



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGE

LUIZ ANTONIO NASCIMENTO DE PAIVA

**DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ/PB, UTILIZANDO
PARÂMETROS FÍSICOS DOS SENSORES MODIS/TERRA E
TM/LANDSAT**

**NATAL/RN
2008**

Luiz Antonio Nascimento de Paiva

**DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ/PB, UTILIZANDO
PARÂMETROS FÍSICOS DOS SENSORES MODIS/TERRA E
TM/LANDSAT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia

Orientador: Dr. Fernando Moreira da Silva

**NATAL/RN
2008**

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes (CCHLA).

Paiva, Luiz Antonio Nascimento de.

Detecção de áreas degradadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá/PB, utilizando parâmetros físicos dos sensores MODIS/terra e TM/Landsat / Luiz Antonio Nascimento de Paiva. – 2008.

92 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Moreira da Silva.

1. Degradação ambiental – Taperoá, Rio, Bacia (PB) 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Sensoriamento remoto. 4. Meio ambiente. I. Silva, Fernando Moreira da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/BSE-CCHLA

CDU 911(813.3)

Luiz Antonio Nascimento de Paiva

**DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ/PB, UTILIZANDO
PARÂMETROS FÍSICOS DOS SENSORES MODIS/TERRA E
TM/LANDSAT**

A Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Dinâmica Socioambiental e Reestruturação do Território da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 12/11/2008

Prof. Dr. Fernando Moreira da Silva
Orientador

Prof. Dr^a. Cilene Gomes – UFRJ
Examinadora

Prof. Dr. Paulo Sérgio de R. Nascimento – DCR/UFRN
Examinador

Aos meus amigos e especialmente a minha eterna gratidão ao meu pai que sempre se dedicou a minha formação e minha mãe que continua me incentivando.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos os professores do Departamento de Geografia que fizeram parte da minha formação acadêmica e dos colegas que participaram direta e indiretamente.

Externo minha gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Moreira da Silva, que foi capaz de fazer o papel de orientador acadêmico e de amigo.

Meu reconhecimento a amiga Prof^a. Dra. Maria do Socorro Costa Martim pelos incentivos nas horas mais difíceis. A querida amiga Profa. Dr.^a Beatriz Maria Soares Pontes que me orientou no meu primeiro trabalho acadêmico e é um grande exemplo de vida.

Ao professor Paulo Sérgio meus sinceros agradecimentos que também contribuiu com suas observações e críticas no andamento da pesquisa, assim como o professor Reinaldo Antônio Petta que concedeu o laboratório de Geomática, no departamento de Geologia da UFRN, para a realização desta pesquisa.

Por fim, minha gratidão àquele que representou o principal incentivador da minha pequena história acadêmica, meu pai Antonio Celestino Vasconcellos de Paiva e aquela que ainda incentiva nos momentos mais difíceis, minha mãe Maria Núbia Nascimento de Paiva.

PAIVA, L. A. N. de. **DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ/PB, UTILIZANDO PARÂMETROS FÍSICOS DOS SENSORES MODIS/TERRA E TM/LANDSAT**.2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.92f.

RESUMO

A presente pesquisa compreende os resultados de análises de áreas suscetíveis a degradação ambiental por sensoriamento remoto no semi-árido nordestino, o que é um fato preocupante e atinge toda população e o efeito catalisador desse processo ocorre pelo desmatamento da caatinga e por práticas inadequadas do uso do solo. Assim, o objetivo desta pesquisa é utilizar parâmetros biofísicos do sensor MODIS/Terra e as imagens TM/Landsat-5 para determinar as áreas susceptíveis ao processo de degradação no semi-árido paraibano. A área de estudo localiza-se no sertão central da Paraíba, na Sub-bacia do Rio Taperoá, com médias anuais de precipitação inferiores a 400 mm e temperatura média anual de 28°C. Para a elaboração do mapa de cobertura vegetal foram utilizadas as imagens TM/Landsat-5, especificamente, a composição colorida 5R4G3B, mais utilizada para mapeamento do uso do solo. Este mapa foi confeccionado pela Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança. A legenda corresponde aos seguintes alvos: vegetação de caatinga densa e esparsa; vegetação ciliar e solo exposto. Os parâmetros biofísicos utilizados do sensor MODIS foram: emissividade, albedo e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os programas computacionais de geoprocessamento utilizados foram o *Modis Reprojections Tools* e o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), no qual foi montado e trabalhado o banco de informações dos sensores MODIS e TM e o software ArcGIS para a confecção de cartas mais customizáveis. Inicialmente, avaliou o comportamento da vegetação pela emissividade por meio da adaptação da equação de Bastiaanssen sobre o NDVI para espacializar a emissividade e observar as alterações durante o ano de 2006. O albedo foi utilizado para visualizar o seu percentual de aumento nos períodos de dezembro de 2003 e 2004. As imagens do sensor TM/Landsat usadas foram do mês de dezembro de 2005, de acordo com a disponibilidade das imagens e no período de menor emissividade. Para estas aplicações foram feitos programas em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), que é uma rotina de programação do SPRING, a qual permite realizar vários tipos de álgebras de dados e mapas espaciais. Para a detecção de áreas susceptíveis ao processo de degradação ambiental levou-se em consideração o comportamento da emissividade da caatinga que se mostrou sazonal coincidindo com o período chuvoso atingindo o máximo de emissividade nos meses de abril a julho e nos restantes dos meses uma baixa emissividade. Com as imagens do albedo de dezembro de 2003 e 2004, foi verificado o seu aumento percentual, o que possibilitou a geração de duas classes distintas: áreas com aumento da variação percentual de 1 a 11,6% e áreas com variação percentual inferior a 1% do albedo. A partir daí foi possível gerar o mapa de susceptibilidade à degradação ambiental, com o cruzamento da classe de solo exposto com a variação percentual do albedo, resultando em classes susceptibilidade à degradação ambiental.

ABSTRACT

This study includes the results of the analysis of areas susceptible to degradation by remote sensing in semi-arid region, which is a matter of concern and affects the whole population and the catalyst of this process occurs by the deforestation of the savanna and improper practices by the use of soil. The objective of this research is to use biophysical parameters of the MODIS / Terra and images TM/Landsat-5 to determine areas susceptible to degradation in semi-arid Paraíba. The study area is located in the central interior of Paraíba, in the sub-basin of the River Taperoá, with average annual rainfall below 400 mm and average annual temperature of 28 ° C. To draw up the map of vegetation were used TM/Landsat-5 images, specifically, the composition 5R4G3B colored, commonly used for mapping land use. This map was produced by unsupervised classification by maximum likelihood. The legend corresponds to the following targets: savanna vegetation sparse and dense, riparian vegetation and exposed soil. The biophysical parameters used in the MODIS were emissivity, albedo and vegetation index for NDVI (NDVI). The GIS computer programs used were Modis Reprojections Tools and System Information Processing Georeferenced (SPRING), which was set up and worked the bank of information from sensors MODIS and TM and ArcGIS software for making maps more customizable. Initially, we evaluated the behavior of the vegetation emissivity by adapting equation Bastiaanssen on NDVI for spatialize emissivity and observe changes during the year 2006. The albedo was used to view your percentage of increase in the periods December 2003 and 2004. The image sensor of Landsat TM were used for the month of December 2005, according to the availability of images and in periods of low emissivity. For these applications were made in language programs for GIS Algebraic Space (LEGAL), which is a routine programming SPRING, which allows you to perform various types of algebras of spatial data and maps. For the detection of areas susceptible to environmental degradation took into account the behavior of the emissivity of the savanna that showed seasonal coinciding with the rainy season, reaching a maximum emissivity in the months April to July and in the remaining months of a low emissivity . With the images of the albedo of December 2003 and 2004, it was verified the percentage increase, which allowed the generation of two distinct classes: areas with increased variation percentage of 1 to 11.6% and the percentage change in areas with less than 1 % albedo. It was then possible to generate the map of susceptibility to environmental degradation, with the intersection of the class of exposed soil with varying percentage of the albedo, resulting in classes susceptibility to environmental degradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

1 – Figura 1 – Satélite <i>LANDSAT 5</i>	46
2 – Figura 2 – Sensores do satélite <i>Terra</i>	47
3 – Figura 3 – Sensor MODIS	51
4 – Figura 4 – Representação da Geolocalização dos <i>Tiles</i>	54
5 – Figura 5 – Roteiro Metodológico.....	56

FOTOS

1 – Foto 1 – Xique-xique na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.....	18
2 – Foto 2 – Facheiro e Xique-xique na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.....	18
3 – Foto 3 – Capim Mimoso na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.....	19

GRÁFICOS

1 – Gráfico 1 – Gráfico Populacional dos Municípios Sub-bacia do Taperoá para ano 2000	21
2 – Gráfico 2 – Gráfico Populacional dos Municípios Sub-bacia do Taperoá para ano 2007	22
3 – Gráfico 3 – Representação (espaço-tempo) da emissividade do solo (vermelho) e vegetação (verde) na Bacia do Taperoá	64
4 – Gráfico 4 – Percentual de solo exposto com aumento de albedo registrado no período de dezembro de 2004	79
5 – Gráfico 5 – Percentual de áreas classificadas nas Imagens Landsat 5 para o período de dezembro de 2004	81
6 – Gráfico 6 – Percentual das áreas classificadas no mapa síntese	85

MAPAS

1 – Mapa 1 – Localização da Sub-bacia do Rio Taperoá.....	16
2 – Mapa 2 – Mapa de Localização de Pesquisa e Exploração Mineral na Sub-bacia do Taperoá.....	29
3 – Mapa 3 – Representação da Emissividade de janeiro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	65
4 – Mapa 4 – Representação da Emissividade de fevereiro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	66
5 – Mapa 5 – Representação da Emissividade de março da Sub-bacia do Taperoá de 2006	67
6 – Mapa 6 – Representação da Emissividade de abril da Sub-bacia do Taperoá de 2006	68
7 – Mapa 7 – Representação da Emissividade de maio da Sub-bacia do Taperoá de 2006	69
8 – Mapa 8 – Representação da Emissividade de junho da Sub-bacia do Taperoá de 2006	70
9 – Mapa 9 – Representação da Emissividade de julho da Sub-bacia do Taperoá de 2006	71
10– Mapa 10 – Representação da Emissividade de agosto da Sub-bacia do Taperoá de 2006	72
11 – Mapa 11 – Representação da Emissividade de setembro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	73
12 – Mapa 12 – Representação da Emissividade de outubro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	74
13 – Mapa 13 – Representação da Emissividade de novembro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	75
14 – Mapa 14 – Representação da Emissividade de dezembro da Sub-bacia do Taperoá de 2006	76
15 – Mapa 15 – Aumento do Albedo entre os meses de dezembro de 2003 e 2004....	80
16 – Mapa 16 – Mapa de Cobertura Vegetal para o período de Dezembro de 2004....	82
17 – Mapa 17 – Carta Imagem do Satélite Landsat 5 para o período de Dezembro de 2004	83
18 – Mapa 18 – Mapa de detecção de áreas degradadas	84

QUADROS

1 – Quadro 1 – População dos Municípios integrantes da Sub-bacia do Taperoá	21
2 – Quadro 2 – Quantidade de Substâncias em pesquisa para a Exploração Mineral na Sub-bacia do Tperoá.....	25
3 – Quadro 3 – Características do SPRING	44
4 – Quadro 4 – Bandas espectrais do sensor TM	46
5 – Quadro 5 – Especificações gerais do sensor MODIS.....	48
6 – Quadro 6 – Especificações e aplicações das bandas espectrais do sensor MODIS	50
7 – Quadro 7 – lista de produtos gerados pelo sensor MODIS	52
8 – Quadro 8 – Representação esquemática simplificada da metodologia de pesquisa.....	58
9 – Quadro 9 – Procedimentos técnicos de geração da carta de espacialização da emissividade na área de estudo.....	59
10 – Quadro 10 – Procedimentos técnicos de geração de cara de áreas suscetíveis ao processo de desertificação	61

TABELAS

1 – Tabela 1 – Satélites da série Landsat.....	45
2 – Tabela 2 – Coeficientes de conversão utilizados na combinação linear para estimativa de Albedo.....	62
3 – Tabela 3 – Análise estatística das 57 amostras da classificação supervisionada do mapa de cobertura vegetal.....	62

LISTA DE SIGLAS

EOS – Sistema de Observação da Terra

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MAXVER – Método de Classificação por pixel por Máxima Verossimilhança

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

SIG / GIS – Sistemas de Informações Geográficas

SPRING – Sistemas de Processamento de Informações Georeferenciadas

NIR – Banda do Infravermelho Próximo (Near Infra Red);

RED – Banda na faixa espectral do vermelho.

ϵ – Emissividade de um corpo ou superfície

NDVI – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

TM – Sensor *Thematic Mapper* do satélite *Landsat*

HDF – *Hierarchy Data Format* – Formato de dados hierárquico

MRT – *Modis Reprojection Tools*

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	15
2.2 CLIMA.....	15
2.3 HIDROGRAFIA.....	17
2.4 VEGETAÇÃO	17
2.5 PEDOLOGIA.....	19
2.6 GEOMORFOLOGIA	20
2.7 ASPECTOS POPULACIONAIS E USO DO SOLO	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 MATERIAIS	37
4.1.1 Parâmetros físicos Analisados	39
4.1.2 Sistemas de Informações Geográficas	41
4.1.2.1 Estrutura e formatos de dados utilizados	42
4.1.2.2 Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING	43

4.2 SENSORIAMENTO REMOTO	44
4.2.1 Plataforma <i>Landsat 5</i> : sensor <i>Thematic Mapper</i>	45
4.2.2 Plataforma <i>Terra</i> : Sensor <i>MODIS</i>	46
4.3 MÉTODO	55
4.4 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	59
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6.1 CONCLUSÕES.....	87
6.2 RECOMENDAÇÕES	88
REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

O Meio Ambiente começa a dar respostas às grandes transformações decorrentes da exploração dos recursos naturais, sendo de grande importância detectar formas de degradação ambiental. Para atuar com novas perspectivas de aplicação é imprescindível utilizar ferramentas modernas de análises, para tanto, os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto tornam-se necessários. Atualmente estes dois ramos começaram a se integrar, colaborando muito para se desenvolver metodologias de modelagem de dados e processamento de imagens de satélites. Esta pesquisa se propõe a fazer o uso das mesmas, na aplicação de uma ferramenta desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING, de domínio público, com o objetivo principal de elaboração de um mapa síntese de detecção de áreas em estado de degradação ambiental na Sub-bacia do Rio Taperoá, área localizada no sertão central do Estado da Paraíba. E como objetivo específico a pesquisa visa formar um banco de dados multifinalitário para aplicações ambientais, levando em consideração parâmetros físicos da interação solo/atmosfera e cobertura vegetal para visualizar áreas suscetíveis a degradação ambiental na Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá para a elaboração de um diagnóstico ambiental.

Nesta área avaliou-se o comportamento da vegetação de caatinga com base no parâmetro físico de emissividade, utilizando as imagens do satélite Terra com o sensor MODIS para o período de 2006 e imagens do Satélite Landsat 5 para fazer o mapeamento da cobertura vegetal. Trabalhou-se uma metodologia de detecção da degradação ambiental utilizando dados fornecidos gratuitamente.

A detecção de mudanças nas paisagens a partir do uso do Geoprocessamento e Sensoriamento remoto permite uma melhor vigilância sobre o estágio atual de degradação na Caatinga, possibilitando ainda fornecer material de suporte para a definição de estratégias de planejamento ambiental no uso mais adequado dos recursos naturais.

De acordo com o trabalho realizado pelo grupo de Trabalho Interministerial para a Redelimitação do Semi-árido Nordeste e do Polígono das Secas, realizado pela Agência de Desenvolvimento do Nordeste (BRASIL, 2004, p.52),

Geoambientalmente além das vulnerabilidades climáticas do Semi-árido, grande parte dos solos encontra-se degradada. Os recursos hídricos caminham para a insuficiência ou apresentam níveis elevados de poluição. A flora e a fauna vêm sofrendo a ação predatória do homem. E os frágeis ecossistemas regionais não estão sendo protegidos, ameaçando a sobrevivência de muitas espécies vegetais e animais e criando riscos à ocupação humana, inclusive associados a processos, em curso, de desertificação.

Nesse contexto, se torna de grande relevância estudos dessa natureza, visando uma melhor compreensão da dinâmica ambiental em escala regional, uma vez que as informações podem ser adquiridas gratuitamente.

Com as informações inseridas no banco de dados pretendeu-se, na pesquisa, priorizar a criação de uma metodologia de detecção de áreas em processo de degradação ambiental, que levam a aceleração do processo de desertificação na referida área de estudo.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá está situada na parte central do Estado da Paraíba, na região do Cariri, e se localiza entre as coordenadas geográficas 6° 51' 31" e 7° 34' 21" de latitude sul e 36° 0' 55" e 37° 13' 9" de longitude oeste (Mapa 1).

2.2 CLIMA

Segundo o método de Köeppen (1948), numa região semi-árida quente, devido as médias pluviométricas baixas (<400 mm.ano⁻¹) e temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C. Nesta região, observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre em um período aproximado de dois a quatro meses (janeiro a abril), correspondendo a 65% da pluviosidade anual. Quanto à temperatura, a média anual é de 24 °C, com um máximo em novembro/dezembro (28 °C) e um mínimo em julho/agosto (21 °C) (SOUZA et al., 2004, p.292-298). Trata-se de uma região classificada como semi-árida com chuvas pouco abundantes.

2.3 HIDROGRAFIA

O Taperoá, principal rio da bacia, de regime intermitente, nasce na Serra do Teixeira e desemboca no Rio Paraíba, no açude Boqueirão. A bacia do Rio Taperoá drena uma área de 5.667,49 km² e seu perímetro é de 435,75 km. Na bacia hidrográfica do Rio Taperoá não existem projetos de irrigação significativos. A água dos açudes é usada principalmente para o abastecimento da população, enquanto as águas subterrâneas são pouco abundantes, ocorrendo de modo esparsa em pequenas falhas no substrato cristalino ou no leito de rios e riachos possuindo, em geral, alto teor de salinidade (SOUZA *et al.*, 2004, p.292-298).

2.4 VEGETAÇÃO

A vegetação é praticamente formada pela caatinga, tipo regional de savana estépica, a formação natural predominante apresentando-se, às vezes, baixa e densa, outras vezes baixa e esparsa (SOUZA, 1999).

As áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são, em geral, ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão, milho e feijão. Essas culturas representam pequenas áreas espalhadas pela bacia que não são detectadas pelo sensor TM do satélite Landsat 5. O estrato arbustivo é caducifoliado e espinhoso. Em geral é baixo e representado por diversas espécies xerófitas, tal como jurema (*Mimosa tenuiflora*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), dentre outras. As cactáceas são representadas pelo xiquexique (*Cereus Gounellei* K. Schum.), mandacaru (*Cereus jamacaru*) e coroa de frade (*Melocactus violaceus* Pfeiff.), facheiro (*Pilosocereus pachycladus*). O pasto nativo é formado pelo capim mimoso (*Anthephora hermaphrodita*) que recobre o solo durante o inverno e desaparece no

verão em conjunto com alguns arbustos e ramas forrageiras (SOUZA et al., 2004, p.292-298, SILVA et al., 2003). Dentre essas espécies mais encontradas são o Mandacaru, Facheiro e Capim Mimoso conforme pode ser visto nas fotos 1 a 3 a seguir.



Foto 1 – Xique-xique na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.
Fonte: Pesquisa do autor



Foto 2 – Facheiro e Xique-xique na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.
Fonte: Pesquisa do autor



Foto 3 – Capim Mimoso na Sub-bacia do Taperoá, setembro de 2008.
Fonte: Pesquisa do autor

2.5 PEDOLOGIA

Os solos são predominantemente os luvisolos crômicos (bruno não cálcicos), que apresentam as seguintes características: Solos minerais, não hidromórficos, imperfeitamente drenados e com alta suscetibilidade a erosão de caráter abrupto e quanto ao seu horizonte estrutural AB encontra-se a transição de cores claras ou mesmo abrupta; e os Neossolos (litólicos) possuem uma profundidade limitada sendo altamente suscetíveis a erodibilidade, não permitindo a infiltração da água e de ocorrência em locais declivosos (PRADO, 2007).

2.6 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da área de estudo apresenta-se sobre um terreno de ondulado a fortemente ondulado e montanhoso com variações hipsométricas atingindo altitudes com cota de 600 m nas escarpas orientais do Planalto da Borborema. Os inselbergs são comuns na paisagem da sub-bacia, assim como pequenas serras com formas convexas e côncavas.

2.7 ASPECTOS POPULACIONAIS E USO DO SOLO

Ao todo 21 municípios integram significativamente a sub-bacia do rio taperoá, de acordo com o quadro a seguir. A população que está inserida na Sub-bacia do Rio Taperoá cresceu de 150.465 habitantes no ano 2000 para 159.333 em 2007, com um crescimento de cerca de pouco mais de 8.500 habitantes, sendo uma área com um crescimento populacional estável. O quadro 1 permite visualizar a população dos municípios, assim como os gráficos 1 e 2.

Município	População Censo 2000	(%)	Contagem 2007	(%)
Assunção	2960	2	3336	2
Boa Vista	4983	3	5673	4
Cabaceiras	4290	3	4907	3
Cacimbas	6979	5	6787	4
Desterro	7701	5	7929	5
Gurjão	2789	2	2985	2
Juazeirinho	14873	10	15899	10
Junco do Seridó	5968	4	6486	4
Livramento	7605	5	7105	4
Olivedos	3194	2	3489	2
Parari	1437	1	1245	1
Pocinhos	14880	10	15956	10
Santo André	2800	2	2641	2
São João do Cariri	4703	3	4438	3
São José dos Cordeiros	4136	3	3973	2
Seridó	9106	6	9737	6
Serra Branca	12275	8	12413	8
Soledade	12061	8	13128	8
Taperoá	13299	9	14715	9
Teixeira	11953	8	13685	9
Tenório	2473	2	2806	2
Total	150465	100	159333	100

Quadro 1 – População dos Municípios integrantes da Sub-bacia do Taperoá

Fonte: IBGE, 2007

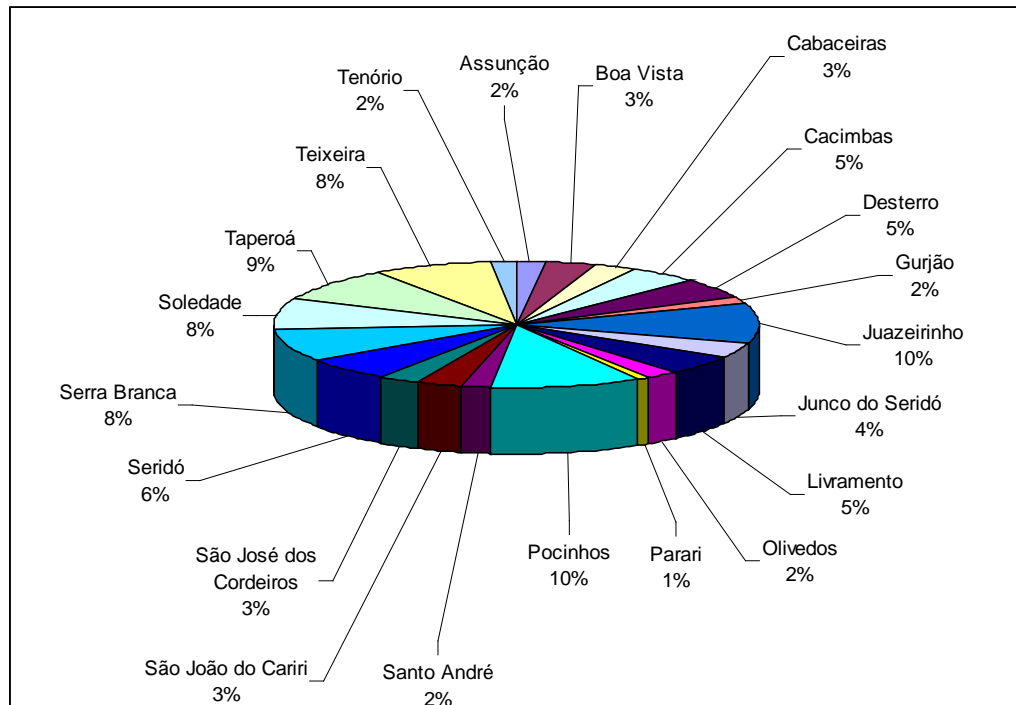


Gráfico 1 - Gráfico Populacional dos Municípios Sub-bacia do Taperoá para ano 2000

Fonte: IBGE, 2000.

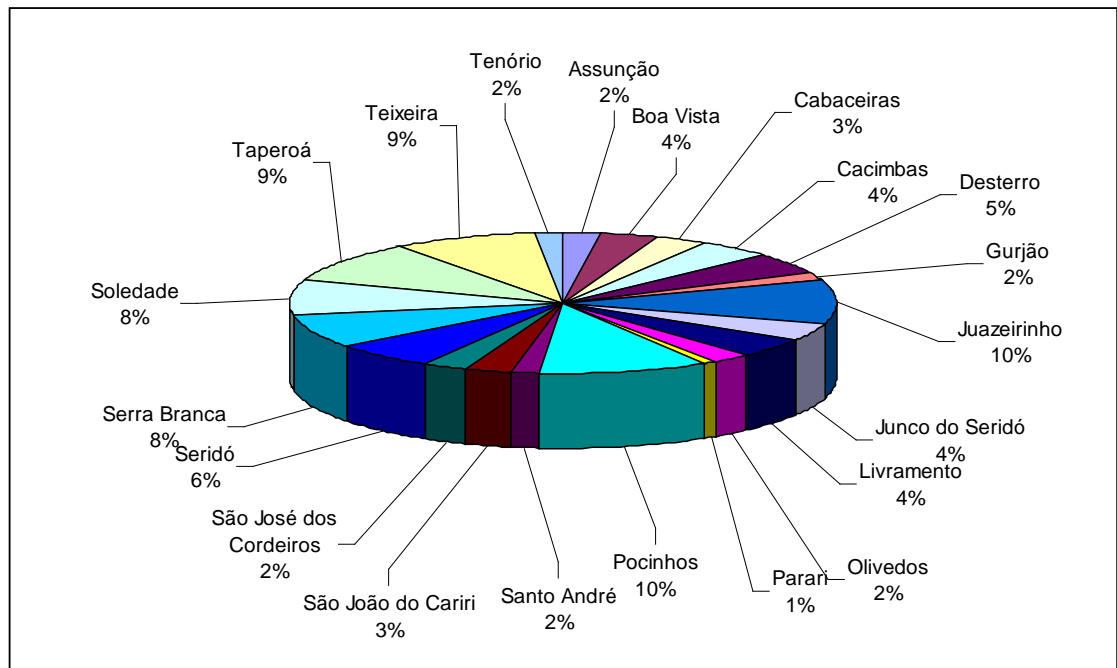


Gráfico 2 - Gráfico Populacional dos Municípios Sub-bacia do Taperoá para ano 2007
Fonte: IBGE, 2007.

A principal economia da área de pesquisa baseia-se na criação de gado bovino extensiva, caprinocultura, ovinocultura, extração de cobertura vegetal e a mineração.

Além da extração da cobertura vegetal para pastagem, a retirada da vegetação também serve para o comércio de lenha, sendo muito utilizada em fornos da indústria ceramista, essa situação é comum dentro da Sub-bacia e com o solo desprotegido o processo de degradação se torna mais acelerado.

No Município de Boa Vista, situado na porção sudeste da Sub-bacia pode-se constatar a presença de tais atividades, com destaque para a mineração com a extração da Betonita.

Duas empresas exploram o município, a Mineradora Betonisa e a Betonit. Ambas pertencentes ao grupo empresarial familiar dos "Almeida". As fotografias de número 4 a 6 mostram a exploração e produção da Betonit e áreas de pastagens de difícil recuperação de vegetação e solo.



Foto 4 – Área de lavra para extração da Betonita no município de Boa Vista/PB na Sub-bacia do Tperoá, setembro de 2008.

Fonte: Pesquisa do autor.



Foto 5 – Estocagem do minério de betotnita da empresa BETONIT Mineração no município de Boa Vista, setembro de 2008.

Fonte: Pesquisa do autor.



Foto 6 – área de pastagem no Município de Boa Vista e grande área de solo exposto, setembro de 2008.

Fonte: Pesquisa do autor

A Sub-bacia do Taperoá conta, atualmente com 139 áreas requeridas por pessoas físicas ou jurídicas ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), perfazendo o total de 81.102 hectares de áreas a serem exploradas. O quadro a seguir mostra as empresas e suas respectivas áreas e substâncias.

Quantidade de Áreas	AREA (Ha)	EMPREENDEDOR	SUBSTÂNCIAS PARA PESQUISA E/OU EXPLORAÇÃO
1	10	MIBRASA - MINÉRIOS BRASILEIROS LTDA.	AREIA
2	48	RILDO CAVALCANTI FERNANDES JUNIOR ME	AREIA
3	50	Alexandre Caroca Borborema Alves	AREIA
4	50	JOSÉ CICERO BATISTA FILHO	AREIA
5	50	CARLOS ANTONIO VILAR CAMPOS	ARGILA
6	487	JOSE BEZERRA DE ARAUJO IRMAO	ARGILA
7	800	JOSÉ MARCOS PAULINO ARAÚJO	ARGILA
8	202	Elizabeth Produtos Cerâmicos Ltda	ARGILA REFRATÁRIA
9	646	Elizabeth Produtos Cerâmicos Ltda	ARGILA REFRATÁRIA
10	37	EMPRESA DE MINERAÇÃO BRAVO LTDA	BENTONITA
11	9	EMPRESA DE MINERAÇÃO BRAVO LTDA	BENTONITA
12	50	EMPRESA DE MINERAÇÃO BRAVO LTDA	BENTONITA
13	60	GISEUDA CIRNE DE ALMEIDA	BENTONITA
14	305	PETER FICKER	BENTONITA
15	13	BENTONIT UNIÃO NORDESTE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.	BENTONITA
16	70	BENTONIT UNIÃO NORDESTE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.	BENTONITA
17	907	SOLEMINAS - INDUSTRIA E COMÉRCIO DE MINERAIS LTDA	BENTONITA
18	539	DRESCON MINERAÇÃO LTDA	CALCITA
19	75	JOÃO ARRUDA CONSTRUÇÃO E MINERAÇÃO LTDA	CALCÁRIO
20	110	MIBRA MINERIOS LTDA	CALCÁRIO
21	255	MIBRA MINERIOS LTDA	CALCÁRIO
22	389	NORMIL- NORDESTE MINÉRIOS LTDA.	CALCÁRIO
23	613	NORMIL- NORDESTE MINÉRIOS LTDA.	CALCÁRIO
24	61	MIBRASA - MINÉRIOS BRASILEIROS LTDA.	CALCÁRIO
25	654	MIBRASA - MINÉRIOS BRASILEIROS LTDA.	CALCÁRIO
26	146	MIBRASA - MINÉRIOS BRASILEIROS LTDA.	CALCÁRIO
27	851	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
28	951	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
29	914	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
30	772	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
31	1000	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
32	1000	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
33	1000	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
34	1000	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
35	1000	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A.	CALCÁRIO
36	963	MIBRASA - MINÉRIOS BRASILEIROS LTDA.	CALCÁRIO
37	355	JOSÉ FERNANDES NETO	CALCÁRIO CALCÍTIPO
38	200	NILSON PEREIRA DA COSTA	CALCÁRIO CALCÍTIPO
39	188	PESQUISA SA INDUSTRIA E COMÉRCIO DE MINERIOS	CASSITERITA

40	1501	Sidney Diniz de Almeida	CASSITERITA
41	90	LAVRAS SANTO AMARO LTDA	CAULIM
42	48	JOSÉ VALMOR PACHER	CAULIM
43	543	JOSÉ GENOU BARROS	CAULIM
44	50	CAULINA MINÉRIOS LTDA	CAULIM
45	175	MINERAÇÃO LOGHI LTDA	CAULIM
46	32	TASSO ROBERTO DE ARAÚJO NÓBREGA	CAULIM
47	905	MINERAÇÃO LOGHI LTDA	CAULIM
48	47	TASSO ROBERTO DE ARAÚJO NÓBREGA	CAULIM
49	146	CASA GRANDE MINERAÇÃO LTDA	CAULIM
50	162	MINERAÇÃO SANTO ONOFRE LTDA	CAULIM
51	464	VICENTE DE PAULA LUCENA DE OLIVEIRA	DIORITO
52	536	VICENTE DE PAULA LUCENA DE OLIVEIRA	DIORITO
53	100	MINÉRIOS DO NORDESTE SA INDUSTRIA E COMÉRCIO MINORTE	ESTANHO
54	22	JOSÉ VALMOR PACHER	FELDSPATO
55	20	JOSÉ VALMOR PACHER	FELDSPATO
56	50	MINERAÇÃO DE GRANITOS DO BRASIL LTDA	FELDSPATO
57	50	Cecrisa S/A Pisos e Azulejos	FELDSPATO
58	50	Cecrisa S/A Pisos e Azulejos	FELDSPATO
59	50	KLACE S/A - PISOS E AZULEJOS	FELDSPATO
60	50	Klace S/A Pisos e Azulejos	FELDSPATO
61	50	Klace S/A Pisos e Azulejos	FELDSPATO
62	954	VICENTE DE PAULA LUCENA DE OLIVEIRA	GABRO
63	774	VICENTE DE PAULA LUCENA DE OLIVEIRA	GABRO
64	440	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GNAISSE
65	560	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GNAISSE
66	1000	MINÉRIOS DE BOM JARDIM S.A.	GRANITO
67	1000	DESMONTEC SERVIÇOS TÉCNICOS DE MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
68	500	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
69	50	PATRÍCIA CARVALHO GOMES - ME	GRANITO
70	800	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
71	50	ELEODORO ANTONIO IMPERIANO DA COSTA	GRANITO
72	1000	ALEMÃO EXPORTAÇÃO E MINERAÇÃO DE GRANITOS LTDA.	GRANITO
73	703	PEDREIRAS DO BRASIL S/A	GRANITO
74	856	MAX MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
75	795	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
76	700	JOÃO DE QUEIROZ MELO	GRANITO
77	238	CAULINO MINÉRIOS LTDA	GRANITO
78	225	AMARAL MINERAÇÃO LTDA	GRANITO
79	1000	MARINÉSIO PINHEIRO DE LIMA	GRANITO
80	460	MINERAÇÃO BOA VISTA LTDA	GRANITO
81	133	MAX MINERAÇÃO LTDA	GRANITO ORNAMENTAL
82	692	GAMA MINERAÇÃO LTDA	GRANITO ORNAMENTAL
83	1000	ITA - ROCA ATLANTIS MINERAÇÃO LTDA	GRANODIORITO
84	400	BGC-BRASIL GEM COMMERCE LTDA	MINÉRIO DE BERÍLIO
85	719	MINÉRIOS E METAIS DO NORDESTE LTDA.	MINÉRIO DE ESTANHO

86	743	MINÉRIOS E METAIS DO NORDESTE LTDA.	MINÉRIO DE ESTANHO
87	899	MINÉRIOS E METAIS DO NORDESTE LTDA.	MINÉRIO DE ESTANHO
88	247	DOLOMIL INDUSTRIAL LTDA	MINÉRIO DE FERRO
89	1182	MHAG SERVIÇOS E MINERAÇÃO S.A.	MINÉRIO DE FERRO
90	2000	Rogério Antônio	MINÉRIO DE OURO
91	2000	SHAMROCK MINERALS DO BRASIL LTDA.	MINÉRIO DE OURO
92	1998	SHAMROCK MINERALS DO BRASIL LTDA.	MINÉRIO DE OURO
93	1499	Rogério Antônio	MINÉRIO DE OURO
94	46	GILVAN DA SILVA FREIRE	MINÉRIO DE TÂNTALO
95	300	Sidney Diniz de Almeida	MINÉRIO DE TÂNTALO
96	73	EDILSON AZEVEDO GAMBARRA DA NOBREGA	MINÉRIO DE TÂNTALO
97	11	EDILSON AZEVEDO GAMBARRA DA NOBREGA	MINÉRIO DE TÂNTALO
98	787	DEMÓCRITO MACHADO	MINÉRIO DE TÂNTALO
99	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
100	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
101	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
102	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
103	1559	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
104	1979	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
105	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
106	1382	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
107	1879	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
108	1939	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
109	48	ROBERTO SEBASTIÃO DA SILVA	MINÉRIO DE TÂNTALO
110	1593	PAULO DA SILVA FREIRE	MINÉRIO DE TÂNTALO
111	2000	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
112	1287	HENRIQUE JORGE DE OLIVEIRA PINHO	MINÉRIO DE TÂNTALO
113	7	GILVAN DA SILVA FREIRE	MINÉRIO DE TÂNTALO
114	33	GILVAN DA SILVA FREIRE	MINÉRIO DE TÂNTALO
115	50	ANTONIO CARLOS FERNANDES VIEIRA	QUARTZO

116	11	DAVID GERALDO VENTURA	QUARTZO
117	973	JOSÉ NILSON CRISPIM	SIENITO
118	1000	JOSÉ NILSON CRISPIM	SIENITO INDUSTRIAL
119	973	JOSÉ NILSON CRISPIM	SIENITO INDUSTRIAL
120	49	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
121	50	ANTENOR ROCHA PINTO	TANTALITA
122	343	LAUDIMIRO MORAES FILHO	TANTALITA
123	688	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
124	33	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
125	28	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
126	8	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
127	56	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
128	33	ELIAS RIZCALLAH JABBOUR	TANTALITA
129	50	HELENO CIPRIANO	TURMALINA
130	49	HELENO CIPRIANO	TURMALINA
131	918	ANTENOR ROCHA PINTO	TURMALINA
132	725	DAVID GERALDO VENTURA	TURMALINA
133	112	CRISOSTOMO GERALDO LEITE ALENCAR NETO	TURMALINA
134	100	DAVID GERALDO VENTURA	TURMALINA
135	46	Sidney Diniz de Almeida	TURMALINA
136	1000	JOÃO BATISTA DE MEDEIROS	TÂNTALO
137	425	LOURIVAL COSTA TAVARES	VERMICULITA
138	630	LOURIVAL COSTA TAVARES	VERMICULITA
139	240	DOUGLAS DOMINGOS PEDROSA DE MENDONÇA	ÁGUA MARINHA
Total	81.102 hectares		

Quadro 2 – Quantidade de Substâncias em pesquisa para a Exploração Mineral na Sub-bacia do Tperoá.

Fonte: DNPM/ SIGMINE, 2008.

Vale ressaltar que a atividade mineradora tende a exercer uma relevante aceleração no processo de degradação ambiental, se não houver práticas de recuperação e controle ambiental após a exploração mineral em concordância com a legislação ambiental. Portanto as áreas visualizadas no mapa 2 a seguir serão consideradas como favoráveis a degradação ambiental e classificadas como de Alta suscetibilidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

O método de investigação do fenômeno é fundamentado na Teoria Geral dos Sistemas. Como metodologia de trabalho utilizaremos a proposta do Professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro de tratamento Geossistêmico do roteiro metodológico proposto no estudo técnico de avaliação da Qualidade Ambiental da Bahia, adaptada para análises de degradação ambiental.

A fundamentação teórica-metodológica, para esta pesquisa, baseia-se na Teoria Geral dos Sistemas. Inicialmente a teoria a foi formulada pelo biólogo Ludwing Von Bertalanfy nos Estados Unidos a partir de 1932. Em suas pesquisas o biólogo propôs uma análise organísmica. Essa análise deveria levar em conta a organização de elementos e suas relações uns com os outros, pois em sua época as perspectivas mecanicistas e vitalistas não proporcionavam a biologia e a física uma visão holística para explicar os processos de um sistema. (BERTALLANFY, 1977).

Bertalanfy (1977, p.126) se preocupava com a forma mecanicista abordada pela biologia da década de 1930, no qual os procedimentos consistiam

[...] essencialmente em resolver o organismo vivo em partes e processos parciais. O organismo era um agregado de células, a célula um conjunto de colóides e moléculas orgânicas, o comportamento uma soma de uma soma de reflexos incondicionados e condicionados e assim por diante.

Dessa forma a organização das partes, sua harmonia e regulação eram deixados de lado nas análises. Ou seja, não se concebia que os organismos eram um complexo organizado e que sua organização deveria ser estudada para se compreender o todo. A visão organísmica que nasceu dentro da biologia moderna proporcionou um novo caminho para outras ciências.

Hall e Fagen (1956) *apud* Christofolleti (1978, p.2) definem sistemas como “o conjunto de elementos e das relações entre eles e entre os seus atributos”.

A definição de sistemas de acordo com Thornes e Brundsen (1977) *apud* Christofolleti (1978, p.3) levam em consideração os processos, sendo “um conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”.

Miller (1965) *apud* Christofolleti (1978, p.3) conceitua sistema como

um conjunto de unidades com relações entre si. A palavra “conjunto” implica que as unidades possuem propriedades comuns. O estado de cada unidade é controlada, condicionada ou dependente do estado de outras unidades.

Essa abordagem foi absorvida e adaptada em várias outras disciplinas e na Geografia Física foi mais amplamente adotada como arcabouço metodológico de estudos dos sistemas no meio físico.

Sotchava (1962) *apud* Christofolleti (1999, p.42), o introdutor do termo Geossistema na literatura da Geografia soviética, se preocupou em aplicar de forma integrada elementos naturais do meio abiótico (Geografia Física) com o meio biótico (Ecologia), ampliando a visão sistêmica de conectividade da natureza com a sociedade. Deste modo ele percebeu que os Geossistemas são dinâmicos, flexíveis, abertos, hierarquizados e possuem sua evolução temporal, que está intimamente ligada a atuação antrópica.

Segundo Bertrand (1972) *apud* Christofolleti (1999, p.42) define Geossistemas como “situado numa determinada porção do espaço, sendo o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução”.

Na Ecodinâmica de Tricart suas unidades baseiam-se “no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica dos fluxos de energia/matéria no meio ambiente”. (TRICART, 1977, p.32)

Tricart (1977, p.32-33) salienta que através desse instrumento lógico, os sistemas, é possível identificar rapidamente as alterações indiretas desencadeadas por uma intervenção que afeta outro elemento do ecossistema, como por exemplo as intervenções sobre a cobertura vegetal, e que, ainda segundo o autor, repercute sobre:

- A energia da radiação que alcança o solo e, por sua vez, as temperaturas do solo, com efeitos sobre a respectiva flora e fauna, a mineralização dos húmus, a nitrificação, etc., ou seja a fertilidade deste solo;
- A queda de detritos vegetais na superfície do solo e, em consequência, a nutrição dos organismos redutores, a estrutura do solo e sua resistência à erosão pluvial, e, por conseguinte, o regime hídrico e a reciclagem dos elementos minerais pelas plantas;
- A interceptação das precipitações, ou seu tempo de concentração, e a energia de impacto de gotas, que determinam a possibilidade de erosão pluvial. Novamente chegamos assim ao regime hídrico;
- A proteção do solo contra as ações eólicas, capazes de intensas degradação de terras.

A vegetação é constituída como uma produtora primária e que serve de base para o ecossistema e é um fator limitante aos outros ecossistemas quando degradada. A partir da sua modificação podemos interferir direta e indiretamente na qualidade de vida da população, sobretudo nas populações que vivem no Nordeste Brasileiro.

Dessa forma o pensamento sistêmico está voltado para uma abordagem holística com o intuito de se compreender as organizações espaciais que funcionam

em diferentes unidades complexas e estão agindo em uma constante dinâmica de interações.

Essa visão de sistema proporciona ao pesquisador a percepção de que existem diferentes níveis de sistemas e que cada um deles representa sua complexidade, que também interagem com outros níveis de sistema.

Na Geografia física e nas Geociências, a Teoria Geral dos Sistemas se tornou o arcabouço teórico mais usual dada à preocupação com os processos e as respostas que a natureza tem dado ao atual estágio de interferência antrópica da sociedade.

Diante de um novo cenário de mudanças globais, as questões ambientais suscitam um olhar mais preciso e preocupado com as respostas que o meio ambiente tem dado diante das pressões antrópicas. As respostas precisam ser dadas em um espaço de tempo curto em função das pressões ao meio ambiente tomarem proporções nunca vistas na história do homem.

E para os Geógrafos as leis que regem os ambientes físicos passam a ter um entrelace maior com o homem e suas atividades, visto que a crise ambiental que a sociedade passa obriga ao pesquisador avaliar com maior detalhe e fazer maiores reflexões sobre os processos de degradação ambiental, sobretudo no semi-árido do Nordeste, por este ser um ambiente frágil e de difícil recuperação se degradado de forma voraz, deixando um grande contingente populacional a margem da sociedade. A reflexão maior estaria na definição dos sistemas que melhor expressariam a problemática e, ainda, como melhor seriam demonstrados em síntese.

Nesta pesquisa o processo de modelagem de dados é entendido como procedimento metodológico que envolve um conjunto de técnicas que tem por finalidade a detecção de áreas degradadas causadas pela ação antrópica. Desta

forma, de acordo com Christofolletti (1999, p. 19) “pretende-se compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem perante a complexidade aparente do mundo que o envolve”.

A degradação ambiental pode ser entendida dentro desse contexto como “a redução dos potenciais recursos renováveis por uma combinação de processos agindo sobre a terra” (GUERRA, 2005. p.19).

Tal diminuição de recursos pode ser explicada pelos processos naturais e/ou pela antropização. Este último pode agir como catalisador de processos de degradação ambiental.

De acordo com Guerra *et. al.* (2005, p.19) o fenômeno da desertificação é conceitualmente definido pela UNCDE (*United Nations Conference on Environmental and Development*) como “a degradação de terras em áreas áridas, semi-áridas e subúmidas e secas, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas”.

O critério para estabelecimento de áreas áridas, semi-áridas e subúmidas adotado pela Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura (UNESCO) considera duas variáveis climáticas: a aridez bioclimática e o regime de temperatura. A primeira variável é estabelecida pela relação entre a média de precipitação anual total e a evapotranspiração potencial e a segunda variável é necessária para o estudo do balanço de água e da energia dos sistemas (GUERRA *et. al.*,2005, p.17).

Essas variáveis são importantes para se ter a noção de aridez em determinadas regiões, mas o gerenciamento e uso dos recursos hídricos se tornam fundamentais para as atividades agrícolas e dependem de estudos mais

abrangentes para uma discussão que seja capaz de propor melhorias efetivas na qualidade de vida do sertanejo.

Entretanto deve ser levado ao conhecimento da sociedade o fato de que entre o solo e a atmosfera existe um espaço que troca grande quantidade de matéria e energia e neste espaço se mantém o balanço de entrada e saída de energia e a água. Lugar este de onde toda a cadeia de relações dos seres vivos se inserem de forma complexa, se adaptando as mais variadas condições no globo terrestre. E no semi-árido nordestino sabemos que os solos apresentam dificuldades de manejo e que existem técnicas adequadas para o seu uso, mas não há políticas massivas de gestão e assessoramento ao sertanejo que promova a “sustentabilidade”. Diante deste cenário a predação ambiental é comumente visualizada na paisagem do semi-árido Nordestino.

Nas zonas áridas e semi-áridas os ambientes são hostis aos organismos vivos e se constituem áreas sensíveis ao processo de desertificação, segundo Hare *et. al* (1992, p.35-36)

Existem cinco principais cinturas de deserto: (1) O deserto de Sonora do México norte-ocidental e a sua continuação até às bacias de deserto dos E.U.A. sul-ocidentais; (2) o deserto de Atacama, uma estreita faixa litoral a oeste dos Andes, desde o sul do Equador até o Chile central, onde os climas secos avançam para leste até à Patagônia; (3) uma vasta cintura desde o Oceano Atlântico até à China, incluindo o Sara, o deserto Árábico, os desertos do Irão e da U.R.S.S., o deserto de rajastão no Paquistão e na Índia, os desertos de Takla-Makan e de Gobi na China e na Mongólia; (4) o Kalaari e as suas adjacentes terras áridas na África do Sul; (5) a maior parte do continente da Austrália. Além destas principais regiões desérticas, aparecem áreas isoladas de terras áridas em muitas partes do mundo, tais como a península de Guajira na Colômbia, a parte sul ocidental de Madagascar e uma parte do Brasil Nordestino. No interior dessas cinturas de deserto, existem muitos contrastes

climáticos resultantes de diferenças de temperatura, da estação em que a chuva cai (se cair) e do grau de aridez.

A vegetação caatinga apresenta-se adaptada às condições climáticas do semi-árido Nordestino, mas havendo constantes alterações no balanço de energia e água pode haver comprometimento nas condições naturais de sobrevivência da vegetação, ocorrendo o agravamento no processo de desertificação mediante o manejo e estratégias inadequadas dos usos dos solos.

Os processos de degradação ambiental ocorrem de forma dinâmica e podem ser monitorados e avaliados mais precisamente por meio das Geotecnologias. A modelização no Geossistema entra nesse contexto como parte essencial para representar a integração de variáveis que contém atributos de interconexões ao meio natural.

A abordagem sistêmica torna-se imprescindível para o processo de modelagem de dados em Sistemas de Informações Geográficas aplicado ao Meio Ambiente, criando maneiras de se observar cientificamente e apontar, de forma, estratégica, as áreas que necessitem de maior observação de acordo com o seu uso específico.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os softwares de domínio público SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o *MRT (Modis Reprojection Tools)* software fornecido pela NASA para conversão do formato de dados HDF (Hierarchical Data Format) para outras projeções cartográficas em formato Geotiff.

Foram utilizados dados climatológicos do Experimento Cariri (município de São João do Cariri/PB), medidos na interação solo-vegetação-atmosfera, com instrumentos meteorológicos instalados em uma torre de 8 metros de altura, e concebido para realizar sobre períodos de 20 minutos, dados relevantes ao comportamento bioclimático da caatinga, e assim subsidiar no entendimento do comportamento da cobertura vegetal com dados de emissividade.

Essas informações obtidas por instrumentos e modelagem permitiram a calibração das imagens geradas, pelo satélite TERRA (Sensor MODIS), completando a espacialização da emissividade e do albedo.

Foi utilizado o produto NDVI do sensor MODIS gerado em 16 dias pelo produto MOD13Q1 – Índice de Vegetação com resolução espacial de 250 metros, para a avaliação referente aos meses do ano de 2006 com destaque para o mês de dezembro como o mais seco.

O produto MOD43B3– Albedo, com resolução espacial de 1 km, que também é gerado através de uma média de 16 dias de imageamento, foi escolhido durante os dias em que a data de 17 de dezembro de 2004 estivesse contida no período do imageamento. A imagem escolhida foi durante o período de 3 a 18 de

dezembro dos anos de 2003 e 2004, para que fosse possível mapear o percentual de aumento do albedo na área da bacia de um ano para o outro.

Para a conversão do formato HDF para Geotiff utilizou-se o software *Modis Reprojections Tools (MRT)*, produzido pela NASA e de domínio público.

Imagens do satélite Landsat 5 foram utilizadas com o objetivo de confeccionar um mapa de cobertura vegetal com as seguintes classes temáticas: Solo Exposto, Vegetação de Caatinga Esparsa, Vegetação de Caatinga Densa, Corpos d'água e Vegetação Ciliar. A data da imagem utilizada foi do dia 17 de dezembro de 2004, podendo ser adquirida sem nenhum custo via on-line pelo site de catálogo de imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. A composição das bandas para a classificação da imagem foi a RGB 543 que possibilitou uma melhor diferenciação das classes observadas.

O banco de dados geográficos foi elaborado a partir dos dados disponíveis da malha municipal do IBGE, conservando a projeção Policônica e o Datum SAD 69, organizados em Modelos Imagem, Cadastral, Temático. O modelo Numérico foi utilizado para a calibragem e geração de dados a partir das imagens de satélite e dos dados de experimento de campo.

Também foram inseridos no banco de dados a localização de áreas de exploração mineral dentro da Sub-bacia do Taperoá adquiridos no site do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM).

4.1.1 Parâmetros físicos Analisados

Os parâmetros físicos escolhidos para serem representados espacialmente foram: a Emissividade, o Albedo, a Temperatura do ar, Temperatura de superfície e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Pretende-se concluir com a espacialização do balanço da radiação na área de estudo.

A Emissividade de um corpo, de acordo com Vianello e Alves (2000, p.157), pode ser entendida como “a razão da emitância monocromática deste corpo e a correspondente emitância monocromática de um corpo negro, à mesma temperatura do corpo considerado.”

Fisicamente é uma razão entre a radiação emitida por um corpo específico em relação àquela emitida por um corpo negro. Um corpo negro é aquele que absorve toda a radiação incidente sobre si e, teoricamente, todo bom absorvedor também se torna um bom emissor (VIANELLO; ALVES, 2000. p.157).

No meio ambiente os mais variados corpos não absorvem toda a radiação e tendem a refletir também de forma variada uma parte da sua radiação absorvida a uma determinada temperatura. Então um corpo negro só existe em teoria e os valores sempre serão menores que o valor do corpo negro. Neste estudo visualizaremos a eficiência da emissividade da Caatinga na área de estudo, durante o período não chuvoso e chuvoso do ano de 2006.

Alguns trabalhos visando verificar a eficiência de uma superfície em emitir energia foram realizados no Brasil como o de Pacheco (1998) em que elaborou uma metodologia de determinação da emissividade em campo na faixa do infravermelho termal com aplicações na Geologia. Bastos e Alvalá (2000) estimaram a emissividade do território brasileiro, utilizando o sensor SSM/I (*Special Sensor Microwave/Imager*) e pelo satélite *TIROS*.

Foi utilizada a emissividade para analisar o comportamento da vegetação de caatinga na área de estudo e o albedo para detectar áreas em estado de degradação ambiental.

O albedo é definido como coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de ondas curtas (radiação solar) (VIANELLO; ALVES, 2000. p.191).

Accioli *et al.* (2000) avaliaram as mudanças do albedo no núcleo de desertificação do Seridó potiguar através de imagens *Landsat 5*.

Pereira *et al.* (2007) estimaram as alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa causadas por áreas queimadas também utilizando imagens do satélite *Landsat 5*.

As imagens do sensor *MODIS (Terra e Aqua)* também são utilizadas em diversos estudos de estimativa de albedo. Neste estudo foi utilizado dados deste sensor para estimar a diferença de albedo em dois períodos distintos para avaliação e detecção de áreas degradadas. Utilizaremos a proposta de Liang *et al.* (1999) para estimar o Albedo e para realizar o cruzamento de informação com o mapa de cobertura vegetal, gerando um mapa com as áreas de solo exposto que tiveram aumento de albedo como um indicativo de degradação ambiental, levando em consideração as áreas de exploração mineral.

Neste estudo utilizamos parâmetros físicos anteriormente citados para a implementá-los em uma carta síntese de detecção de áreas degradadas da Sub-bacia do Rio Taperoá para efetuar um cruzamento com a carta de cobertura vegetal.

4.1.2 Sistemas de Informações Geográficas

Conceitos sobre SIGs sempre correlacionam a tecnologia computacional com análises do espaço geográfico, sendo aprimorados na medida em que o avanço dos SIGs, nas análises, consegue explicar e representar os fenômenos concretos.

Para Silva (1999, p.27) os Sistemas de Informações Geográficas

são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística.

Os SIGs representam, hoje, uma boa ferramenta de convergência entre os domínios de conhecimentos nas ciências Humanas, Exatas, Biológicas e Tecnológicas, tornando-se imprescindível para o estudo da correlação dos fenômenos especializáveis resultante das interações ambientais. Essa convergência entre as ciências possibilitou um grande avanço no uso dos SIGs. A Ciência da Computação, o Gerenciamento das Informações, Cartografia, Geodésia, Fotogrametria, Topografia, Processamento Digital de Imagens e Geografia são as ciências que colaboram para o desenvolvimento do SIG's. Além delas o avanço das tecnologias também colaboram para tal desenvolvimento como o Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global – GPS, operações como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados e as análises estatísticas. (SILVA, 1999).

Os primeiros Sistemas de Informações Geográficas desenvolvidos surgiram com a necessidade de gerenciamento das instituições sobre os recursos naturais organizando uma grande quantidade de informações. Ao longo de mais de trinta anos de pesquisas científicas, os SIG's se desenvolvem amplamente, tanto os comerciais quanto os de domínio público, estes últimos estão sendo utilizados como forma de popularizar e disseminar a metodologia aplicada nesta pesquisa. Tal avanço ocorre, principalmente no desenvolvimento de três componentes importantes: o hardware, o software e um contexto organizacional apropriado contendo mão-de-obra especializada e um arcabouço teórico de conceitos-chave sobre o espaço. Estes componentes devem estar correlacionados para uma boa representação do fenômeno. (CALIJURI; RÖHM, 1995).

4.1.2.1 Estrutura e formatos de dados utilizados

A comunicação entre usuário e SIG depende da interface criada no *software*. O pesquisador deverá encontrar um ambiente que permita o controle de diversas ferramentas que o auxiliem na pesquisa, bem como a visualização dos resultados. Para tanto o sistema deve comportar uma ampla gama de formato de dados para importação, exportação, transformação e cruzamento para a geração de diversas cartas em inúmeras aplicações e em variadas escalas e projeções. A correlação de informações também é necessária para geração de cartas específicas e o cruzamento dessas informações consiste na integração de dados.

De acordo com Câmara *et. al.* (2004, p.1-15), a estrutura dos SIG's devem conter os seguintes elementos:

- Interface com o usuário;

- entrada e integração de dados;
- funções de processamento gráfico de imagens;
- visualização e plotagem;
- banco de dados geográficos.

Alguns SIG's, como o SPRING, tem a vantagem de incluir ferramentas de processamento de imagens digitais, o que facilita o desenvolvimento da pesquisa.

Os SIG's também devem possuir a capacidade de visualização final com a geração de um produto que é a carta contendo os elementos de representação cartográfica para uma impressão e/ou plotagem.

O sistema de gerenciamento de banco de dados geográfico deverá ter a robustez de comportar uma grande quantidade de informações. O SPRING permitiu a entrada de dados em diferentes formatos de raster e vetores, permitindo um bom desenvolvimento da pesquisa.

4.1.2.2 Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING

O Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) é um banco de dados geográfico de 2ª geração, desenvolvido pelo INPE para os ambientes UNIX, Linux e Windows. O SPRING é desenvolvido pelo INPE com o intuito de ser uma ferramenta para tomada de decisões. Suas principais características são descritas no Quadro 3 a seguir.

Características do SPRING
Operar como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suportar grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco.
Administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realizar a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG.
Prover um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra).
Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho de alto desempenho.

Quadro 3 – Características do SPRING

Fonte: INPE, 2004.

4.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Novo (1992), o sensoriamento remoto pode ser definido como o uso de sensores que têm a capacidade de adquirir informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com eles. Portanto podemos considerá-los como um conjunto de tecnologias capazes de captar e registrar energia refletida pelo objeto e ainda com a capacidade de converter esse sinal em um formato de dado possível de ser trabalhado em ambiente SIG.

O seu desenvolvimento está ligado ao avanço das técnicas empregadas na fotografia, aerofotogrametria, fotointerpretação e pesquisa espacial.

Os quatro elementos fundamentais do sensoriamento remoto podem ser identificados como: a **Fonte** de energia que pode ser natural (o Sol) ou artificial (sensores de microondas), o **Sensor** – o instrumento que registra e coleta as informações emitidas pelos objetos na superfície terrestre, ou seja, os variados

objetos são os Alvos e a **Radiação Eletromagnética (REM)** que é o elemento fundamental que se propaga na velocidade da luz e interage com o meio físico.

4.2.1 Plataforma *Landsat 5: sensor Thematic Mapper*

O desenvolvimento do programa **LANDSAT** foi organizado inicialmente pela *National Aeronautics and Space Administration-NASA* com a seguinte denominação *Earth Resources Technology Satellite (ERTS)*.

Este programa foi o pioneiro em observação dos recursos terrestres com o objetivo de adquirir imagens da superfície terrestre de forma global e periódica. O seu primeiro satélite da série foi lançado em 23 de julho de 1972 com o nome ERTS-1, mas em 14 de janeiro de 1975 o seu nome passou a ser chamado de *LANDSAT*. O tabela 1 abaixo mostra os satélites da série *LANDSAT* que foram lançados.

Tabela 01 - Satélites da série Landsat

SATÉLITE	LANÇAMENTO	SISTEMAS SENSORES
ERTS-1	23 / julho / 1972	MSS e RBV
LANDSAT-2	22 / janeiro / 1975	MSS e RBV
LANDSAT-3	05 / março / 1978	MSS e RBV
LANDSAT-4	16 / julho / 1982	MSS e TM
LANDSAT-5	01 / março / 1984	MSS e TM
LANDSAT-6	03 / outubro / 1993	ETM
LANDSAT-7	Abril / 1999	ETM e HRMSI

Fonte: INPE/SELPER, 1998.

Seu sensor Thematic Mapper (TM) foi construído com melhorias em relação ao sensor o MSS da série anterior. Caracteriza-se por possuir um sensor de varredura multiespectral mais refinado, distinguindo melhor os objetos da superfície terrestre, com resolução espacial de 30 metros na faixa do visível e infravermelho e 120 metros na faixa do infravermelho termal. Seu período de recobrimento mudou em relação a série anterior passando de 18 para 16 dias. Sua cena terrestre

permaneceu com 185 km. A seguir podemos ver na figura 1 o desenho do Satélite e no quadro 5 as bandas espectrais do sensor TM .



Figura 1 – Satélite *LANDSAT 5*

Fonte: INPE/SELPER, 1998.

BANDAS	FAIXA ESPECTRAL (μm)
1	0,45-0,52 (azul)
2	0,52-0,60 (verde)
3	0,63-0,69 (vermelho)
4	0,76-0,90 (infravermelho próximo)
5	1,55-1,75 (infravermelho médio)
6	10,40-12,50 (infravermelho termal)
7	2,08-2,35 (infravermelho médio)

Quadro 4 - Bandas espectrais do sensor TM

Fonte: NOVO, 1992.

4.2.2 Plataforma *Terra*: Sensor *MODIS*

O satélite *Terra* foi criado a partir de um programa internacional chamado de EOS (*Earth Observing System* – Sistema de Observação da Terra) liderado pela NASA como objetivo de observar de forma continuada as mudanças globais por um

longo período de tempo. Pelo menos cerca de 15 anos fornecendo dados através de diversos sensores a bordo do satélite *Terra*.

A equipe interdisciplinar de desenvolvimento do programa EOS estabeleceu três componentes principais para investigação das mudanças globais, são elas: a Ciência da Observação da Terra, Sistema de Observação (plataformas e Sensores) e o Sistema de Controle de Dados. Na concepção da Ciência da Observação da Terra os processos que provocam as mudanças do clima no planeta envolvem investigações sobre o ciclo da água, da energia, oceano, química da troposfera, as três camadas da estratosfera, interação dos ecossistemas, terra-água, geleiras e a antropização de ambientes no planeta. (SOARES et al, 2007)

O satélite Terra foi lançado em órbita terrestre o dia 18 de dezembro de 1999 com os seguintes sensores de bordo: CERES (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*), MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*), MISR (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*), ASTER (*Advanced Spcaeborne Thermal Emission and Refletion Radiometer*) e MOPITT (*Measurement of Polution in the Troposphere*).

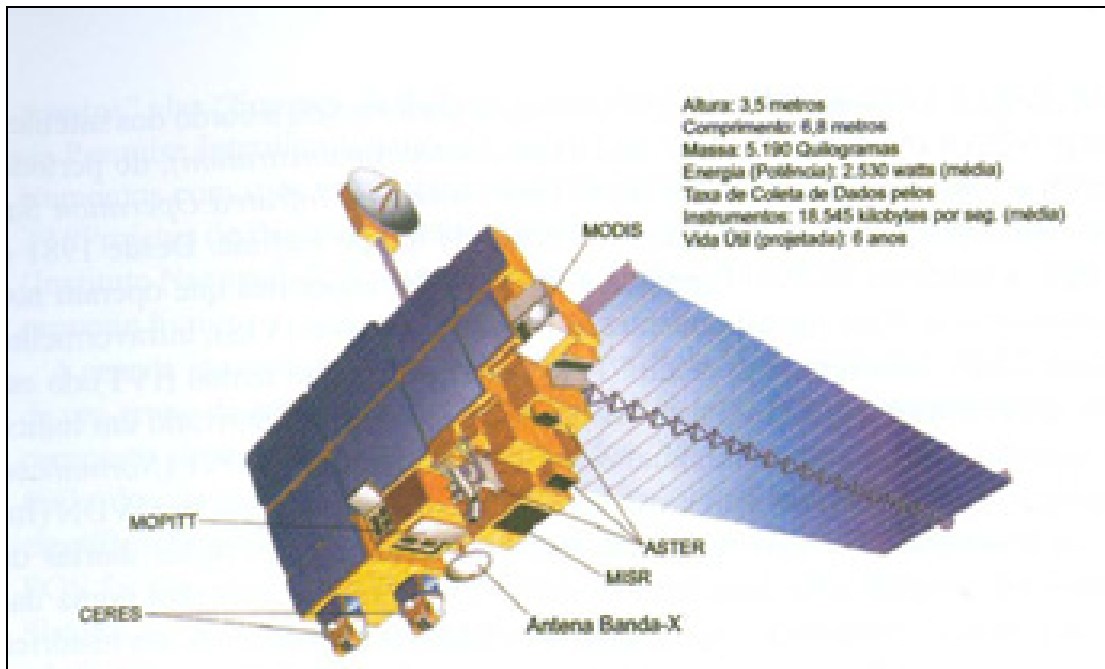


Figura 2 – Sensores do satélite *Terra*
Fonte: Rudorf *et al.*, 2007.

As imagens do sensor MODIS serão utilizadas nesta pesquisa, pois se trata do principal instrumento do satélite Terra, cujas informações geradas pelo instrumento é capaz de fazer observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera. A escolha deste sensor para a realização da pesquisa foi devido ao grau de informação previamente processado para utilização da comunidade acadêmica em diversas pesquisas. A interação de parâmetros físicos da atmosfera e superfície terrestre é uma das análises possíveis de ser feita com os dados deste sensor.

Devido ao seu alto grau de sensibilidade radiométrica (12 bits) com 36 bandas espectrais (entre o intervalo de faixas 0,4 a 14,4 μm) e o seu período de cobertura global de 2 dias com resoluções espaciais variando de 250m a 1 km atesta sua importância para a comunidade científica que procura entender os processos de mudanças globais por meio do Sensoriamento Remoto.

O sensor MODIS também foi integrado ao segundo satélite o *Aqua* em 4 de maio de 2002, o que demonstra a importância do programa de Observação da

Terra. No quadro 6 a seguir podemos ver algumas especificações técnicas do sensor.

Órbita	Altitude de 705 Km, cruzando o equador às 10:30 h em modo descendente (Terra) e às 13:30 h no modo ascendente (Aqua), heliossíncrona, quase polar, circular
Taxa de Varredura	20 rpm, ortogonal à órbita
Faixa imageada	2.330 km (ortogonal) por 10 km (direção de vôo no nadir)
Telescópio	17,78 cm de diâmetro, sem eixo único, focos separados, com planos de desvio intermediário.
Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Peso	228,7 kg
Potência	162,5 W (media orbital)
Taxa de dados	10,6 Mbps (pico); 6,1 Mbps (media orbital)
Quantização	12 bits
Resolução espacial	250 m (banda 1-2) 500 m (bandas 3-7) 1000 m (bandas 8-36)
Vida útil	6 Anos

Quadro 5 - Especificações gerais do sensor MODIS

Fonte: Rudolf *et al.*, 2007.

Seu conjunto de imagens (36 bandas espectrais) foi ordenado em função do comprimento de onda no intervalo de 0,4 a 14,4 μm , obedecendo a seguinte organização: feições das propriedades das nuvens; dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre; e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo.

O próximo quadro 6 e figura 3 mostram as aplicações do sensor MODIS por conjunto de bandas espectrais e o sensor MODIS.

Uso Principal	Banda	Largura da Banda	Radiância espectral
Terra/Nuvens/Aerossóis Limite	1	620 – 670	21,8
	2	841 – 876	24,7
Terra/Nuvens/ Aerossóis Propriedades	3	459 – 479	35,3
	4	545 – 565	29,0
	5	1230 – 1250	5,4
	6	1628 – 1652	7,3
	7	2105 – 2155	1,0
Cor do oceano/ Fitoplancton/ Biogeoquímica	8	405 – 420	44,9
	9	438 – 448	41,9
	10	483 – 493	32,1
	11	483 – 493	27,9
	12	546 – 556	21,0
	13	662 – 672	9,5
	14	673 – 683	8,7
	15	743 – 753	10,2
Vapor d'água atmosférico	16	862 – 877	6,2
	17	890 – 920	10,0
	18	931 – 940	3,6
Temperatura de Superfície/nuvens	19	915 – 965	15,0
	20	3,660 – 3,840	0,45 (300K)
	21	3,929 – 3,989	2,38 (335K)
	22	3,929 – 3,989	0,67 (300K)
Temperatura Atmosférica	23	4,020 – 4,080	0,79 (300K)
	24	4,433 – 4,498	0,17 (250K)
Vapor d'água de nuvens Cirrus	25	4,482 – 4,549	0,59 (275K)
	26	1,360 – 1,390	6,00
	27	6,535 – 6,895	1,16 (240K)
Propriedades de Nuvens	28	7,175 – 7,475	2,18 (250K)
Ozônio	29	8,400 – 8,700	9,58 (300K)
Temperatura de superfície/nuvens	30	9,580 – 9,880	3,69 (250K)
	31	10,780 – 11,280	9,55 (300K)
Altitude de topo de nuvens	32	11,770 – 12,270	8,94 (300K)
	33	13,185 – 13,485	4,52 (260K)
	34	13,485 – 13,785	3,76 (250K)
	35	13,785 – 14,085	3,11 (240K)
	36	14,085 – 14,385	2,08 (220K)

Quadro 6 – Especificações e aplicações das bandas espectrais do sensor modis

Fonte: Rudolf *et al.*, 2007.

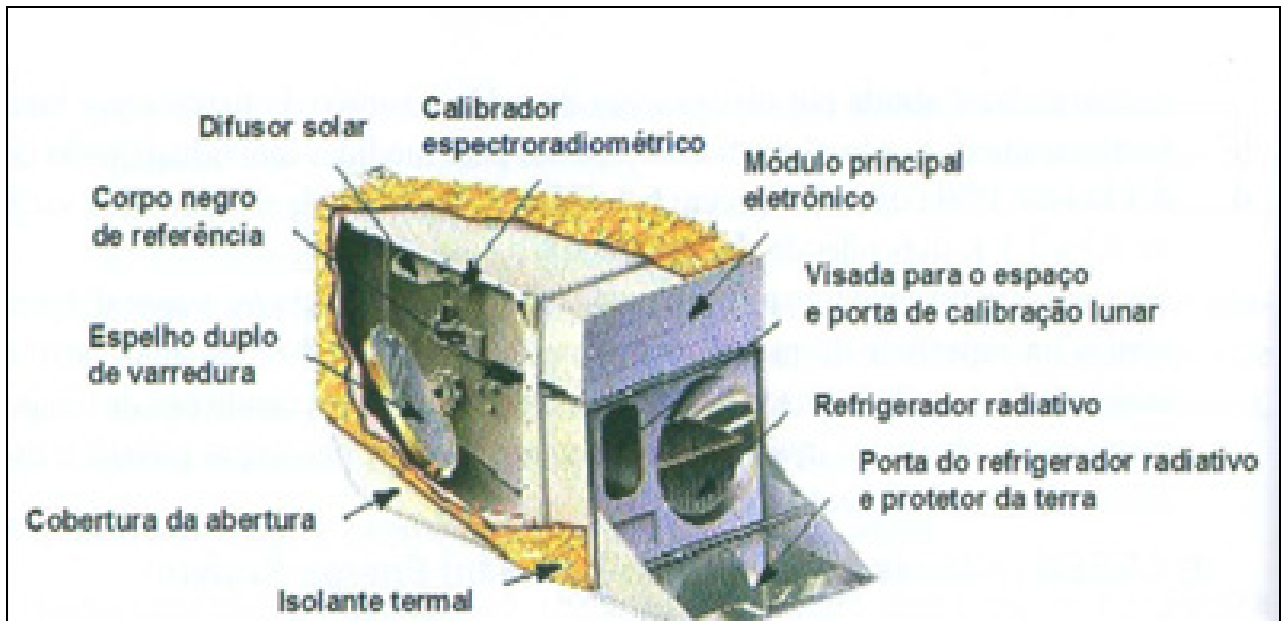


Figura 3 – Sensor MODIS
Fonte: Rudolf *et al.*, 2007.

Os produtos gerados a partir das bandas espectrais do sensor MODIS são organizados em seis níveis hierárquicos (níveis 0, 1A, 1B, 2, 3 e 4).

No nível 0 os dados encontram-se na sua forma bruta sem nenhum tratamento e não são disponibilizados. O nível 1A os produtos contém as 36 bandas processadas contendo dados de geolocalização e calibração. Também constam informações sobre a qualidade das imagens. As medidas no visível e infravermelho próximo e médio são feitas durante o dia enquanto que na faixa do infravermelho termal são feitas durante o dia e a noite. O nível 1B os produtos possuem os dados de calibração e geolocalização do nível 1A com as unidades de radiâncias em $W/m^{-2} \cdot \mu m^{-1} \cdot sr^{-1}$. Também são adicionadas informações sobre a reflectância bidirecional (BRDF) determinadas através das bandas reflectivas solares de 1 a 19 e 26 e a informações sobre a qualidade das imagens. Os produtos do nível 2 são resultantes da derivação das radiâncias calibradas de produtos prévios do MODIS. Os produtos de nível 2G (L2G) são gerados a partir de parâmetros de dados de um dia no nível 2 e seu processamento o organiza em uma grade a *earth-based grid*,

que é baseada no planeta Terra. Esses processamento preserva as amostras dos dados originais do nível 2. O Nível 3 os produtos são reamostrados e compostos para a produção de estimativas de variáveis geofísicas em várias escalas de tempo (de 1 dia até um ano). No nível 4 os produtos são gerados através de dados do sensor MODIS em modelos que estimam as variáveis geofísicas. (SOARES et al., 2007)

A seguir podemos ver no quadro 8 os produtos e as suas respectivas aplicações segundo as várias disciplinas envolvidas na observação das mudanças globais.

Produtos de Calibração
MOD01 – Valores de radiância nível 1A
MOD02 – Valores de radiância Calibrada e Georreferenciada nível 1B
MOD03 – Conjunto de dados de Georreferenciamento
Produtos da Atmosfera
MOD04 – Produto de Aerossol
MOD05 – Total de água Precipitável
MOD06 – Produto de Nuvem
MOD07 – Perfil Atmosférico
MOD08 – Grades de produtos Atmosféricos
MOD035 – Máscara de Nuvem
Produtos do Continente
MOD09 – Reflectância de Superfície
MOD011 – Temperatura de Superfície e Emissividade
MOD012 – Cobertura da Terra/Mudanças da Cobertura da Terra
MOD13 – Grades de Índices de Vegetação – Máximo NVI e MVI integrado
MOD14 – Anomalias Termiais, Fogo e Queima de Biomassa
MOD15 – Índice de Área Foliar e Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa
MOD16 – Evapotranspiração
MOD17 – Fotossíntese Líquida e Produtividade Primária
MOD43 – Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional/Albedo
MOD44 – Mudança de Cobertura Vegetal
Produtos da Criosfera
MOD10 – Extensão da Cobertura de Neve
MOD29 – Extensão de Gelo na Superfície do Mar

Produtos do Oceano
MOD18 – Radiância Normalizada Proveniente de Corpos d'água
MOD19 – Concentração de Pigmento
MOD20 – Fluorescência da Clorofila
MOD21 – Concentração de Pigmentos de Clorofila
MOD22 – Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)
MOD23 – Concentração de Partículas Sólidas
MOD24 – Concentração e matéria orgânica
MOD25 – Concentração de Plancto Calcáreo
MOD26 – Coeficiente de Atenuação da água do Mar
MOD27 – Produtividade Primária do Oceano
MOD28 – Temperatura de superfície do mar – TSM
MOD31 – Concentração de pigmentos de Algas Vermelhas
MOD36 – Coeficiente de Absorção Total
MOD37 – Propriedades de Aerossol oceânico
MOD39 – Grau de pureza das águas claras

(Continuação do **Quadro 7**)

Quadro 7 – Lista de produtos gerados pelo sensor MODIS

Fonte: Rudorf *et al.*, 2007.

O formato de dados dos produtos MODIS é o HDF (Hierarchy Data Format – Formato de dados hierárquico) podendo ser processados para outros formatos através de ferramentas específicas comerciais ou de domínio público.

O processamento para os níveis 2, 3 e 4 são armazenados em uma área de 1200 por 1200 km e é denominada um *Tile*, ou seja, a menor unidade de dado geocodificada como mostra a figura a seguir. Os números na horizontal e na vertical determinam a posição do *Tile*. Conforme a figura podemos ver o *Tile* H11V10.

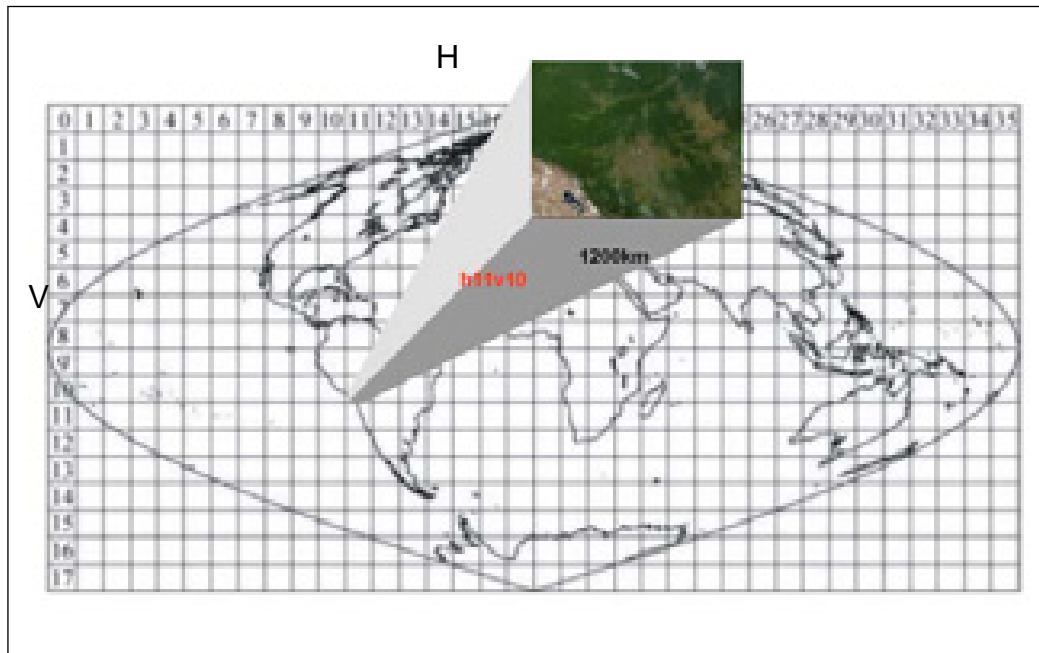


Figura 4 - Representação da Geolocalização dos Tiles
Fonte: Rudolf *et al.*, 2007.

4.3 MÉTODO

O método para o processo de modelagem de dados foi seguida de acordo com a proposta do roteiro metodológico elaborado de acordo com Tratamento Geossistêmico de MONTEIRO (2001, p.81) no qual

o tratamento geossistêmico visa a integração das variáveis “naturais” e “antrópicas” (ETAPA ANÁLISE), fundindo “recursos”, “usos” e “problemas” configurados (ETAPA INTEGRAÇÃO) em “unidades homogêneas” assumindo um papel primordial na estrutura espacial (ETAPA SÍNTESE) que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente na (ETAPA APLICAÇÃO) do “diagnóstico”.

Diagrama do Roteiro pode ser visualizado a seguir. Para esta pesquisa consideramos a área de estudo como um sistema aberto e os Sistemas de Informações Geográficas – SIG – está sendo utilizado como forma de implementar um tipo de metodologia de detecção de áreas degradadas.

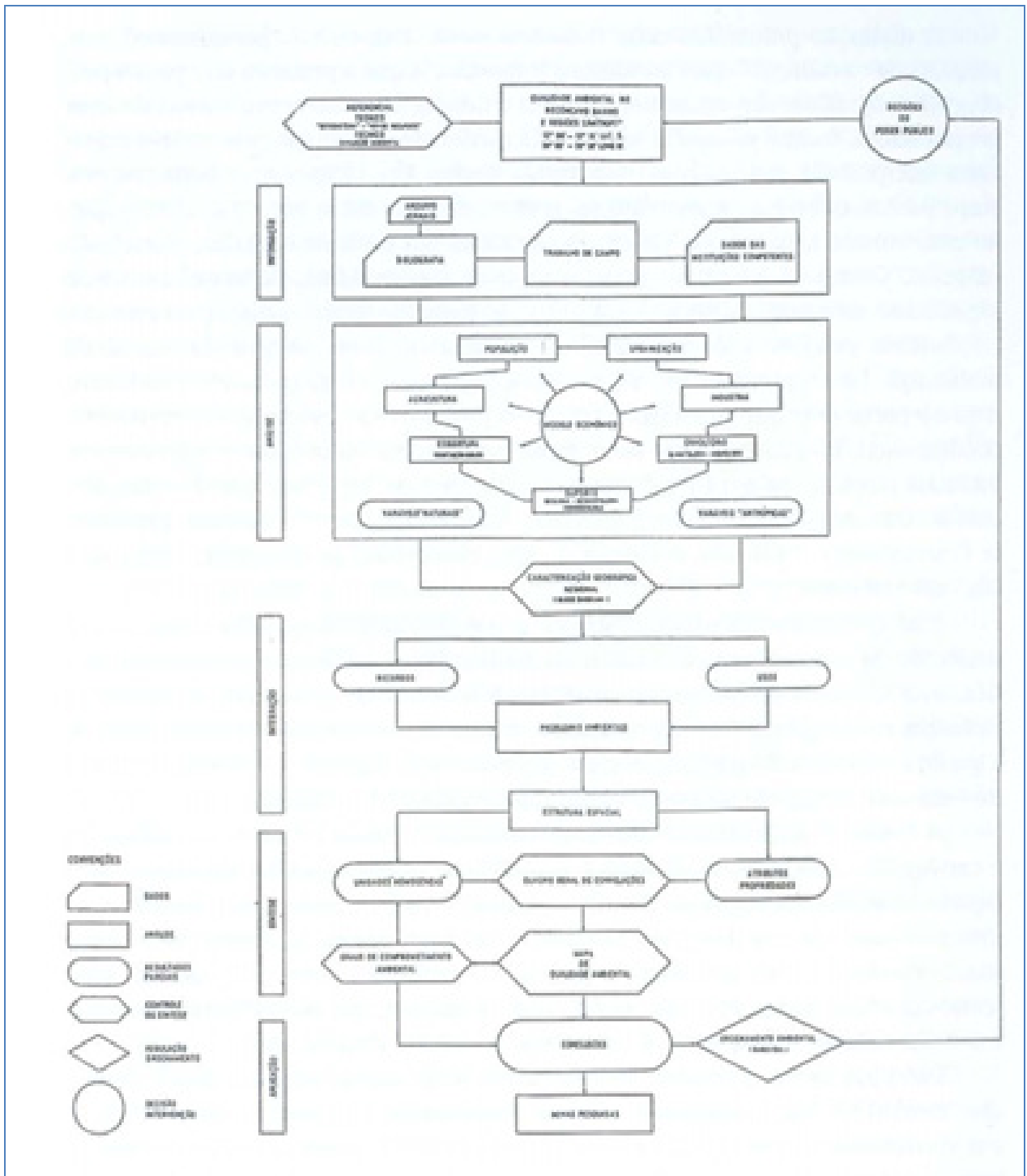


Figura – 5 – Roteiro Metodológico
 Fonte: MONTEIRO, 2001, p.83.

O quadro 8 representa um esboço das fases de investigação na pesquisa, trabalhando com as seguintes etapas: Informação, Análise, Integração, Síntese e Aplicação.

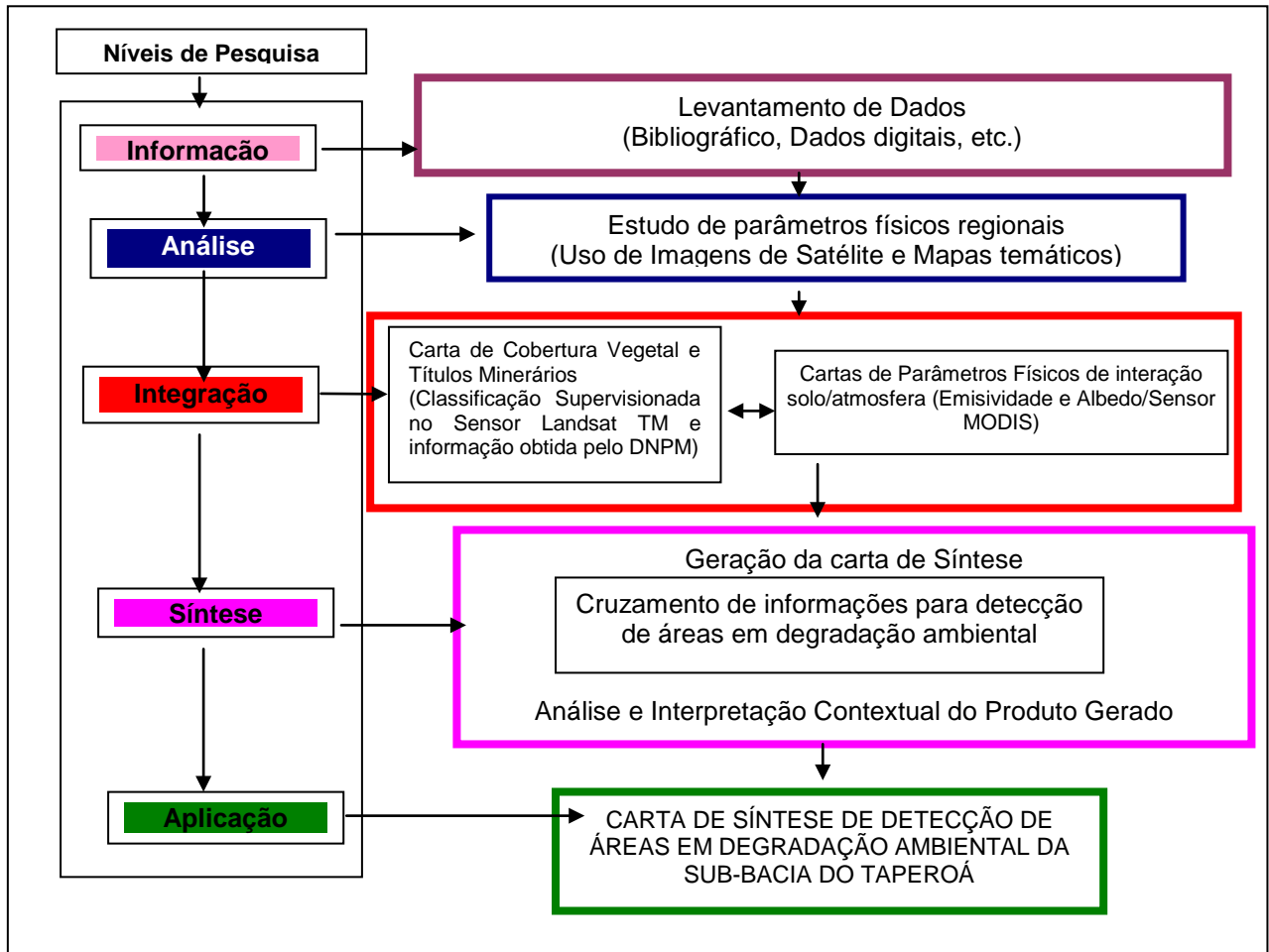
A fase Informação ocorreu com o levantamento bibliográfico a respeito das pesquisas correlatas desenvolvidas pela comunidade científica, bem como a escolha dos dados a serem implementados no banco de dados geográficos, sendo a emissividade e albedo os dois parâmetros físicos a serem considerados na área de estudo.

Na fase seguinte a Análise foram interpretadas e extraídas as informações específicas da área de estudo, através da aquisição de dados na fase anterior com a finalidade de utilizar as informações mais necessárias sobre os parâmetros físicos a serem aplicados.

A Integração foi a fase de estudo para o trabalho de correlacionar os dados do Sensor MODIS (Terra) e TM (Landsat 5).

A Fase Síntese ocorreu com o cruzamento das informações com a confecção da carta síntese de detecção de áreas degradadas que foi o objetivo final.

O Tratamento Geossistêmico de Monteiro (2001) deu suporte teórico para a organização e a aplicação de um modelo simplificado de detecção por Sistema de Informações Geográficas e observação por Sensoriamento Remoto na área de estudo.



Quadro 8 – Representação esquemática simplificada da metodologia de pesquisa
 Fonte: MONTEIRO, 2001.

4.4 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

A modelagem de elementos pertencentes ao sistema envolve os elementos do espaço geográfico mais representativos para a análise ambiental. Neste estudo de detecção de áreas degradadas utilizaremos a álgebra de mapas, por meio da linguagem Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), para o cruzamento de dados por meio do sensoriamento remoto para estimar parâmetros físicos como o Albedo, Temperatura de Superfície, temperatura do ar e emissividade com dados do sensor *MODIS* (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) do satélite *Terra*. Faremos uma análise do aumento do albedo de dezembro de 2003 e 2004, utilizando imagens do sensor MODIS e a outra do comportamento da emissividade da cobertura vegetal para o ano de 2006. Para o mapa de cobertura vegetal utilizaremos uma cena do satélite Landsat 5 datada do dia 17 de dezembro de 2004 acrescentando as áreas de exploração mineral como fator importante de degradação ambiental.

Inicialmente para haver um melhor entendimento sobre o comportamento da vegetação na área de estudo escolhemos como parâmetro inicial de observação a emissividade. Esse parâmetro foi gerado através do índice de vegetação (NDVI) por meio da adaptação da equação de Van de Griend e Owe (1999) e Bastiaanssen (1995). Onde a emissividade ε foi proposta pela seguinte equação, conforme os resultados apresentados no Experimento Cariri (Silva, 2003):

$$\varepsilon = 1.001892 + 0.047 \ln(\text{NDVI})$$

O cálculo da emissividade foi feito por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), onde o índice de vegetação de diferença normalizada é expresso pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Onde:

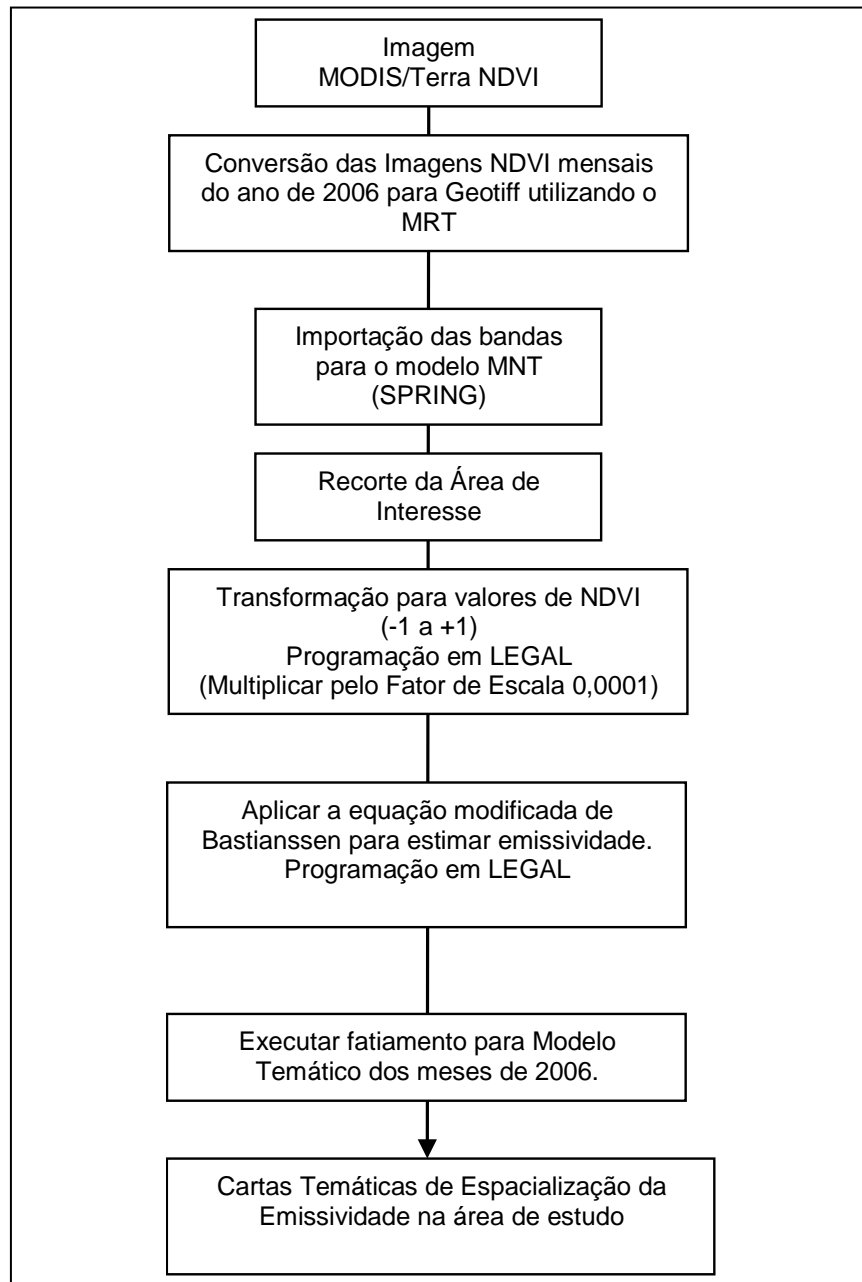
NIR: correspondente a banda do Infravermelho Próximo (Near Infra Red);

RED: correspondente a banda na faixa espectral do vermelho.

Os seus valores se apresentam de -1 a 1 e quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal e quanto mais próximo ao zero menos cobertura vegetal é identificada. (ROSENDO, 2005. p.38)

Este índice é importante para estimativas de parâmetros biofísicos da vegetação e foi empregado na estimativa da emissividade utilizando o produto imagens do sensor *MODIS*.

O produto MOD13Q1 vem com a imagem de NDVI gerada em 16 bits com 250 metros de resolução espacial. Sua faixa de valores válidos para a conversão está entre os números digitais -2000 a 10000 que devem ser multiplicados pelo fator de escala 0,001 para que os valores de NDVI oscilem entre -1 a 1. A imagem de 16 bits foi importada como grade numérica para um plano de informação da Categoria MNT do software SPRING, que transforma o valor do pixel em atributo Z da grade numérica conservando a geolocalização do pixel. A conversão pelo fator de escala foi feita utilizando Álgebra de Mapas através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). A seguir o quadro 9 resume a seqüência de procedimentos para gerar as cartas de espacialização da emissividade.



Quadro 9 - Procedimentos técnicos de geração da carta de espacialização da emissividade na área de estudo

Fonte: Pesquisa do autor

Da mesma forma foi feito com o produto MOD43B3. Este produto contém as sete primeiras bandas do albedo diurno do sensor MODIS e mais outras três simuladas para uma faixa de banda larga. As imagens de 16 bits foram multiplicadas pelo fator de escala 0,001 para serem convertidas em valores absolutos de albedo.

Para o cálculo do albedo foi utilizada as sete primeiras bandas fazendo uma combinação linear estimada por Liang et al. (1999), usando os seguintes coeficientes na tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes de conversão utilizados na combinação linear para estimativa de Albedo

Banda	Coefficiente de Conversão
1	0,3973
2	0,2382
3	0,3489
4	-0,2655
5	0,1604
6	-0,0138
7	0,0682
Interceptação	0,0036

Fonte: Liang *et al.*, 1999.

O mapa de cobertura vegetal, utilizando uma cena do satélite com as bandas 3, 4 e 5, na composição RGB 543, do *Landsat 5* foi feito através da classificação supervisionada por pixel, utilizando o classificador Maxver com limiar de aceitação de 100%, obtendo os seguintes resultados de acordo com a tabela 3.

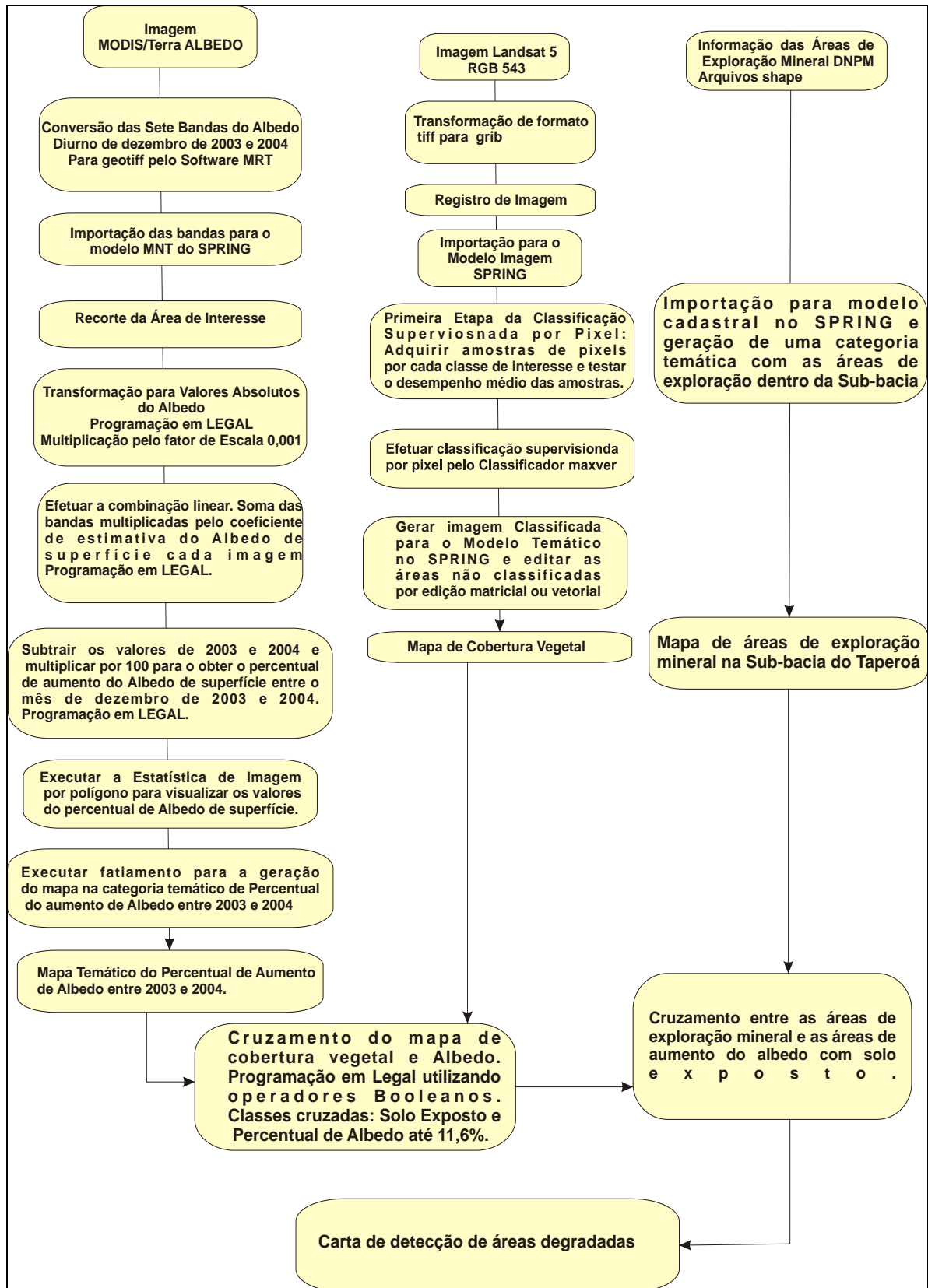
Tabela 3 - Análise estatística das 57 amostras da classificação supervisionada do mapa de cobertura vegetal

Desempenho médio das amostras do classificador maxver	
Desempenho médio (%)	97,42 %
Abstenção média (%)	1,34 %
Confusão média (%)	1,25 %

Fonte: Pesquisa do autor

As áreas não classificadas foram posteriormente classificadas por edição matricial com base no conhecimento prévio da área de pesquisa. A ferramenta de conversão Matriz→Vetor do modelo Temático vetoriza a imagem classificada, o que também permitiu a edição das áreas não classificadas.

A seqüência de todos os procedimentos metodológicos pode ser mais bem visualizada no fluxograma do quadro 10 a seguir.



Quadro 10 – Procedimentos técnicos de geração do mapa de áreas suscetíveis a degradação ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os Mapas de janeiro a dezembro de 2006 e o gráfico 3 apresentam o comportamento espacial e temporal da emissividade na Sub-bacia do Taperoá de janeiro a dezembro de 2006. Observam-se duas manchas distintas com tendências significativas, a verde com áreas de emissividade mais elevada, e uma segunda, vermelha com emissividade menos elevada. Os mapas 3 a 14 mostram a variação da resposta da vegetação em função da emissividade ao longo do ano de 2006.

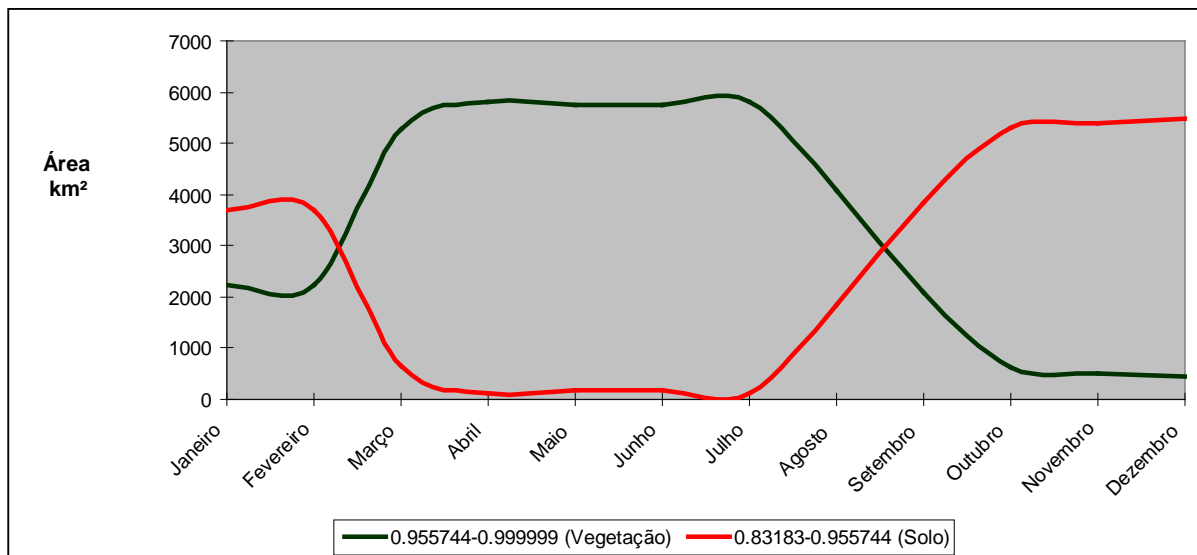
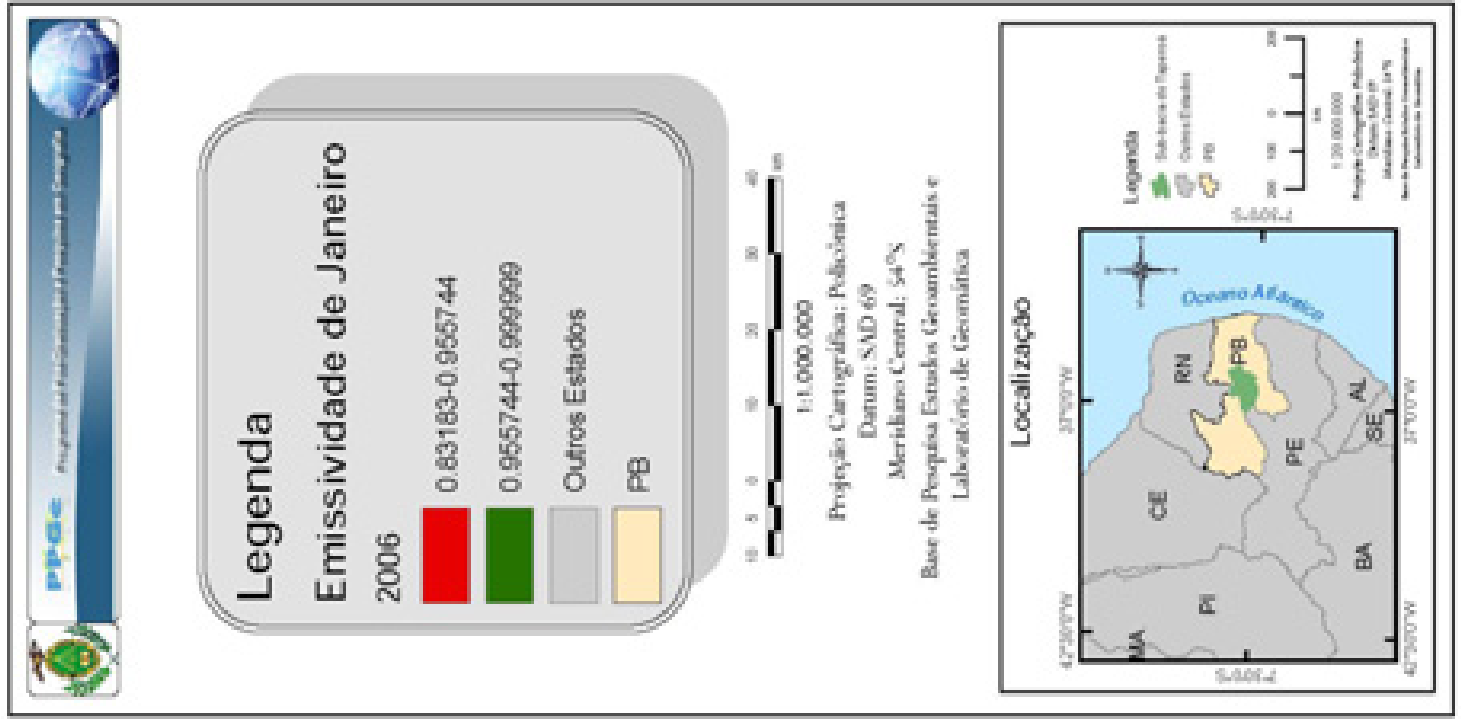
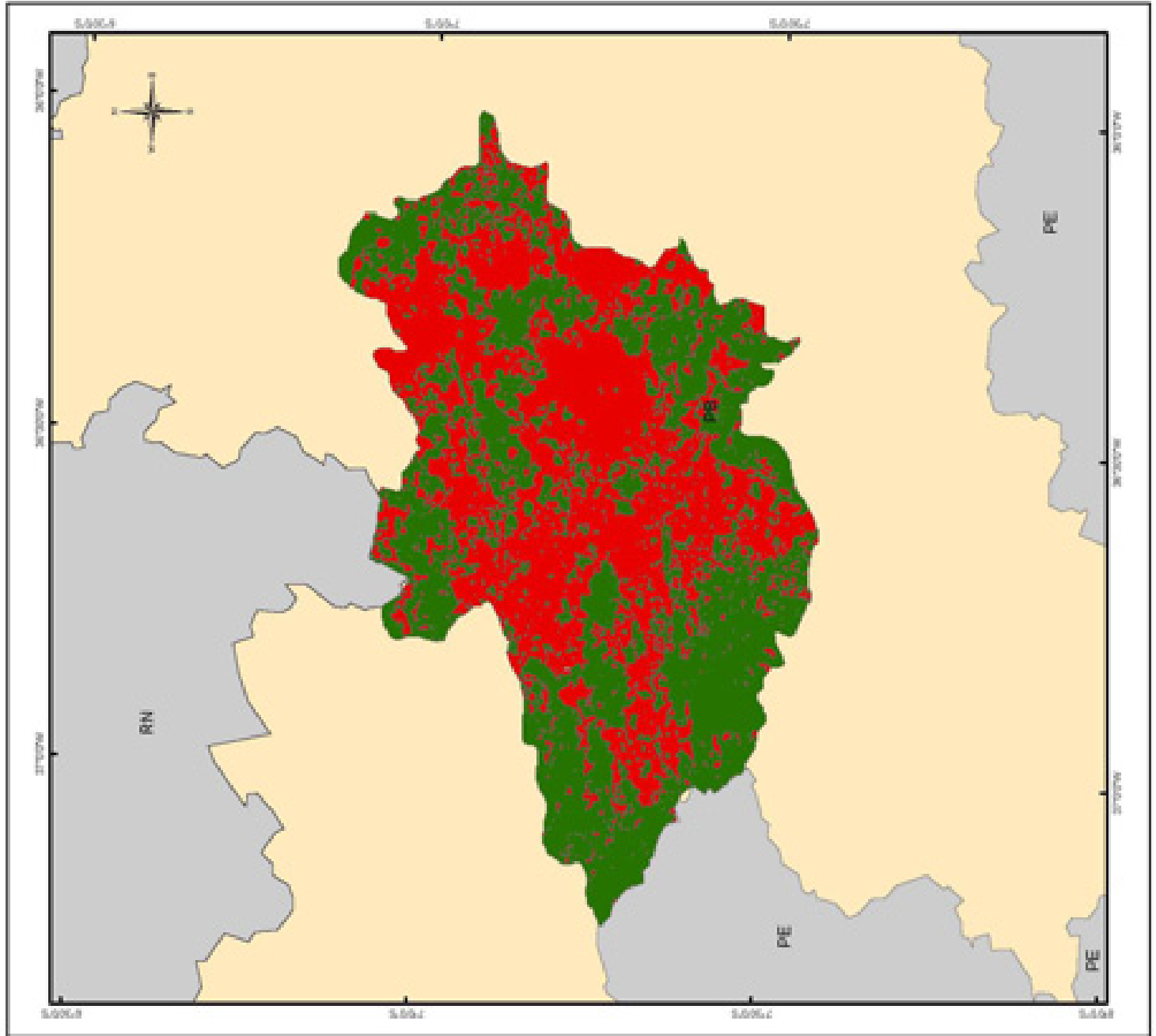


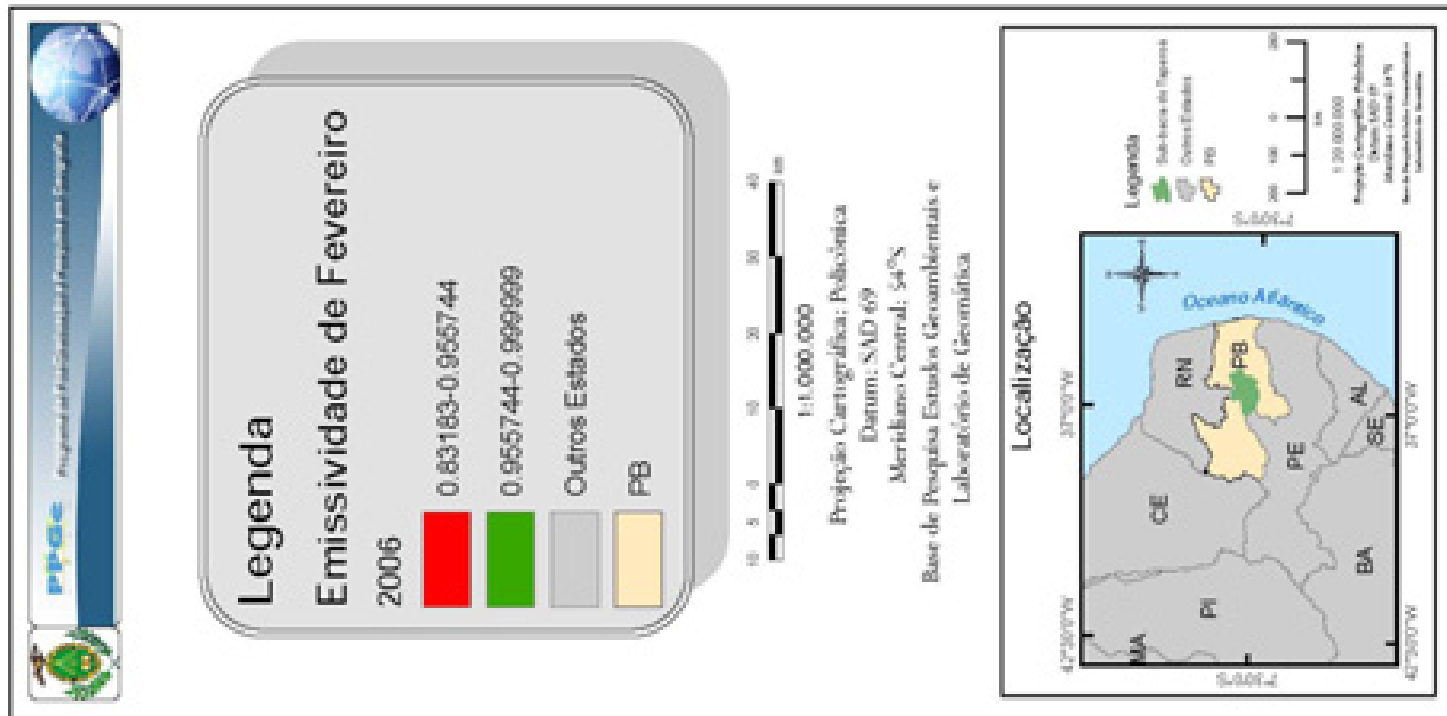
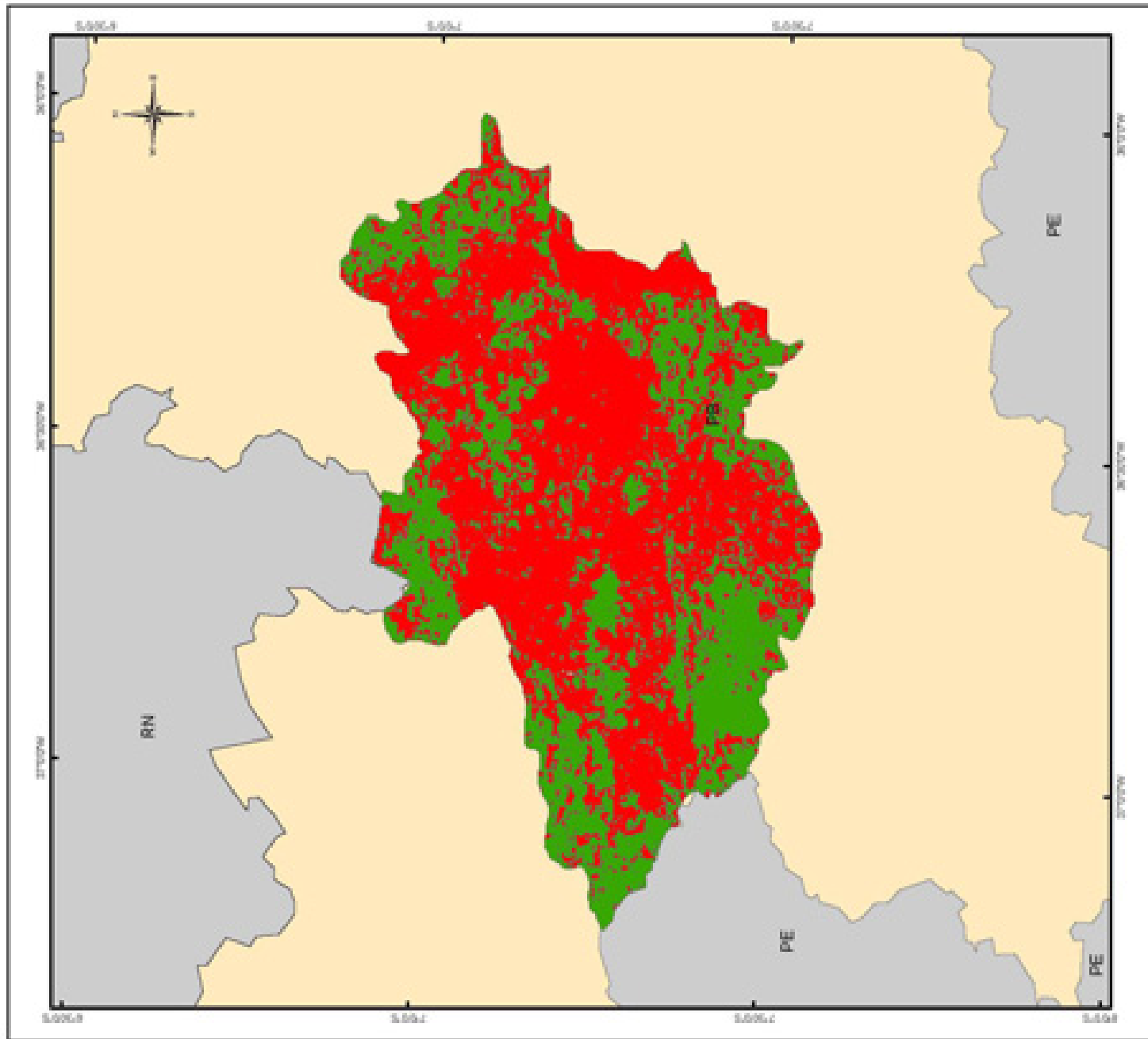
Gráfico 3 – Representação (espaço-tempo) da emissividade do solo (vermelho) e vegetação (verde) na Bacia do Taperoá.

Fonte: Elaborado pelo autor

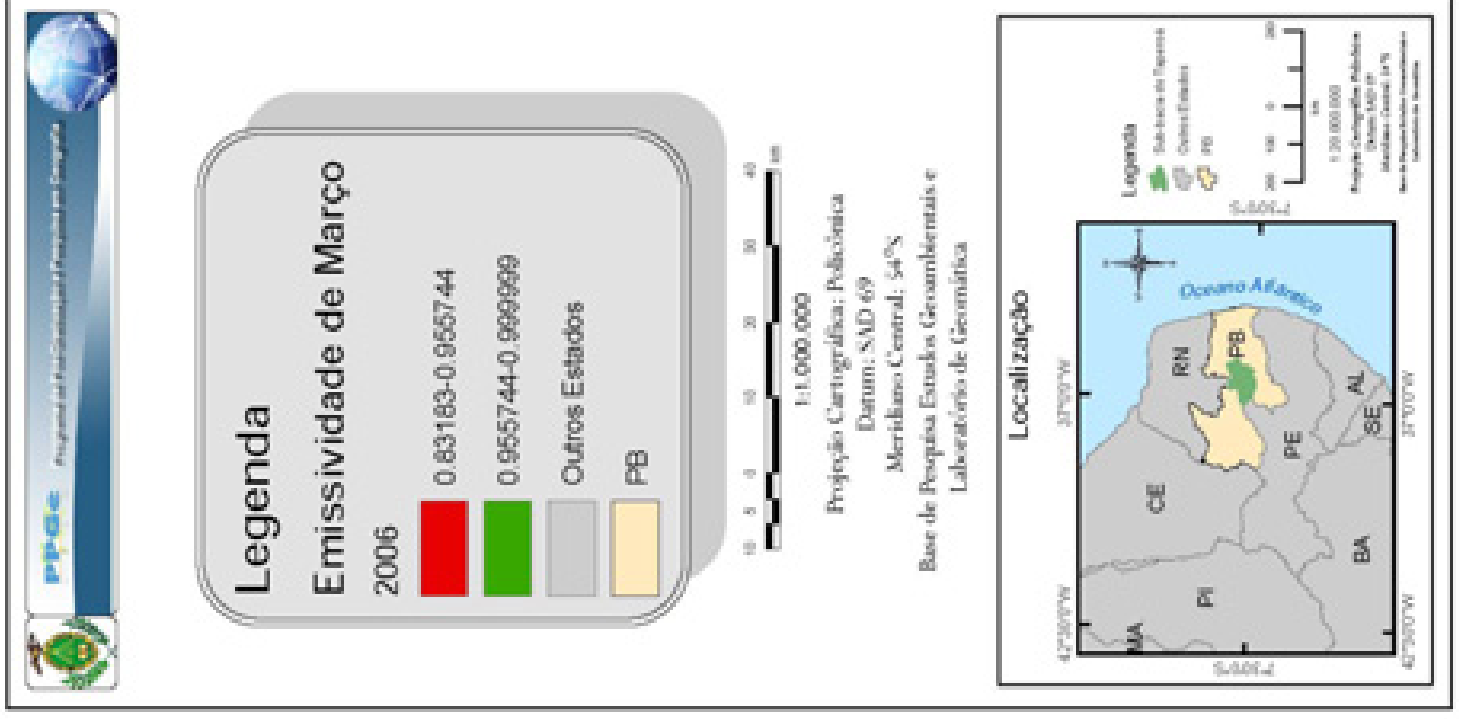
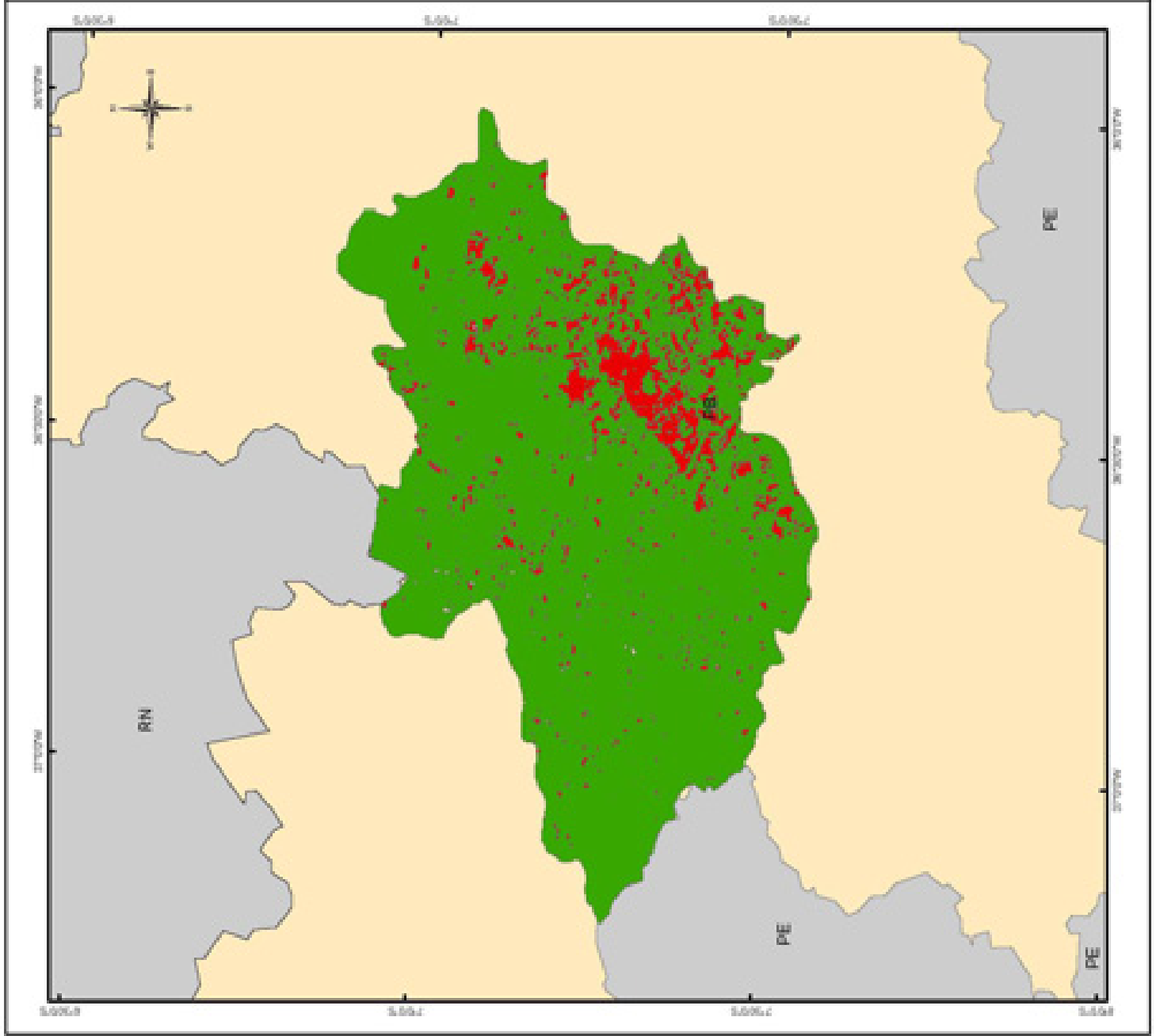
Mapa 03 - Emissividade do mês de Janeiro de 2006



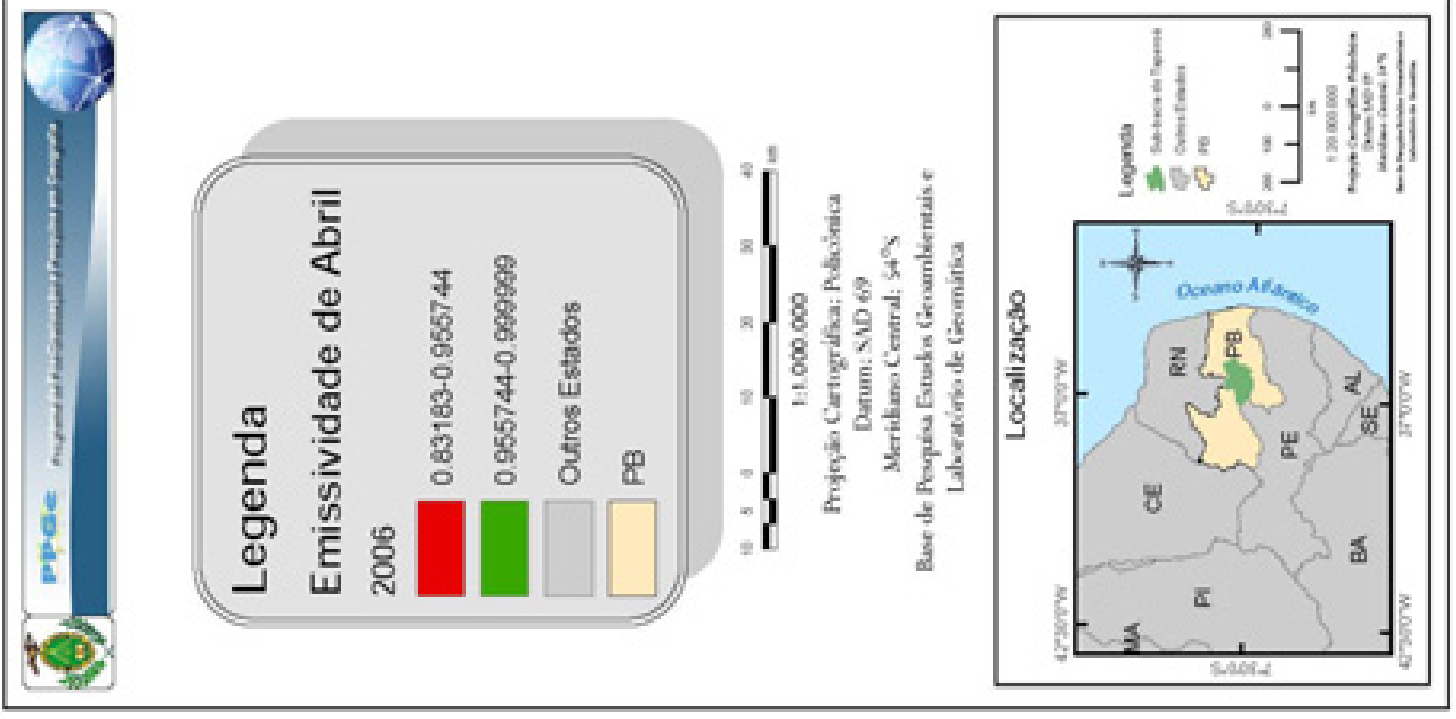
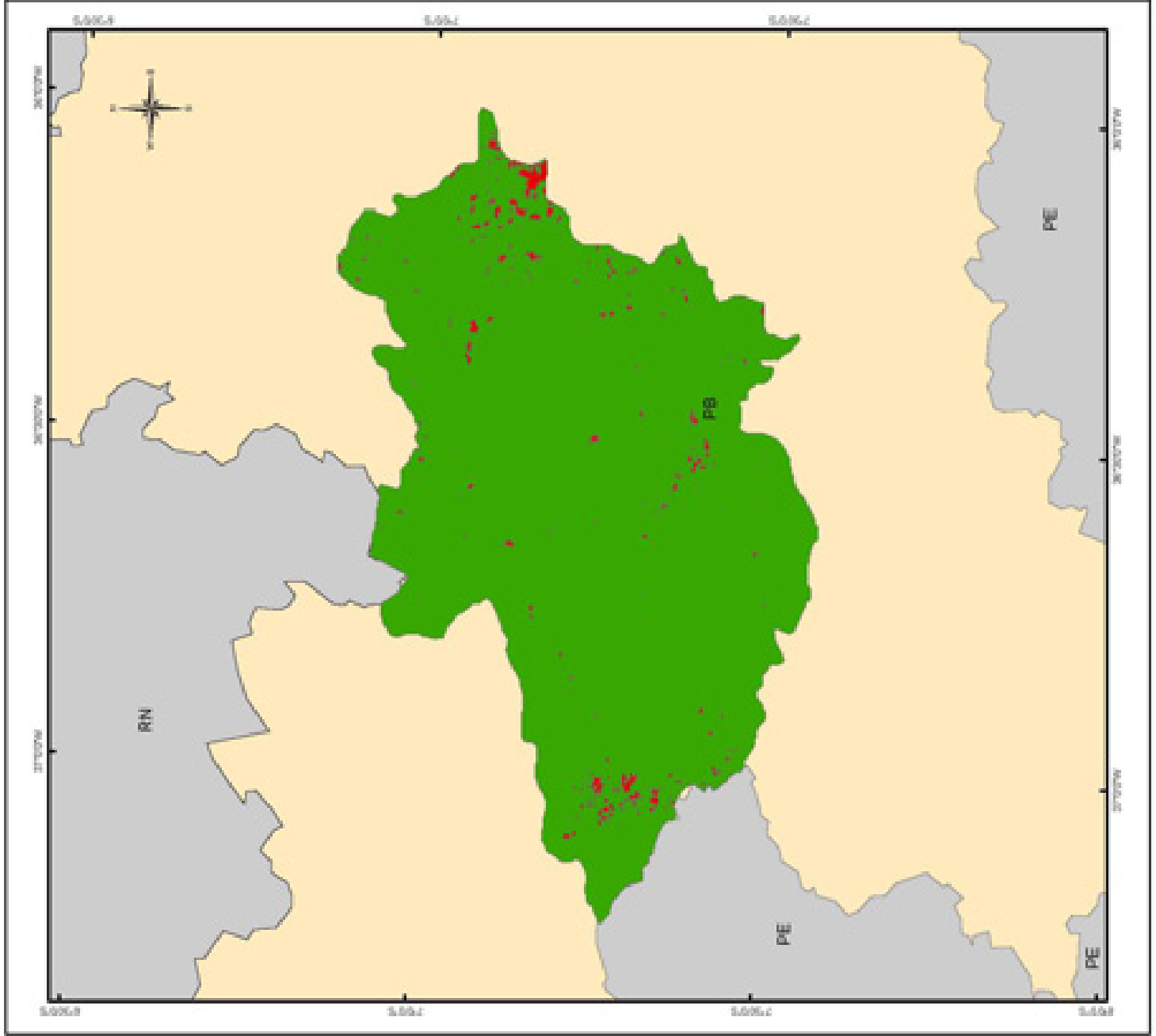
Mapa 04 - Emissividade do mês de Fevereiro de 2006



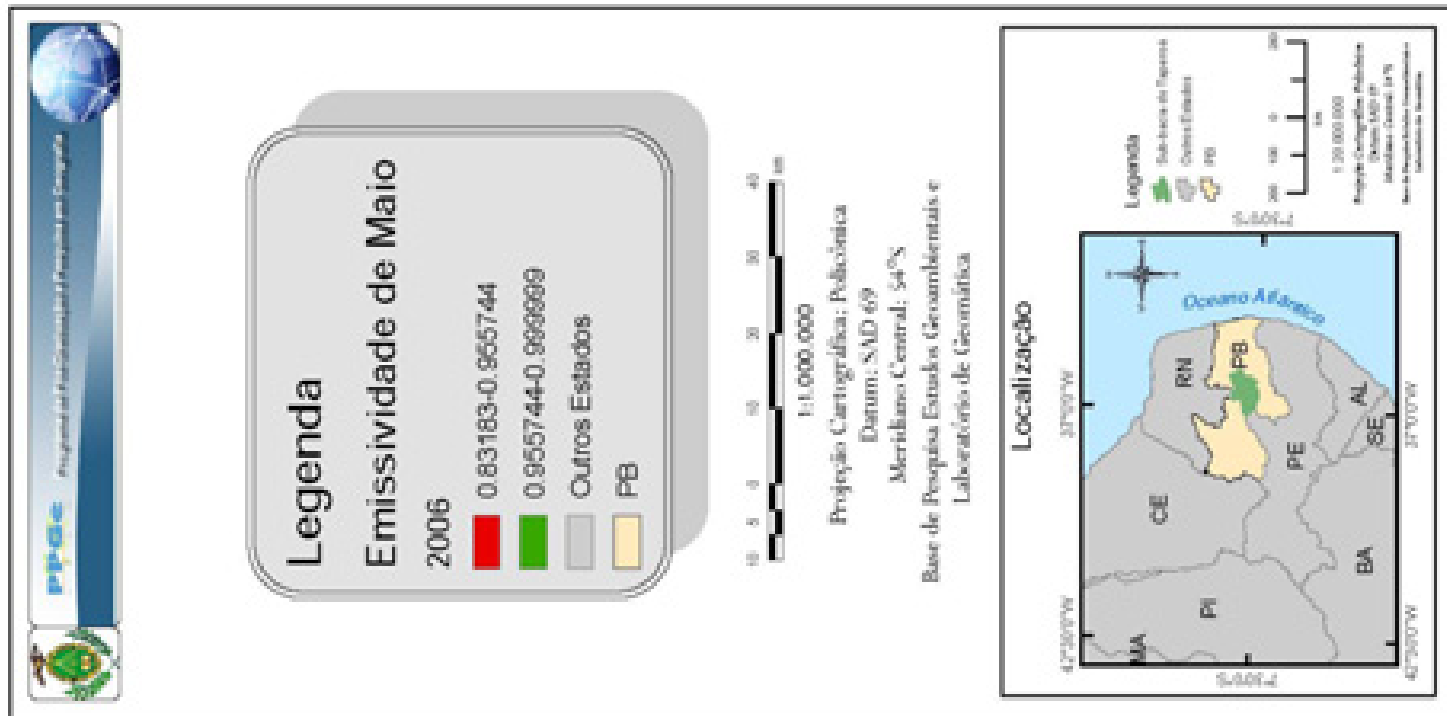
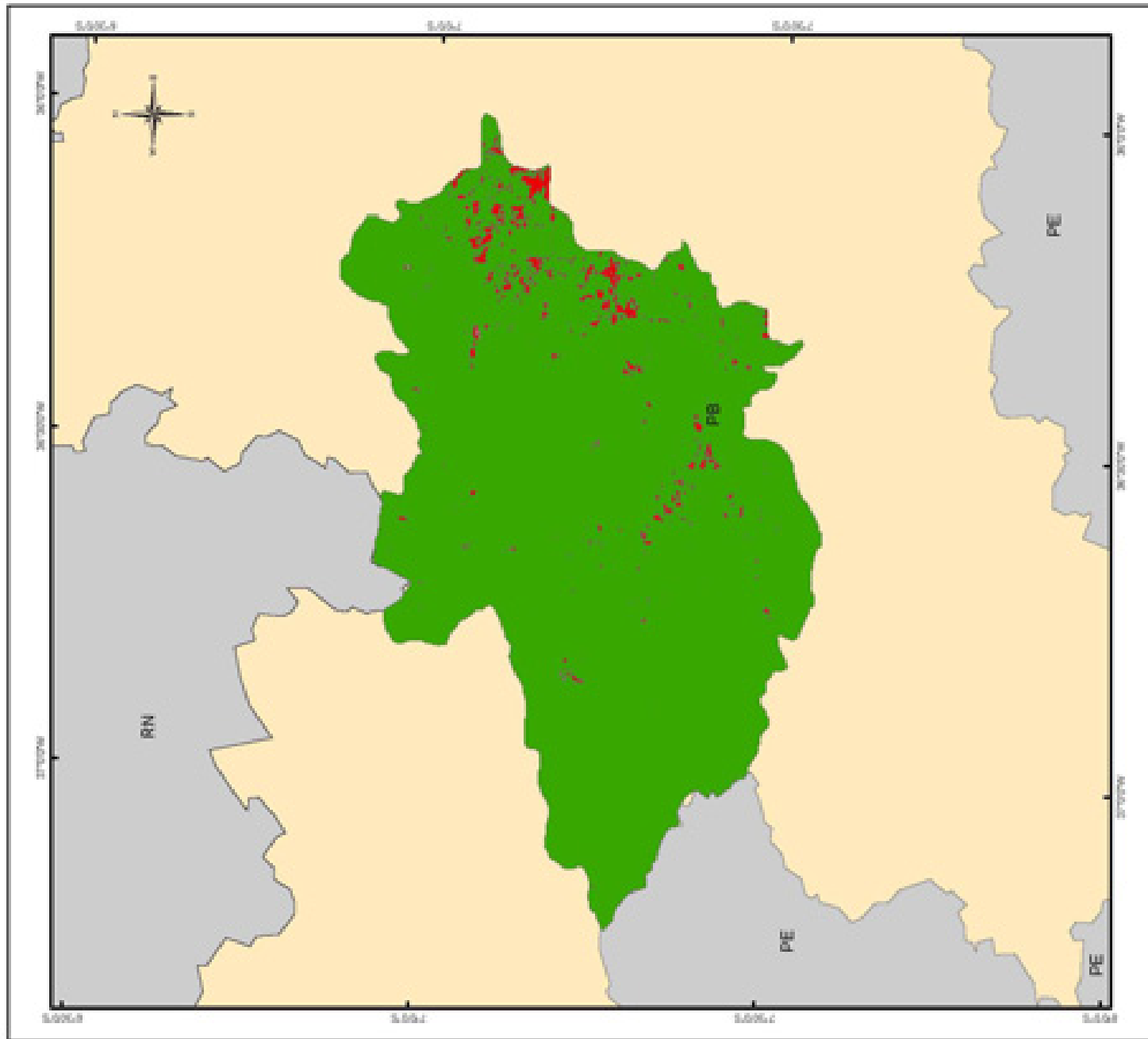
Mapa 05 - Emissividade do mês de março de 2006



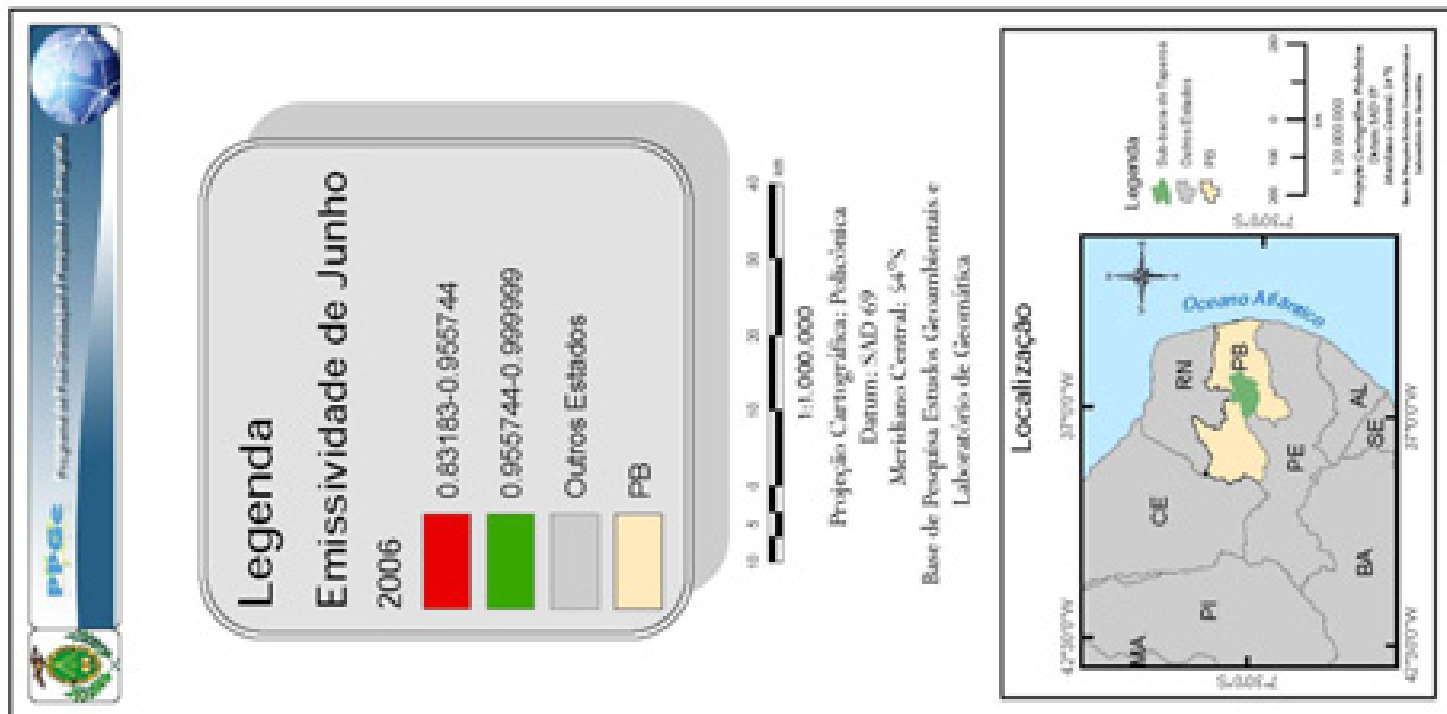
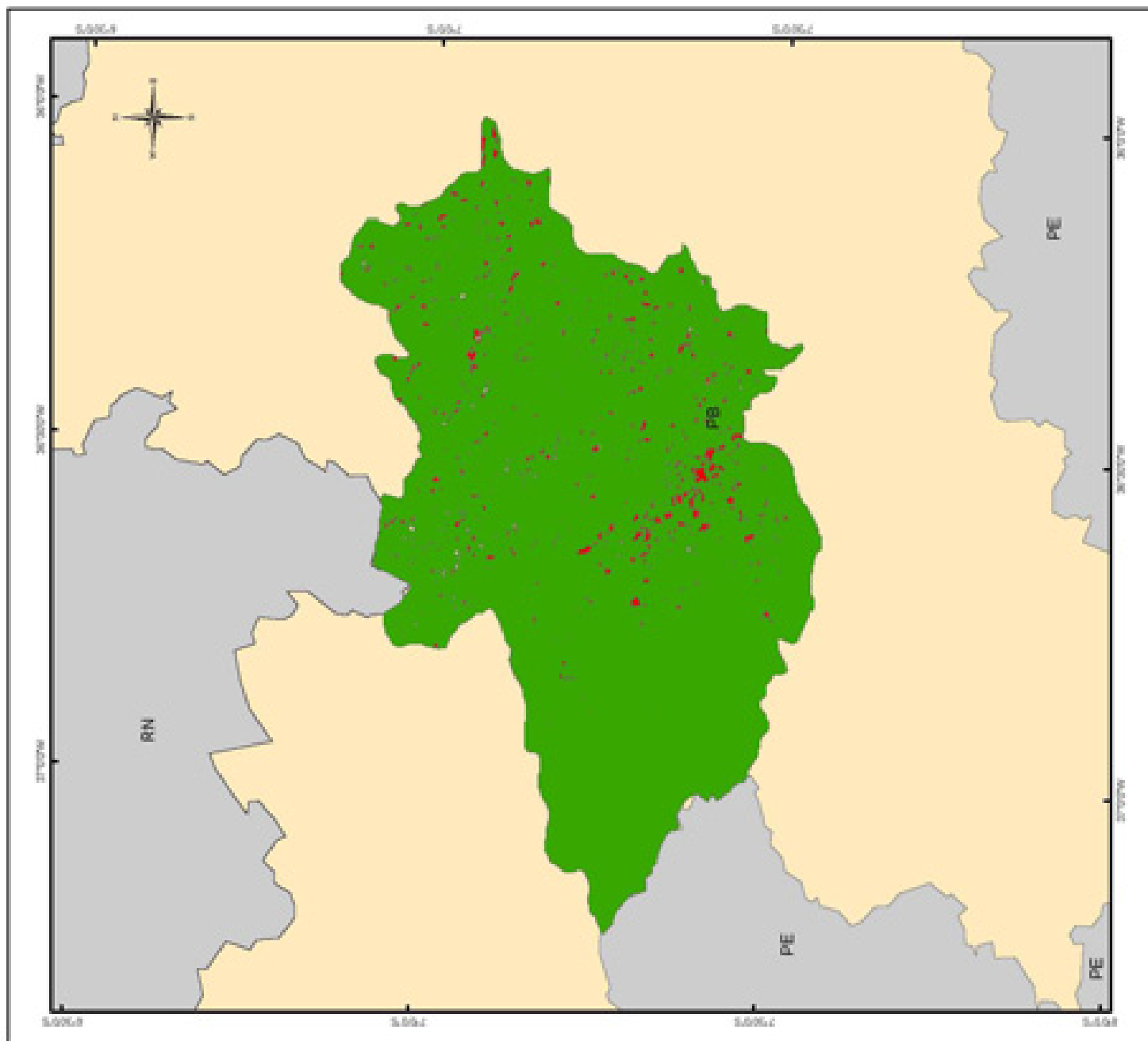
Mapa 06 - Emissividade do mês de abril de 2006

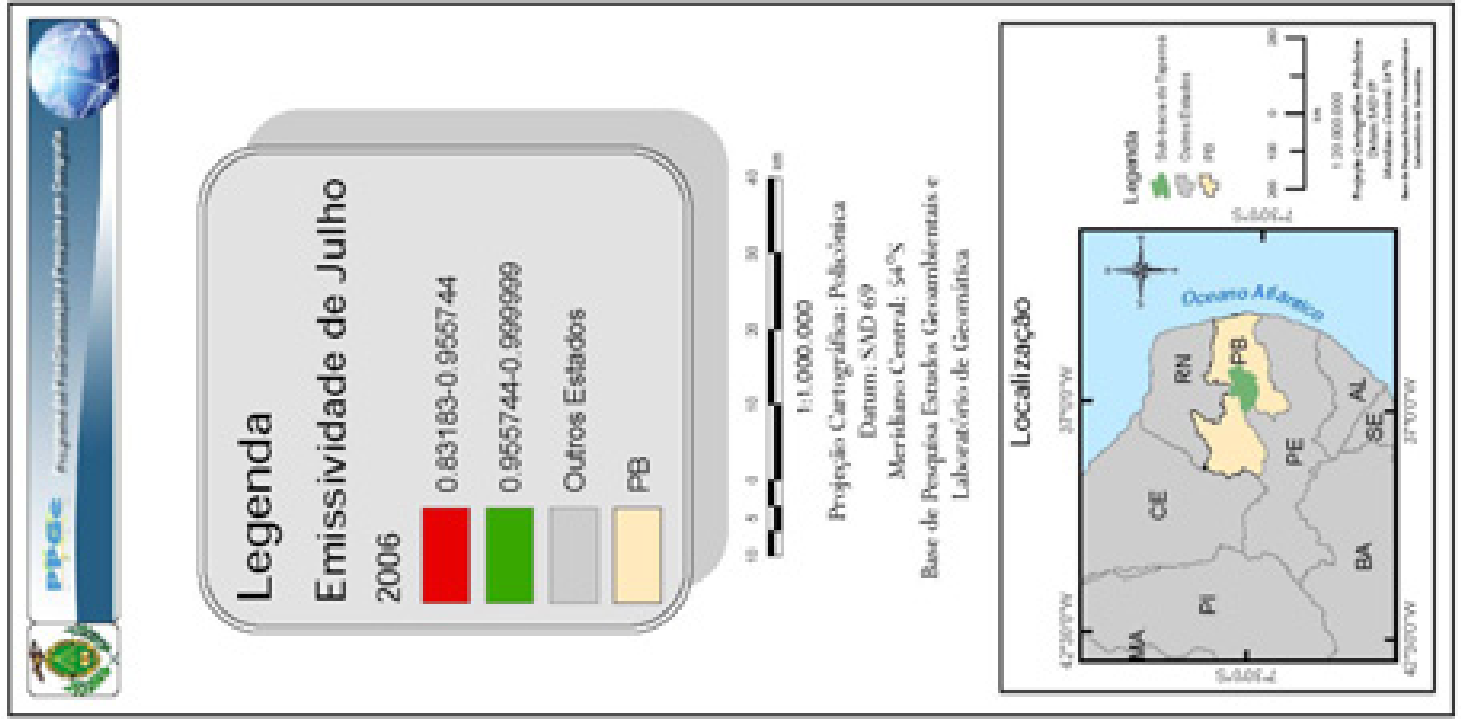
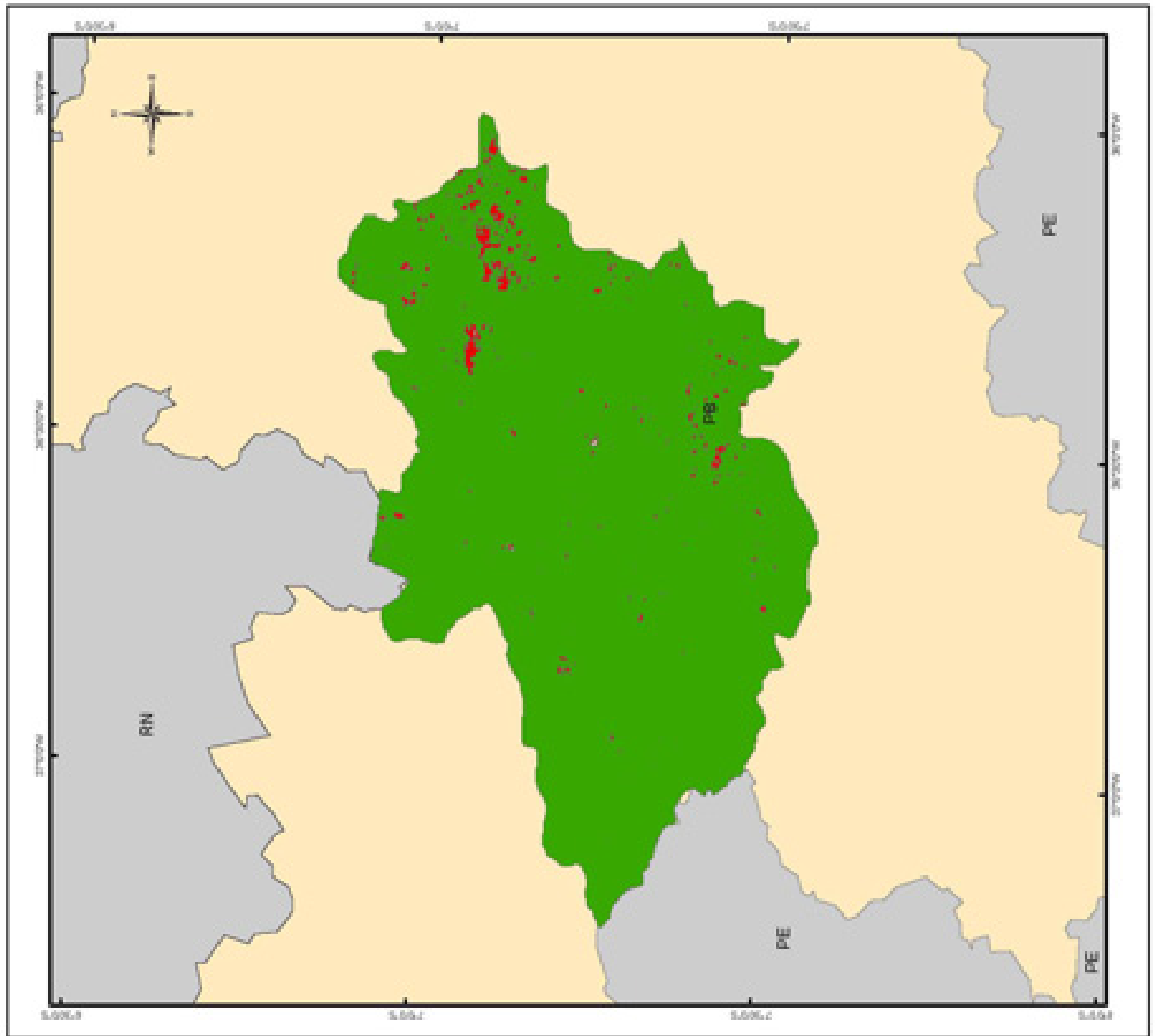


Mapa 07 - Emissividade do mês de maio de 2006

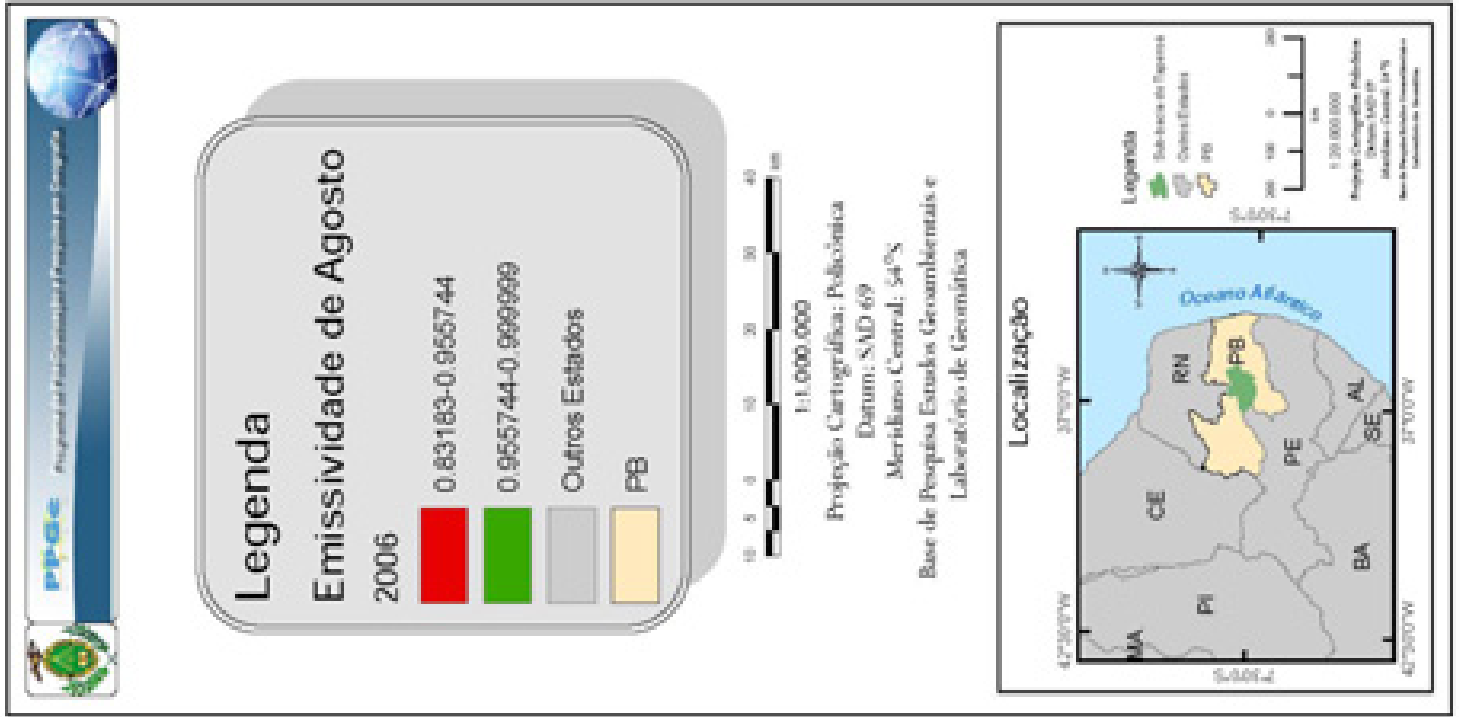
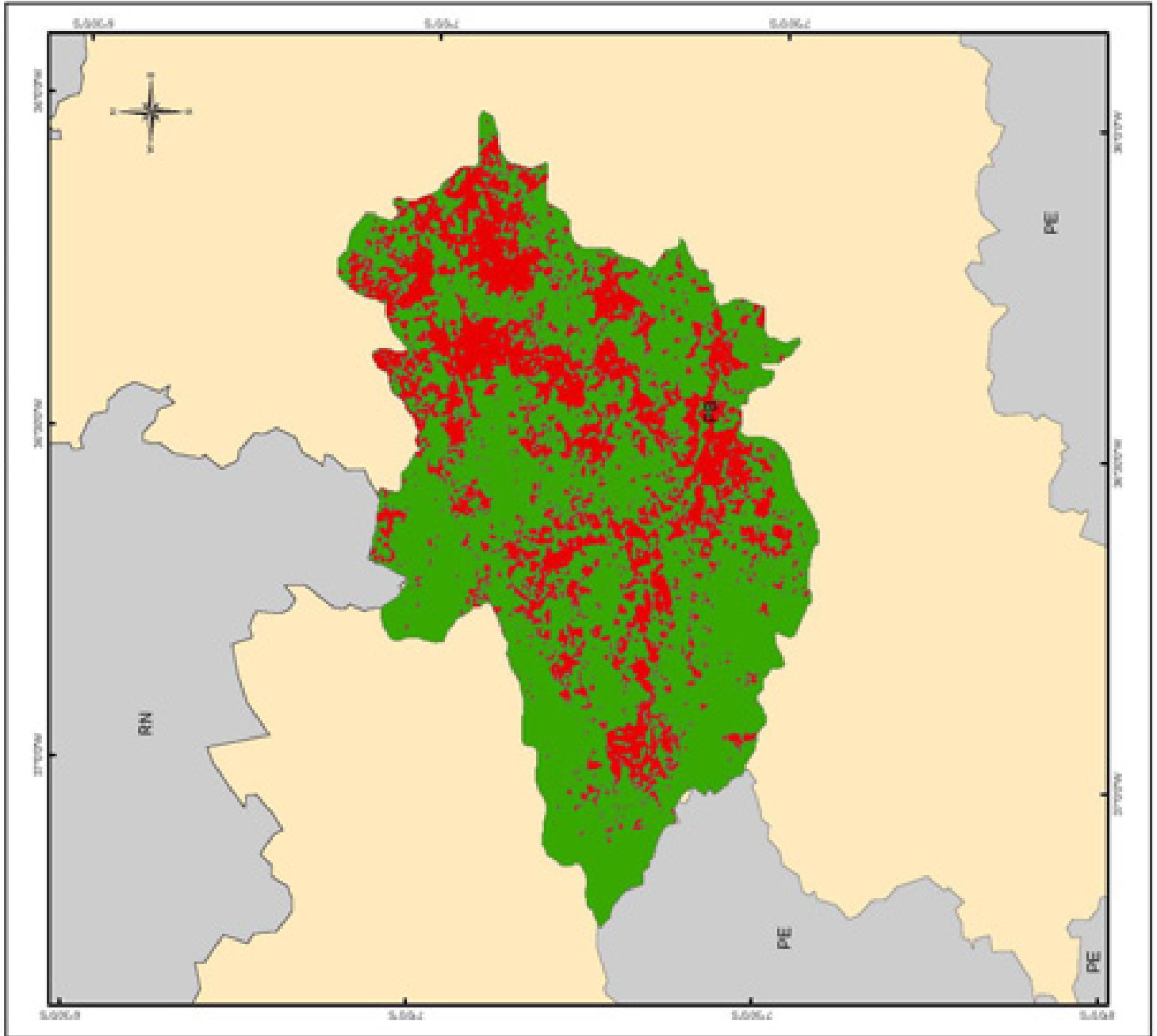


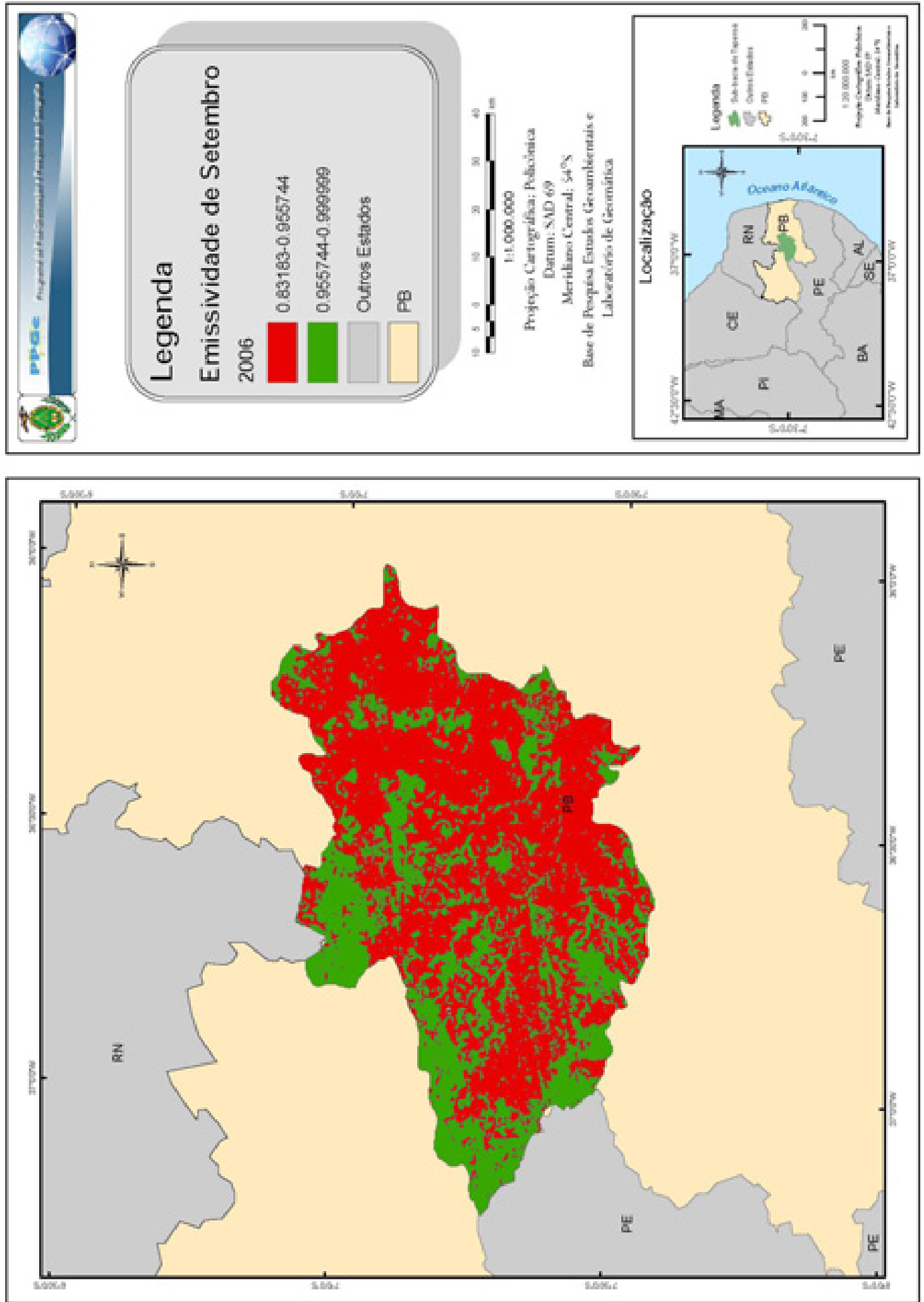
Mapa 08 - Emissividade do mês de junho de 2006



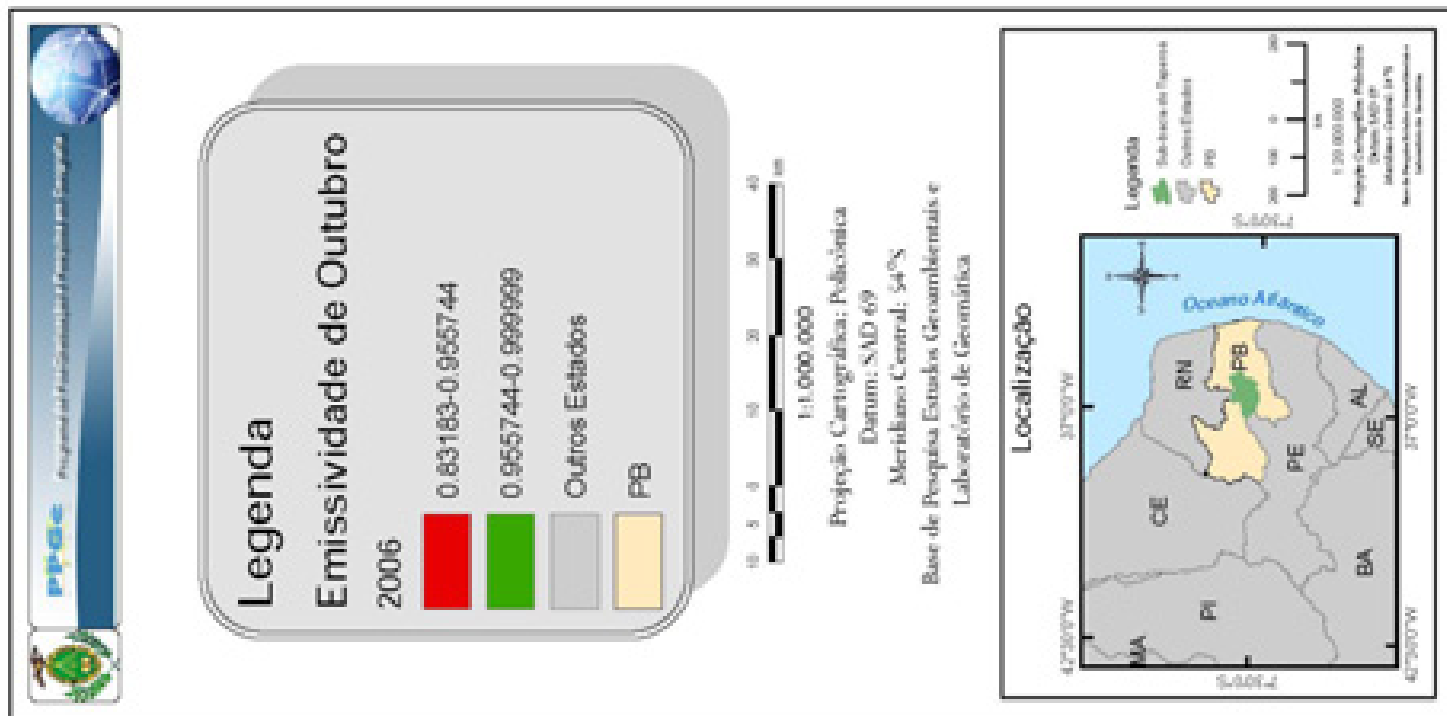
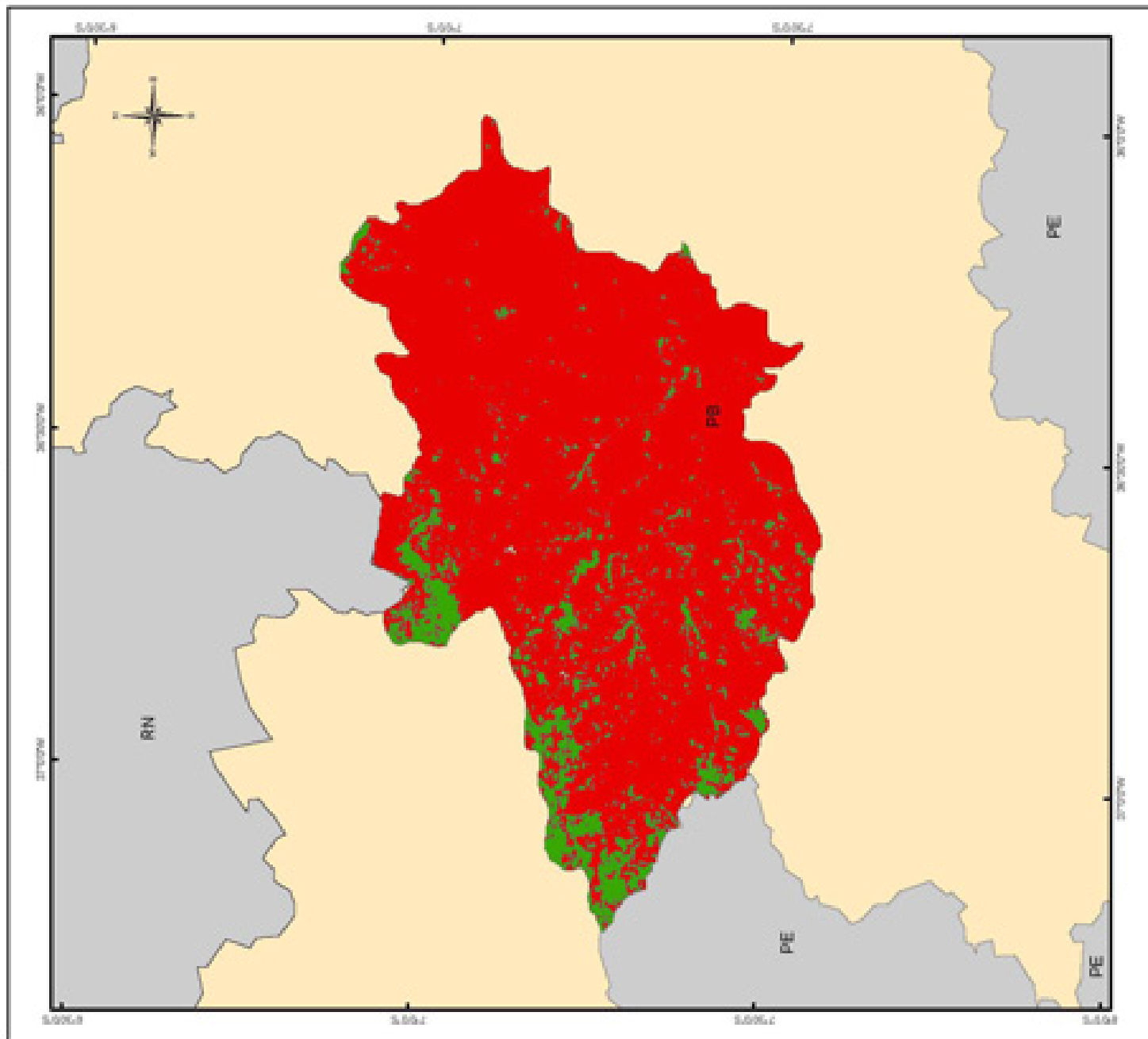


Mapa 10 - Emissividade do mês de agosto de 2006

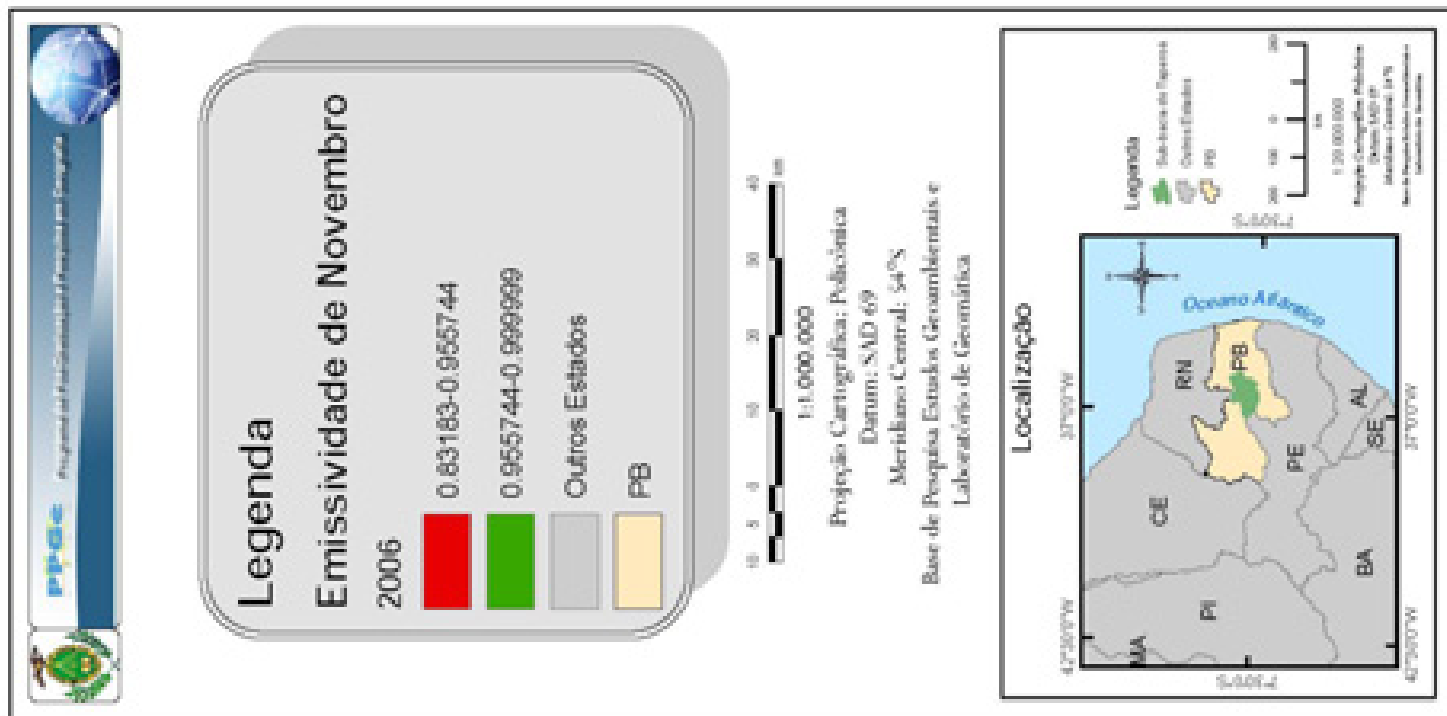
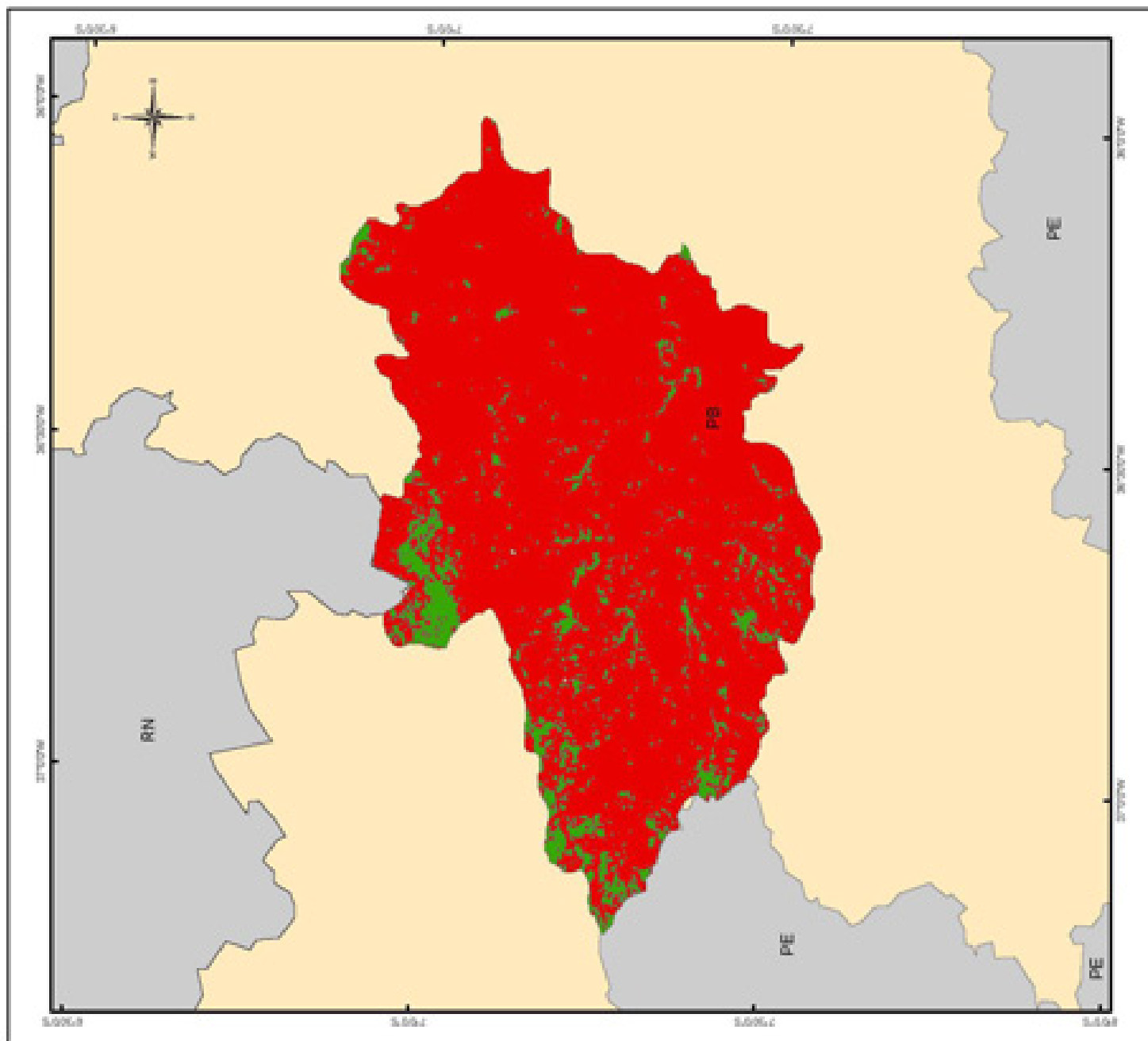




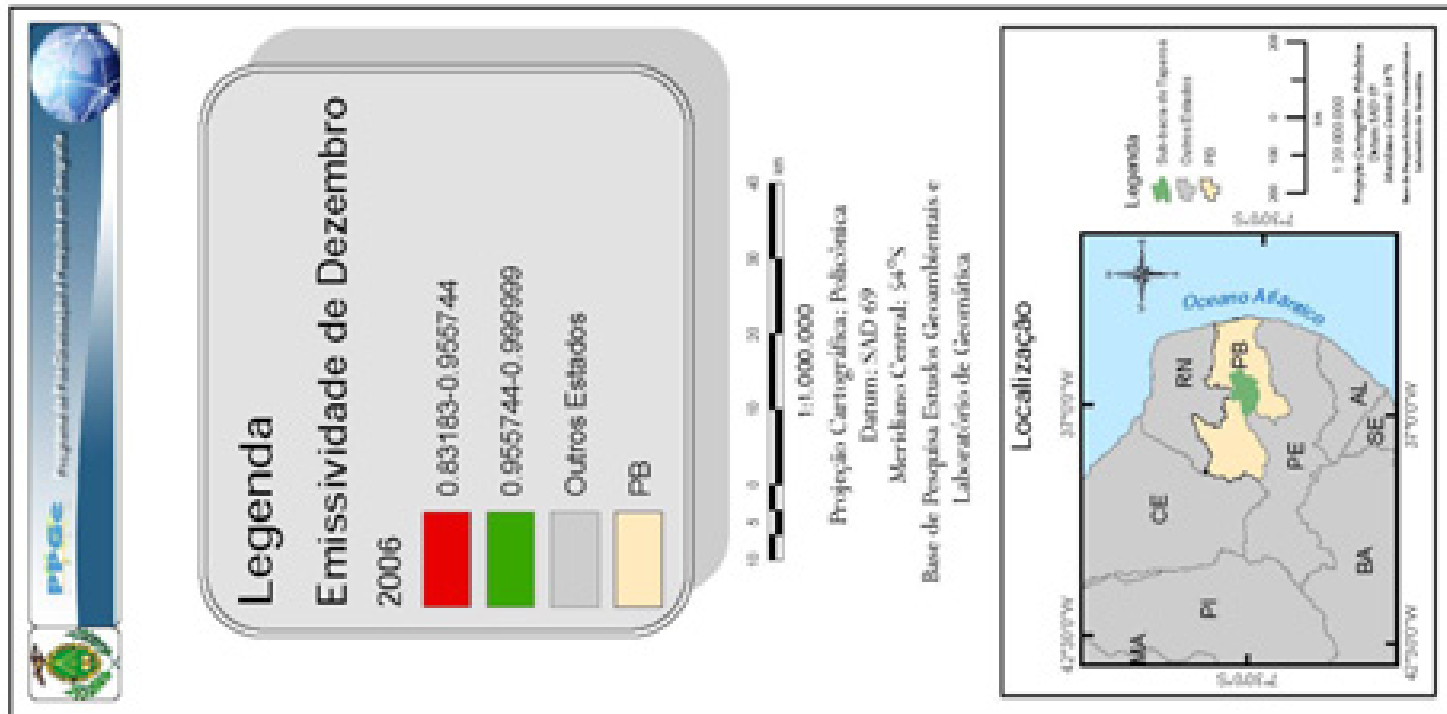
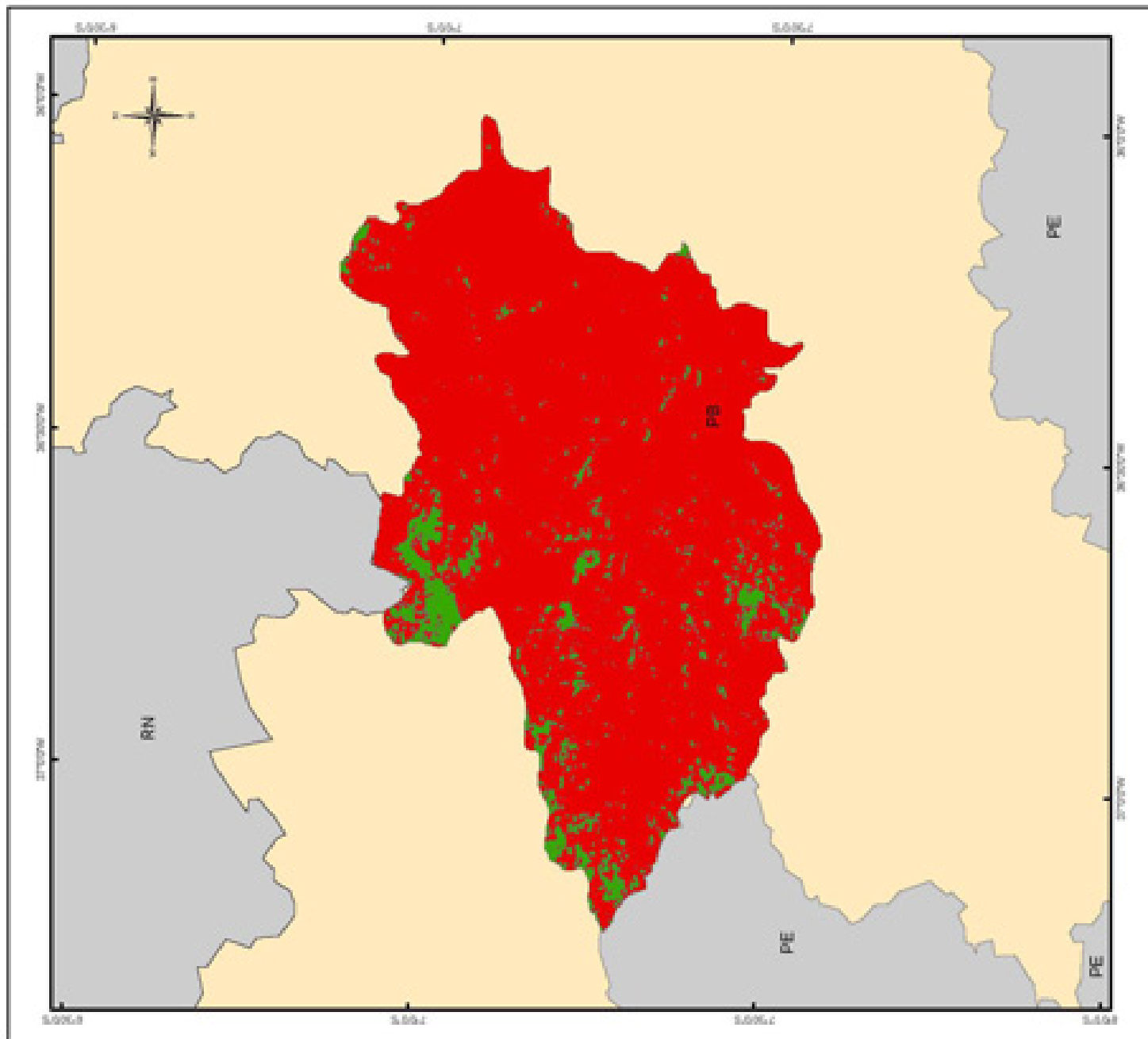
Mapa 12 - Emissividade do mês de outubro de 2006



Mapa 13 - Emissividade do mês de Novembro de 2006



Mapa 13 - Emissividade do mês de Dezembro de 2006



Para os meses de abril a junho as observações coincidem para um período chuvoso. Meses em que a resposta da vegetação é mais acentuada, com emissividade variando de 0,955744 a 0,999999 (cor verde), ao passo que o solo exposto pode ser visto com emissividade variando de 0,85183 a 0,955743 (cor vermelha). Verifica-se nitidamente que o solo vegetado, mesmo em fase de degradação, pode representar o comportamento da eficiência na absorção e emitância da radiação na bacia durante a estação chuvosa. Os campos com emissividade mínima (cor vermelha) estão associadas ao uso e ocupação do solo, com as áreas de criação de gado, exploração da lenha que vêm ocasionando a supressão vegetal, fato histórico, contribuem para a degradação com o agravamento da atividade de exploração Mineral. Esta pode aumentar muito em função das novas demandas de minérios pelo mercado mundial como pôde ser visto no mapa 02 que mostra as áreas de títulos minerários requeridos ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM. Essas áreas dependem de estudos de viabilidade de exploração mineral, que é concedida somente com a comprovação de estudos geológicos.

Nos meses de janeiro e fevereiro e julho a dezembro as observações foram feitas para o período seco, onde a vegetação está no período de “dormência”, assim a situação se inverte, o solo exposto (cor vermelha) passa a representar melhor a emissividade da bacia.

Há um comportamento sazonal da emissividade, para as duas coberturas do solo, uma vegetada e a segunda não vegetada ou parcialmente vegetada. A primeira corresponde a estação chuvosa, que vai de fevereiro a junho, mas a resposta folhear da vegetação inicia-se com uns quinze dias após as primeiras chuvas, por isso a intersecção das curvas emissividade (solo versus vegetação) se

dão em meados de fevereiro. Verifica-se que há uma ascensão muito forte no campo da emissividade da vegetação, no final de fevereiro ela começa a se estabilizar. A partir daí, temos uma curva com pouca oscilação até julho, entretanto com o início da estação não chuvosa, o campo da emissividade da vegetação declina vertiginosamente, até interceptar-se com a emissividade solo. Observe que esse declínio leva mais de trinta dias, fato esse que pode ser explicado pelo comportamento da retenção da umidade do solo em região de caatinga. Segundo Silva (2003), o solo da caatinga leva mais de trinta dias para secar.

Monitorando o campo de emissividade da Sub-bacia do Taperoá entre janeiro a dezembro de 2006, verifica-se uma variação sazonal, com valores mais elevados no mês de abril a julho na estação chuvosa e valores menos elevados entre os meses de janeiro e fevereiro e decaindo ainda mais a partir do mês de agosto ao mês de dezembro. Essa variação pode estar associada ao comportamento da vegetação em região de caatinga, com um máximo da densidade da biomassa na estação chuvosa. Em contrapartida, na estação não chuvosa há um mínimo na densidade da biomassa, o que polariza o cenário físico da paisagem, apresentando duas emissividades distintas, uma para a estação chuvosa variando de 0,955744 a 0,999999, e outra para a estação seca variando de 0,85183 a 0,955743.

O comportamento da emissividade sazonal evidenciou a constante mudança na paisagem da caatinga em virtude das condições climáticas. Assim, o parâmetro emissividade mostrou-se polarizado, visto que temos duas estações climáticas no semi-árido, uma chuvosa e uma seca. Desta forma, a superfície responde a duas emissividades distintas; uma variando de 0,955744 a 0,999999 (estação chuvosa), e uma variando de 0,85183 a 0,955743 (estação seca).

No campo do Albedo foi verificado, por meio do uso de uma programação em LEGAL, que diferença de dezembro de 2003 e 2004 ocorreu um aumento de até 11,6% na área da sub-bacia ocupando cerca de 14% da área pesquisada o conforme pode ser visto no gráfico 4 e mapa 15. O aumento nessas áreas pode ser explicado pela expansão da atividade agropastoril, principalmente pela facilidade de penetração da atividade de caprinocultura em áreas de vegetação esparsa e para o uso de lenha.

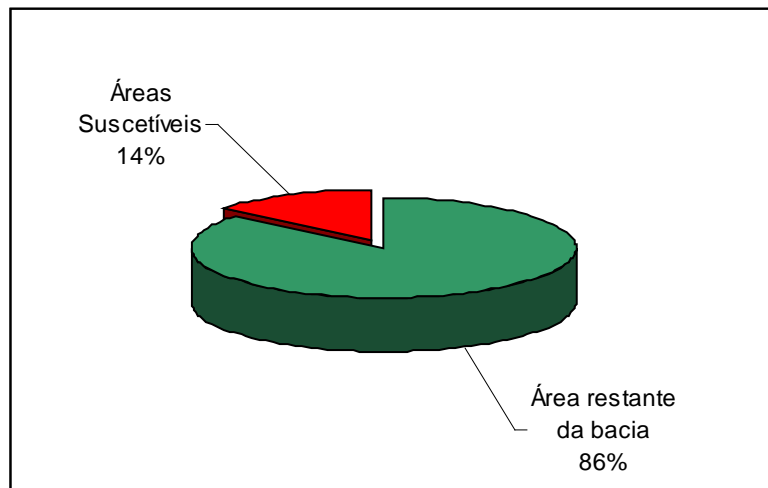
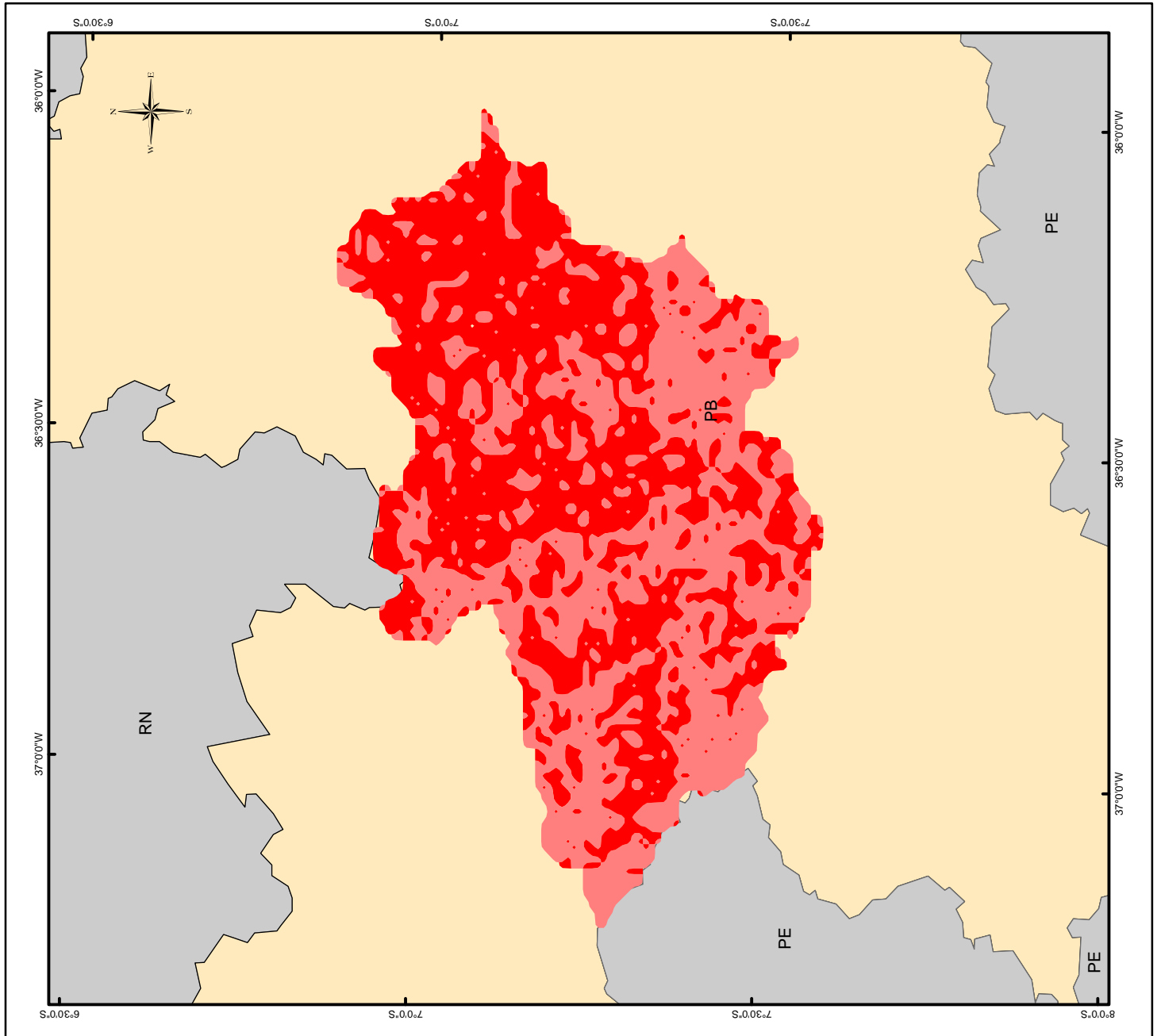


Gráfico 4 – Percentual de solo exposto com aumento de albedo registrado no período de dezembro de 2004
Fonte: Elaborado pelo autor

Mapa 15 - Diferença de Albedo em dezembro de 2003 e 2004

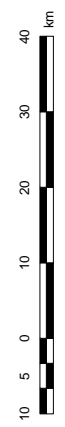


Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia

Legenda

Diferença de Albedo em 2003 e 2004

- 1 - 11,6 (%)
- <1 (%)
- Outros Estados
- PB



1:1.000.000

Projeção Cartográfica: Policônica
 Datum: SAD 69
 Meridiano Central: 54°S
 Base de Pesquisa Estudos Geomambientais e
 Laboratório de Geomática

Localização

Legenda

- Sub-bacia do Tapenóá
- Outros Estados
- PB

1:20.000.000

Projeção Cartográfica: Policônica
 Datum: SAD 69
 Meridiano Central: 54°S
 Base de Pesquisa Estudos Geomambientais e
 Laboratório de Geomática

O mapa 16 de cobertura vegetal e o gráfico 5 revelaram que a grande área de caatinga na Sub-Bacia do Taperoá apresenta-se esparsa e com uma área considerável de solo exposto que abrange as áreas urbanas e degradadas pelas atividades já citadas. O mapa 17 mostra a carta imagem utilizada para a classificação supervisionada realizada para fazer o mapa de cobertura vegetal.

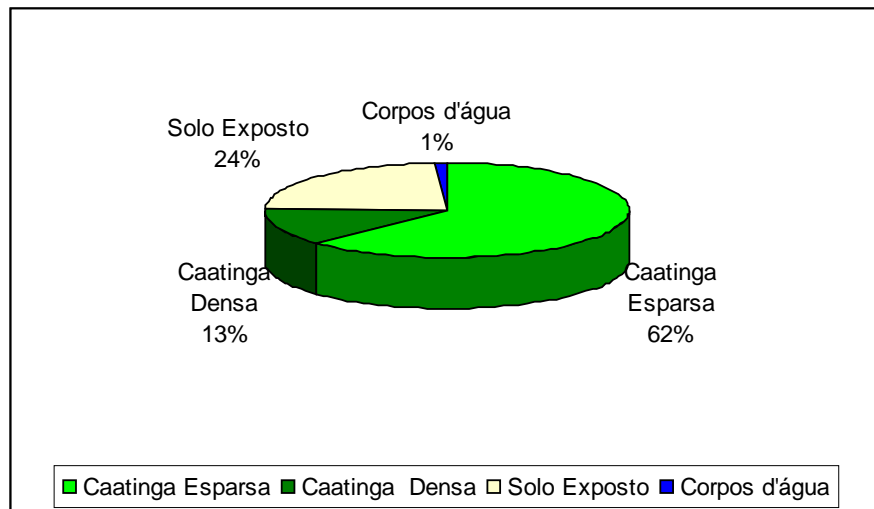
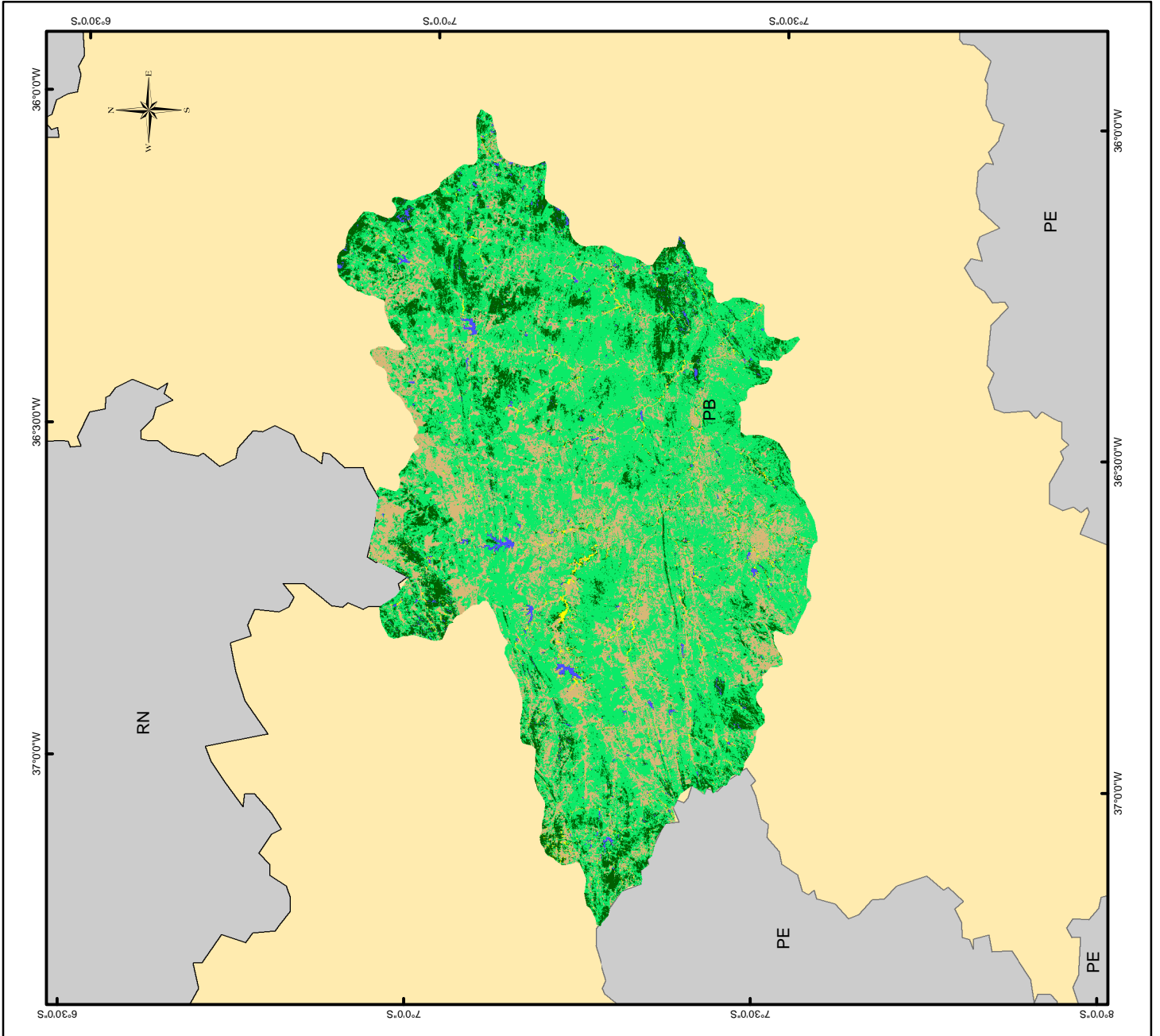



Gráfico 5 – Percentual de áreas classificadas nas Imagens Landsat 5 para o período de dezembro de 2004.

Fonte: Elaborado pelo autor


O mapa 18, que aponta o resultado final da pesquisa mostrando as áreas em processo de degradação ambiental, fornecendo a visualização espacial do cruzamento das áreas com aumento de Albedo com solo exposto, as áreas de exploração mineral e atividade agropastoril. São as áreas que tendem a aumentar a degradação ambiental.

Mapa 16 - Cobertura Vegetal






Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia



Legenda

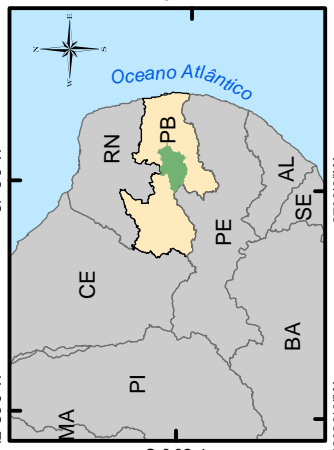
- Caatinga Densa
- Caatinga Esparsa
- Vegetação Ciliar
- Solo Exposto
- Corpos D'água
- Paraíba
- Outros Estados



1:1.000.000

Projeção Cartográfica: Policônica
 Datum: SAD 69
 Meridiano Central: 54°S
 Base de Pesquisa Estudos Geomambientais e
 Laboratório de Geomática

Localização

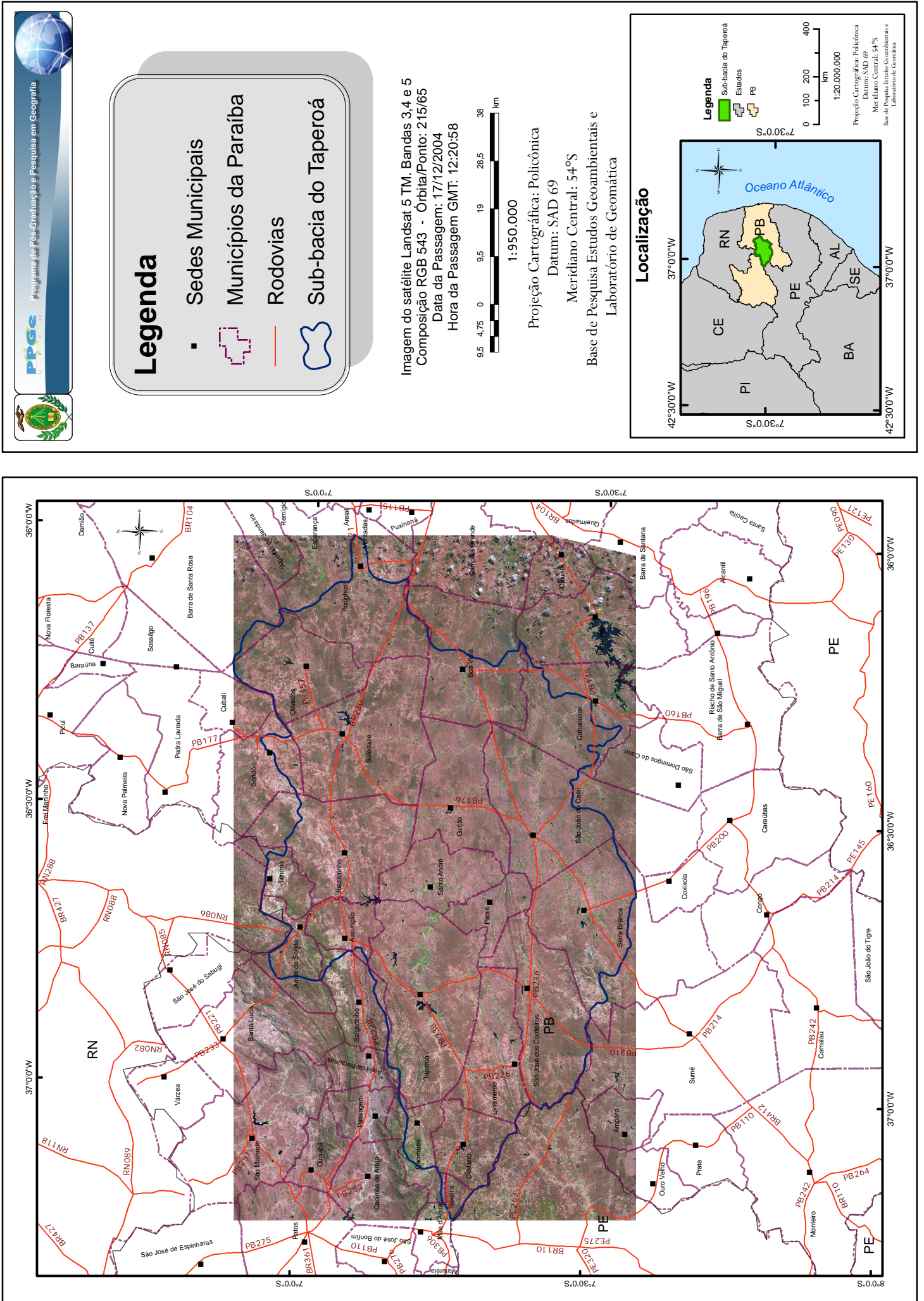


Legenda

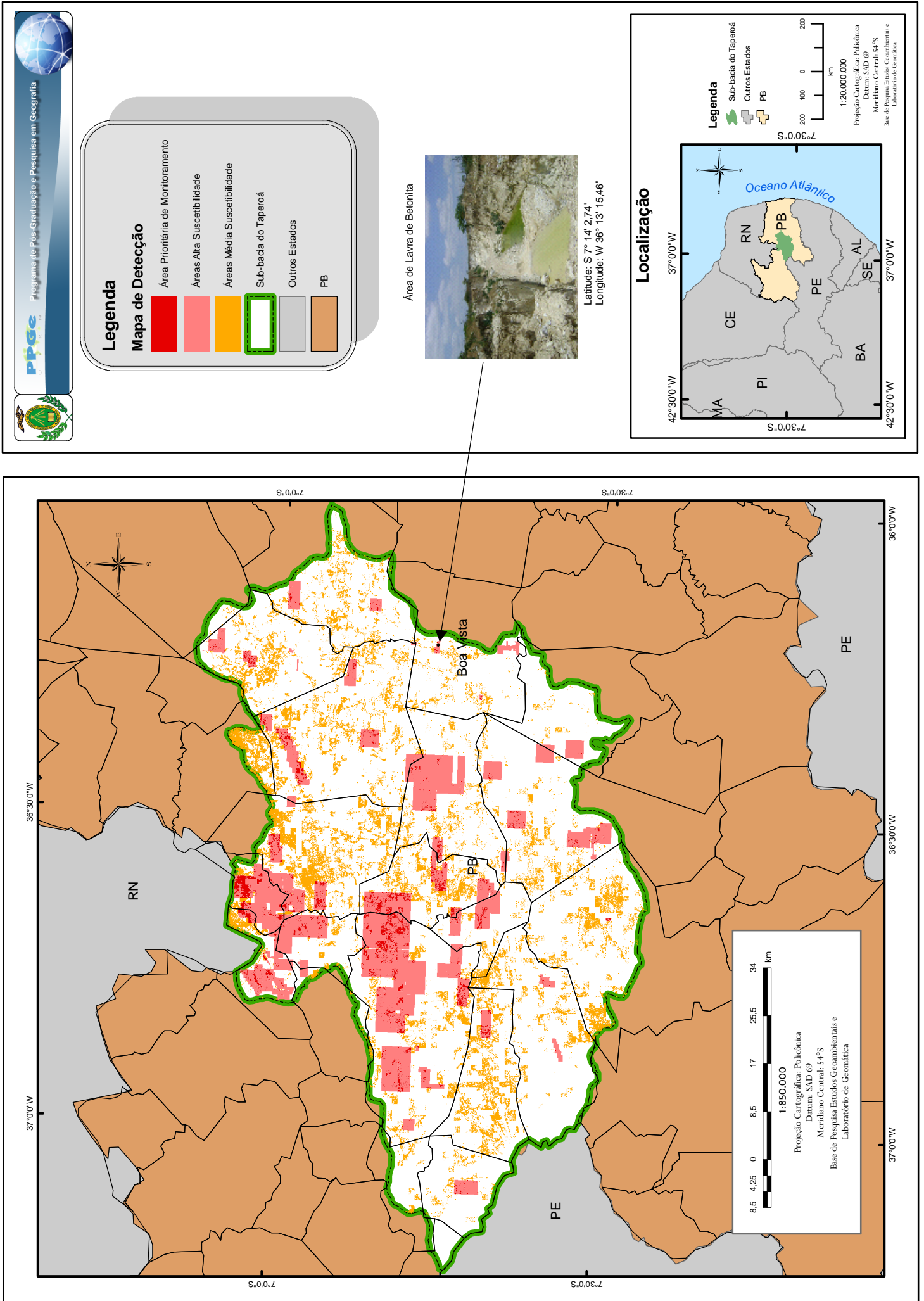
- Sub-bacia do Tapenóá
- Outros Estados
- PB

Projeção Cartográfica: Policônica
 Datum: SAD 69
 Meridiano Central: 54°S
 Base de Pesquisas: Geomática e
 Laboratório de Geomática

Mapa 17 - Carta Imagem da Sub-bacia do Rio Taperoá

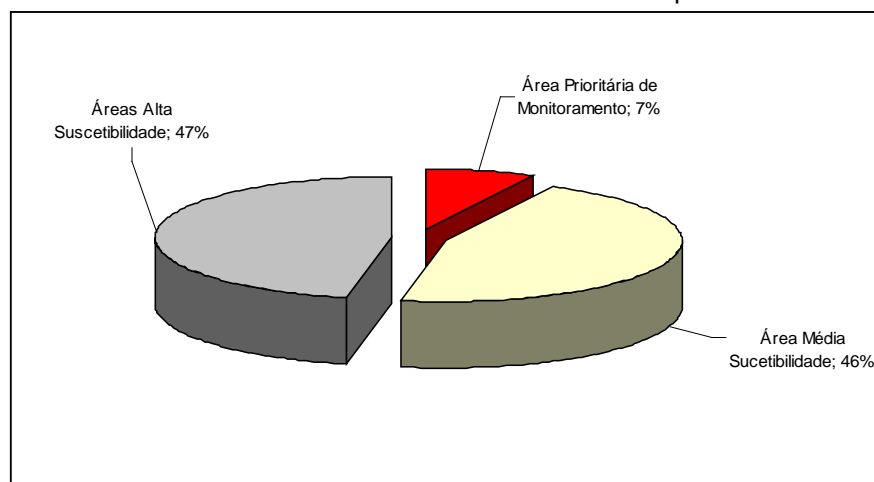


Mapa 18 - Detecção de áreas degradadas na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá



O mapa síntese de áreas degradadas foi elaborado a partir do cruzamento das informações do mapa de títulos minerários, que contém as áreas de pesquisa e exploração mineral dentro da Sub-bacia. As áreas requeridas junto ao DNPM foram consideradas como de Alta Suscetibilidade a Degradação, pois não se sabe exatamente o quanto será extraído de minério em tais áreas, dependerá exatamente do tamanho do corpo do minério a ser explorado. Nas áreas de solo exposto com aumento de albedo, que estão contidas nas áreas de exploração mineral, foram consideradas Áreas Prioritárias de Monitoramento. Nessas áreas a recuperação pode ser mais difícil em função de uma degradação anterior. Nas demais áreas de solo exposto com aumento do albedo foram classificadas como Áreas de Média Suscetibilidade de degradação, porém, aparentemente, sem atividades recorrentes de degradação. O gráfico 6 a seguir mostra o percentual das áreas classificadas no mapa síntese.

Gráfico 6 – Percentual das áreas classificadas no mapa síntese



Fonte: Elaborado pelo autor

Á área de lavra visitada no município de Boa Vista visualizada na foto 4 encontra-se localizada nas seguintes coordenadas geográficas $36^{\circ} 13' 15,45''$ w de longitude e $7^{\circ} 14' 2,74''$ S de latitude. A foto da área de lavra situa-se dentro da área classificada como Áreas prioritárias de monitoramento conforme pode ser visto no mapa a seguir.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

As análises envolvendo parâmetros físicos ligados ao comportamento bioclimático da caatinga mostra a complexidade no entendimento dos fluxos radiativos do ecossistema.

O campo da emissividade representou de forma satisfatória o ambiente da caatinga com valores de emissividade de acordo com a faixa de valores de Paz (2002), variando de 0,95 a 0,99 na estação chuvosa e entre 0,85 a 0,95 na estação seca. A representatividade do albedo também foi satisfatória mostrando as áreas que tiveram aumento entre os anos de 2003 e 2004 no mês de dezembro, mais seco de acordo com os parâmetros de emissividade, permitindo a detecção de áreas degradadas em conjunto com as informações do satélite Landsat 5. Dessa forma, podemos entender que o estágio de degradação na Sub-bacia é preocupante devido a grande quantidade de solo exposto (cerca de 24% da área da Sub-bacia) e 62 % de vegetação esparsa. Essa realidade torna a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Taperoá uma área com alta suscetibilidade a processos de degradação ambiental podendo se tornar irreversível se políticas de sustentabilidade não levarem em conta a especificidade do ambiente em questão e o processo de desertificação estará cada vez mais eminente.

Os resultados obtidos utilizando as técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, como ferramentas para uma análise da degradação do meio físico na área de estudo, permitiram um entendimento e análise de valores da variável física da emissividade que mostram um comportamento específico da bacia e podem ser utilizados em modelos de circulação atmosférica que necessitem de um

limite inferior e superior de valores que melhor representem uma correlação entre a interface ou interconexão solo-vegetação-atmosfera.

Os resultados obtidos por técnicas de sensoriamento remoto mostram que, de maneira rápida e com certo grau de precisão, dados orbitais podem e devem ser tratados em ambientes de modelagem para a detecção de áreas degradadas e os parâmetros físicos podem se tornar necessários para aplicações de monitoramento de bacias hidrográficas.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Pretende-se dar continuidade com uma análise a partir do Balanço de Radiação, envolvendo os fluxos radiativos de superfície de solo com o uso do solo com a finalidade de melhor detectar as mudanças mesoclimáticas na Sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Para a análise do saldo de radiação a temperatura do ar e da superfície serão parâmetros importantes e para a próxima proposta de pesquisa serão utilizados dados de temperatura de superfície das imagens do sensor MODIS (Terra) e dados de rede de estações climatológicas para estimar a temperatura, para realizar análises a partir do balanço de radiação, correlacionando os fluxos radiativos de superfície do solo e seus respectivos usos utilizando a linguagem LEGAL do SPRING. Essas informações darão melhor visibilidade sobre as atividades humanas que mais contribuem para o processo de degradação ambiental na área de estudo. O que deve abrir uma maior discussão sobre as práticas atuais e as que possam ser adotadas com o objetivo de sugerir políticas de desenvolvimento territorial mais sustentáveis para as populações locais.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, Luciano J. O. *et al.* Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM. In.: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.2000, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2000. v.1.p.549-556.

BASTIAANSEN, W.G.M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Netherlands: University, Wageningen, 1995.273 p. Tese de Doutorado.

BASTOS, E. J. B.; SOUZA, R.A.; ALVALÁ, R.C.S. EMISSIVIDADE DE SUPERFÍCIE SOBRE O BRASIL A PARTIR DE OBSERVAÇÕES DO SSM/I EM 19GHZ E 85 GHZ. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 18, n.2, p.147, jul. 2000.

BERTALANFY, Ludwig Von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis (RJ): Vozes, 1977.

_____. Os Processos Realizados na Teoria Geral Dos Sistemas – abordagem e propósitos da ciência dos sistemas. In.:_____ **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis (RJ): Vozes, 1977. p.126.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semi-Árido Nordestino e do Polígono das Secas – Relatório Final**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004. 113 p.52.

CALIJURI, Maria Lúcia; RÖHM, Sergio Antonio. Introdução. In: _____. **Sistema de Informações Geográficas**. 1. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1995. 34p. cap.1, p.5-9.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Informação. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org). **Introdução a Ciência da Informação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2004. 15p. cap 5, p.1-15. 1 CD-ROM. SPRING 4.1

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236p.

_____. Aspectos da Análise Sistêmica em Geografia. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v.3, n.6, p.1-31, out. 1978.

Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM. **Sistema de Informações Geográficas de Mineração/SIGMINE**. Brasília: SIGMINE, 2008. Disponível em:< <http://sigmine.dnrm.gov.br/>>. Acesso em: 18 de set. 2008.

GUERRA, A. J. T. et. al. Degradação Ambiental. In.: GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental em Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. cap 01. p.19

HARE, F. Kenneth; WARREN, Andrew; MAIZELS, Judith *et.al.* As causas da desertificação.In.:_____. **DESERTIFICAÇÃO: CAUSAS E CONSEQUENCIAS**. Lisboa: FUNDAÇÃO CULOSTE GULBENKIAN, 1992. p.35-36. Tradução de Henrique Barros e Ário Lobo de Azevedo.

IBGE. **Censo – 2000** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>>. Acesso em: 16 de dez. 2007.

IBGE. **Contagem da população – 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 15 de dez. 2007.

IBGE. **Geociências: malha digital de municípios – 2005**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo/>. Acesso em: 7 de mar. 2006.

INPE/SELPER. PROJETO EDUCA SeRe I- SELPER / Capítulo Brasil – INPE. **CADERNOS DIDÁTICOS - Nº 1 e 2 - PROGRAMAS ESPACIAIS: SISTEMAS SENSORES ÓTICOS LANDSAT**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 1997. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/selper/image/inicio.html>>. Acesso em: 22 de jun. 2006.

LIANG, Shunlin; STRAHLER, Alan H.; WALTHALL, Charles. **Retrieval of Land Surface Albedo from Satellite Observations: A simulation Study**. Journal of Applied Meteorology, v.38, n.6, p.712-725, 1999.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Aplicação e Avaliação Crítica (1978-1989).In._____.**Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2001. p.81

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308p.

PACHECO, A. **EMISSIVIDADES DE SUPERFÍCIES NATURAIS NO INFRAVERMELHO TERMAL**. In.: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... Santos: INPE, 1998. p.1307-1313.

PAZ, R.S. **Avaliação da análise inversa ao modelo meteorológico de circulação regional – MAL**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecânica– UFPB, João Pessoa, 106p, 2002.

PEREIRA, Gabriel. *et al.* **Estimativas do Albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas inferidas através de imagens Landsat.** In.: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p.4527-4534p

PRADO, Hélio do. **Pedologia Fácil: aplicações na agricultura.** 1.ed. Piracicaba:ESALQ, 2007. 105p.

ROSENDO, Jussara dos Santos. **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E MONITORAMENTO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIO ARAGUARI - MG – UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS.** Uberlândia: UFU, 2005. 152p. Dissertação de Mestrado.

RUDORFF, B.F.T. *et.al.* **O SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL.** São José dos Campos: Parêntese, 2007. 428p.

SEMARH – Secretária Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba.** João Pessoa: SEMARH, 2004. 1 mapa.

SILVA, Ardemírio de Barros. Fundamentos Teóricos. In: _____. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** 1. ed. Campinas, SP: Unicamp, 1999. cap. 1, p. 27-41.

SILVA, Fernando Moreira da. **Estudo Teórico-Experimental dos Balanços Energético, Radiativo e Hídrico no Complexo Solo-Vegetação-Atmosfera em Região de Caatinga.** 2003. 178p. Tese de Doutorado. UFPB, João Pessoa. 2003.

SOARES, J. V.*et. al.* *Sensor Modis – Histórico e Descrições.* In.:_____. **O SENSOR MODIS E SUAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS NO BRASIL.** São José dos Campos: Parêntese, 2007. 428p.

SOUZA, B.I. **Contribuição ao estudo da desertificação na bacia do rio Taperoá - PB. Dissertação de Mestrado.** PRODEMA Universidade Federal da Paraíba. 120 p.1999.

SOUZA, Bartolomeu I. de; SILANS, Alain M. B. P. de; SANTOS, José B. dos. **Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB,v.8, n.2/3, p.292-298, 2004, DEAg/UFCG.

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

VAN DE GRIEND, A.A.; OWE, M. **On the relationship between thermal emisivity and the normalized difference vegatation index for natural surfaces.** International Journal of Remote Sensing, vol. 14, n. 6, 1119 – 1131 , 1999.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **METEOROLOGIA E APLICAÇÕES**.
Viçosa: UFV, 2000. 448p.