos que são utilizados quando os mapas devem ser analisados juntos através de uma combinação com pesos aos temas e notas às classes, segundo o julgamento de sua influência no fenômeno modelado.

Neste caso, a cada classe dos mapas de entrada, são atribuídos valores ou notas distintas, assim como, cada mapa, de acordo com a sua importância no fenômeno estudado, recebe um valor ou peso. Definiram-se notas numa tabela de atributos para cada mapa de entrada. Cada mapa foi associado a uma lista contendo as notas de cada classe. As notas das classes foram alocadas no SIG, numa tabela de atributos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho estão relacionados ao diagnóstico do meio biogeofísico e à análise morfodinâmica, em que se atribuíram valores considerados vulneráveis/estáveis à perda de solo para cada um dos temas analisados.

4.1. Caracterização Ambiental da Área de Estudo

4.1.1. Geologia

As unidades geológicas com maior probabilidade de ocorrência ao longo da área de estudo são pertencentes aos seguintes grupos estratigráficos:

4.1.1.1. Complexo Basal Goiano (Pré Cambriano Inferior)

É constituído essencialmente por gnaisses, migmatitos quartzo-feldspáticos e/ou biotíticos e granitos grosseiros, róseos e cinzentos, que se apresentam, em geral, em relevos aplanados e plano-ondulados e extensamente lateritizados. Ocorrem ainda, rochas básicas e ultrabásicas, anortositos, gabros, granulitos, anfibolitos, quartzitos e xisto verdes. São comuns veios de quartzo, além de rochas cataclásticas como milonitos, filonitos e cataclasitos (SEPLAN, 1999).

Os cataclasitos e filonitos, distribuídos por toda a área de ocorrência, refletem a intensidade de falhamentos a que se submeteu o Complexo Basal. Os primeiros têm aspecto de xistos e se apresentam com teores variáveis de quartzo, sericita e clorita, e granulação média, enquanto que os filonitos são finos e ricos em clorita.

A área de estudo tem seu início em terrenos graníticos pertencentes ao Complexo Goiano, caracterizado localmente como uma associação de rochas constituída em grande parte por granitos, tonalitos e gnaisses.

4.1.1.2. Grupo Natividade (Pré-Cambriano Médio)

O Grupo Natividade é composto por uma seqüência metassedimentar caracterizada por uma grande variação litológica. Constitui-se de metaconglomerados, quartzitos sericíticos, filitos, xistos, calcários e ardósias (BARBOSA et al., 1969).

As rochas desse Grupo ocorrem a leste da cidade de Natividade, compreendendo um extenso conjunto de serras orientadas segundo NE-SW, estendendo-se das proximidades do Rio Manuel Alves, a leste e sudeste de Natividade, para norte-nordeste, até desaparecer sob a cobertura sedimentar paleozóica, ao sul do rio das Balsas e leste de Pindorama do Tocantins. As rochas apresentam-se em dobras fechadas, assimétricas, de eixos orientados (NE), sendo localmente de caráter recumbente, exibindo inversão de mergulhos de camadas. O conjunto de serras Natividade-Pindorama constitui o prolongamento norte de seqüência semelhante, nomeada como Grupo Arai nos trabalhos do Projeto Brasília (BARBOSA et al., 1969).

O Grupo Natividade assenta sobre o Complexo Basal Goiano, sendo os contatos com o mesmo geralmente estratigráficos e encontra-se na área de estudo, evidenciado por uma pequena elevação do terreno com baixas declividades, com aspecto de colina. As rochas representadas por este grupo ocorrem sob a forma de xistos alterados e solos argilo-arenosos de cor vermelho amarelado, ou cascalhos originários da alteração do xisto.

Os tipos litológicos representados pelo Grupo Natividade assentam-se sobre os granitos, gnaisses e migmatitos do Complexo Metamórfico-Migmatítico (Complexo Goiano). Rochas também de ocorrência comum são os quartzitos-sericíticos, como é o caso da Serra de Natividade. Entretanto, na área de

abrangência da área de estudo, é abundante a presença de quartzo xistos.

A área destinada à irrigação, encontra-se inserida em terrenos pertencentes ao Grupo Natividade, sem afloramentos de rocha, predominando a ocorrência de solos profundos do tipo latossolos vermelhos, ou solos residuais com pedregulho, ambos relacionados a rochas xistosas (BARBOSA et al., 1969).

4.1.1.3. Pré-Cambriano Superior

Ocupa uma área restrita na porção sudeste da região estudada, sendo constituído de ardósias, metassiltitos e filitos de tonalidades esverdeadas e acinzentadas, passando a alaranjados e pardacentas por intemperismo, formando conjuntos contínuos gradacionais para zonas ricas em calcários.

A borda oeste desta unidade está em contato com as rochas do Complexo Basal Goiano através de falhamentos normais de direção NE e de uma falha de empurrão de direção NS. Os contatos norte e leste se apresentam encobertos por sedimentos cretáceos da Formação Urucuia. São rochas essencialmente maciças, quando arcoseanas, denotando estratos com até 1 m de espessura, mas tornam-se muito bem estratificadas quando siltosas. Em espécimes de mão apresentam granulometria fina a média, arcosenas, sericíticas.

4.1.1.4. Terciário

Ocorrem os sedimentos terciários recobrimo as formações cristalinas com comportamentos bastante próximos às formações sedimentares. As rochas cristalinas distribuem-se no restante da região ver mapa, apresentando uma série de tipos litológicos, incluindo, principalmente, gnaisses e migmatitos do Complexo Basal Goiano e micaxistos, quartzitos, calcários, filitos e metassedimentos dos grupos Bambuí e Natividade e alguns corpos intrusivos de granito.

O terciário na área de estudo, encontra-se em terrenos formados por solos oriundos da alteração de xistos, pertencentes ao Grupo Natividade e coberturas sedimentares arenosas de origem terciária e quaternária, muitas vezes ocorrendo estas duas associações intercaladas lateralmente.



Figura 12. Rocha granito gnaisse, onde são extraídos para a construção civil

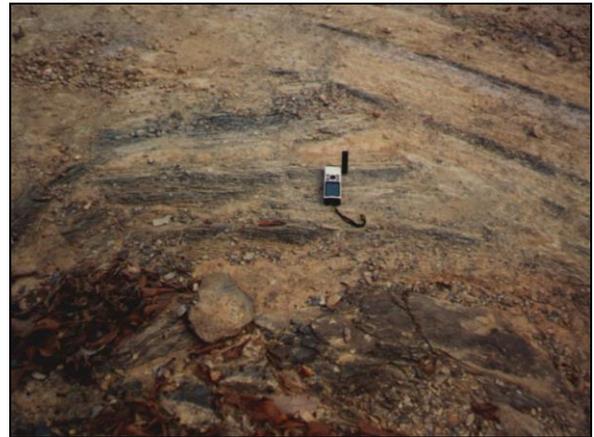


Figura 13. Rocha metamórfica (ardósia), mantém contato com os xistos e gnaisses do Complexo Basal Goiano

A origem mais provável para as coberturas sedimentares arenosas encontradas na região de acordo com o estudo de impacto ambiental, é que estas tenham sido formadas pelo intemperismo das rochas presentes nas áreas elevadas, adjacentes à região da área de estudo. A análise visual indica que estes sedimentos encontram-se na maioria das vezes inconsolidados e apresentam constituição típica de solos provenientes da degradação de rochas graníticas ou de gnaisses próximos à área fonte (ACL, 2002). Essas áreas fontes são formadas na região da área de estudo por rochas do tipo granito-gnaisses, que fazem parte do Complexo Goiano anteriormente descrito. Em geral, as rochas desta unidade apresentam características geotécnicas, resguardados os aspectos particulares de cada local, notadamente quando associadas a presença de estruturas geológicas (falhas).

As rochas granitoides possuem características que a colocam como estáveis devido à alta resistência à intemperização. Este fato é bastante observado nas áreas onde o solo é pedregoso ou o granito aflora devido ao seu lento desgaste.

Em termos de presença antrópica, como na utilização de materiais naturais de construção, essas rochas oferecem condições bastante favoráveis de aproveitamento, tanto como fonte de materiais para agregados e enrocamentos, como também de solos argilosos adequados à construção de aterros compactados; enquanto que em termos de fundação e escavação, a caracterização dos materiais exige a execução de investigações, necessárias para definição das suas características de permeabilidade, (ACL,2002). O quadro 12 apresenta-se as características gerais das rochas encontradas nas áreas de estudo.

Quadro 12 – Descrição das rochas encontradas na área de estudo.

TIPO DE ROCHA	CARACTERÍSTICAS
Granito	Trata-se da rocha magmática mais comum que ocorre juntamente com gnaisses no embasamento cristalino. Está localizado na crosta superior da superfície terrestre, caracterizado pelos elementos silício (Si) e alumínio (Al) que constitui o substrato da crosta sílica que forma os blocos continentais. A cor varia de vermelha a cinza clara e está relacionada à cor do feldspato, mineral mais freqüente.
Gnaisse	São rochas metamórficas que podem se formar a partir de rochas ígneas ou sedimentares. O gnaisse proveniente do metamorfismo de sedimentos é chamado paragneisse e o proveniente das rochas ígneas é designado ortogneisse. Ambos são muito comuns no embasamento cristalino brasileiro. Variam grandemente em aparência, composição mineral e estrutura, sendo que a variedade mais comum é o granito-gnaisse. São resistentes e geralmente formam cadeias de montanhas e elevações.
Migmatito	São gnaisses granitóides onde o metamorfismo foi acompanhado de fusão parcial com acréscimos de feldspatos alcalinos. Apresenta características ora magmáticas, ora metamórficas.
Xisto	Corresponde ao mais avançado grau de metamorfismo da argila. Possui uma estrutura de foliação que consiste em planos delgados levemente curvos de separação.

FONTE: Leinz e Amaral (1969) e Penteadó (1974).

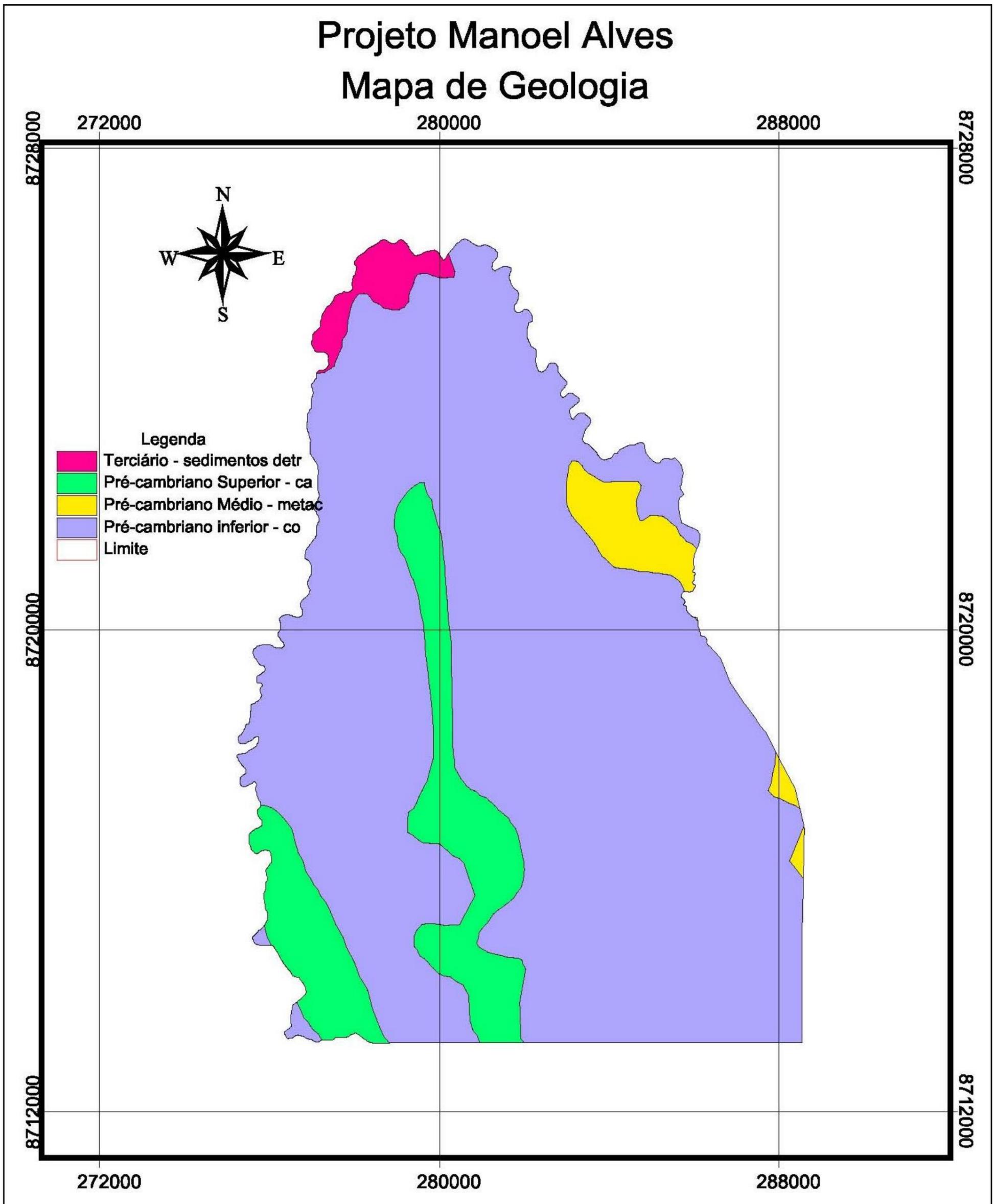


Figura 14. Mapa de geologia da região de estudo, município de Dianópolis, Tocantins.

4.1.2. Geomorfologia

A bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, área de influência da área de estudo, está inserida no Planalto Goiano, com exceção de suas cabeceiras junto à Chapada das Mangabeiras (Planaltos da Bacia Sedimentar do São Francisco). A área diretamente afetada pelo empreendimento insere-se no Planalto Goiano.

Na unidade denominada Planalto Goiano são observados limites bemdefinidos, tanto pela diferença litológica quanto pelas diferenças geomorfológicas, uma vez que abrangem os domínios morfoestruturais de faixas de dobramentos ou maciços associados e crátons (maciços antigos e coberturas associadas). Estes fatores levaram à individualização dos seguintes subcompartimentos: Planalto do Distrito Federal, Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, Depressões Intermontanas e Planalto Rebaixado de Goiânia. Dentre esses subcompartimentos, destacam-se, na região, o Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba e as Depressões Intermontanas.

O Rio Manuel Alves nasce nas chapadas arenosas, de relevo plano, onde predominam os arenitos da Formação Urucuia, que caracterizam partes elevadas do planalto divisor de águas dos rios Tocantins e São Francisco, onde se observa o predomínio do relevo de morros e serras restritas, com topos arredondados a ligeiramente aplainados e dissecados em colinas e ravinas.

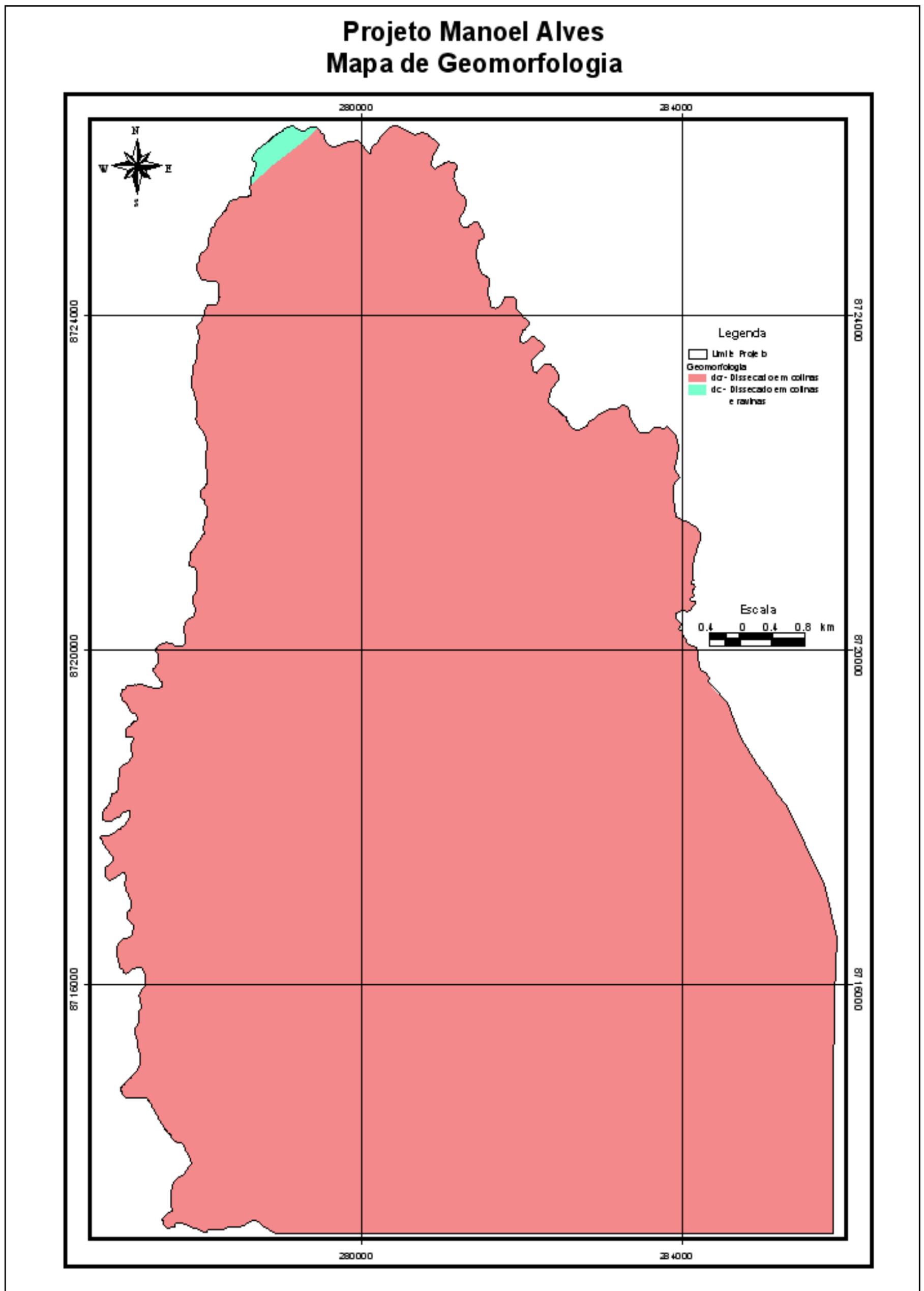


Figura 15. Mapa de Geomorfologia da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.

4.1.3. Declividade

O clima da Região é condicionado, pelo relevo de altitude gradual e crescente de oeste a leste, que varia de planícies fluviais até plataformas de cabeceiras elevadas entre 200 a 600 metros, de alguns afluentes da margem direita do Rio Tocantins, e pelo relevo mais acidentado, acima de 600 metros de altitude sul junto à Serra Geral, na divisa com o Estado da Bahia.

Tais áreas apresentam relevos planos em geral, cuja declividade raramente ultrapassa os 3% nas áreas fracas, podendo atingir de 8% a 20% nas áreas de potencial de erosão moderado. Estes tipos de solo representam cerca de 80% da área da região.

Em termos de declividades na área de estudo, há o predomínio das classes de declividade muito fraca a fraca, com cerca de 93% da área apresentando declividade de até 6%. De fato, menos de 2% da área apresenta declividade superior a 12%, sendo estas concentradas no limite leste da área. Na área do Projeto de Irrigação, o relevo torna-se suave ondulado, com trechos quase planos, conforme ilustra as Figuras 16 e 17.



Figura 16. Relevo acidentado ao fundo característico da região onde está inserida o do Projeto de Irrigação no município de Dianópolis, Tocantins

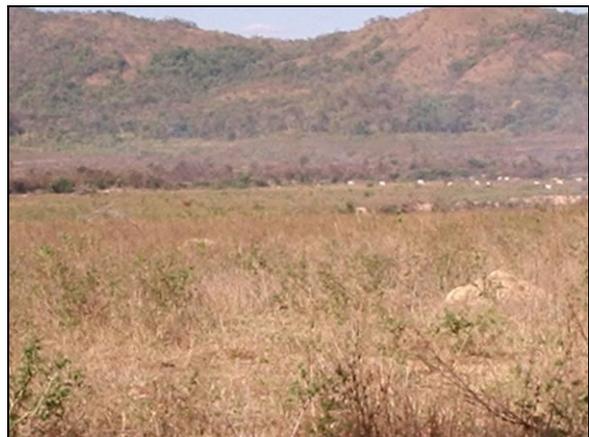


Figura 17. Vista geral da área a ser irrigada, observando-se o relevo plano da mesma, com ocorrência de Cerrado, no município de Dianópolis, Tocantins

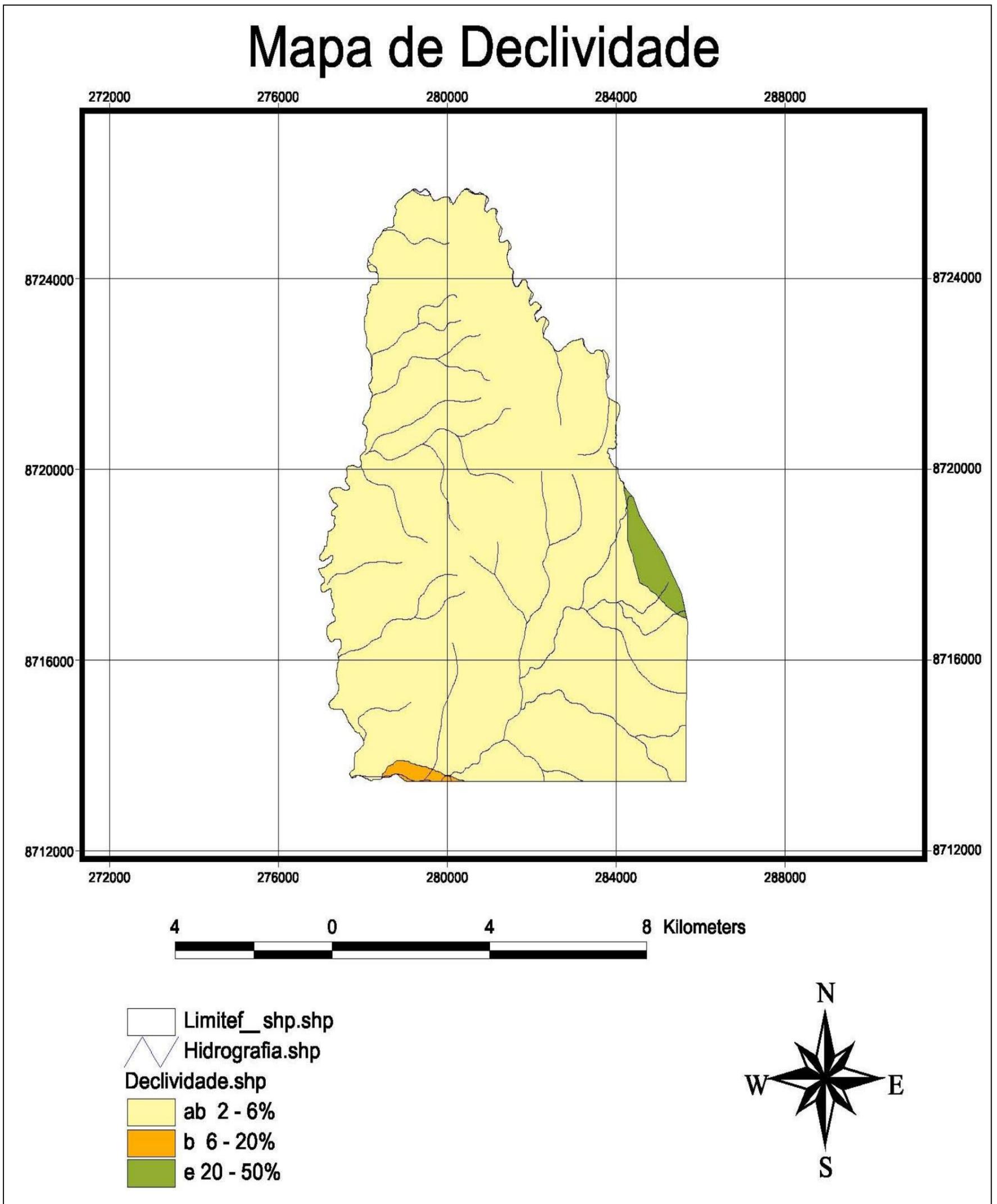


Figura 18. Mapa de Declividade da Região de Estudo, município de Dianópolis - TO.

4.1.4. Pedologia

A seguir são apresentadas às características químicas e morfológicas dos solos identificados na área de estudo, condições topográficas em que ocorrem e fatores limitantes e favoráveis ao uso agrícola. As classes de solo que predominam segundo a classificação de solos EMBRAPA (1999c) são as seguintes: Cambissolo, Latossolo Vermelho, Argissolos e Planossolo Nátrico, conforme a Figura 19.

4.1.4.1. Cambissolo

Compreende solos minerais, não hidromórficos, moderadamente drenados e bem drenados, caracterizados por possuírem horizonte B incipiente ou câmbico.

O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, geralmente, apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento do A para o Bi. A estrutura do horizonte Bi pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de estrutura em grãos simples ou maciça.

O teor de silte é normalmente mais elevado, quando comparado com outros solos mais desenvolvidos encontrados na mesma região, havendo casos em que é superior ao teor de argila no horizonte (B). Desenvolvem-se a partir de litologias variadas e podem ser encontrados em relevo ondulado e forte ondulados, mais raramente em relevo suave ondulado.

São solos rasos ou pouco profundos, com horizonte A moderado, quase sempre apresentando textura cascalhenta. Apresentam limitações ao uso, devido à presença de afloramentos de rocha e/ou pedregosidade.

As áreas que apresentam melhores condições para o desenvolvimento de práticas agrícolas, são aquelas que apresentam baixas declividades e ausência de cascalho em subsuperfície.

A viabilidade de utilização destes solos para a agricultura irrigada depende da forma de relevo em que ocorrem e da presença de impedimentos físicos e químicos intrínsecos do solo. As condições de relevo, com declives acentuados, bem como a presença por vezes abundante de cascalhos e calhaus, ou mesmo matacões, são capazes de dificultar ou tornar desaconselhável o uso de mecanização. Os solos são também, comumente, suscetíveis à erosão devido à pouca profundidade efetiva e às condições topográficas. A seguir apresenta-se a descrição do perfil de solo correspondentes a esta classe:

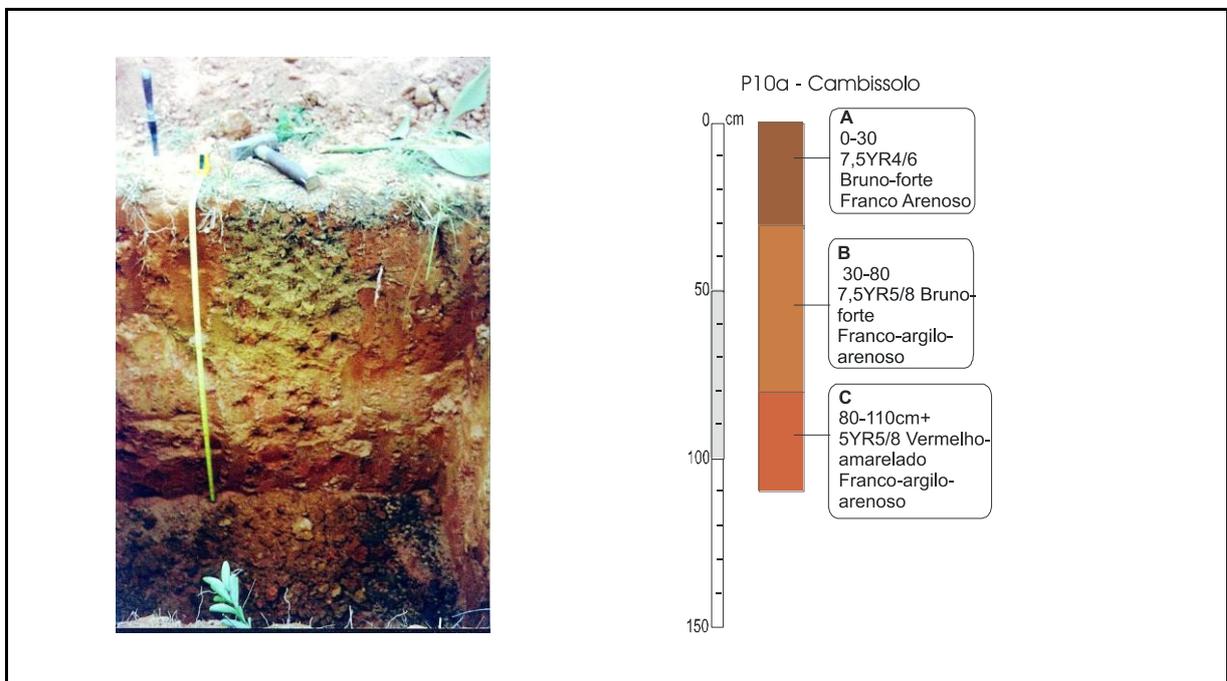


Figura 19. Perfil do solo cambissolo, localizado nas coordenadas UTM 8718613 e 2808971, no município de Dianópolis, Tocantins

4.1.4.2. Latossolo Vermelho

São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou álicos. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em terreno plano e suave ondulado.

Esta classe é a que apresenta o maior potencial agrícola dentro da área de

estudo. Apresenta isenta de frações grosseiras (cascalho) ao longo do perfil, profundidade adequada e relevo plano a suave-ondulado. A seguir apresenta-se a descrição resumida do perfil de solo correspondente a esta classe:

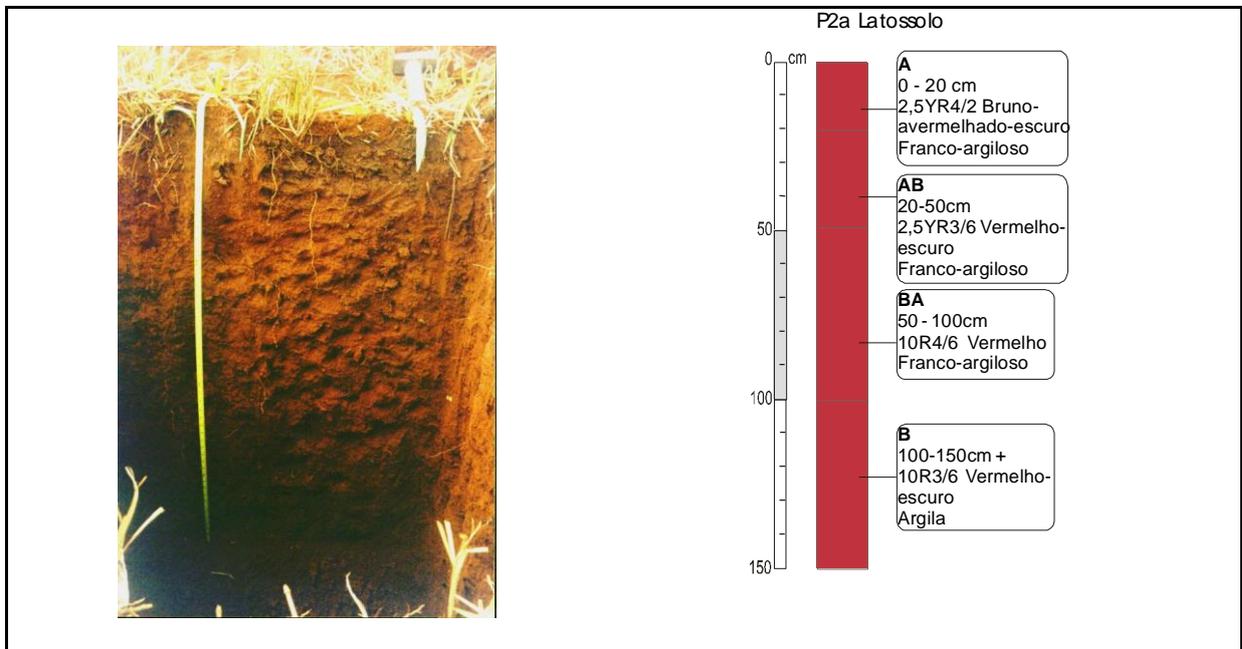


Figura 20. Perfil do solo latossolo vermelho, localizado nas coordenadas UTM 8715210 e 279177 no município de Dianópolis, Tocantins

4.1.4.3. Argissolo Acizentado

Esta classe compreende perfis de solos constituídos por material mineral com presença de horizonte diagnóstico subsuperficial do tipo B textural (Bt) com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou E.

A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo um aumento de argila daquele para este, caracterizando a presença de gradiente textural.

Encontra-se representada pelo Perfil abaixo, o qual apresenta como característica predominante uma textura muito arenosa da superfície até cerca de 1m de profundidade. Aparentemente tem sua pedogênese relacionada com a proximidade de áreas com afloramentos de rochas, tendo aporte razoável de sedimentos mais grosseiros (os quais possuem menor capacidade de transporte) sobre camadas mais argilosas.

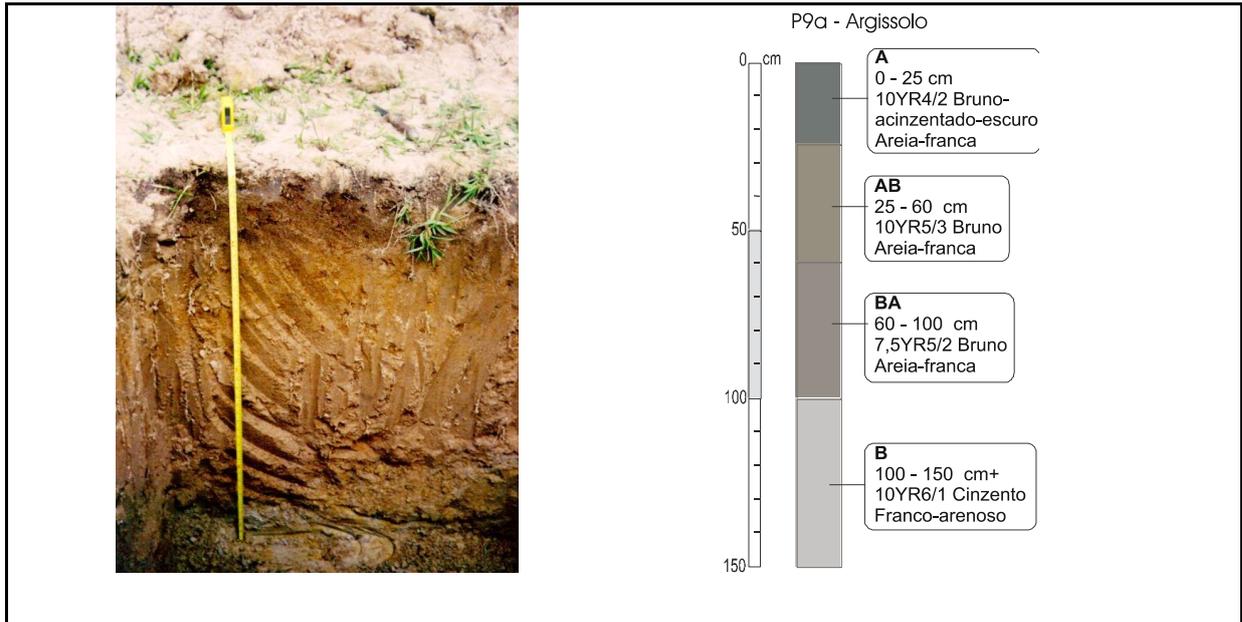


Figura 21. Perfil do solo argissolo acimentado, localizado nas coordenadas UTM 8720186 e 283017, no município de Dianópolis, Tocantins.

4.1.4.4. Planossolo Nátrico

Esta classe compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial e sub-superficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte, responsável pela detenção de lençol freático sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variável durante o ano.

Tipicamente, um ou mais horizontes sub-superficiais apresentem-se adensados, com teores elevados em argila dispersa, condição essa que responde pela restrição à percolação de água, independente da posição do lençol freático, ocasionando retenção de água por algum tempo acima do horizonte B, o que se reflete em feições associadas com umidade.

Por efeito de excesso de umidade temporário, ainda que por períodos curtos, as cores no horizonte B, e mesmo na parte inferior do horizonte sobrejacente, são

pouco vivas, tendendo a acinzentadas ou escurecidas, podendo ou não haver ocorrências e até predomínio de cores neutras de redução, com ou sem mosqueados, conforme especificado para o horizonte B plânico, podendo ainda apresentar horizonte cálcico, caráter carbonático, fragipã, duripã, propriedade sódica, solódica, caráter salino ou sálico.

Os solos desta classe ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas a estiagem prolongada, ainda que breve, e até mesmo sob condições de clima semi-árido.

Neste mapeamento, o Perfil abaixo foi definido dentro desta classe devido ao caráter sódico (alta saturação com sódio trocável) apresentado pelo horizonte subsuperficial, o que não permite seu uso para agricultura irrigada, salvo estudos mais aprofundados da viabilidade de lixiviação e/ou substituição do sódio trocável.

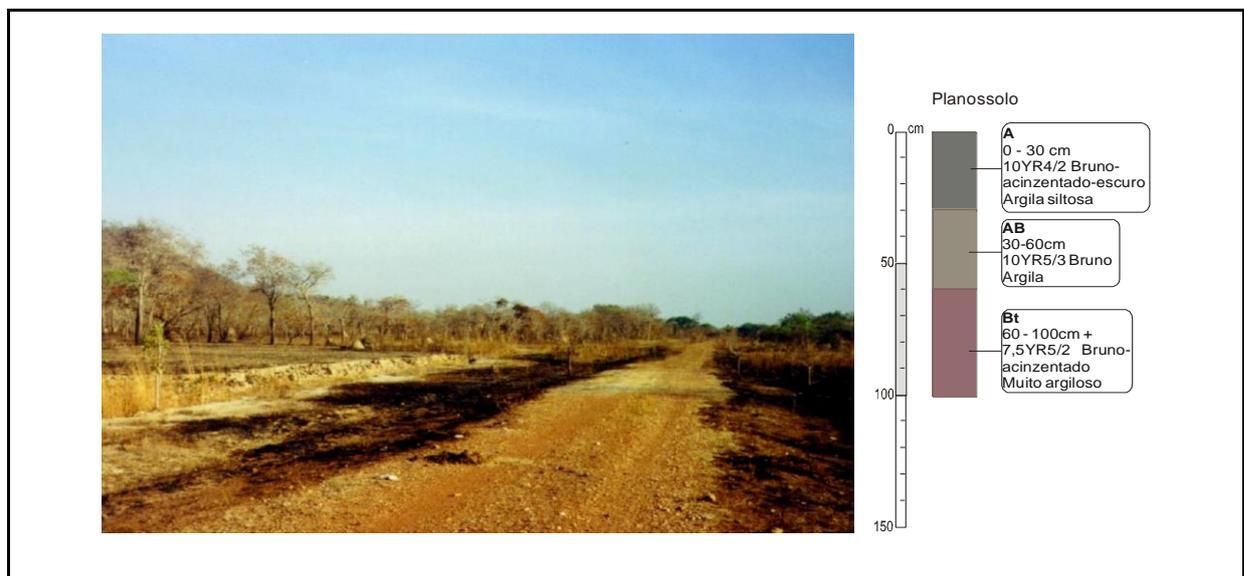


Figura 22. Perfil do solo planossolo nátrico, localizado nas coordenadas UTM 284529,87 e 8718360, no município de Dianópolis, Tocantins.

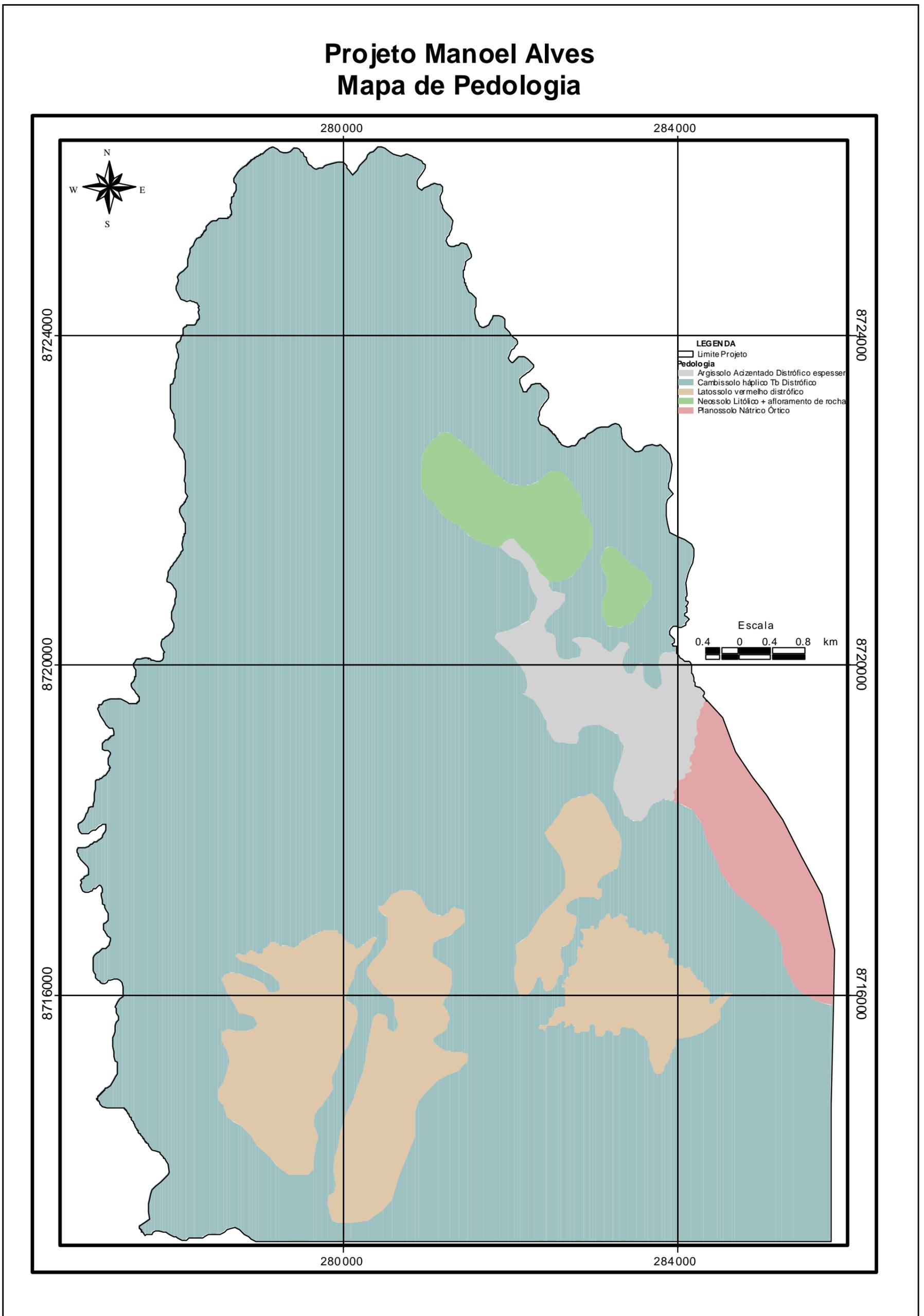


Figura 23. Mapa de pedologia da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.

4.1.5. Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A área de cerrado na área de estudo é apresentada praticamente as variações dos tipos de vegetação como: cerrado, cerradão, campo cerrado, florestas de galeria e mata ciliar. É uma Região com predominância de vegetação xeromorfa aberta, dominada e marcada por um estrato herbáceo e, preferencialmente nas regiões que apresentam clima estacional, com extenso período seco (SEPLAN, 1999).

Os estudos práticos e teóricos ora realizados através de levantamentos de campo e trabalho de escritório, de acordo com a metodologia explicada no capítulo anterior, permitiram reconhecer, na área em estudo, o predomínio de fitofisionomias do bioma Cerrado representado pelas diferentes formações. Foram registradas as seguintes fisionomias: savana arbórea densa, savana arbórea aberta com floresta de galeria, mata ciliar, floresta de galeria, vegetação secundária e área antropizada. Na Figura 36 está apresentado o mapa de cobertura vegetal e uso da terra para a área de estudo.

4.1.5.1. Mata ciliar

Formação florestal que acompanha rios de médio a pequeno porte em que a vegetação arbórea não forma galeria sobre o curso de água, e que depende, portanto, da aproximação do lençol freático à superfície ao longo dos fundos dos vales, de modo que a água esteja disponível a todas as raízes das árvores, suficiente para suprir todas as folhas. Sua importância reveste-se na proteção e manutenção dos mananciais hídricos, além de exercer papel fundamental no equilíbrio da interdependência flora-fauna.

As espécies encontradas com maior frequência nesse ambiente são as seguintes: *Byrsonima sericea* (copaíba), *Diospyrus sericea* (olho de boi), *Himatanthus obovatus* (pau de leite), *Inga sp.* (ingá), *Miconia ferruginata*, *Pouteria*

ramiflora (curriola), *Protium heptaphyllum* (amescla), *Tapirira guianensis* (pau-pombo) e *Vochysia pyramidalis* (canjerana). (ACL, 2001)



Figura 24. Faixa Ciliar degradada para retirada de areia, rio Gameleira, no município de Dianópolis, Tocantins.



Figura 25. Faixa Ciliar acima no margeando os canais, no Projeto Manuel Alves, município de Dianópolis, Tocantins.

As espécies que constituem esta fisionomia têm altura variando de 20 a 25 metros, sendo predominantes às espécies caducifólias, cuja cobertura arbórea varia de 50 a 90%. Esta formação apresenta, com freqüência, um dossel emergente, entretanto, devido à retirada da cobertura vegetal para o manejo de pastagem na maioria do trecho como pode-se observar na imagem de satélite da área de estudo, a sua fisionomia tem se tornado bastante aberta.

4.1.5.2. Campo Cerrado

Localizadas em áreas planas e levemente onduladas, estas formações apresentam composição florística caracterizada pela presença de espécies herbácea/arbustivas sobre um tapete gramíneo contínuo. Há ocorrência de um maior número de indivíduos arbustivos alternados pelo tapete graminoso no Campo Sujo; ocorrendo situação inversa no Campo Limpo.

O Campo Cerrado é uma fisionomia associada geograficamente aos Cerrados, porém, condicionada a solos rasos ou compactos, onde a deficiência hídrica é acentuada durante a estação seca, sendo considerada como clímax edaficamente condicionado (Ribeiro, 2001).

Dominantemente herbácea, a formação campo é caracterizada pela presença marcante de gramíneas, principalmente aquelas dos gêneros *Aristida*, *Andropogon*, *Axonopus* e *Paspalum* (Ribeiro 2001).

A formação Campo Limpo caracteriza-se pela dominância total de espécies graminosas fórbias, assim como plantas lenhosas baixas. Entretanto, em ambas as fisionomias, as espécies características são as gramíneas supracitadas, assim como arvoretas, principalmente a *Qualea parviflora* (pau-terra-de-folha-pequena), a *Qualea grandiflora* (pau-terra-de-folha-grande), a *Kilmeyera coriacea* (pau-santo) e o *Connarus suberosus* (pau-de-brinco) (ACL, 2002).



Figura 26. Campo cerrado da área de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins



Figura 27. Campo cerrado da área de estudo, porém antropizada

4.1.5.3. Cerrado

Na área desse estudo, o cerrado localiza-se freqüentemente nas encostas (Figuras 28 e 29), chapadas e beiras de Matas Ciliares. As espécies mais comuns são das famílias Poaceae e Cyperaceae.



Figura 28. Abaixo apresenta-se a fisionomia cerrado



Figura 29. Ao fundo apresenta-se a fisionomia cerrado

4.1.5.4. Cerrado com Floresta de Galeria

Esta fisionomia localiza-se de um modo geral, em áreas planas e suavemente onduladas, indo dos ambientes mais úmidos das planícies de inundação aos mais secos nas encostas pedregosas. Apresenta um estrato dominante arbóreo de 4 a 8 m, um estrato arbustivo de 1 a 2 m de altura e um estrato herbáceo composto, principalmente, por graminóides.

Esta tipologia tem sido sujeita a uma série de agressões, dentre as quais, a retirada seletiva das árvores para ampliação das áreas de cultivo ou pastoreio e a ação do fogo como agente renovador de folhagem (Figuras 30 e 31).

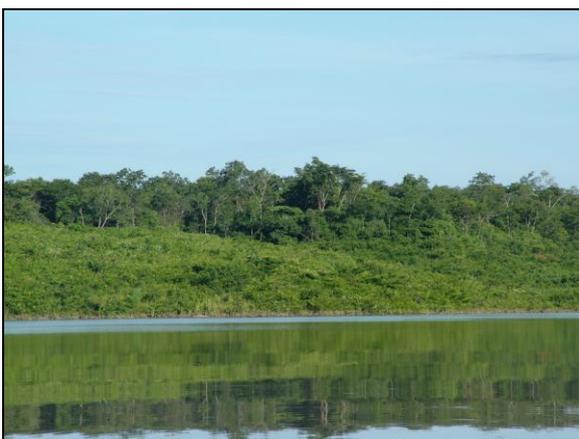


Figura 30. Cerrado com floresta de galeria



Figura 31. Cerrado aberto

4.1.5.5. Área Antropizada

Observou-se que a cobertura vegetal foi completamente retirada em sítios mais próximos à sede dos canteiros de obra do barramento e da irrigação, outra

parte foi substituída por pastagens onde pode ser observado o rebanho pastando muito próximo à margem do rio. Nestes locais, verifica-se susceptibilidade à processos erosivos. Na área de estudo, observa-se também a presença de posseiros na área, uma vez que o projeto é do governo e as pessoas aproveitam da oportunidade de se beneficiarem de alguma maneira, invadindo a área, fazendo plantações principalmente nas faixas ciliares.



Figura 32. Implantação do canteiro de obras



Figura 33. Abertura de vias de acesso



Figura 34. Desmatamento para formação de pasto



Figura 35. Queimada para formação do reservatório

As modificações do ambiente, aliadas às queimadas anuais, contribuíram grandemente para um empobrecimento da flora e, conseqüentemente, da fauna local. O predomínio de fazendas de atividade pecuária promove uma uniformização da fauna residente. Assim, evidencia-se a importância dos pequenos remanescentes florestais, principalmente as florestas úmidas (mata ciliar, mata de galeria e veredas), que funcionam simultaneamente como refúgio das espécies.

Na área de abrangência do empreendimento também foram evidenciadas comunidades de matas naturais isoladas, típicos “mosaicos” em meio a áreas de pastagens. Estas correspondem a remanescentes florestais e são denominadas localmente como capões. A existência desses capões é de fundamental importância, pois os mesmos alimentam e fornecem abrigo e refúgio à fauna silvestre, além de servir como controle natural de pragas junto às lavouras.

Projeto Manoel Alves

Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

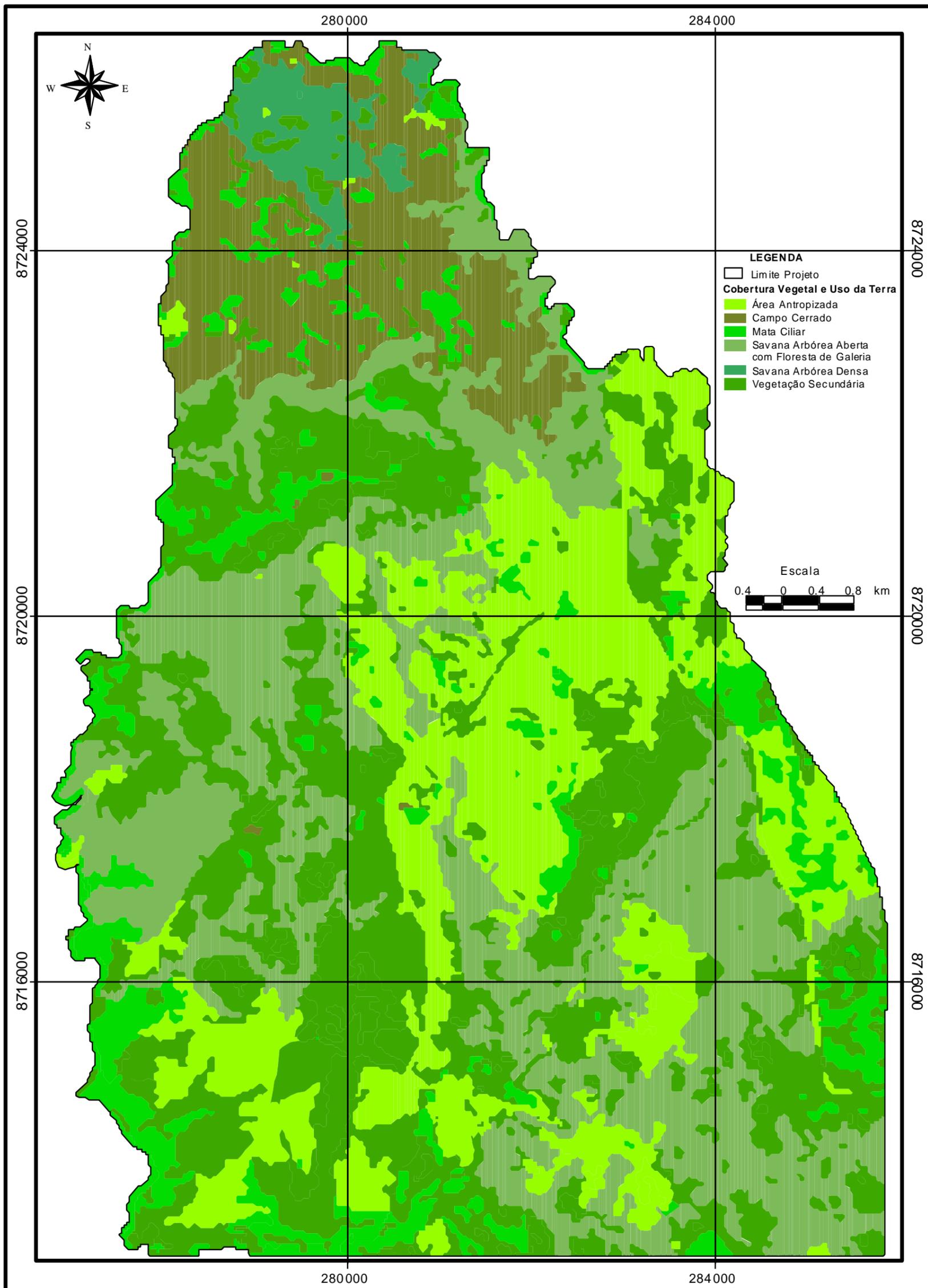


Figura 36. Mapa de cobertura vegetal e uso da terra da região de estudo, no município de Dianópolis, Tocantins.

4.1.6. Clima

A área de estudo, o clima predominante, segundo o Zoneamento Agroecológico (ZAE) do Estado do Tocantins, é do tipo úmido sub-úmido (C2wA'a'), caracterizando-se também pela moderada deficiência hídrica no inverno e altas temperaturas, porém a evapotranspiração potencial média anual é um pouco mais elevada, em torno de 1.500mm. Ambos os tipos climáticos apresentam concentração da evapotranspiração potencial no verão em torno de 28% (três meses consecutivos com temperatura mais elevada), isto é, 360mm para o clima sub-úmido seco e 420mm para o clima úmido sub-úmido.

As precipitações na área em estudo apresentam uma sazonalidade bastante acentuada, conforme pode ser observado na Figura 37. No período que vai de maio a setembro, os totais mensais precipitados são sempre inferiores a 50 mm, sendo que nestes 5 meses tem-se apenas 4,8% das precipitações anuais. No trimestre junho-agosto as médias mensais são insignificantes, quase sempre abaixo dos 5 mm. Os meses de abril e outubro representam a transição entre os períodos seco e chuvoso, com precipitações médias entre 100 e 150 mm. De novembro a março tem-se o período mais chuvoso, com médias mensais oscilando entre 200 e 300 mm, para as estações avaliadas. Nestes 5 meses concentram-se 78% das precipitações anuais.

Projeto Manoel Alves Mapa de Clima

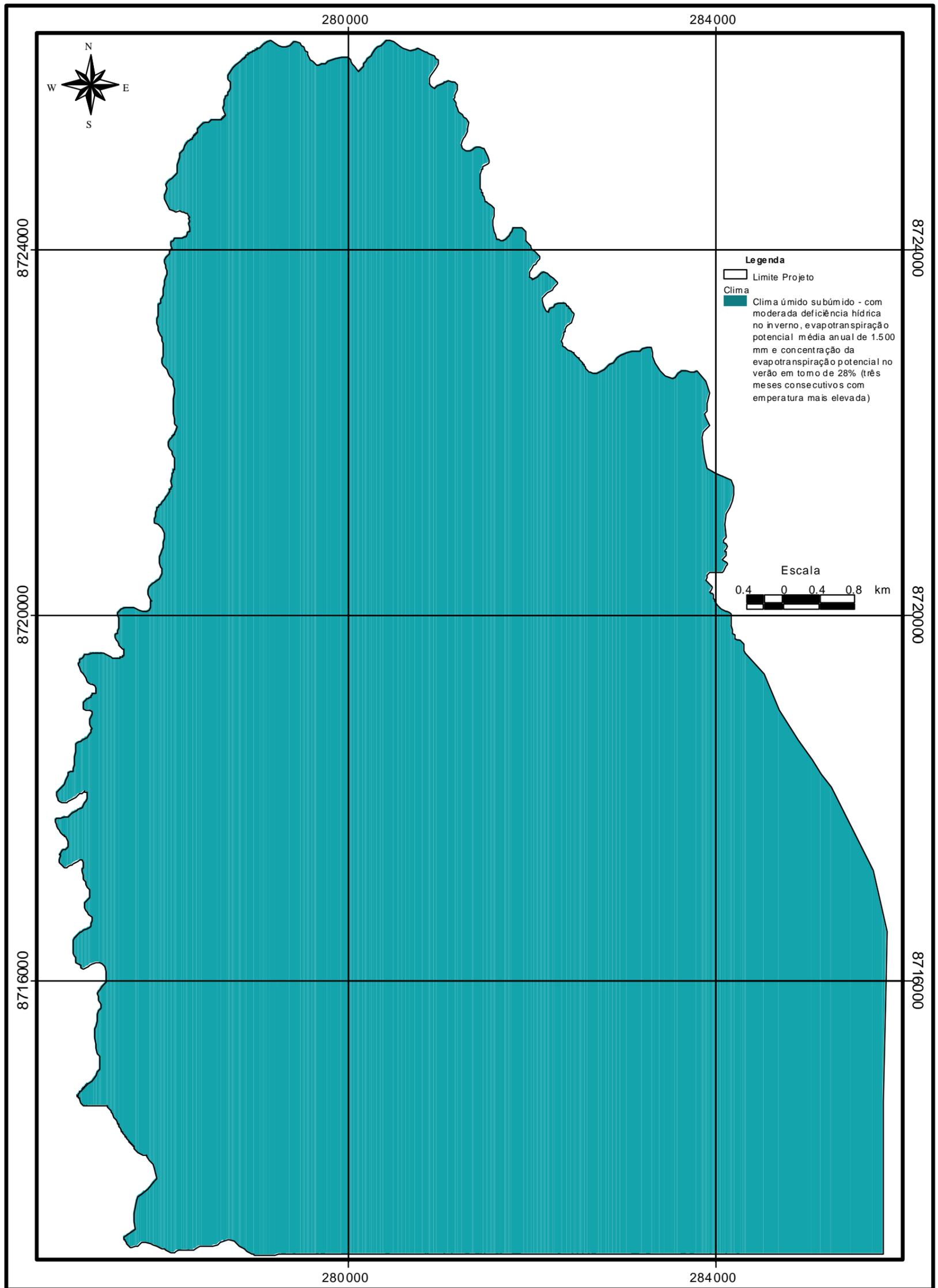


Figura 37. Mapa de clima da região de estudo no município de Dianópolis, Tocantins.

4.2. *Vulnerabilidade*

4.2.1. **Vulnerabilidade para o tema Geologia**

Geologicamente, grande parte da região se apresenta estável aos processos de perda de solo devido ao embasamento cristalino, onde as rochas são mais resistentes ao intemperismo.

As formas de relevo apresentam áreas condizentes com os processos geológicos, formadas a partir de rochas mais resistentes ou resultado de uma pediplanação e resíduos, sob a forma de morros e elevações. Em diferentes amplitudes altimétricas e interfluviais, índices morfométricos do relevo, o solo vem sendo perdido, ora devido aos processos naturais, principalmente em razão da irregularidade e intensidade da precipitação pluviométrica, ora pela falta de cobertura vegetal, intensificada a partir da intervenção humana.

As rochas granitóides possuem características que a colocam como estáveis devido à alta resistência à intemperização. Este fato é bastante observado nas áreas onde o solo é pedregoso ou o granito aflora devido ao seu lento desgaste. Por se tratar de um conjunto de litologias com estabilidade diferente, o complexo gnaisse-migmatito-xisto apresenta valores moderadamente estáveis. O gnaisse e o migmatito possuem valores que os caracterizam estáveis aos processos de intemperismo e o xisto, com uma vulnerabilidade maior a este processo.

Os sedimentos inconsolidados estão entre os mais instáveis, com alta vulnerabilidade, pois se localizam ao longo dos córregos, áreas onde uma grande quantidade de material é transportado pela água, principalmente a areia durante os períodos onde o fluxo de água nos canais de drenagem é intenso.

O reconhecimento e a compreensão da geologia do local direciona a proposição de medidas mitigadoras relacionadas a possíveis alterações da paisagem e mudanças do meio biofísico decorrentes da implantação das obras dos futuros canais e da ocupação e uso do solo para fins agrícolas.

Entre as características geológico-geotécnicas observadas, destaca-se o reduzido número de afloramentos de rocha ao longo da área em questão. Dado a este fato, a geologia local foi inferida principalmente pela interpretação da ocorrência dos materiais resultantes da alteração das rochas preexistentes. Entre os produtos de alteração das rochas da região encontram-se, principalmente, solos residuais, solos saprolíticos ou coberturas sedimentares provenientes da alteração de rochas em porções elevadas adjacentes à área de estudo.

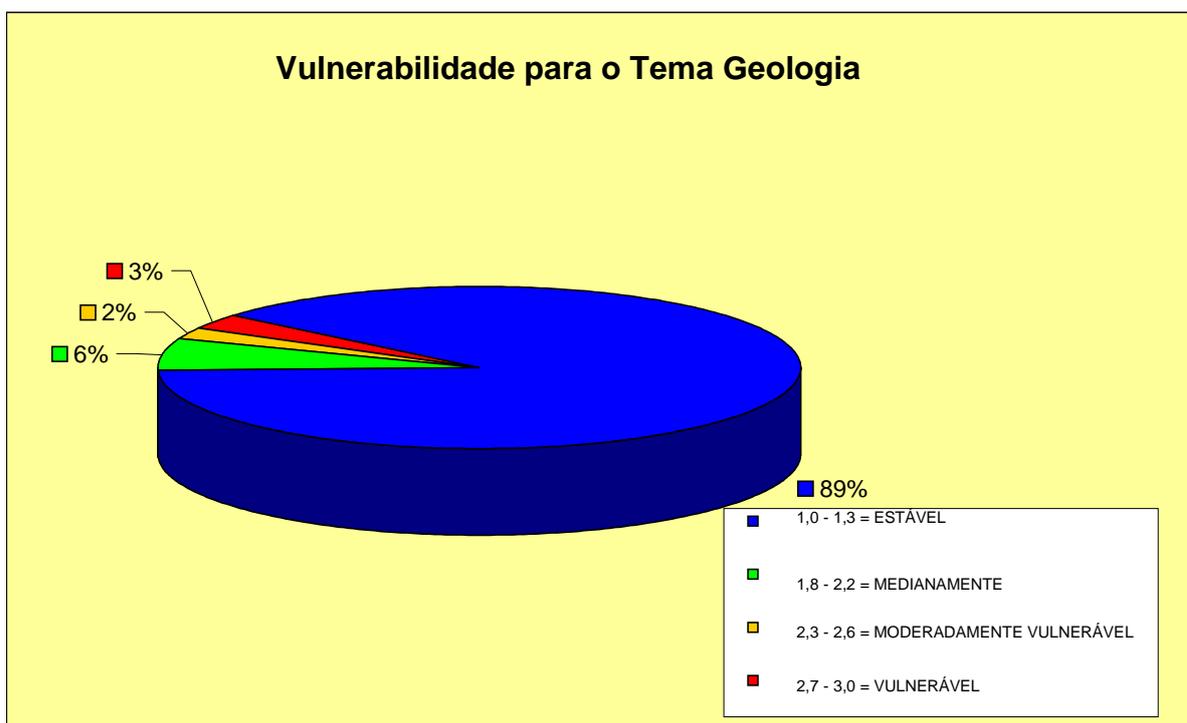


Figura 38. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema geologia

Projeto Manoel Alves

Mapa de Geologia - Vulnerabilidade

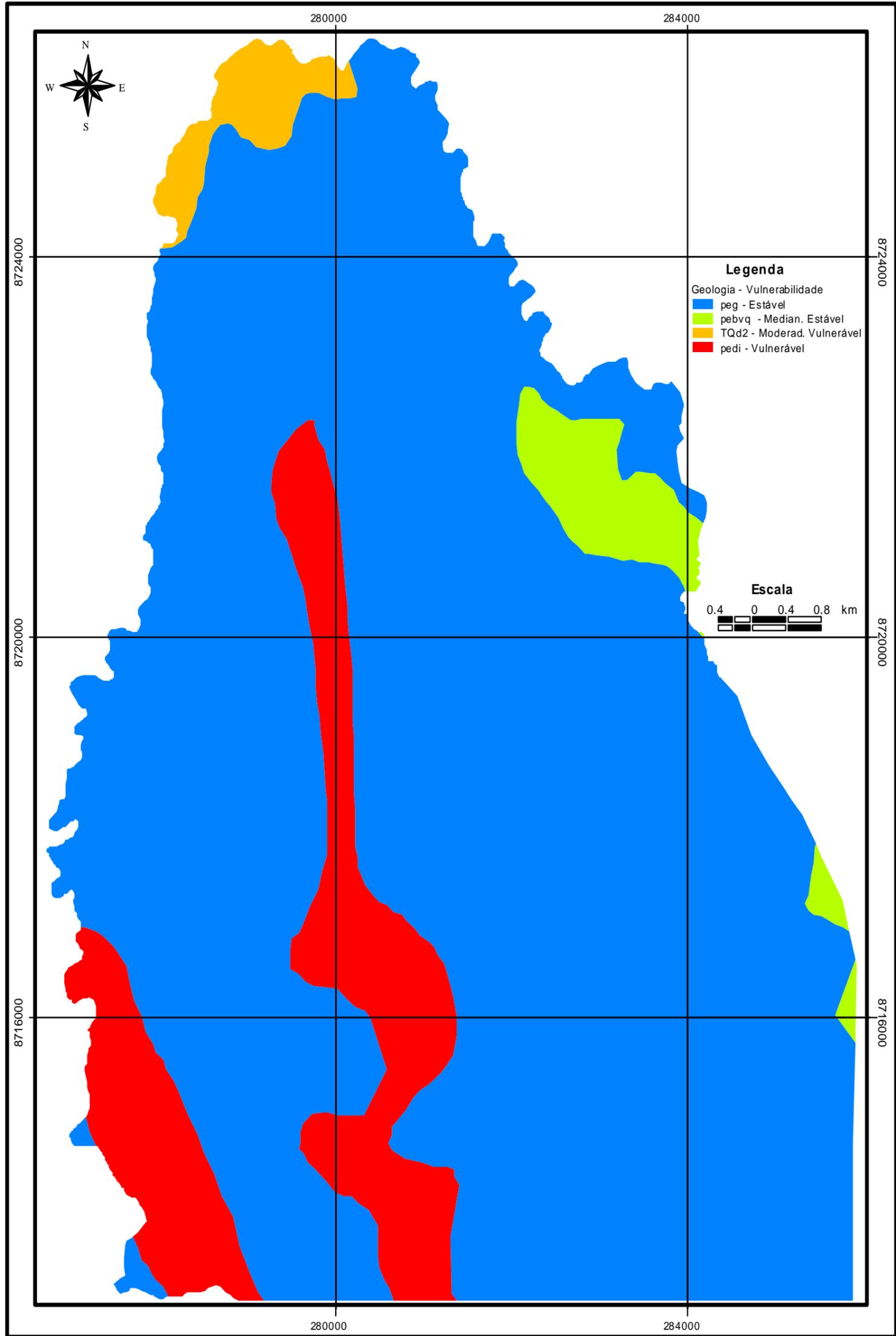


Figura 39. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema geologia no município de Dianópolis, Tocantins.

4.2.2. Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

A geomorfologia indicou que a região estudada possui extensas áreas aplainadas que são caracterizadas por relevos planos a suavemente ondulados, com baixa amplitude interfluvial, onde a estabilidade predomina. Na maior parte da área em estudo, as declividades são inferiores a 5%.

Apesar de a área indicar um relevo mais plano, que é mais estável aos processos de perda de solo, o relevo da região de estudo caracteriza-se pela unidade geomorfológica que indica um relevo dissecado em colinas e ravinas, ou seja, apresenta forma de relevo entalhada por agentes erosivos, principalmente ao longo da rede hidrográfica.

Os relevos possuem valores diferenciados devido às características das suas vertentes que aliadas à chuva, adquirem uma alta velocidade e um alto poder de escoamento superficial (*runoff*).

Considerada a interação de suas características que apresenta relevo suave a ligeiramente ondulado, os valores para o tema geomorfologia apresentam-se moderadamente vulnerável conforme justificado anteriormente, (Figura 40).

Apesar de apresentar-se como moderadamente vulnerável, essa classe é favorável à utilização agrícola, pois os relevos apresentam vertentes suaves. A prática agrícola nessas condições traz poucos prejuízos aos solos, isto porque a erosão laminar, desenvolvida pelo escoamento difuso das águas pluviais, tem pouca competência devido ao fraco gradiente topográfico.

Entretanto, deve haver precaução contra as atividades de natureza antrópica, pois isto estimula o escoamento concentrado das águas pluviais que atacam a zona de fraqueza e originam erosões, muitas vezes de grandes proporções.

Projeto Manoel Alves

Mapa de Geomorfologia - Vulnerabilidade

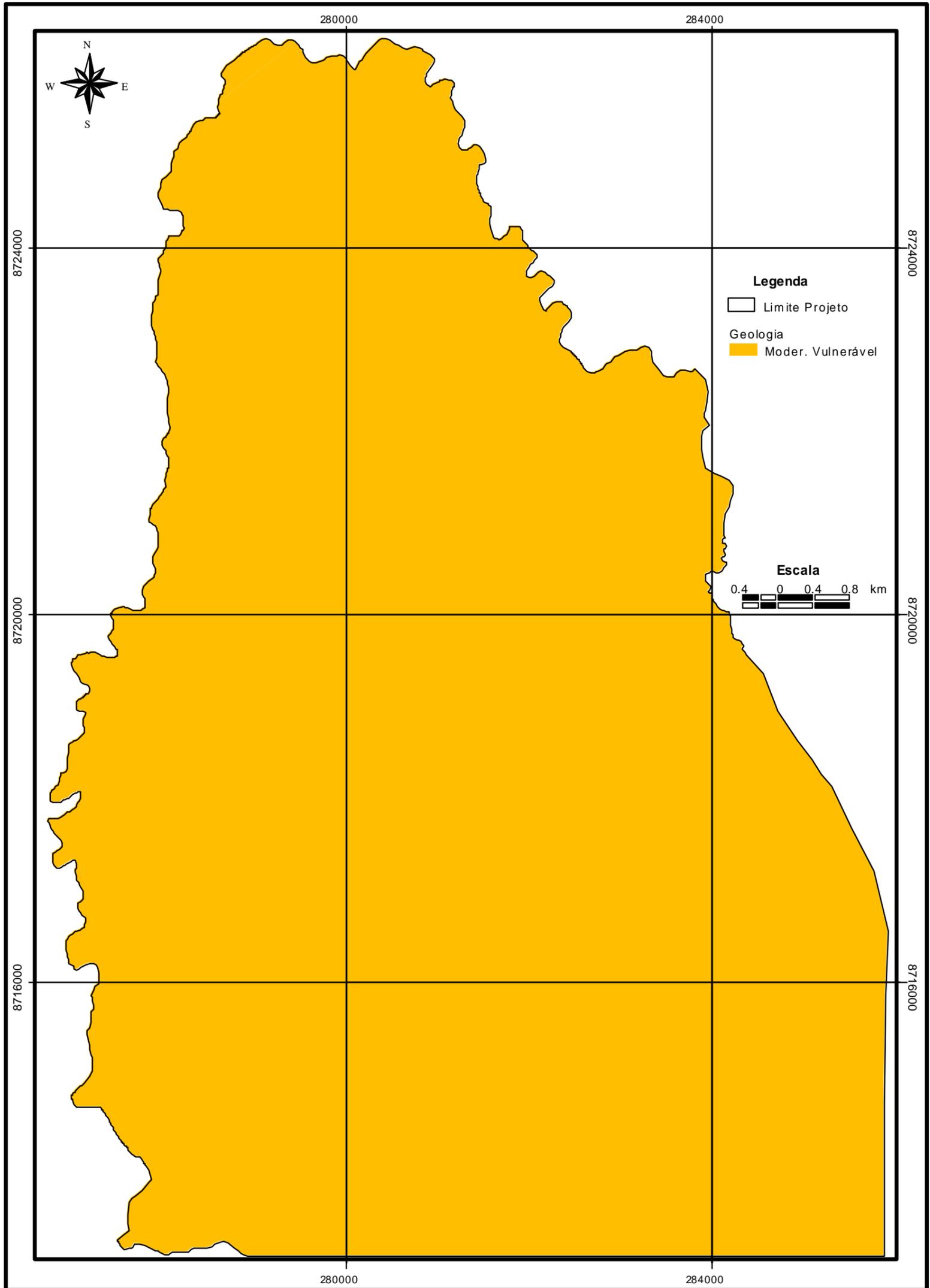


Figura 40. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema geomorfologia município de Dianópolis, Tocantins.

4.2.3. Vulnerabilidade para o tema Pedologia

As classes mais importantes por distribuição de ocorrência na área de estudo foram os latossolos, argissolos, cambissolos e planossolos. Os dois primeiros se destacam por estarem associados a relevos mais planos, apresentarem textura uniforme, profundos homogêneos e de pobreza química em nutrientes, com boa drenagem. Os argissolos apresentam gradiente textural, associados relevos mais ondulados e alguma restrição à infiltração de água os que os torna mais susceptíveis a erosão.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) esclarecem que alguns solos são mais vulneráveis ou susceptíveis à erosão que outros, mesmo quando a chuva, a declividade, a cobertura vegetal e as práticas de manejo são as mesmas. Essa diferença, devido às propriedades inerentes do solo, é chamada de erodibilidade. Essas propriedades do solo, que influenciam a erodibilidade pela água, são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água. São também aquelas que resistem às forças de dispersão, salpicamento, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. Todos os fatores como intensidade de chuva, manejo agrícola, cobertura vegetal e declividade podem, na verdade, influenciar a intensidade da erosão de uma área mais propriamente do que as características do solo. Esses mesmos autores afirmam que a erodibilidade é mais influenciada pelo manejo do que por qualquer outro fator, e o melhor manejo do solo pode ser definido como aquele que promove o uso mais intensivo e mais produtivo do solo sem causar degradação.

Cerca de 78% dos solos da área de estudo apresenta valores de moderada vulnerabilidade, enquanto os restantes, apresentam-se estáveis, medianamente estáveis e vulneráveis, conforme figura 41:

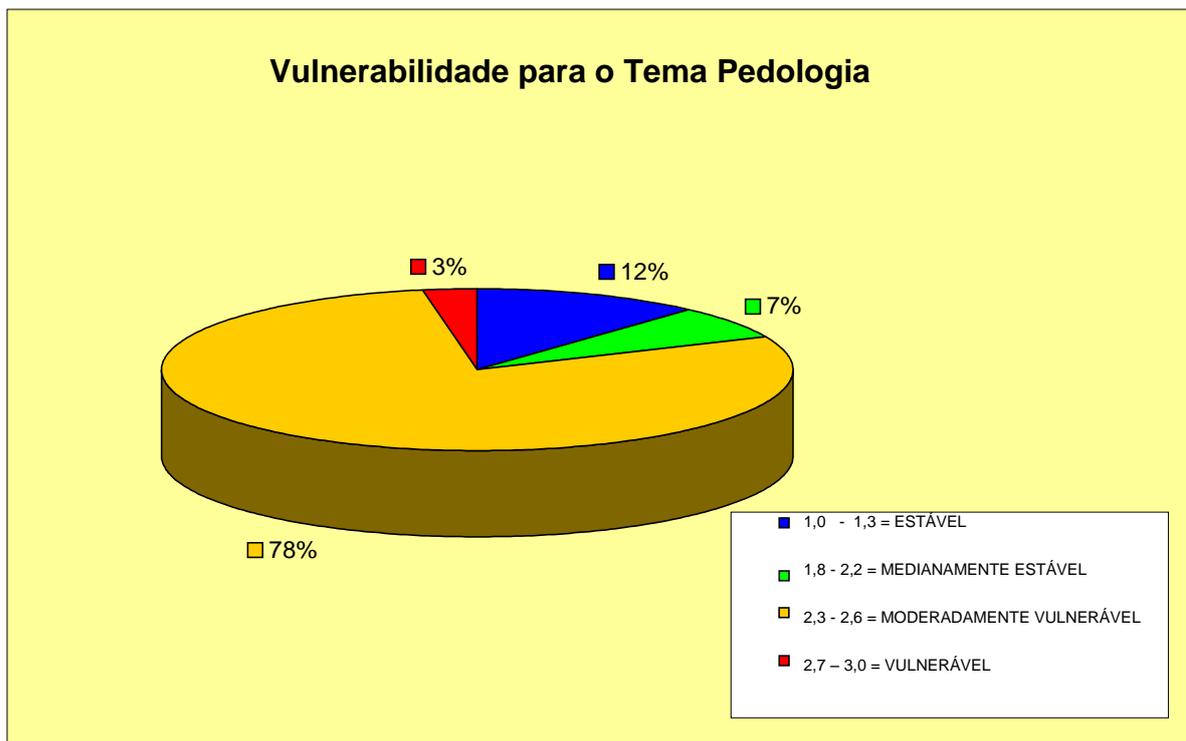


Figura 41. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema pedologia

Com relação à análise morfodinâmica dos solos da área estudada, pode-se observar que os latossolos são considerados solos estáveis aos processos de perda de solo, pois são bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade e alta maturidade.

Para a agricultura irrigada, é um solo profundo, regular a agricultura, com problemas de erosão, embora não em grau elevado. Possui fertilidade baixa, exigindo a aplicação correta de fertilizantes e corretivos.

Os Argissolos encontrados apresentam diferenciação textural entre os horizontes A e B e baixa saturação em base. São considerados regulares para agricultura, pois tem problemas de fertilidade, de erosão e mecanização. Por isso, é exigente em práticas conservacionistas, simples e intensivas. Quando sob pastagem, apresenta risco de ser erodido, dependendo da declividade do terreno.

Os Cambissolos Háplicos representam sua classe de moderadamente vulnerável correspondente em 78% da área em estudo. São geneticamente pouco

desenvolvidos, caracterizados pela presença de horizonte B incipiente (B câmbico). Possuem textura descontínua, dada a estratificação do material. Compreende solos minerais, não hidromórficos, moderadamente drenados e bem drenados, caracterizados por possuírem horizonte B incipiente ou câmbio. O teor de silte é normalmente mais elevado, quando comparado com outros solos mais desenvolvidos encontrados na mesma região, havendo casos em que é superior ao teor de argila no horizonte (B).

As paisagens onde situam-se os cambissolos, são as mais diversificadas e ocorrem de forma descontínua sob várias coberturas vegetais e em quase todas as unidades de relevo. Apesar de o solo estar em relevo suave, os cambissolos háplicos são solos rasos e muito comumente, suscetíveis à erosão devido à pouca profundidade efetiva, (GUERRA e CUNHA, 2003). A viabilidade de utilização deste solo para agricultura irrigada depende também da presença de processos físicos e químicos intrínsecos do solo. As condições de relevo, bem como a presença por vezes abundante de cascalhos, são capazes de dificultar ou tornar desaconselhável o uso de mecanização.

As áreas vulneráveis situam-se nas partes mais elevadas da área de estudo, com presença de afloramentos de rocha na superfície do solo, em áreas de declividade alta, sendo fator limitante ao uso agrícola.

Devido ao desmatamento descontrolado nas faixas laterais em alguns córregos, constituídas por solos arenosos, que dependem da vegetação para fixar-se, juntamente com constantes práticas de "queimadas" que impedem a recuperação natural de áreas desmatadas, foram detectados processos de "ravinamento".

É importante salientar que processos como este em fase acelerada, causam grandes prejuízos, como a rápida perda do solo agricultável, avanço da erosão formando "voçorocas" e até mesmo podendo causar assoreamento dos córregos próximos.

Segundo Bertolini et al. (1994), com o conhecimento dos solos de uma região é possível seu melhor aproveitamento e uma previsão de seu comportamento com relação ao manejo agrícola. A figura 42 apresenta as seguintes unidades de solo no contexto de sua vulnerabilidade ambiental.

Projeto Manoel Alves

Mapa de Pedologia - Vulnerabilidade

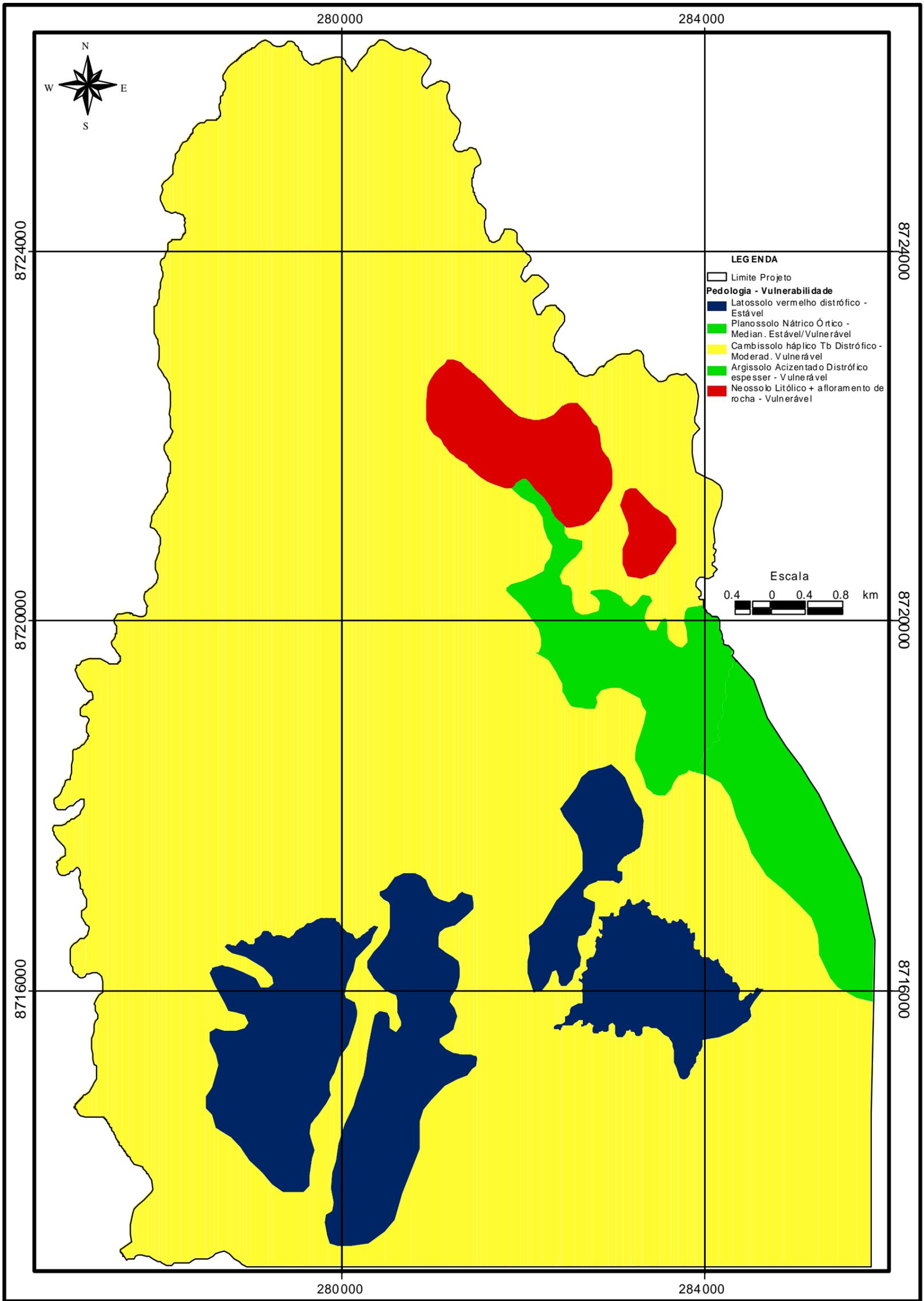


Figura 42. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema pedologia, município de Dianópolis, Tocantins.

4.2.4. Vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso da terra

4.2.4.1. Delimitação das UTB's

Consiste na elaboração de um mapa preliminar de unidades homogêneas de paisagem obtidas a partir da análise e interpretação das imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT, considerando os padrões fotográficos identificados pela variação dos matizes de cores, e pelos elementos texturais de relevo e drenagem. A Figura 43 apresenta as UTB's para o tema Vegetação e Uso da Terra

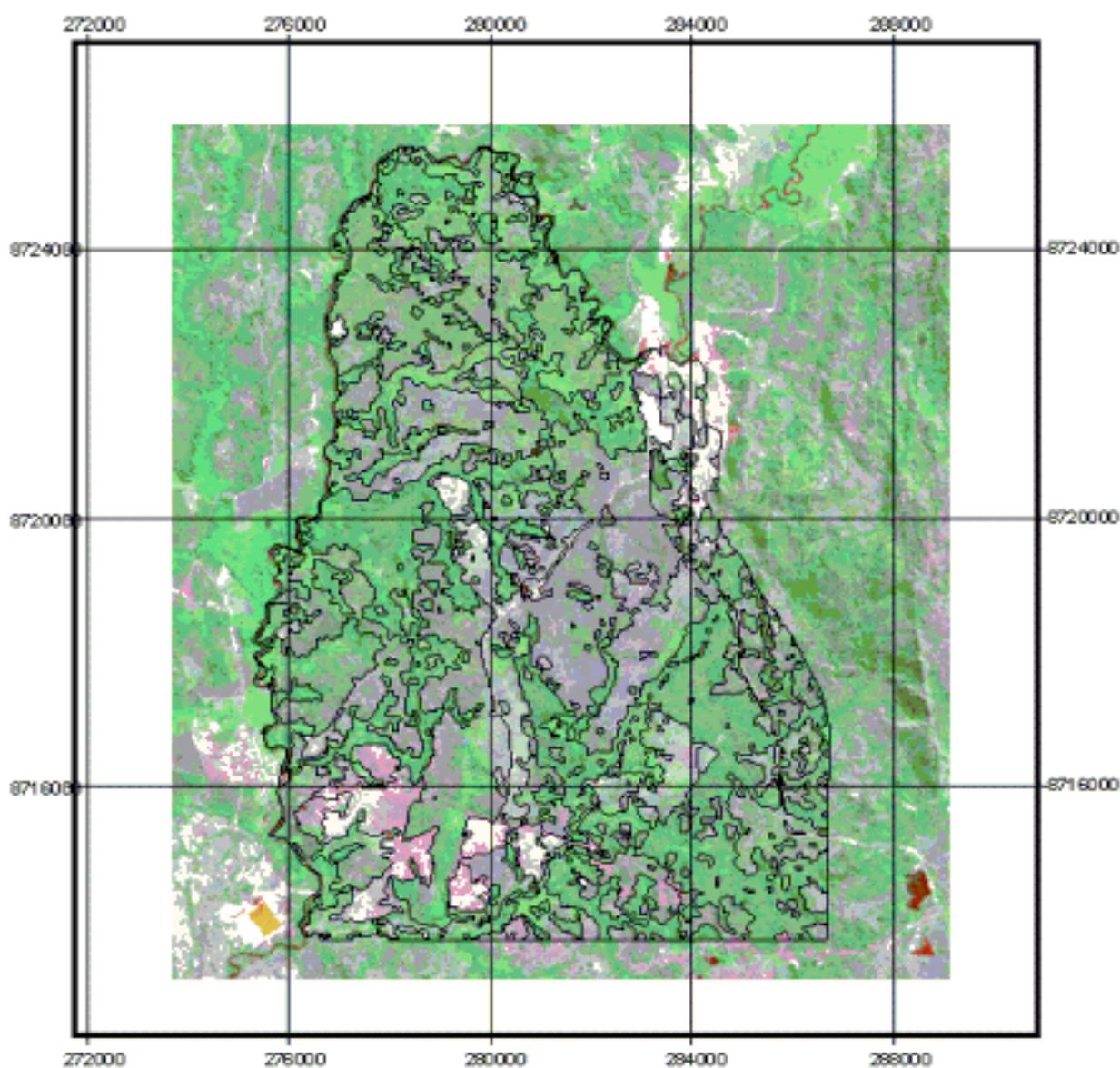


Figura 43. Mapa de UTB's para cobertura vegetal e uso da terra, Dianópolis, Tocantins.

4.2.4.2. Vulnerabilidade

As informações acerca da cobertura vegetal constituem parâmetro importante para o estabelecimento da vulnerabilidade ambiental, pois a cobertura vegetal representa a defesa da unidade da paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo, ou seja, a erosão (CREPANI, et al., 1996).

A metodologia leva em consideração a cobertura que a vegetação e a atividade antrópica proporcionam ao solo, protegendo-o da ação erosiva das águas das chuvas. Portanto, as áreas mais estáveis seriam as ocupadas por vegetação densa e fechada, que permite uma maior penetração da água da chuva, favorecendo o escoamento superficial do solo. A classe denominada antropizada foi avaliada com base no exposto nas áreas utilizadas para pastagem, pois representavam áreas com uma vegetação pouco densa e o aparecimento do solo em determinadas porções da paisagem. Os valores de estabilidade/vulnerabilidade das classes de cobertura vegetal são mostradas na Figura 44.

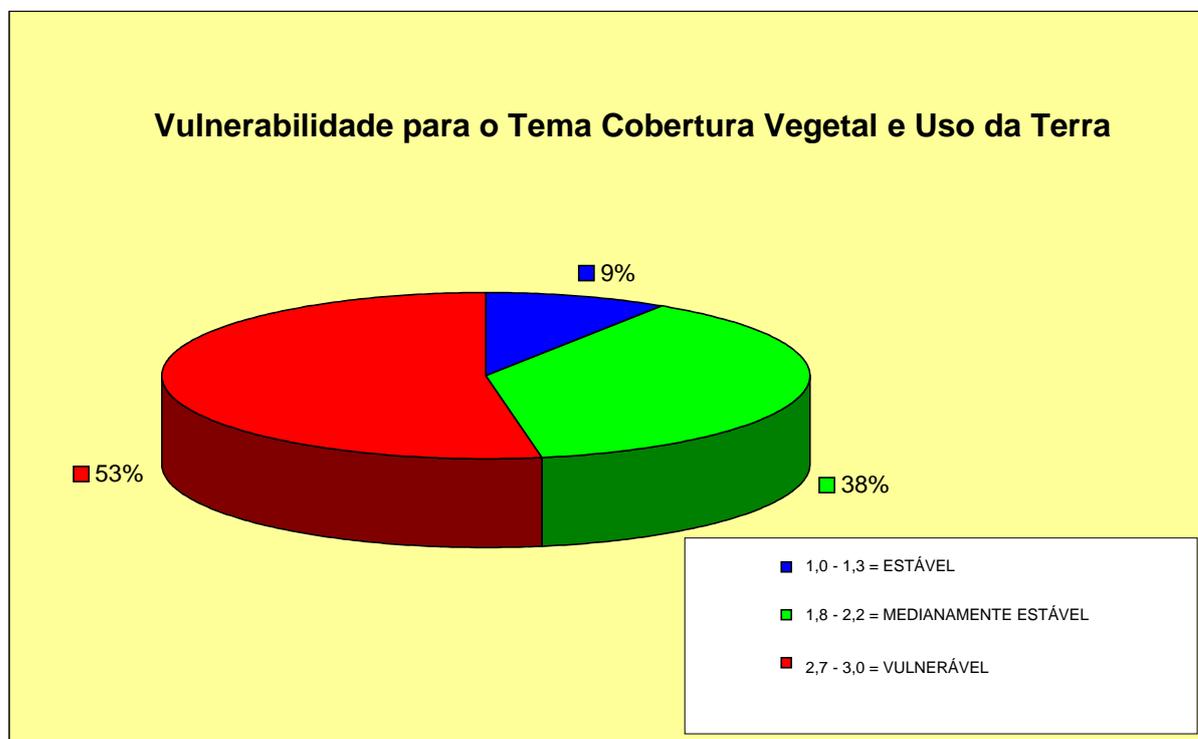


Figura 44. Percentual de valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal.

A ocorrência da vegetação secundária e área antropizada representam 53% da área de estudo e receberam valores de estabilidade/vulnerabilidade como vulneráveis.

Os principais fatores por apresentar um alto valor de vulnerabilidade ambiental, ocorrem devido à baixa cobertura do solo, solo exposto, instalação de canteiro, abertura dos acessos e queimadas. Alia-se a este fato, a falta de manejo adequado do solo com práticas conservacionistas que procurassem minimizar o impacto da área de estudo.

As classes campo cerrado e cerrado arbóreo aberta com floresta de galeria, representam 38% e receberam valores de estabilidade/vulnerabilidade medianamente estável. Trata-se de uma área que, podem ser ampliadas, tanto pela recomposição da vegetação, quanto pela preservação dos remanescentes de mata que ainda existem.

Para Ribeiro (2001), no caso de floresta de galeria, em áreas com atividades agrícolas, têm importância fundamental na manutenção da qualidade da água dos mananciais. Elas absorvem a água proveniente do escoamento superficial, contribuindo para a redução os processos erosivos do solo e do assoreamento do leito do curso d'água.

O cerrado arbóreo denso e a mata ciliar apresentam-se moderadamente estável a estável. Para garantir esta classificação é fundamental a manutenção dos fragmentos de cerrado Arbóreo denso, identificado na área de estudo, pois desempenham um papel ambiental importante, no que diz respeito à preservação de espécies florestais típicas deste tipo vegetacional. Este tipo de cobertura vegetal proporciona um alto grau de proteção aos solos, pois além de apresentar um dossel contínuo, apresenta também estratos arbustivos mais baixos dando uma proteção

ainda maior aos solos e ainda protegem o solo com as folhas mortas, galhos secos e matéria orgânica.

Para a utilização da área como agricultura irrigada, recomenda-se estabelecer a manutenção de mosaicos intercalados nas áreas agrícolas. Os referidos mosaicos (definidos, pelos moradores locais, simplesmente como capões), constituídos de remanescentes florestais, abrigam uma grande quantidade de espécies animais e vegetais de elevado interesse ecológico, contribuindo assim com a biodiversidade local. Com a implementação do empreendimento, esses mosaicos funcionarão ainda como área tampão, servindo de refúgio para as espécies faunísticas e de controle à ação de pragas junto às lavouras.

Aquelas áreas que ficam sem proteção da vegetação durante as chuvas mais intensas deverão ser manejadas com práticas conservacionistas que impeçam os processos severos de erosão. Essas práticas podem ser de caráter vegetativo, edáfico ou mecânico e devem ser usadas simultaneamente para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças dos elementos causadores dos processos erosivos. As práticas vegetativas são as que utilizam as plantas ou resíduos vegetais para proteção do solo, como, por exemplo, cultura em faixas, plantas de cobertura, cordões de vegetação permanente, alternância de capinas, controle de ervas invasoras com roçadeiras em culturas perenes, cobertura morta, faixas de bordadura e quebra ventos. As de caráter edáfico são aquelas que se relacionam a fertilidade do solo, como o controle do fogo, a adubação verde, a adubação orgânica ou química e também a calagem. Por último, as práticas mecânicas de controle de erosão como o terraceamento, distribuição racional dos caminhos e o plantio em nível (BERTONI; LOMBARDI NETO,1990).

Projeto Manoel Alves

Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra - Vulnerabilidade

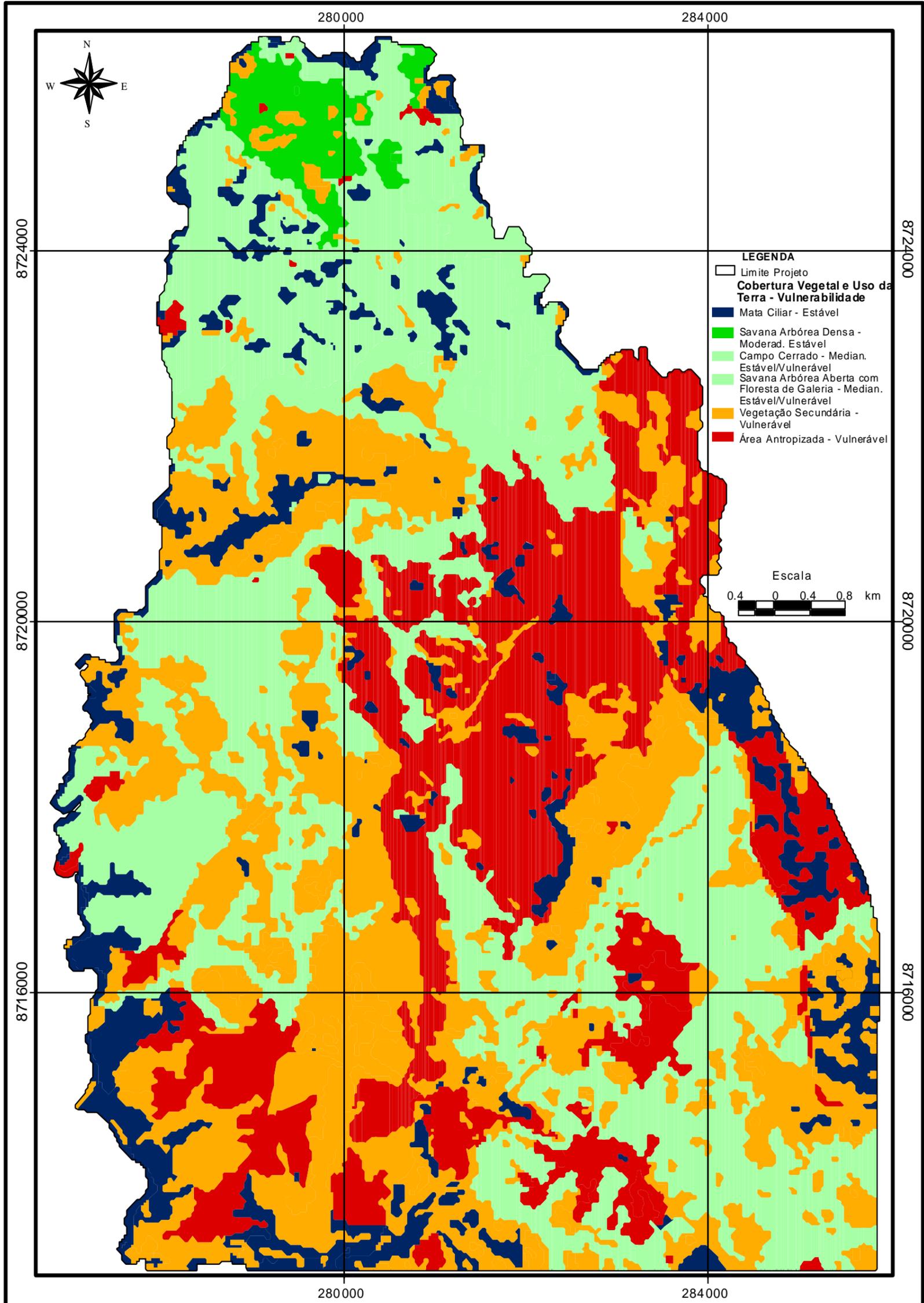


Figura 45. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema cobertura vegetal de uso da terra município de Dianópolis, Tocantins.

4.2.5. Vulnerabilidade para o tema Clima

O clima foi avaliado a partir de um conjunto de amostras que representavam à intensidade pluviométrica. Estes valores foram incorporados aos intervalos estabelecidos por Crepani et al. (1996), apresentados na metodologia.

Os dados climatológicos, principalmente as chuvas, são de fundamental importância para a análise da vulnerabilidade decorrente da sua ação direta na dinâmica do sistema ambiental. A ação das chuvas, principalmente quando concentradas em pequenos períodos, é um importante elemento modificador por regular e ativar os processos morfodinâmicos contribuindo diretamente para acelerar os processos erosivos.

O clima predominante na área de estudo é do tipo úmido sub-úmido caracterizando-se pela moderada deficiência hídrica e altas temperaturas. Os índices pluviométricos apresentados no diagnóstico ambiental revelam que a área de estudo está sujeita a um regime de alta pluviosidade concentrada em três a quatro meses do ano.

Desta forma, conforme apresentado no diagnóstico ambiental, a distribuição e a intensidade das chuvas ao longo do ano associado ao cenário onde estes fenômenos se manifestam como alta temperatura, pluviosidade, umidade do solo, radiação solar, relevo, cobertura vegetal, solo, foram fatores contribuintes para que o tema clima fosse classificado como vulnerável.

Embora o relevo não seja acidentado, ocorrem nessa região, solos que são sujeitos a desenvolvimentos de processos erosivos como os cambissolos; e a cobertura vegetal onde tenha sido retirada para atividades como: agricultura, abertura de acessos, canteiros de obras, que associados à vulnerabilidade climática poderá levar uma produção de sedimentos ao rio e córregos.

Áreas onde se apresentam cobertura vegetal oferecem proteção ao impacto das chuvas protegendo os solos da ação erosiva das chuvas, mantendo-os a vulnerabilidade clima em situação estável.

Em projetos agrícolas, Lima, (1997), apresenta que a agricultura é uma atividade amplamente dependente de fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas, além de fatores sociais, econômicos e políticos. O autor ressalta que práticas agrícolas convencionais ou alternativas devem ser analisadas sob este enfoque, com o intuito de promover a conservação do solo. Além disso, atenção deve ser dada à influência da temperatura e umidade do solo sobre o crescimento de patógenos (como fungos, bactérias) e doenças de plantas.

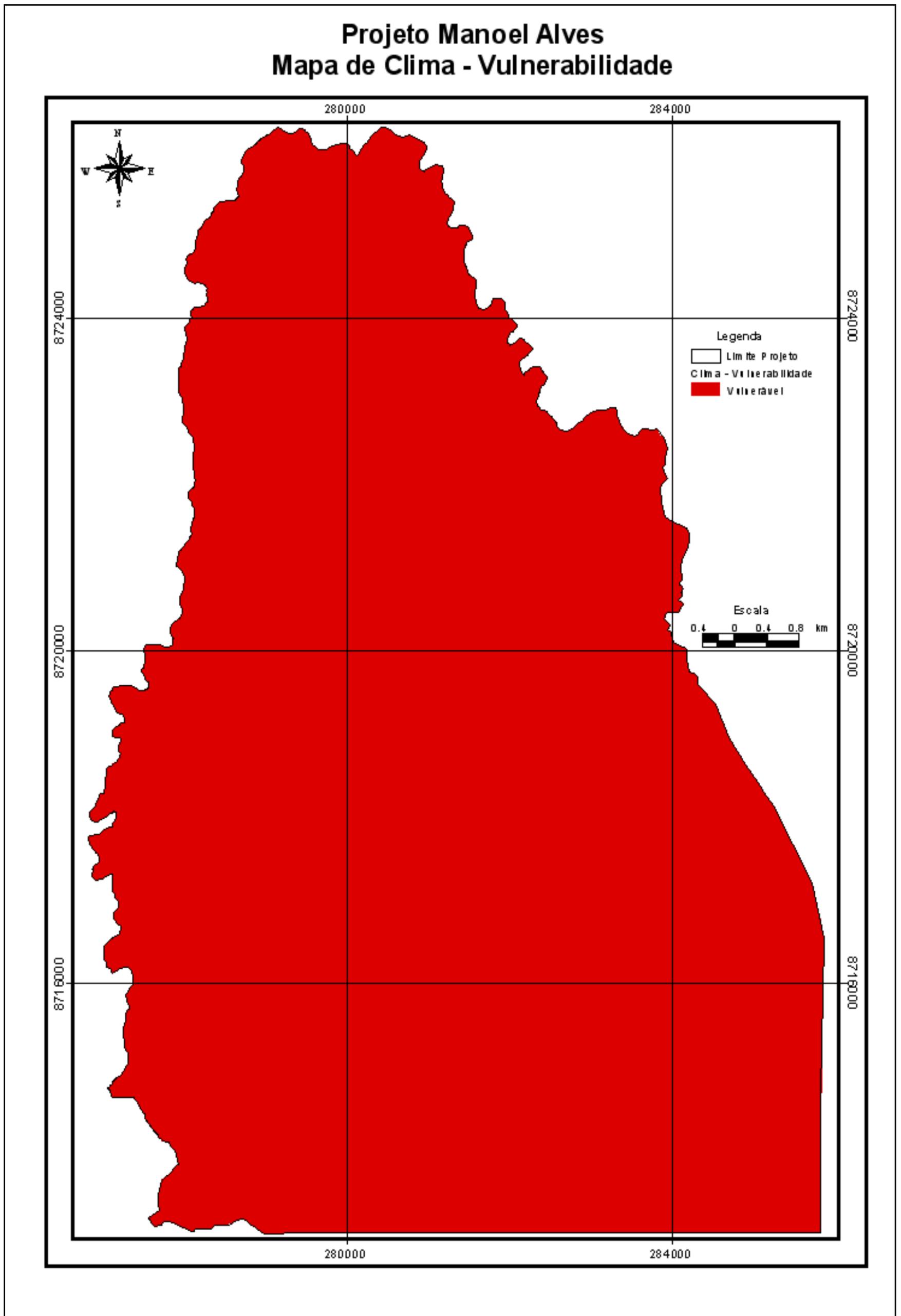


Figura 46. Mapa de vulnerabilidade ambiental para o tema clima, município de Dianópolis, Tocantins

4.2.6. Geração do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

Para realização do mapa de vulnerabilidade ambiental foram consideradas cinco categorias gerais: os processos geológicos, geomorfológicos, a pedologia a cobertura vegetal e o clima, (Crepani, et al 1996).

Os processos geomorfológicos e climáticos são processos naturais que ocorrem ao longo do tempo (FORMAN e GODRON, 1986). Os processos geomorfológicos referem-se à criação e formação do relevo, envolvendo o movimento das placas tectônicas, erosão e deposição (RITTER,1978). Os processos climáticos são fundamentais na transformação da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986). Os processos geológicos denominam-se por ações que promovem modificações da crosta terrestre, seja em sua forma, estrutura ou composição. A energia necessária a tais ações provém do sol ou do interior da Terra. Os pedológicos estão associados a sua gênese e evolução, CASTRO (1989).

Para (Crepani, et al 1996), a cobertura vegetal, tem grande influência na avaliação da vulnerabilidade ambiental, uma vez que sua participação na caracterização morfodinâmica está diretamente ligada à sua capacidade de proteção.

As unidades de paisagem que apresentaram maior vulnerabilidade ambiental estão inseridas por áreas frágeis de cobertura vegetal, área antropizada e vegetação secundária, que pouco contribui para a proteção do solo, aliado ao fato de estar sobre um terreno frágil como os cambissolos.

A conjunção dos fatores solos, clima, pedologia, geomorfologia e cobertura vegetal conferem 63% da área de estudo como mediana e moderadamente vulneráveis.

Atualmente, o desmatamento nas cabeceiras e margens dos cursos d'água,

com a finalidade de pastagem e plantio bem como a abertura de acessos para instalação de abertura de canais, utilização de movimentação de terra para implantação do canteiro de obras, bota-foras e área de empréstimo, aumentam a compactação, diminuindo a infiltração das águas de chuva. Este fato pode intensificar os problemas de erodibilidade, especialmente aqueles associados ao assoreamento do leito do Rio Manuel Alves e seus afluentes a jusante.

Os 34%, apresentaram-se moderadamente vulneráveis, trata-se de ambiente menos instável ao desenvolvimento dos processos erosivos. A cobertura vegetal e o relevo suave atenuam a capacidade erosiva da chuva e sua manutenção implica em menores taxas de perda de solo.

Não foram encontradas áreas realmente estáveis a vulnerabilidade ambiental, as áreas consideradas moderadamente estáveis representam apenas 3%, estão relacionadas ao relevo suave, rochas resistentes ao intemperismo e à presença da cobertura vegetal mais densa e fechada.

Por fim, as áreas vulneráveis representam unidades de paisagem onde o uso é intensificado, em um mesmo terreno ocasionando uma maior preocupação com relação ao seu manejo.

Para as atividades previstas no projeto Manuel Alves, apesar de a área apresentar sua topografia suave, a densidade da vegetação será reduzida por efeito da implantação dos lotes e canais de bombeamento, o que potencializará a vulnerabilidade nestas unidades por processos erosivos que podem evoluir para as voçorocas perdendo grandes quantidades de solo. O assoreamento é particularmente preocupante na bacia do Rio Manuel Alves.

De acordo com a Agenda 21 Brasileira para Agricultura, a retirada da cobertura vegetal original seria a responsável pela perda de grande parte da

biodiversidade, deixando o ecossistema mais vulnerável pela diminuição de sua resiliência. O manejo inadequado da agricultura irrigada seria a causa de um grave problema ambiental que é a erosão. Com a perda de solo provocada pela erosão, faltarão nutrientes para suprir as necessidades nutricionais das plantas, logo, haverá necessidade de fertilizantes. Os fertilizantes inorgânicos podem, em excesso, prejudicar a qualidade biológica do vegetal, contaminar os recursos hídricos, além de deixar o solo pobre em microfauna que inibe os inimigos naturais da planta. Sem os inimigos naturais, surgem às pragas e, para combatê-las, são usados agrotóxicos, como, inseticidas, fungicidas, entre outros. Estas substâncias, dependendo do princípio ativo, podem ter um efeito residual longo e entrar em contato com o lençol freático e outros cursos d'água contaminando-os, além de se infiltrar na cadeia trófica dos ecossistemas e, em última análise, contaminar o próprio homem. Ao longo dos anos, caso não seja tomada medida de monitoramento e controle poderá provocar a diminuição da quantidade de água disponível na bacia.

Vários aspectos devem ser considerados quando se pensa em irrigação, como: a eficiência em termos do uso da água; a existência de eficiência econômica; os custos ambientais desta prática.

A agricultura irrigada normalmente se caracteriza pelo uso intensivo de agroquímicos (inseticidas, fungicidas, herbicidas e adubos inorgânicos) que, mesmo quando utilizados na forma convencionalmente considerada como adequada, invariavelmente causam algum tipo de contaminação do solo e das águas.

A contaminação das águas superficiais tende a ser rápida, acontecendo imediatamente após a aplicação da água em alguns tipos de irrigação, em que ocorre escoamento superficial ou infiltração em altas taxas.

Outro risco ambiental, refere-se à sobra de água no final dos canais, sulcos

ou faixas, sobra que se encaminha para o sistema de drenagem superficial. Essa água, que terá outras utilizações a jusante, é adicionada de sais, pesticidas, metais pesados e sedimentos, tendo sua qualidade degradada.

Na agricultura irrigada, a salinização constitui em outro risco ambiental. As principais causas da salinização nas áreas irrigadas são os sais provenientes de água de irrigação e/ou do lençol freático, quando esse se eleva até próximo à superfície do solo.

A salinização do solo afeta a germinação e a densidade das culturas bem como seu desenvolvimento vegetativo reduzindo sua produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas. O processo de salinização (concentração de sais na solução do solo) ocorre, de maneira geral, em solos situados em região de baixa precipitação pluviométrica e que possuam lençol freático próximo da superfície.

O requerimento básico para o controle da salinidade, nas áreas irrigadas, é a existência da percolação e da drenagem natural ou artificial, garantindo o fluxo da água e do sal para abaixo da zona radicular das culturas. No local onde o dreno descarregar, entretanto, poderá ocorrer aumento na concentração de sais.

No caso do Projeto de Irrigação Manuel Alves, estima-se pelos resultados da vulnerabilidade ambiental referente à pedologia, recursos hídricos, clima, vegetação, geomorfologia e geologia, que há chances de salinização, caso medidas de controle ambiental não sejam tomadas. Verificou-se também que se a agricultura irrigada for praticada de forma inadequada, poderá acarretar alta intensidade de erosão, resultando em grande produção de sedimentos. Isso evidencia a necessidade de manejo e adoção de técnicas preventivas e corretivas direcionadas à conservação do solo. A irrigação adequada evitaria os riscos de salinização, permitindo o manejo

da cobertura vegetal, umidade, temperatura do solo, melhorando as condições para manter a estabilidade do ambiente.

Por outro lado, de acordo com ACL (2002), com a perenização e regularização de afluentes do Rio Manuel Alves e com o aproveitamento hidroagrícola de seus mananciais, ter-se-ia redução considerável dos riscos e incertezas marcantes nas atividades agropecuárias da região.

Os estudos têm revelado que, se existir um plano de irrigação que respeite os limites físicos da região onde deve ser realizada uma análise da adequação ambiental, como, topografia, tipo de solo, taxas de evapotranspiração da cultura, taxas pluviométricas, entre outros, e, aliado a um manejo adequado do sistema, é possível chegar a um manejo adequado do projeto de irrigação. (FAO, 1998 em Rebouças, 2001).

Projeto Manoel Alves Mapa de Vulnerabilidade

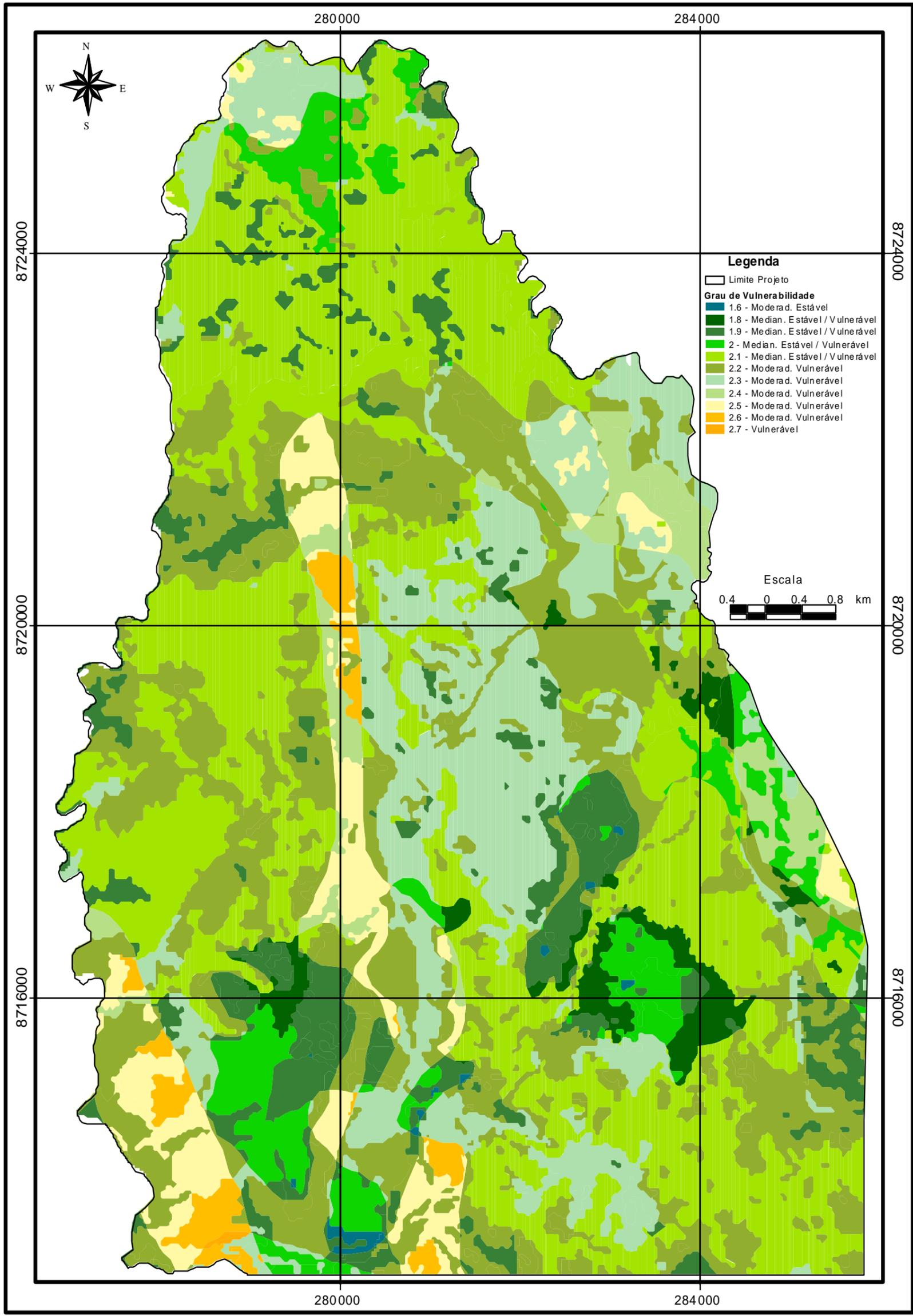


Figura 47. Mapa de vulnerabilidade ambiental da área do Projeto Manuel Alves, município de Dianópolis, Tocantins

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A paisagem da área de estudo é considerada peculiar às características do bioma cerrado. O presente trabalho buscou realizar estudo de caso que contemplasse as relações processos erosivos, recursos hídricos e riscos ambientais, utilizando informações levantadas em mapas existentes e trabalho de campo como elementos indicativos para a pesquisa bibliográfica sobre os temas e áreas citadas neste trabalho. O método adotado remete à relevância de utilizar cientificamente, via análise qualitativa, a percepção e o conhecimento da população envolvida em seu cotidiano com as situações de risco ambiental, principalmente com os problemas ligados à água, ao solo e proteção da vegetação natural.

De forma geral, constata-se que o Projeto Piloto de Irrigação tem a totalidade de seu território mediana à moderadamente vulnerável, o que provoca a sugestão de medidas para minimizar os impactos da agricultura irrigada, que permitem a viabilidade do projeto, contribuindo para sustentabilidade da atividade proposta, são elas:

- estimular a utilização de práticas agrícolas sustentáveis integradas com vistas a recuperar, de forma econômica, as extensas áreas de pastagens, reduzir o processo erosivo do solo e a deposição de sedimentos nos corpos d'água, recuperar a fertilidade natural dos solos;
- realizar um levantamento geral das situações de risco, melhorando a visão de conjunto da área, mediante o conhecimento da dinâmica de fluxos de materiais entre o alto curso e demais trechos da Bacia do Rio Manuel Alves. Inclui-se aqui a análise das relações administrativas e institucionais entre o poder público, em relação à gestão da bacia hidrográfica;

- adoção de prática de uma agricultura irrigada adequada, para minimização dos riscos de salinização, comuns nas culturas onde o solo é pobre, permitindo o manejo da cobertura vegetal, umidade, temperatura do solo, melhorando as condições para manter a estabilidade do ambiente;
- a inclusão das informações levantadas nesse estudo de mapeamento junto à Secretaria de Planejamento da área de Recursos Hídricos, Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Tocantins e Secretaria de Agricultura do Estado, que após o início da operação do projeto será designada a essa Secretaria a responsabilidade do gerenciamento do projeto de irrigação;
- ter sempre a participação da comunidade local nas sessões de diagnóstico participativo, com a demonstração de seus interesses, problemas e impactos ambientais relatados, podendo assim colaborar na condução dos trabalhos;
- acompanhar e supervisionar a implantação do empreendimento e dos programas ambientais propostos para a implantação do projeto e licenciados pelos órgãos ambientais, no que concerne à elaboração e cumprimento do plano de ação, cronograma de implantação das diferentes ações;
- verificar as alterações e as modificações locais decorrentes do processo de implantação do Projeto de Irrigação e de sua operação.

Todo o resultado do mapeamento de vulnerabilidade ambiental caminha em sentido favorável a necessidade de integração entre a comunidade, o meio acadêmico e técnico, preconizado neste trabalho, o que remete à importância de realizar atividades similares em outras áreas.

A análise morfodinâmica realizada com o intuito de estabelecer pesos para as classes dos temas abordados se mostrou eficaz, e a aplicação da metodologia de

vulnerabilidade ambiental, fornece uma visão geral e sistêmica de como o ambiente do cerrado se comporta.

Os princípios ecodinâmicos contribuíram para a definição do grau de vulnerabilidade dos Sistemas Ambientais, em virtude da ação de fenômenos naturais, mas sugere-se que o método pode e deve ser aprimorado com a inclusão de um estudo para proposição de indicadores ambientais para monitoramento a longo prazo.

Os cenários podem auxiliar os planejadores na análise da dinâmica dos elementos do Projeto Piloto de Irrigação e dos problemas ambientais decorrentes, sob o ponto de vista da sustentabilidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACL ACESSORIA E CONSULTORIA LTDA. Estudo de impacto ambiental da Área piloto do projeto de irrigação. Sistema de aproveitamento hidroagrícola do Rio Manuel Alves. [Dianópolis]: 2002

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de H.R.Gheyi; J.F. Medeiros; F.A.V. Damaceno, Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 29).

ALTIERI, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592p.

ANA. Agricultura Irrigada. Estudo técnico de apoio ao PBHSF nº 12. Brasília: ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004

ASSAD, M. L. R. C. L. Recursos biológicos: ocorrência e variabilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, n.7, 1996, Brasília, DF. Anais...Brasília: [s.n.], 1996. p.20-23.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002.

BARBOSA et al. Geologia estratigráfica, estrutura lê econômica da área do Projeto Araguaia. Rio de Janeiro: 1969, 199p, p1-43.

BATISDAS, M. G. Environmental fragility and vulnerability assessment of a mangrove area in the lower San Juan river basin, 1995. Tese (Mestrado em ciências do solo) - International Institute for aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, 1995.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. Detalhamento da metodologia para execução de zoneamento ecológico-econômico pelos estados da amazônia legal. Brasília: SAE; MMA, 1997.

BERNARDI, C.C.; Reuso de água para irrigação. ISEA-FGV, 2003 Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D.; Pruski, F. F. (Ed.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa: UFV, 1997. 252p.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D.; Pruski, F. F. (Ed.). Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura. Viçosa: UFV, 1997. 252p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Editora Ícone, 1990. 393p.

BERTRAND, G.; Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de ciências da terra. n.13. Inst. de Geografia – USP. São Paulo, 1971.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro: Bertrand, 1983. 647p.

BRASIL. Decreto-lei nº 89.796 de 29 de março de 1984. Regulamenta a Lei Nº 6.662, de 25 de junho de 1979, que Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 30 mar. 1984. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/89796-84.htm>>. Acesso em: dez. 2004.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 1 set. 1981. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/6938-81.htm>>. Acesso em: dez. 2004.

_____. Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras Providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 26 jun. 1979. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/6662-79.htm>>. Acesso em: dez. 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. ed.2.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M. de; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Journal Computers & Graphics, v.20, n.3, 1996. p.395-403, Mai.-jun..

CARVALHO, J. O. Projeto Áridas: uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o nordeste. Brasília: [S.n.].1994. 353p.

CASTRO, S. S. Sistema de Transformação Pedológica em Marília, SP B latossólico em B textural. São Paulo, 1989. 274 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento Geografia.

CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. [S.i.]: [IICA], 1997. 14p. Disponível em <<http://www.iica.org.br/aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm>>. Acesso em: ago. 2004.

COEMA/TO. Resolução número 06 de 21 de setembro de 2004

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 20, de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, 30 julho 1986.

COSTANZA, R. Ecological economic: the science and management of sustainability. New York: Columbia Press, 1991.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. B. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 101 p. (INPE-8454-RPQ/722). 2001.

CUSTÓDIO, Helita Barreira. Legislação Brasileira do estudo de impacto ambiental. In: Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar. Organizadores Sâmia Maria Tauk-Tornisielo, Nivar Gobbi, Harold Gordon Fowler. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: editora da Universidade Estadual Paulista, 1995. p 45-64. (Natura Naturata).

DE PABLO, C. L.; AGAR, P. M. de; BARTUREN, R.; NICOLAS, J. P.; PINEDA, F. D. Design of a Information System for Environmental Planning and Management (SIPA). Journal of Environmental Management, v.40, p.231-243, 1994.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA/CNPS, 1999c. 412p.

FAO. 1998. Aquaculture production statistics 1987-1996. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO. Situación de la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. [S.i.]: [FAO], 1996. Disponível em: <<http://www.fao.org/efs/spanish/LAR96-4.htm>>. Acesso em: jan. 2005.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. Economia dos recursos hídricos. Salvador: EDUFBA, 2002.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.

GEODERT, W. J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 24, n. 1, p. 1 - 17, 1988.

GRIFFITH, J. J.; JUCKSCH, I.; DIAS, L. E. Roteiro Metodológico para Zoneamento de Áreas de Proteção Ambiental. Viçosa, MG: UFV; IBAMA; PNUMA. 1995. p.37.

GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (org); Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Russel, 1994. Cap. XI, p.415-441.

Guerra, A.J.T.; Botelho, R.G.M. Erosão dos solos. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. ed, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.181

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S. Degradação Ambiental. In: Geomorfologia Ambiental. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HERNANDEZ, F.B.T.; Manejo da irrigação em fruteiras. UNESP. São Paulo:2003. Disponível em < <http://www.agr.feis.unesp.br/fruteiras>> Acesso em: jun 2005

INCRA. Instituto nacional de colonização e reforma agrária. Evolução da estrutura agrária do Brasil. Brasília: INCRA, 1999.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Macrozoneamento do Vale do Paraíba e litoral norte do estado de São Paulo. São José dos Campos: INPE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: mar. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>

KLAR, A. E. Critérios para a Escolha do Método de Irrigação. Irriga. Botucatu: FCA/UNESP, vol. 5, n. 1, 2000, p. 52-82.

KRUIJF, H. A. M.; SCHOUTEN, A. J. On problem of measuring vulnerability of soil ecosystems. In: DUIJVENBOODEN, W. van, (Ed.). Vulnerability of soil and groundwater pollutants. Hague: W. van, Duijvenbooden, 1987. p. 97-109.

LEINZ, V.; Amaral, J.E. Geologia geral. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1969. 512p.

LEO, L. F. R.; HERNANDEZ, F. B. T. O futuro da irrigação nos países de terceiro mundo. Correio da Ilha, Ilha Solteira, 21 jul. 2001. p.2. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/avp180701.htm>>. Acesso em: ago. 2004.

LIMA, Luiz Antônio Plano Nacional de Irrigação e Drenagem, 2ª Conferência,

Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, n. 55, 3º Trimestre, p. 14-15, 2002.

LIMA, M. A.; NEVES, M. C.; CAMPANHOLA, C.; LUCHIARI JR, A.; FERREIRA, C. A.; LUIZ, A. J. B. Monitoramento e avaliação de impacto ambiental na agricultura. Organizado por E. Viglizzo; Juan P. Puignau. Monitoreo ambiental y uso sustentable de las tierras del Cono sur, Montevideo: IICA/PROCISSUR, 1997, v. 46. p. 13-21.

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRIK, A. Irrigação do cafeeiro: em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). Produção integrada de café. ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DECAFÉ COM QUALIDADE, 5., 2003, Viçosa. Trabalhos voluntários... Viçosa: UFV/DFP, 2003. p.279-317.

MARTINS, Iracy Coelho de Menezes. Diagnóstico Ambiental no Contexto da Paisagem de Fragmentos Florestais Naturais - Ipucas - no Município de Lagoa da Confusão, Tocantins. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

MASERA, O.; ASTIER, M.; RIDAURA, S. L. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación (MESMIS). México: Mundi-Prensa, 1999. 107p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento. Atlas Multirreferencial. Campo Grande: SEPLAN, 28 p., 1990.

MEDEIROS, J.F. de; Gheyi, H.R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. Cap. 8, p.239-284.

MEDEIROS, J. S. Banco de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão do Território. Tese Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1999.

MENDES, A. A.T.; Irrigação: tecnologia e produtividade. UNESP, 2003. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/alfredo.htm>. Acesso em jul.2004.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Relatório de Gestão referente ao exercício financeiro de 2002. Brasília, DF: MI; SECEX; SPOA; ADMINISTRAÇÃO, 2002.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: dez. 2004.

MOREIRA, H. Sistema de Suporte à Decisão Agrícola: manejo dos cultivos e dos recursos hídricos. In: CICLO DE PALESTRAS DA SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS/MMA. n.2, 2004, Brasília. Anais..., Brasília: MMA, 2004. p.75-89.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. Comunicado Técnico. Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande: UFPB, n.3, p. 465-473, 2000.

Penteado, M.M. Fundamentos em geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 58p. (Biblioteca Geográfica Brasileira. Série D, publicação n. 3).

PPA 2000-2003. TOCANTINS – Construindo o Futuro Hoje!. p. 15 e ss.

PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1979.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo. [S.i., S.N.], 1992.

PRODIAT. Diagnóstico da Bacia do Araguaia-Tocantins. Brasília: [PRODIAT], 1982. v 2.

QUINTELA, J. A. El Inventario, El Analisis y El Diagnóstico Geoecologico de Los Paisajes Mediante El Uso de Los Sistemas de Informacion Geográfica. 1995. Tese (Ph.D.) - Universidad de La Habana. La Habana. 1995.

RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL. Projeto Formoso suplementação dos recursos hídricos do reservatório Taboca. Fundação Universidade do Tocantins, Palmas-TO, 1998.

Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 89-166. In: S.M. Sano & S.P. Almeida (Eds.), Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina-DF: EMBRAPA, p.125-177.

RITTER, D.F. Process Geomorphology. Wm. C. Brown Co., Dubuque. I.A. 1978

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH; USP, n.9, 1994. p.634.

SANTOS, R.V. dos; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.319-61.

SÃO PAULO. Coordenadoria do Planejamento Ambiental. Divisão de Planejamento do Litoral. Macrozoneamento do complexo estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia: Plano de gerenciamento costeiro. São Paulo: SMA, 1990. 41p.

_____. Coordenadoria do Planejamento Ambiental. Proposta de Macrozoneamento do Vale do Ribeira: relatório final. São Paulo: SMA, 1996a. 86 p.

_____. Macrozoneamento do Litoral Norte: plano de gerenciamento costeiro. São Paulo: SMA, 1996b. 202p.

_____. Secretaria de Planejamento. Macrozoneamento Geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: SEPLAN/FIPLAN, 242 p. 1989.

SELMAN, P.; DOAR, N.. An investigation of the potential for landscape ecology to act as a basis for rural land use plans. *Journal of Environmental Management*, n.35: p281-299, 1992.

SEPLAN. 1999. Atlas do Tocantins: Subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas-TO, 49 p.

Silva, A.B. 1998. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: uma introdução. No prelo. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.

SILVA, D. D. Noções de recursos hídricos. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, n.3., 2002, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: ABES-MG; DEA-UFV, 2002. p.226-269.

SILVA, J. S.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Caderno de Ciência e Tecnologia*. Vol.1. Brasília: [s.n.]. 2004. p221-263.

Silva, M. F. F.; Silva, J. B. F.; Rocha, A. E. S.; Oliveira, F. P. M.; Gonçalves, L. S. B.; Silva, M. F. & Queiroz, O. H. A. 1995. Inventário da família Orchidaceae na Amazônia brasileira. Parte I. *Acta Botanica Brasilica* 9(1): 163-175.

SIMÕES-MEIRELLES, M. P. Análise Integrada do Ambiente Através do Geoprocessamento: uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos. Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ, 1997.

SOUZA, A. L. L. de. Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: uma reflexão crítica. Belém: FCAP/Serviço de Documentação e Informação, 1996. 50p.

TALTASSE, P. Mapas de Vulnerabilidade à Poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas. 1972. n.1. Instituto de Geociências; USP, São Paulo.

TANSLEY, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16: 284-307.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. A Impotência da Irrigação no Desenvolvimento do Agronegócio. São Paulo: UEC; CSEI; Empresa Júnior de Engenharia Agrícola, 2002.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TOCANTINS. Constituição (1989). Constituição do Estado do Tocantins. Palmas, TO, 1989.

TOCANTINS. Portal do Governo do Estado do Tocantins na Internet. Palmas: SECOM, [2002]. Disponível em: <<http://www.to.gov.br/>>. Acesso em Jan. 2005.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE; SUPREN, 1977.

TROLL, C. 1971. Landscape ecology (geo-ecology) and biogeocenology: a terminological study. *Geoforum* 8: 43-46.

TROPMAIR, H. 2000. Ecologia da paisagem: uma retrospectiva. Anais do I Fórum de debates "Ecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental" (4-8 junho de 2000, Rio Claro). Sociedade de Ecologia do Brasil.

VALENZUELA, J.; TOMIC, T.; LOBO, A. G.; FAETH, P.; BENITO, C.; ALTIERI, M. A. Agricultura sustentável. Chile: Editora Universidade Talca, 1994. 90p.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 1, p. 111- 132, jan/mar, 1998.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58p.

Zocoler, J.L. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação In: Curso Capacitação em Agricultura Irrigada, 1999, Ilha Solteira, Anais... Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1999, 55p.

ZONNEVELD, I. S. The land unit: a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. [S.i.]: *Landscape Ecology*, n.3. p67-68, 1989.

