



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE TEMPERATURAS DE
SUPERFÍCIE NO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE INTEGRADA A PARTIR
DE DADOS ORBITAIS DE RESOLUÇÃO MODERADA**

NICALI BLEYER FERREIRA DOS SANTOS

TESE DE DOUTORADO

Goiânia, julho de 2010.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Nicali Bleyer Ferreira dos Santos

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE
TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE NO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE
INTEGRADA A PARTIR DE DADOS ORBITAIS DE RESOLUÇÃO MODERADA**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Doutorado/Universidade Federal de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

Goiânia, julho de 2010.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
 PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
 PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**DISTRIBUIÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE TEMPERATURAS DE
 SUPERFÍCIE NO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE INTEGRADA A PARTIR
 DE DADOS ORBITAIS DE RESOLUÇÃO MODERADA**

Nicali Bleyer Ferreira dos Santos

Tese de Doutorado submetida ao programa de Pós - Graduação em Ciências Ambientais - Nível Doutorado - da Universidade Federal de Goiás, UFG, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira (UFG)
 (ORIENTADOR)

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira (IFG)
 (CO-ORIENTADOR)

Prof. Dr. Fausto Miziara (UFG)
 (EXAMINADOR INTERNO)

Prof^ª. Dr^a Juliana Ramalho Barros (UFG)
 (EXAMINADOR EXTERNO)

Prof. Dr. Edson Sano (EMBRAPA CERRADOS)
 (EXAMINADOR INTERNO)

Prof. Dr. João Afonso Zavattini (UNESP)
 (EXAMINADOR EXTERNO)

Goiânia, julho de 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos Ferreira Bleyer Nicali

Padrões de distribuições espaciais e temporais de temperatura de superfície no bioma Cerrado: Uma análise integrada a partir de dados orbitais de resolução moderada.

Pág. 94 (UFG/ Pró - Reitoria de Pós-Graduação/Programa de Doutorado em Ciências Ambientais/Doutorado, 2010).

1. Sensor MODIS

3. Temperatura de superfície

2. Bioma Cerrado

4. Uso e cobertura da terra

RESUMO

A presença de vegetação verde é um importante fator na manutenção de processos biogeoquímicos da natureza. No Cerrado, assim como em outros ecossistemas, a conversão da vegetação natural em áreas de pastagens e agricultura induz a alteração de variáveis biofísicas como a temperatura de superfície (TS), altamente sensível a mudanças na cobertura da terra. Dessa maneira, com vistas à contribuir com o entendimento da dinâmica de causa e efeito do uso e ocupação da terra no Cerrado nas variáveis biofísicas da região, o presente trabalho procurou analisar, através de dados orbitais (produto MOD11-Land Surface Temperature), a correlação entre a ocupação da terra e a variabilidade termal de superfície, tendo como recorte temporal o ano de 2003 nos períodos de maio e setembro (início e final da seca). Para esse propósito, relacionaram-se as diversas formas de ocupação (expressas pelas categorias de uso e ocupação da terra) com a variável biofísica TS, bem como se verificou a variabilidade termal após episódios de desmatamento. A análise dos dados mostrou temperaturas de superfície mais elevadas em áreas antropizadas e evidenciou um aumento positivo na TS em áreas desmatadas no bioma Cerrado.

ABSTRACT

The occurrence of vegetation is an important factor regarding the maintainance of natural biogeochemical processes. In the Cerrado, the conversion of the vegetative cover into croplands and cultivated pasturelands has induced severe modifications in biophysical variables such as land surface temperatures, highly sensitive to land cover / land use changes. Thus, and aiming at a more complete understanding of the land conversion impacts on the Cerrado biophysical variables, in this study we assessed, through orbital data (MOD 11 product - Land Surface Temperature), the correlation between land occupation and thermal variability, considering 2003 imagery obtained at the beginning and end of the dry season. In particular, we investigated the LST behavior in relation to the major Cerrado land cover classes, as well as its response to the ongoing clearings. Our results confirmed higher temperatures over anthropic areas, as well as significant increases immediately following deforestations.

Dedico este trabalho à minha família, que esteve presente em todos os momentos de minha formação acadêmica, em especial, à minha mãe. E a todas as pessoas que, de uma forma ou outra, me ajudaram a concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, que me deu saber e disposição para a realização deste estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro indispensável ao desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus familiares, pelo incentivo e encorajamento, em especial, à minha irmã Giovana Bleyer.

Ao meu marido, Bruno Paixão de Campos, não só pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento de meu doutoramento, mas também por todo carinho durante a minha formação acadêmica.

À amiga de toda uma vida, Potira Meirelles Hermuche, pela grande amizade e horas de trabalho que dividimos desde o nosso primeiro semestre no curso de graduação de geografia.

Aos professores do curso de Doutorado em Ciências Ambientais, pelos ensinamentos, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior, e ao meu co-orientador, Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, que tiveram papel determinante na realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás, pelo apoio técnico e logístico, e aos companheiros Genival e Marlon pela amizade.

À Elísia Paixão de Campos, que, como sempre, muito gentilmente realizou a revisão deste trabalho.

Aos amigos de doutorado, pelos ricos momentos divididos durante o curso, em especial a Maria Barbalho, com quem, além de dividir pesquisa e trabalho, pude construir uma grande amizade.

À amiga Juliana Ramalho, pelos momentos que passamos a dividir na fase final de conclusão deste trabalho, de grande importância tanto na minha vida pessoal, quanto profissional.

Ao amigo Rodrigo Soares da Rocha, pelo auxílio fundamental na organização de meu banco de dados.

E aos amigos que sempre estiveram presentes na minha vida e na minha formação acadêmica: Aurélia Soares da Rocha, Juliana Hardman, Babe Lavenere, Danielle Magalhães, Matheus Machado de Carvalho, Adriana Carvalho, Ana Carolina Emediato, Thaís Ferraz e Janaina Amaral.

MEMORIAL

Sou graduada em geografia pela Universidade de Brasília, nas modalidades de bacharelado e licenciatura (2002). Durante o curso de graduação, fui bolsista de iniciação científica PIBIC/CNPq e desenvolvi atividades de monitoria nas disciplinas de geomorfologia e geografia biológica. No trabalho de conclusão de curso, utilizei o sensoriamento remoto (imagens Landsat 5 ETM+) como técnica auxiliar na detecção da calha principal do médio São Francisco (a pesquisa foi desenvolvida com o apoio da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF). Obtive o grau de mestre no programa de geografia da mesma instituição, optando pela linha de pesquisa de gestão ambiental e territorial (2005). O trabalho de conclusão, intitulado “Utilização de imagens Landsat ETM+ em estudo multitemporal da dinâmica fluvial em trecho navegável do rio São Francisco”, foi desenvolvido com o objetivo de dar continuidade aos estudos da graduação, tendo contado com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Em 2006, ingressei no Programa de Doutorado em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Goiás, no qual desenvolvi, além da pesquisa de doutoramento (financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq), atividades de monitoria, participação e organização de eventos e publicação de artigos. Atualmente sou professora substituta da Universidade Federal de Goiás, onde ministro aulas de Estudos Regionais da América Latina, Geografia de Goiás e Estágio Supervisionado I (licenciatura), no âmbito do curso de Geografia do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Além disso, participo do projeto de pesquisa Mapeamento e Caracterização Biofísica de Áreas de Pastagens Cultivadas no Bioma Cerrado (Edital Universal do CNPq), e dos Projetos de Extensão Educomunicação e elaboração de materiais didáticos para as escolas municipais da Região Metropolitana de Goiânia, ambos desenvolvidos no âmbito da Universidade Federal de Goiás e, o último, com financiamento do Ministério da Educação – MEC.

“Assim que chegamos ao ponto mais alto, voltei-me e olhei para trás. Sob meus olhos, estendia-se uma imensa paisagem coberta de florestas de um verde um pouco pálido... a região continuava cheia de vales e bastante irregular... só havia florestas nos vales, às margens dos rios, quanto as partes mais altas apresentavam-se cobertas de gramíneas e de plantas herbáceas, entre as quais se espalhavam pequenas árvores... os brasileiros chamam essa paisagem de Campo... os espanhóis a chamam Savana.”

Trecho do diário de Eugen Warming, professor de botânica da Universidade de Copenhague, que apresentou ao mundo, no ano de 1892, o primeiro trabalho científico sobre o Cerrado.

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho corresponde a uma Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás – UFG. É apresentado na forma monográfica, de acordo com a seguinte estrutura:

- Introdução.
- Contextualização da área de estudo.
- Referencial teórico.
- Materiais e métodos.
- Análise da distribuição das temperaturas de superfície no Cerrado.
- Conversão da paisagem natural e a variabilidade termal de superfície: um estudo a partir de dados de alertas de desmatamentos do SIAD.
- Considerações finais.

Na introdução são apresentados os objetivos gerais e específicos, além das perguntas e hipóteses que nortearam esta pesquisa científica. Na contextualização da área de estudo são abordados os aspectos que caracterizam o seu objeto (o Cerrado) nos âmbitos biofísico, socioeconômico e de políticas públicas. O referencial teórico traz uma revisão da literatura sobre análise da paisagem, temperatura de superfície, sensoriamento remoto no infravermelho termal e os dados do Produto MOD11 – *Land Surface Temperature* do sensor MODIS a bordo do satélite TERRA.

Em materiais e métodos é apresentado o desenho experimental da tese, com exemplos dos procedimentos metodológicos adotados quanto à aquisição, processamento e análise dos dados.

No capítulo sobre a distribuição da temperatura de superfície é apresentada uma discussão sobre as diversas categorias de uso da terra no Cerrado e a correlação destas com as variabilidades termais de superfície obtidas através do Produto MOD11 do sensor MODIS TERRA. As categorias de uso da terra foram delimitadas com base no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO, 2002.

O capítulo sobre a conversão da paisagem natural e a variabilidade da termal de superfície aborda a correlação entre a conversão da paisagem natural e a mudança de temperatura de superfície ocorrida em áreas do bioma Cerrado. Especificamente, as

informações sobre a conversão foram obtidas através do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento – SIAD.

O capítulo com as considerações finais apresenta uma discussão sobre os resultados finais da pesquisa, correlacionando-os com a necessidade de execução de algumas recomendações de caráter técnico e político que auxiliem na compreensão da variável temperatura de superfície bem como no planejamento e gestão territorial do bioma Cerrado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
2.1	Formação e processo de ocupação.....	4
2.2	Contexto biofísico.....	7
2.3	Contexto socioeconômico e infra-estrutura rodoviária.	16
2.4	Políticas Públicas.	24
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	31
3.1	Análise da paisagem	31
3.2	Temperatura de Superfície (TS).....	32
3.2.1	A importância da temperatura de superfície	40
3.3	Sensoriamento remoto no infravermelho termal.....	42
3.3.1	O PRODUTO MOD11.....	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS.	51
4.1	Procedimentos metodológicos de seleção e tratamento dos dados utilizados.	51
4.2	Procedimentos metodológicos para as análises dos dados.....	53
5	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE NO CERRADO ...	63
5.1	Análise qualitativa dos dados de temperatura de superfície.	63
5.2	Análise quantitativa dos dados de temperatura de superfície.	70
6	CONVERSÃO DA PAISAGEM NATURAL E VARIABILIDADE TERMAL DA SUPERFÍCIE: UMA ANÁLISE A PARTIR DE ALERTAS DE DESMATAMENTOS BASEADOS EM IMAGENS MODIS.....	79
7	CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES.....	82
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
	ANEXO	96
	<i>Espacialização das temperaturas de superfície/LST para o Cerrado de janeiro a dezembro, para o período de 2003 a 2008. Base de dados sensor MODIS TERRA Produto MOD11 A2 Coleção 5.....</i>	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Cerrado e demais biomas do Brasil. Fonte: Ministério do Meio Ambiente e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2005.....	1
Figura 2: Mapa da ocorrência de focos de calor no Cerrado para os meses de maio e setembro de 2003. Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.	6
Figura 3: Mapa de localização das áreas queimada no bioma Cerrado no ano de 2003. Fonte: sensor MODIS MCD45A1.	7
Figura 4: Localização das savanas no mundo.	8
Figura 5: Mapa dos tipos de relevo existentes no bioma Cerrado. Fonte: Compartimentos de relevo do Brasil. Fonte: IBGE (2002).	9
Figura 6: Mapa de desvio-padrão de declividade do Cerrado. Fonte: imagens SRTM – <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>	10
Figura 7: Mapa das classes de solos encontradas no bioma Cerrado - Mapeamento de solos do Brasil. Fonte: IBGE (1981) (a partir da base de dados do RADAMBRASIL). Nomenclatura atualizada de acordo com a atual classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).	12
Figura 8: Mapa hidrográfico do Cerrado – ottobacias, nível 4/Divisão Hidrográfica Nacional, 2003.	13
Figura 9: Localização do aquífero Guarani. Fonte: adaptado de Borghetti <i>et al.</i> (2004). ...	14
Figura 10: Mapa do sistema rodoviário do bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2005).	18
Figura 11: Mapas da distribuição espacial, conforme limites municipais, dos índices IDH (a), Pobreza (b) e Gini (c). Fonte: IBGE (2000). Os valores referentes ao Índice de Pobreza são apresentados em porcentagem. Para a espacialização dos dados referentes aos indicadores sociais, foram considerados apenas os municípios inseridos completamente no bioma.	21
Figura 12: Mapas referentes à distribuição espacial dos valores de PIB Total, Indústria e Agropecuário nos municípios do bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2000). Os valores dos PIBs são apresentados em R\$.	23
Figura 13: Mapa das unidades de conservação no Brasil. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004.	27
Figura 14: Mapa de localização das unidades de conservação do bioma Cerrado. Fonte: Ministério do Meio Ambiente - MMA (2006).	28
Figura 15: Direção do aquecimento solar na Terra e influência deste nos movimentos atmosféricos. Fonte: Ricklefs (1993).	34
Figura 16: Distribuição de chuvas de acordo a presença do relevo. Fonte: Ricklefs (1993).	35
Figura 17: Variação da temperatura de superfície em função da quantidade de água existente no solo. Fonte: Carlson <i>et al.</i> (2005).	35
Figura 18: Sensores orbitais que atuam na faixa do infravermelho termal.	37
Figura 19: Comparação entre as temperaturas de superfície medidas <i>in loco</i> e estimadas pelo sensor AVHRR. Fonte: Czajkowsk <i>et al.</i> (2005).	37
Figura 20: Comparação entre as temperaturas de superfície medidas <i>in loco</i> e estimadas pelo sensor MODIS. Fonte: Wan (2006).	38
Figura 21: Mudança na média anual de precipitação em decorrência da substituição de vegetação de savana por pastagens. Fonte: Holffman e Jackson (2000).	41
Figura 22: Intervalos do espectro eletromagnético.	43

Figura 23: Mapa de localização da área de estudo e dos <i>tiles</i> MODIS utilizados na pesquisa.	51
Figura 24: Mapa de localização das classes de cobertura e uso da terra no bioma Cerrado consideradas na pesquisa - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira/PROBIO, 2002.	55
Figura 25: Mapa de localização da coleta amostral, conforme variação latitudinal e altitudinal, para todas as categorias de uso no bioma Cerrado utilizadas na pesquisa.	57
Figura 26: Mapa de localização dos alertas de desmatamentos detectados no período de 2004-2005 e dos polígonos analisados na pesquisa (acima de 500ha). Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento – SIAD.	59
Figura 27: Modelo lógico-conceitual do SIAD-GO. Fonte: Rocha (2010).	60
Figura 28: Fluxograma esquemático referente aos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.	62
Figura 29: Distribuição da TS pelos limites estaduais (maio). As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam ausência de dados.	65
Figura 30: Distribuição da TS pelos limites estaduais (setembro). As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam ausência de dados.	66
Figura 31: Distribuição da vegetação remanescente (dados PROBIO, 2002), conforme limites hidrográficos (Ottobacias - nível 4), 2006.	67
Figura 32: Distribuição das médias de temperatura de superfície para o mês de maio, conforme limites hidrográficos (Ottobacias- nível 4), 2006.	68
Figura 34: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2003.	97
Figura 35: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2004.	98
Figura 36: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2005.	99
Figura 37: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2006.	100
Figura 38: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2007.	101
Figura 39: Espacialização da distribuição de <i>Land Surface Temperature</i> no bioma Cerrado para o ano de 2008.	102

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Unidades de conservação de Uso Sustentável e Proteção Integral com suas respectivas taxas de conversão e desmatamentos ocorridos em um <i>buffer</i> de 10 km. Fonte: Garcia <i>et al.</i> (2009).....	29
Tabela 2: Comparação entre os dados de temperatura de superfície medidos pelo sensor MODIS e os dados de temperatura do ar medidos <i>in loco</i> nos Alpes. Fonte: adaptada de Colombi <i>et al.</i> (2009).....	39
Tabela 3: Valores médios de mudança nos fatores precipitação, temperatura, fluxo de calor latente, calor sensível e radiação em função da substituição da vegetação natural por pastagens. Fonte: adaptada de Holffman e Jackson (2000).....	41
Tabela 4: Quadro representativo dos produtos LST disponíveis. Fonte: adaptado de: Collection – 5/MODIS Land Surface Temperature Products User Guide. Wan, 2007.	48
Tabela 5: Quadro representativo das melhorias da Coleção V-5 sobre a Coleção V- 4. Fonte: adaptado de: <i>Collection – 5 – MODIS Land Surface Temperature Products User’s Guide</i> . Wan, 2007.	49
Tabela 6: Quadro representativo: <i>Data Sets - MOD11 A</i> . Coleção – 5. Fonte: adaptado de <i>MODIS Land Surface Temperature Products User’s Guide</i> . Wan, 2007.	49
Tabela 7: Correlação entre os dados de temperatura de superfície e a latitude para diferentes classes de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado.	73
Tabela 8: Correlação entre os dados de temperatura de superfície e altitude para diferentes classes de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado.	73
Tabela 9: Teste de Tukey – diferença mínima entre os pares das médias amostrais de temperatura de superfície, em maio e setembro, para as classes de cobertura e uso do solo no bioma Cerrado.....	78
Tabela 10: Diferenças entre as médias termais da superfície, antes e após os alertas de desmatamentos detectados no bioma Cerrado para o período entre 2003 e 2004.....	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação entre a área desmatada e a distância das rodovias principais no bioma Cerrado.	19
Gráficos 2 e 3: Comparação dos dados LST obtidos pela plataforma TERRA e pela plataforma AQUA após a aplicação do controle automático de qualidade, para os meses de maio e setembro, respectivamente.	52
Gráficos 5, 6 e 7: Distribuição das médias termais de superfície para as classes agricultura, reflorestamento e savana arborizada, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.	71
Gráficos 8, 9 e 10: Distribuição das médias termais de superfície para as classes savana florestada, savana gramíneo-lenhosa e savana parque, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.....	72
Gráfico 11: Distribuição das médias termais de superfície para a classe savana estépica conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.	72
Gráfico 12: Distribuição do coeficiente de variação para a pastagem conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa o coeficiente de variação no mês de maio e a cor vermelha o coeficiente de variação no mês de setembro.....	74
Gráficos 13, 14 e 15: Distribuição do coeficiente de variação para as classes agricultura, reflorestamento e savana arborizada (respectivamente), conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa o coeficiente de variação no mês de maio e a cor vermelha o coeficiente de variação no mês de setembro.....	74
Gráficos 16, 17 e 18: Distribuição do coeficiente de variação para as classes savana florestada, savana gramíneo-lenhosa e savana parque, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa as temperaturas no mês de maio e a cor vermelha as temperaturas no mês de setembro.	75
Gráfico 19: Distribuição do coeficiente de variação para a classe savana estépica conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa as temperaturas no mês de maio e a cor vermelha às temperaturas no mês de setembro.	75
Gráficos 20 e 21: Distribuições de frequência (temperatura de superfície) das classes de uso e cobertura da terra no Cerrado, para os meses de maio e setembro, respectivamente.	75
Gráfico 22: Distribuição dos valores referentes à dependência espacial (Índice de Moran) dos dados de TS no bioma Cerrado para maio e setembro.....	76
Gráfico 23: Comportamento sazonal da temperatura de superfície para as principais classes de cobertura e uso da terra no bioma Cerrado.	77
Gráficos 24 e 25: Valores de EVI para os polígonos antes (2001, 2002, 2003) e após (2006, 2007, 2008) os alertas de desmatamentos e o erro-padrão correspondente.....	79
Gráficos 26 e 27: Distribuição das médias termais da superfície, antes e após os polígonos de alertas de desmatamento detectados no bioma Cerrado, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e 2006, 2007 e 2008, respectivamente (Gráfico 05).	80
Gráficos 28 e 29: Distribuição dos coeficientes de variação referentes às temperaturas de superfície, antes e após os polígonos de alertas de desmatamento detectados no bioma Cerrado, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e 2006, 2007 e 2008, respectivamente. 80	80

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 23% do território nacional. Sua distribuição abrange a região Sudeste, nos estados de Minas Gerais e São Paulo, e estende-se para parte das regiões Centro-Oeste, Norte e pequena porção do Nordeste, cortando diagonalmente o país no sentido nordeste-sudoeste (RIBEIRO e WALTER, 2008; COSTA e OLSZEWSKI, 2008; AGUIAR *et al.*, 2004). Este bioma compreende uma área de aproximadamente 2.046 milhões de km² e é reconhecido como a savana mais rica do mundo em biodiversidade, com a presença de diversos ecossistemas e riquíssima endemia (MYERS, 2000) (Figura 1).

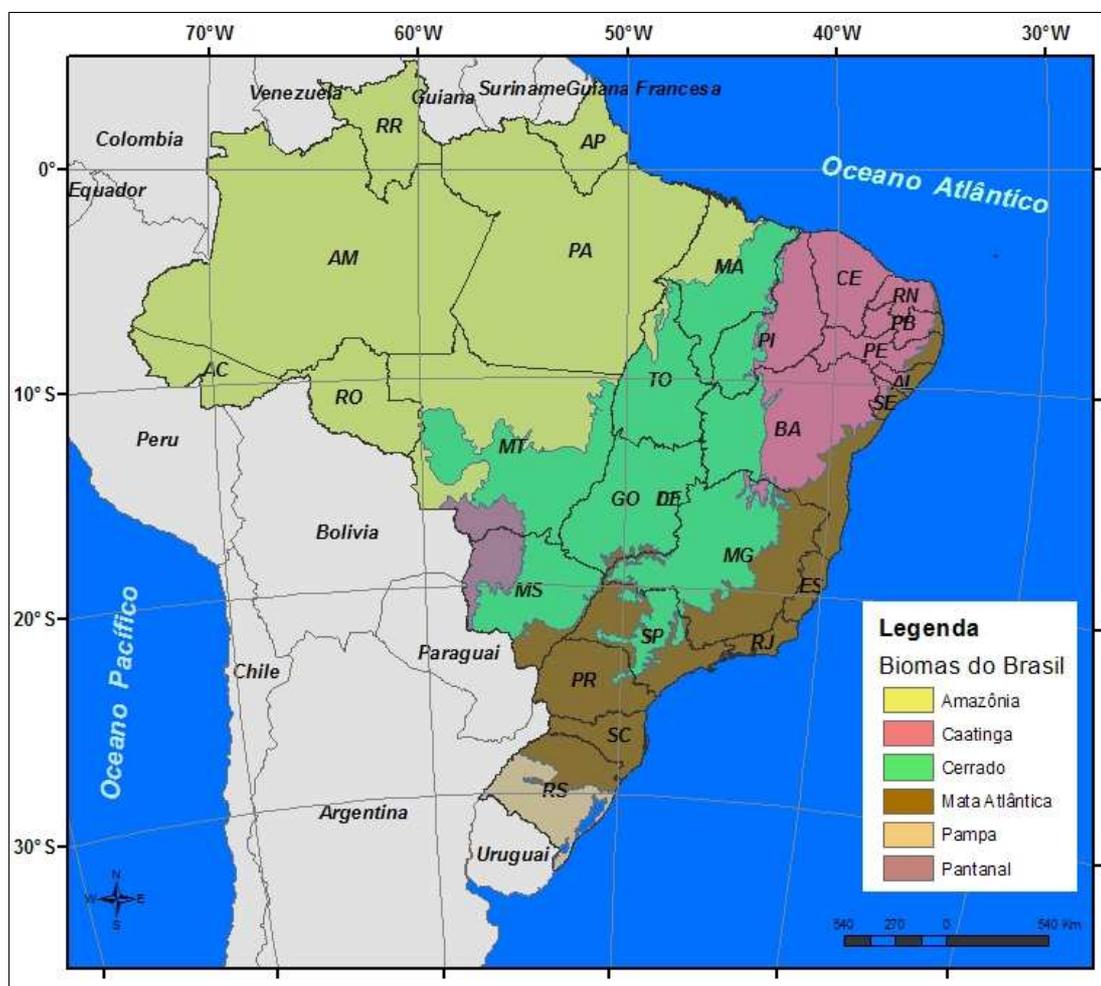


Figura 1 - Mapa de localização do Cerrado e demais biomas do Brasil. Fonte: Ministério do Meio Ambiente e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2005.

No contexto nacional, o valor ecológico do Cerrado se destaca, dentre outros motivos, pela importância que exerce na manutenção de importantes bacias hidrográficas brasileiras, como as dos rios Paraná, São Francisco, Araguaia e Tocantins, bem como no papel de sumidouro dos gases de efeito estufa. Além disso, a consagração como área de expansão agropecuária, incentivada por políticas territoriais de ocupação, confere ao bioma posição de destaque no cenário econômico brasileiro, principalmente no que diz respeito à produção de grãos e pecuária extensiva para a exportação (RATTER *et al.*, 1996).

Apesar de tamanha importância, cerca de 40% de sua área já foi convertida em pastagens, áreas agrícolas e áreas urbanas (SANO *et al.*, 2008), fazendo com que a taxa de conversão para a agricultura e a pecuária seja da ordem de 12.480 km² por ano (MARTINS Jr. e CHAVES, 2009). Fatores como a interiorização da capital federal e o decorrente processo de expansão da infra-estrutura muito contribuíram para a conversão das áreas de vegetação nativa, o que certamente induziu a alterações nos parâmetros biofísicos da região, uma vez que a presença de vegetação é um importante fator na regulação de processos biogeoquímicos como os ciclos da água e de energia (CHUDNOVSKY *et al.*, 2004).

Nesse contexto, um importante parâmetro a ser considerado é a temperatura de superfície (TS), porque essa variável, além de ser um importante fator na estimativa do balanço de energia da superfície, é também altamente susceptível ao padrão de ocupação da terra (HASHIMOTO *et al.*, 2003). Devido à escassez e à dificuldade em se coletar dados meteorológicos em campo, a TS tem contado com o auxílio de importantes avanços tecnológicos para sua mensuração, principalmente no que se refere aos avanços recentes do sensoriamento remoto que oferecem a possibilidade de obtenção de dados com resolução espacial e temporal variada (ANDERSEN, 1997; SALISBURY e D'ARIA, 1992).

Nesse sentido, o presente trabalho procurou fornecer subsídios que possam contribuir para o entendimento da dinâmica de causa e efeito do uso e ocupação do Cerrado nas variáveis biofísicas da região. A pesquisa aqui desenvolvida relaciona, portanto, as diversas formas de ocupação (expressas pelas categorias de uso e ocupação da terra) com a TS, bem como verifica a variabilidade termal da superfície após alertas de desmatamentos no Cerrado.

Os dados de TS utilizados na pesquisa são oriundos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), produto MOD11 – *Land Surface Temperature*

(LST) e as informações sobre os tipos de uso e ocupação da terra e os polígonos de desmatamento são provenientes do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO e do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos – SIAD, respectivamente.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- verificar os padrões de distribuição espacial da TS no bioma Cerrado, conforme as várias classes de uso e cobertura da terra, considerando as estações seca e chuvosa, bem como a influência de fatores locais (i.e. latitude, altitude e autocorrelação espacial);
- verificar a relação existente entre a TS e a antropização de bacias hidrográficas, tendo como referência a divisão brasileira de bacias hidrográficas – otobacias, nível 4 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- verificar se há diferença significativa na TS entre as classes antropizadas e as classes de vegetação remanescentes;
- verificar o impacto dos desmatamentos em curso na TS.

As hipóteses que norteiam esta pesquisa são:

- áreas antropizadas possuem TS significativamente maior do que as áreas de vegetação remanescentes;
- a variabilidade termal de áreas de uso antrópico, como a pastagem, a agricultura e o reflorestamento, é menor do que a variabilidade termal de áreas de vegetação remanescentes, haja vista a maior homogeneidade espacial;
- a conversão do bioma efetuada pelo desmatamento de sua vegetação natural provoca alterações positivas na TS no Cerrado.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Formação e processo de ocupação.

Embora o termo “bioma Cerrado” carregue em sua própria denominação a idéia de certa homogeneidade, a configuração espacial deste ecossistema apresenta diferenciações territoriais bastante expressivas. A configuração atual dos elementos biofísicos e socioeconômicos do Cerrado, tal qual conhecemos hoje, é fruto tanto do processo de ocupação de suas terras, quanto da intensidade desta ocupação, que se configurou de diferentes maneiras ao longo dos anos.

Em linhas gerais, podemos dizer que a história de ocupação do Cerrado se confunde com a história de ocupação da região Centro-Oeste, uma vez que esta é responsável por cerca de 45% da população total do bioma (IBGE, 2000). Embora ocorram singularidades estaduais no processo de apropriação do território, de uma forma geral, o início das ocupações se deu com as bandeiras paulistas, que se iniciaram no norte do Paraná e adentraram o território a partir da porção sul dos estados de Goiás e Mato Grosso. As “picadas” abertas pelos bandeirantes foram as primeiras vias de ligação com a porção central do Brasil (BARBOSA *et al.*, 2005).

O processo de ocupação teve início, então, com a procura de índios para serem escravizados e, posteriormente, com a garimpagem de ouro e pedras preciosas. A população imigrante era oriunda, principalmente, de Minas Gerais, São Paulo e Maranhão. A posição estratégica que integra o território a outras regiões do país favoreceu tal migração e as zonas mineradoras e os aldeamentos indígenas, juntamente com outros fatores como as sedes de fazendas, os locais de pouso de tropas e boiadas e os postos fiscais e de policiamento, foram os responsáveis pela formação dos primeiros núcleos populacionais da região. Além desse povoamento, que seguia o sentido sul-norte do país, alguns pequenos centros populacionais também se formaram nas áreas de fronteira entre os estados, incentivados pelas próprias capitânicas durante as disputas territoriais para a formação dos limites estaduais tais quais conhecemos hoje (PALACCÍN, 1972; NETO *et al.*, 2004).

Paralelas à atividade mineradora, a pecuária e a agricultura, que hoje regem grande parte da economia do bioma, foram sendo desenvolvidas como forma de subsistência. A pecuária deu suporte ao contínuo processo de povoamento após o declínio da mineração e iniciou as trocas de mercadorias de bens de consumo no território. Com a agricultura,

vieram os primeiros imigrantes do sul do país, que procuraram se estabelecer nas áreas de relevo plano e solos profundos, favoráveis ao desenvolvimento desta atividade, onde posteriormente se fixaram com o cultivo de soja e algodão.

Na década de 30, a partir das inúmeras políticas populistas e de incentivo à interiorização do país, promovidas pelo governo de Getúlio Vargas, a região Centro-Oeste e o bioma Cerrado passaram a sofrer uma intensificação do processo de ocupação de suas terras. A criação da cidade de Goiânia e a construção de Brasília no governo de Juscelino, capitais que posteriormente foram assistidas pela política de infra-estrutura promovida pelos governos militares nas décadas de 60 e 70, muito contribuíram também para a ocupação do Planalto Central, tendo na implantação de importantes eixos de ligação, como a BR-153, um dos grandes indutores nesse processo.

No entanto, é na década de 80, com o arcabouço viário implantado e os novos núcleos urbanos consolidados, que ocorreu uma significativa expansão populacional nas cidades do Planalto Central. A região deixou de ter a taxa de urbanização mais baixa do país (21,52%) e passou a ter a segunda mais alta (67,55%), perdendo apenas para a região Sudeste e ultrapassando até mesmo o índice nacional (55,9%) (SANTOS, 2005).

Dessa maneira, como a taxa de conversão da terra pelo homem foi e ainda é muito mais rápida que a dinâmica de perturbação natural de um ecossistema, tem-se como um dos impactos desta ocupação o atual estágio de fragmentação da paisagem do bioma, que tem na perda da biodiversidade um de seus maiores problemas (CARVALHO *et al.*, 2009).

Como exemplo dessas perturbações, pode-se citar os constantes episódios de focos de calor muito comuns nos limites territoriais do bioma, principalmente no mês de setembro (Figura 2). Esses episódios, na maioria das vezes, se constituem em área efetivamente queimada como pode ser visto na Figura 3, que ilustra a área total queimada no Cerrado (2.746 km) no ano de 2003. Os motivos que levam a efetivação dessa prática são os mais variados: vão desde o uso para a renovação de pastagens e/ou preparação da terra para o plantio até o uso para a abertura de novas frentes agrícolas. Somam-se a estes fatores, os incêndios clandestinos em áreas de proteção ambiental e as queimadas acidentais em áreas de vegetação remanescentes localizadas próximas às rodovias.

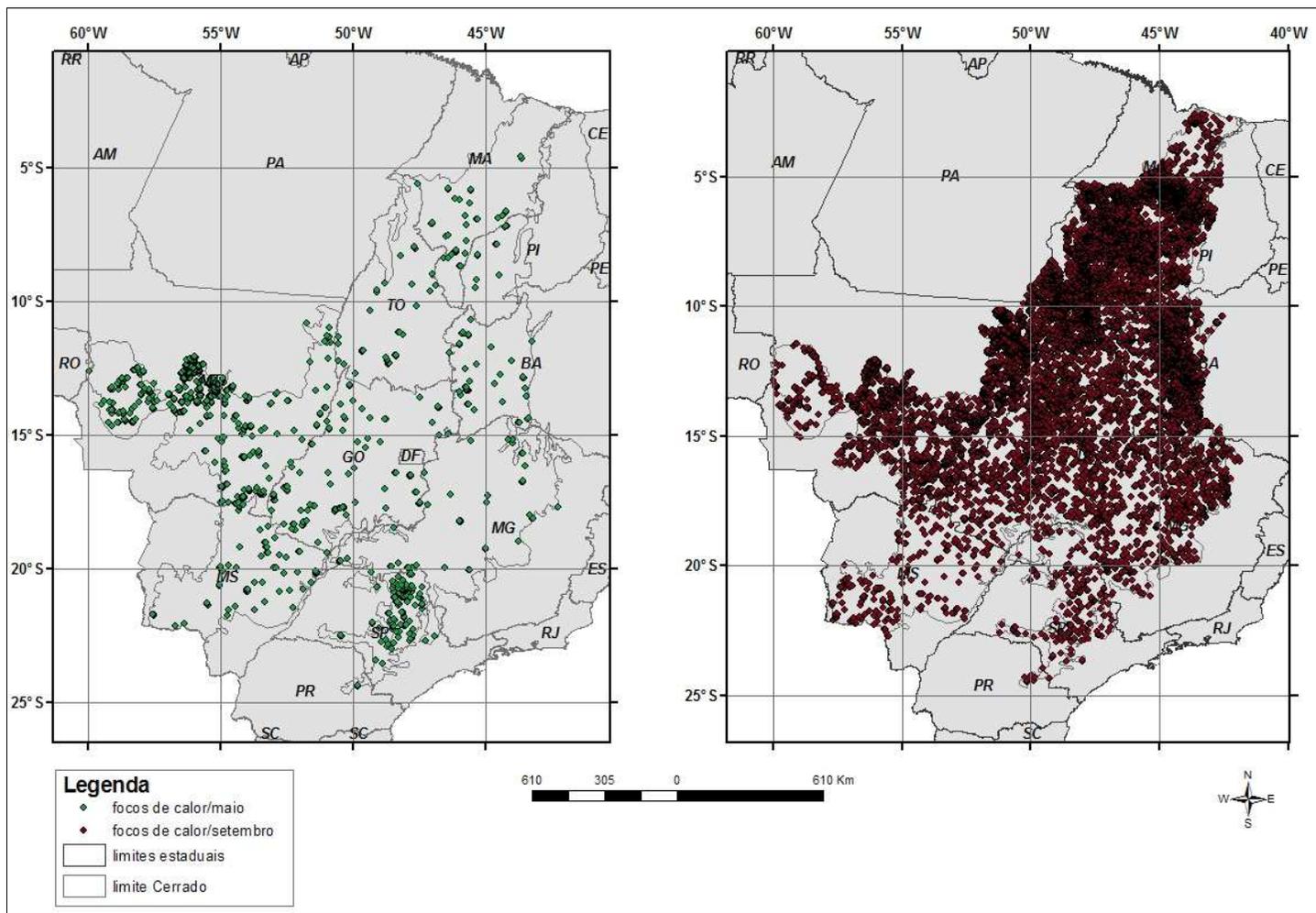


Figura 2: Mapa da ocorrência de focos de calor no Cerrado para os meses de maio e setembro de 2003. Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

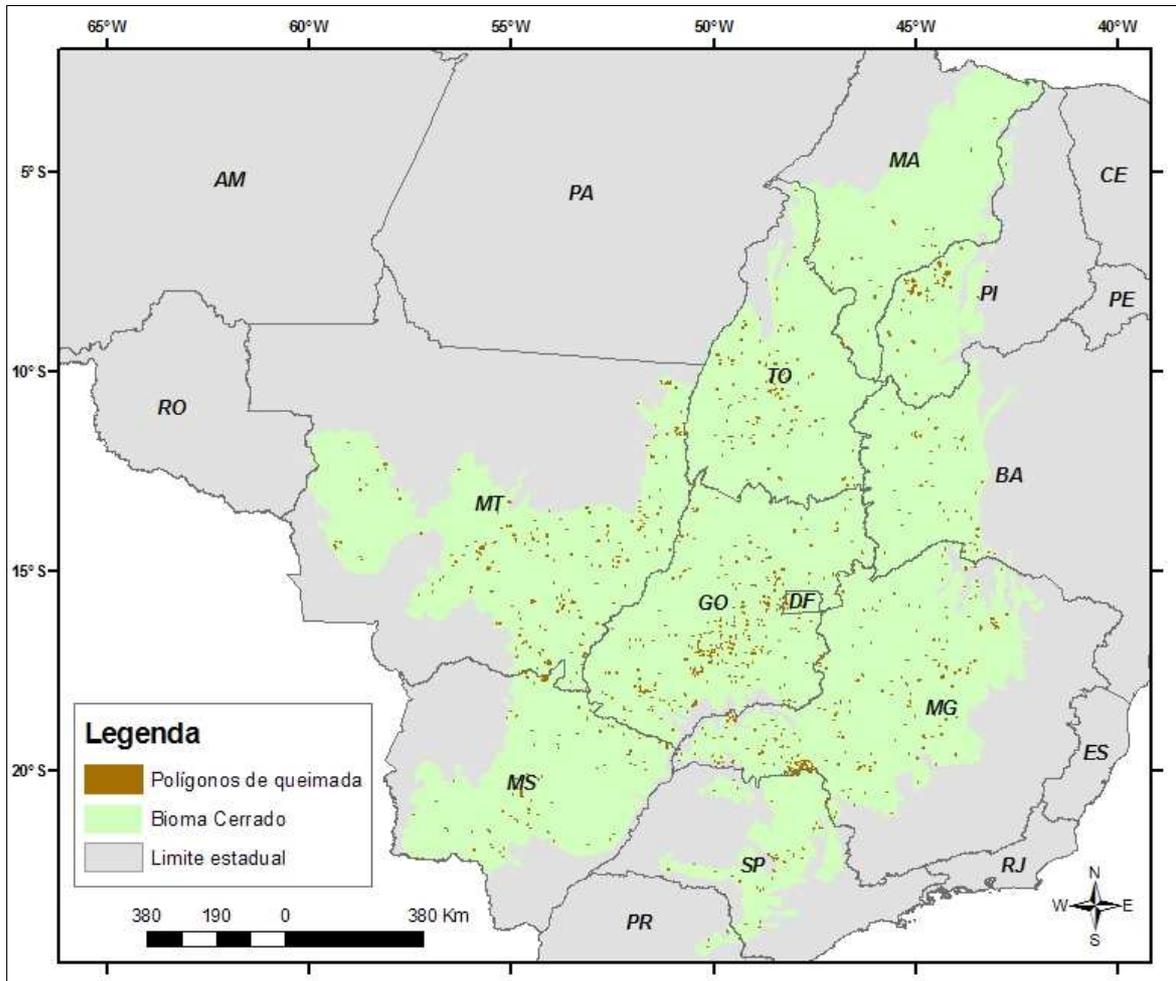


Figura 3: Mapa de localização das áreas queimadas no bioma Cerrado no ano de 2003. Fonte: sensor MODIS MCD45A1¹.

2.2 Contexto biofísico

O bioma Cerrado faz parte do ecossistema das savanas tropicais, ambientes fitogeográficos que, em sua maioria, estão situados entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio e são caracterizados pela presença de uma camada contínua de vegetação herbácea e um dossel descontínuo de arbustos e árvores, cobrindo quase um quarto da superfície do globo terrestre. Representam ambientes dinâmicos e heterogêneos e são encontrados em todos os continentes (Figura 4) (GOERT *et al.*, 2008).

¹ O produto MODIS MCD45A1 é um dados mensal, com resolução espacial de 500m, disponível desde abril do ano 2000 (Coleção V5). Detecta mudanças rápidas na reflectância (BRDF) diária da superfície e mapeia a extensão espacial das queimadas recentes, excluindo as áreas queimadas anteriores.

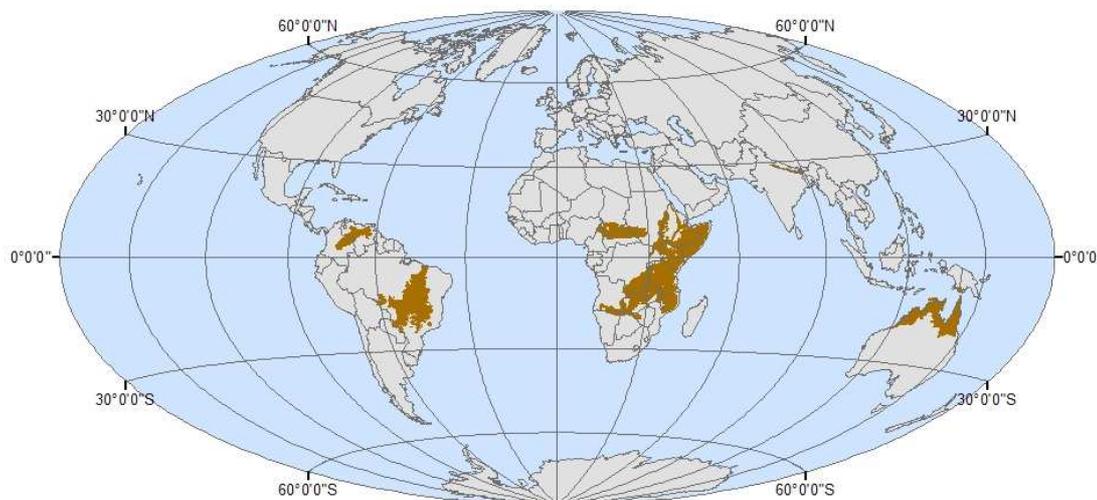


Figura 4: Localização das savanas no mundo.

A formação das diversas paisagens no Cerrado está associada a diferentes formações geológicas, estruturas do relevo e classes de solo que, combinados com as diferentes condições climáticas, caracterizam o bioma como um mosaico de formações vegetais que variam desde campos abertos até formações densas de florestas (COSTA e OLSZEWSKI, 2008; RIBEIRO e WALTER, 1998). Entre as principais características do bioma, o fogo é extremamente importante, seja pelos diversificados papéis ecológicos que exerce, seja pelo uso constante em práticas de manejo do solo. Os impactos que podem ser observados em decorrência das queimadas podem ser positivos ou negativos e variar em função da intensidade e da frequência com que ocorrem (MIRANDA *et al.*, 2004). Dentre os impactos negativos das queimadas, destaca-se a elevação da temperatura do solo, que pode causar alteração em seu micro-clima. Da mesma forma, a remoção da cobertura vegetal e a deposição de cinzas decorrentes dos episódios de queimadas contribuem com o aumento do fluxo de calor no substrato e a alteração do pH (MIRANDA *et al.*, 2004; BUSTAMANTE *et al.*, 1998). Do ponto de vista positivo, o fogo exerce um papel benéfico sobre as estruturas vegetais (no que diz respeito ao rebrotamento, germinação e afloramento) e na aceleração da remineralização da biomassa. No entanto, cabe ressaltar que episódios frequentes de queimadas podem surtir o efeito inverso, se considerarmos o Cerrado como um ecossistema pobre em nutrientes, onde queimadas constantes podem provocar uma redução ainda maior desses elementos (HARIDASAN, 2000).

A maior parte do Cerrado está inserida em áreas planas, compostas pelos planaltos centrais, seguidos pelos patamares. As estruturas do relevo tiveram papel determinante na forma de ocupação do Cerrado e na consolidação de suas cidades. Isso porque a ocupação do bioma foi estimulada pela abertura de fronteiras agrícolas, que necessita ser estabelecida em áreas de baixo declive que favoreça a implantação e a mecanização da agricultura. O mesmo acontece com a criação extensiva de gado que, para o manuseio de suas pastagens, procura-se estabelecer também em locais planos, basicamente em áreas de planaltos e nas planícies do rio Araguaia. Essas atividades agropecuárias estão concentradas na porção centro-sul do bioma, onde também se estabeleceram a grande maioria das cidades. A exceção acontece no oeste da Bahia, uma área com grande concentração agrícola, desenvolvida basicamente sobre patamares e chapadas (Figura 5).

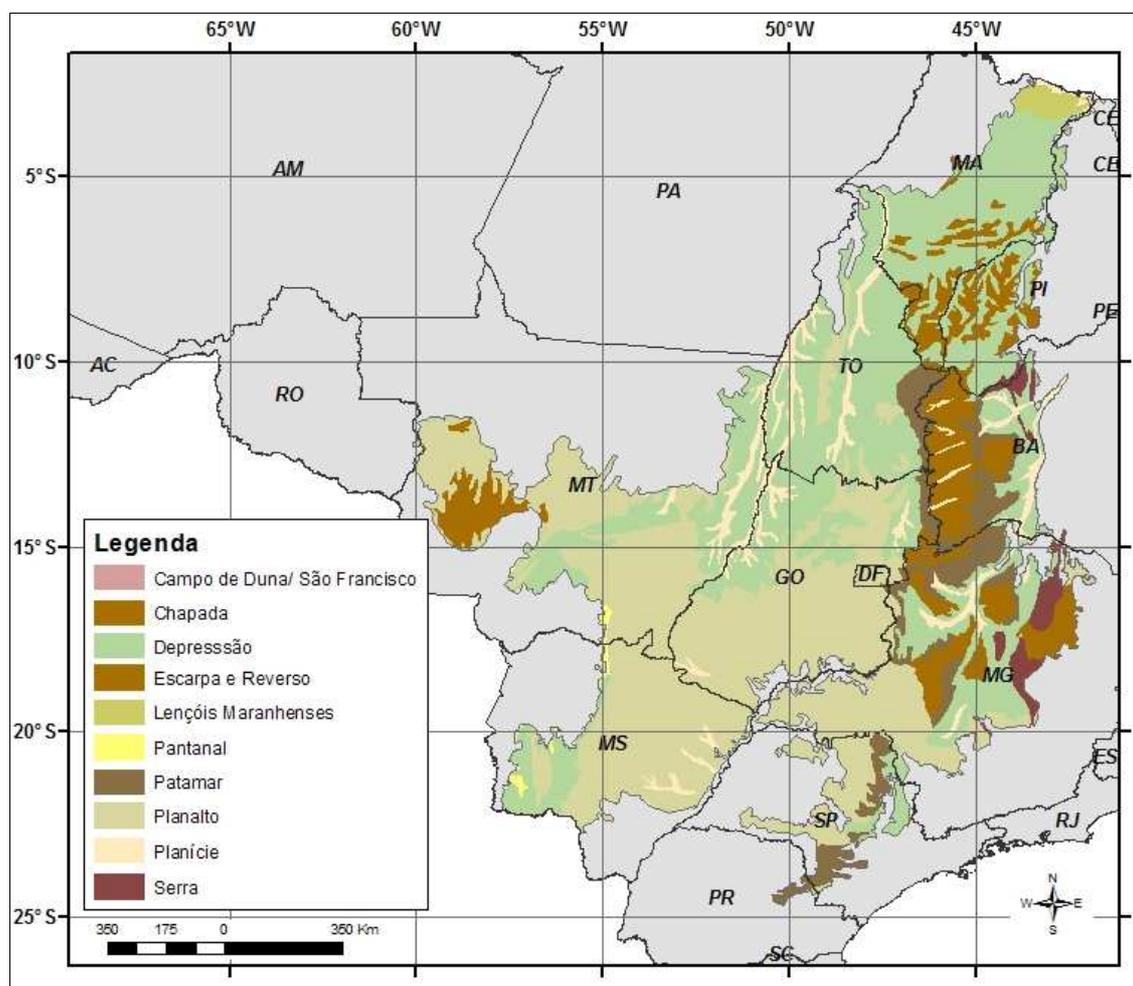


Figura 5: Mapa dos tipos de relevo existentes no bioma Cerrado. Fonte: Compartimentos de relevo do Brasil. Fonte: IBGE (2002).

A topografia do relevo também desempenha um importante papel na variabilidade termal, uma vez que a temperatura varia em decorrência da altitude, i.e., quanto mais elevada a altitude, menor a temperatura. Calcula-se que a cada 1000m ocorra uma redução de 6,0°C na temperatura, devido à expansão do ar com a menor pressão atmosférica (RICKLEFS, 1996). Além disso, o relevo pode influenciar diretamente na circulação geral da atmosfera (provocando, por exemplo, chuvas orográficas), na distribuição da radiação líquida, na retenção do vapor de água e no armazenamento do calor sensível (STEINKE, 2004). A Figura 6 mostra o mapa do desvio-padrão de declividade no bioma Cerrado, confeccionado a partir de uma estatística de vizinhança (desvio-padrão, matriz 3x3) aplicada às imagens de altimetria SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*².

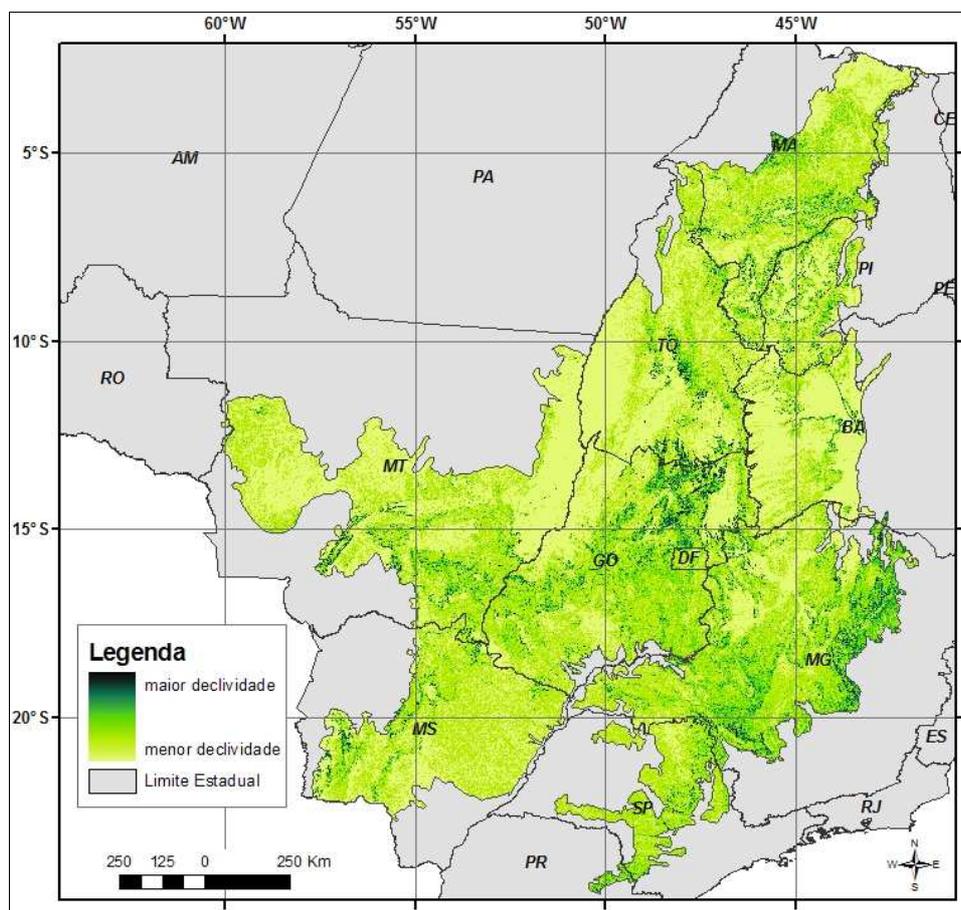


Figura 6: Mapa de desvio-padrão de declividade do Cerrado. Fonte: imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*.

² Missão realizada em fevereiro do ano 2000, a bordo do ônibus espacial *Space Shuttle Endeavour*, que coletou dados altimétricos para 80% da superfície terrestre.

A variabilidade dos tipos de solos encontrados no Cerrado também exerceu influência na forma de ocupação deste bioma, principalmente os tipos de solos relacionados com aptidão agrícola, como é o caso dos Latossolos. E, assim como o relevo, os tipos de solos também podem influenciar na resposta termal dos alvos da superfície terrestre, haja vista fatores como o teor de água, a cor e a composição mineral presentes em diferentes proporções nas diferentes classes de solo (RICKLEFS, 1996). De acordo com Reatto *et al.* (2008), existem sete tipos de classes principais de solos encontradas no bioma e que são descritos a seguir, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) (Figura 7):

- **Latossolos:** classe de solo que ocupa cerca de 48% da área total do bioma (abrange todos as antigas classes de Latossolos, com exceção do Latossolo Plíntico).
- **Argilosos:** ocorrem na porção inferior das encostas onde o relevo se apresenta ondulado ou fortemente ondulado (nessa classe, estão incluídos os solos antigamente denominados de Podzólico Vermelho-Amarelo, pequena parte de Terra Roxa Estruturada, Terra Roxa Estruturada Similar, Podzólico Bruno Acinzentado, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Amarelo, Podzólico Acinzentado e Alissolos).
- **Nitossolos:** ocupam as porções médias e inferiores de encostas onduladas até fortemente onduladas (nessa classe se enquadram solos que eram classificados em sua maioria como Terra Roxa Estruturada, Terra Roxa Estruturada Similar, Terra Bruna Estruturada, Terra Bruna Estruturada Similar e alguns Podzólicos Vermelho-Escuros e Podzólicos Vermelho-Amarelos).
- **Cambissolos:** correspondem a aproximadamente 3,47% da área do Cerrado e geralmente estão associados a relevos mais movimentados (compreende os solos anteriormente classificados como Cambissolos).
- **Neossolos:** estão presentes em 22% do espaço geográfico do bioma, com elevados teores de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo (abrangem os solos anteriormente reconhecidos como Litossolos e Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas).
- **Gleissolos:** é a forma de solo presente em menor quantidade na paisagem do bioma, ocupando 1,61% da área do Cerrado (estão incluídos nessa classe os antigos solos denominados Lateritas Hidromórficas, parte dos Podzólicos Plínticos, parte dos Gleis Húmicos e alguns dos Latossolos Plínticos, além dos Concrecionários e Petroplintossolos).

- **Plintossolos:** ocorrem nas zonas inferiores de encosta ou áreas de surgentes, sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico.

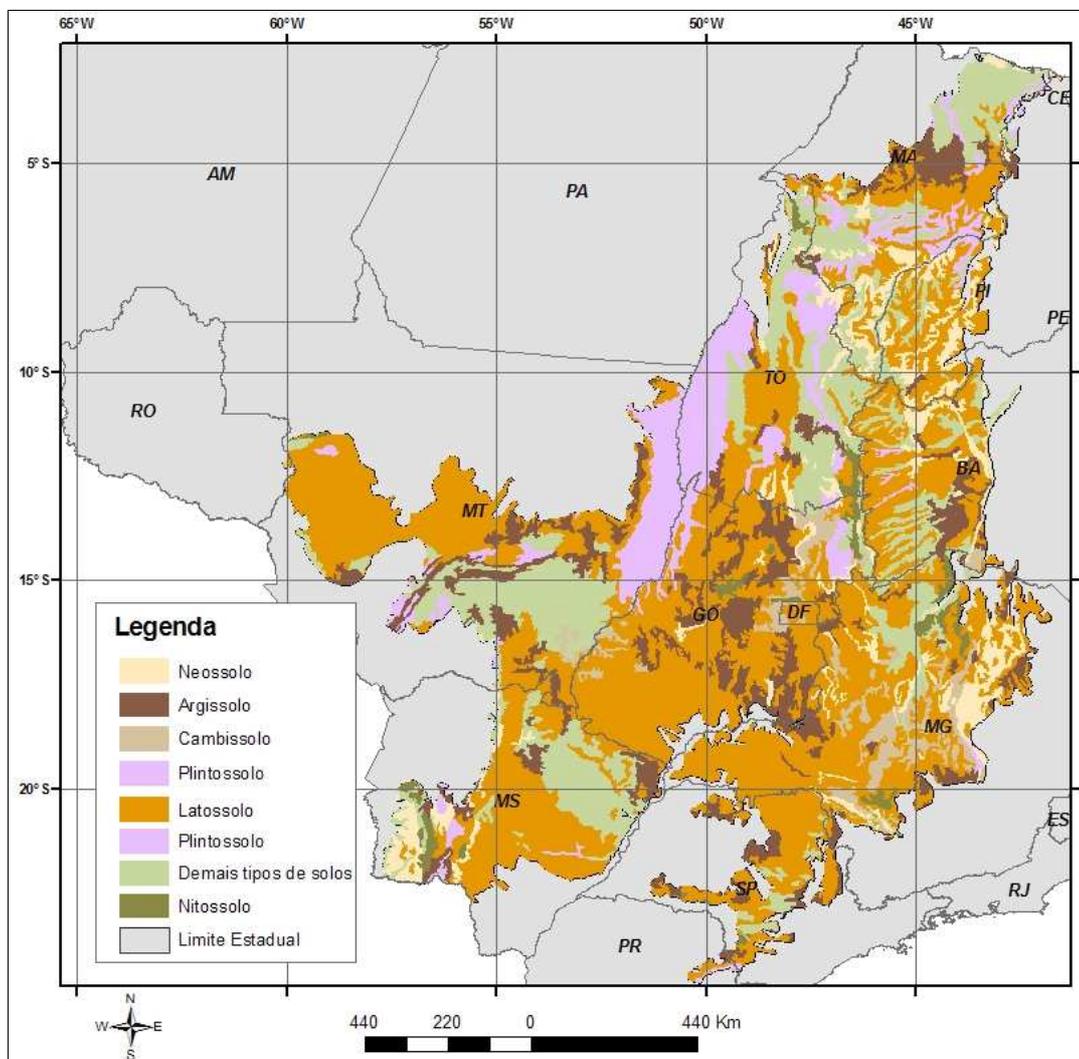


Figura 7: Mapa das classes de solos encontradas no bioma Cerrado - Mapeamento de solos do Brasil. Fonte: IBGE (1981) (a partir da base de dados do RADAMBRASIL). Nomenclatura atualizada de acordo com a atual classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

O planalto brasileiro e as chapadas do Centro-Oeste são importantes dispersores de água para grandes bacias hidrográficas do Brasil. A contribuição hídrica superficial do Cerrado se dá no âmbito das seguintes bacias: Amazônica, Atlântico Norte/Nordeste, Atlântico Leste, São Francisco, Paraná/Paraguai e Araguaia/Tocantins (Figura 8). Vale ressaltar que, no caso da Bacia do Rio São Francisco, o Cerrado responde por praticamente 94% da vazão em sua foz. E, dentre os rios que recebem contribuições significativas das

águas do bioma, destacam-se: Xingu, Madeira e Trombetas (Bacia Amazônica); Araguaia e Tocantins (Bacia Araguaia/Tocantins); Parnaíba e Itaipuru (Bacia Atlântico Norte/Nordeste); São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jeiquitaí, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande (Bacia do São Francisco); Pardo e Jequitinhonha (Bacia Atlântico Leste); Paranaíba, Grande, Sucuri, Verde, Pardo, Cuiabá, São Lourenço, Taquari e Aquidauana (Bacia do Paraná/Paraguai) (LIMA e SILVA, 2002; 2008).

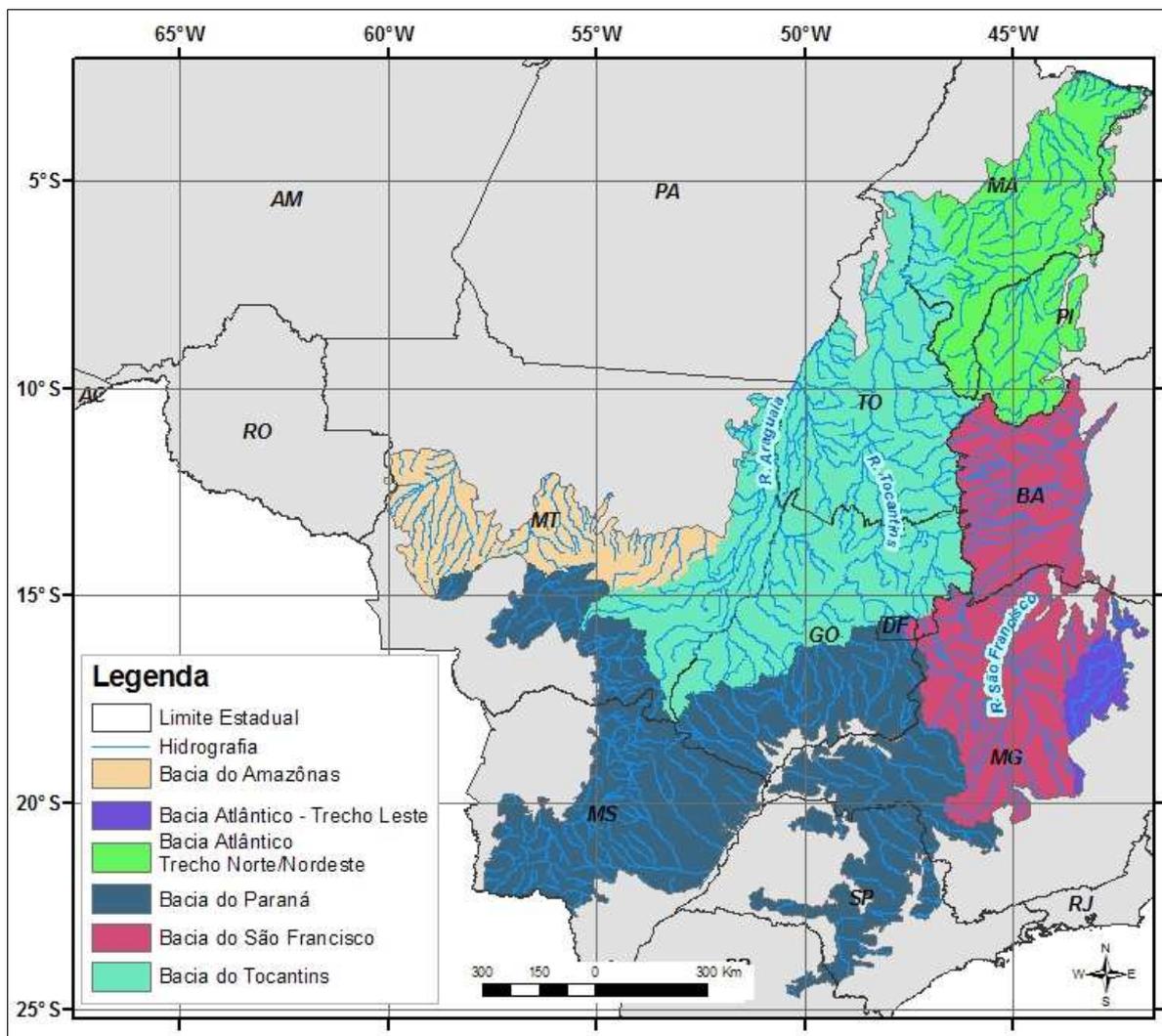


Figura 8: Mapa hidrográfico do Cerrado – otobacias, nível 4/Divisão Hidrográfica Nacional, 2003.

Além disso, há uma grande contribuição também das águas subterrâneas, com a presença do aquífero Guarani, considerado até agora, como o maior manancial transfronteiriço de água doce subterrânea do mundo, abrangendo uma área de aproximadamente 1,2 milhões de quilômetros quadrados, localizado nos territórios do

Brasil (71%), Argentina (19%), Paraguai (6%) e Uruguai (4%) (Figura 9). A porção brasileira integra o território de oito estados, a saber: MS (213.200 km²), RS (157.600 km²), SP (155.800 km²), PR (131.300 km²), GO (55.000 km²), MG (51.300 km²), SC (49.200 km²) e MT (26.400 km²). As reservas permanentes de água do aquífero são da ordem de 45.000 km³ (ou 45 trilhões de metros cúbicos) e seu potencial hidrotermal poderá resultar, eventualmente, em economia de energia de outras fontes e em processos de co-geração de energia elétrica. Atualmente, destaca-se o uso energético em balneários e indústrias agropecuárias. (ANA, 2010).

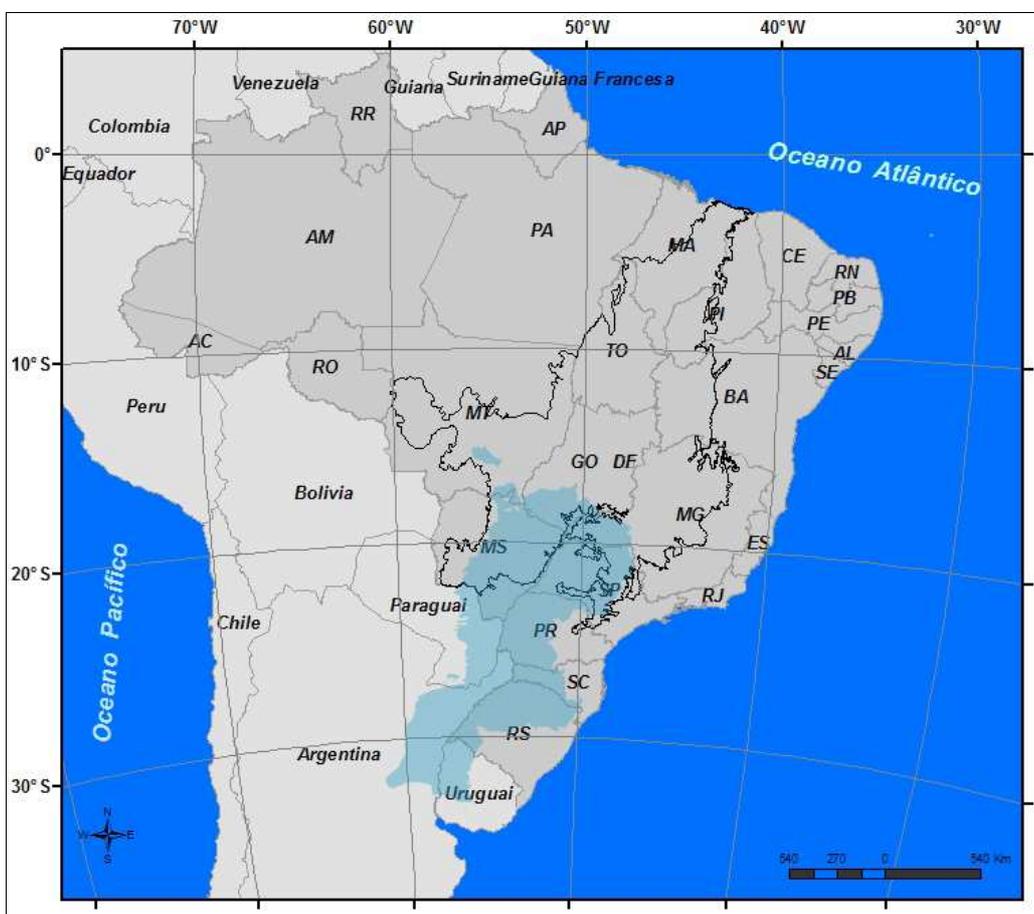


Figura 9: Localização do aquífero Guarani. Fonte: adaptado de Borghetti *et al.* (2004).

Alterações na variabilidade termal de superfície podem acelerar do processo de evaporação, transformando o estado físico da água e aumentando a quantidade de vapor enviado à atmosfera. Estima-se que um aumento de 10°C na temperatura pode dobrar a taxa de evaporação da superfície (RICKLEFS, 1996). Este processo modifica a quantidade de chuvas na região, atuando diretamente no chamado ciclo do vapor, responsável por

variações no micro-clima local (CHEDE, 1974). Como o Cerrado é considerado um importante berço das águas no Brasil, o processo descrito acima pode ser bastante representativo.

Quanto ao clima, o Cerrado é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (clima Aw – tropical chuvoso, classificação de Köppen), com elevada variabilidade relativa da precipitação, cuja distribuição crescente das chuvas ocorre no sentido leste para oeste. Possui moderada umidade relativa do ar (a maior parte do bioma apresenta umidade relativa média anual entre 60% e 80%) cujos mais baixos índices são encontrados no limite com o Nordeste brasileiro e em grande parte do estado de Goiás. Dentre os principais sistemas atmosféricos que atuam no bioma, destacam-se: o Anticiclone do Atlântico Sul (responsável pelo regime de chuva de grande parte do Cerrado); a Massa Tropical Continental (que em condições de baixa pressão é responsável pelos veranicos, isto é, períodos de estiagem durante a estação chuvosa); e a Massa Polar Atlântica (que exerce influência na região Centro-Oeste durante todo o ano, com maior frequência durante o inverno) (RIBEIRO e WALTER, 2008; ASSAD *et al.*, 2001). De uma forma geral, além dos fatores geográficos, as condições de tempo e clima no Cerrado são também determinadas pela dinâmica dos sistemas atmosféricos que afetam toda a América do Sul (SILVA *et al.*, 2008).

As médias de temperatura do ar (TA) sofrem um aumento relativo no sentido sul-norte do bioma, onde os valores mais elevados são encontrados nas regiões sul dos estados do Maranhão e do Piauí e no sudoeste da Bahia (entre 23°C e 27°C). Os menores valores das médias de temperaturas são observados na parte centro-sul do bioma, nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, com temperaturas oscilando entre 18°C e 22°C. Durante o verão, as médias mensais de temperaturas apresentam regularidade quanto ao seu comportamento espaço-temporal, ou seja, os valores estão sempre aumentando no sentido sul-norte. Já no inverno, as temperaturas, apesar de também aumentarem no sentido sul-norte, possuem valores significativamente mais baixos na porção sul do bioma (SILVA *et al.*, 2008).

No que se refere à composição vegetal, de acordo com Ribeiro e Walter (2008), são descritos 11 tipos de fitofisionomias para o Cerrado, distribuídas em três grandes grupos: formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Cerradão e Mata Seca), formações savânicas (Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e formações campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Os critérios para

diferenciação são baseados na fisionomia (definidas pela estrutura, formas de crescimento dominante e mudanças estacionais), aspectos do ambiente e composição florística.

A presença de vegetação verde é fundamental no balanço de energia e, concomitantemente, na variabilidade da TS de uma área. O processo de evapotranspiração (ET) (perda de água do solo, por meio da evaporação, e perda de água das plantas por meio da transpiração), que é governado pela troca de energia em superfícies vegetadas, regula as trocas de calor entre a superfície terrestre e a atmosfera. Áreas de florestas e savanas que são convertidas em pastagem sofrem uma redução de 0,05mm (o equivalente a 12%) de sua ET (COSTA e FOLEY, 1997). Além disso, regiões desmatadas influenciam nas flutuações sazonais do clima, em decorrência das variabilidades na radiação refletida e na precipitação (BERBET e COSTA, 2003). Dessa forma, a vegetação influencia diretamente o clima, uma vez que é considerado o estágio primário de transformação da água, realizando um intercâmbio entre as dinâmicas biofísicas da atmosfera e da superfície terrestre (PEREIRA, 1997).

Isso sem falar que a presença da vegetação nativa auxilia na manutenção do grande endemismo do Cerrado, representado não apenas pela diversidade de sua comunidade vegetal, mas pela riqueza das espécies de fauna. Em relação ao Brasil, no bioma ocorre metade das espécies de aves, 45% dos peixes, 40% dos mamíferos e 38% dos répteis. Esses valores representam cerca de 30% de tudo o que existe no país. Dentro desses quantitativos, as espécies da herpetofauna representam cerca de 184 espécies, sendo 25% espécies endêmicas; a riqueza dos mamíferos pode chegar a 199 espécimes; e no caso das aves, a riqueza é estimada em 837 espécies, com endemia de 4% do total registrado (MACHADO *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2004).

2.3 Contexto socioeconômico e infra-estrutura rodoviária.

De acordo com os dados sobre o sistema rodoviário brasileiro, produzidos pelo IBGE (2005), pode-se considerar que o Cerrado possui uma boa infra-estrutura de estradas de rodagem. No entanto, uma análise mais detalhada mostra que somente a porção sul possui uma verdadeira rede de ligações, estruturada a partir do enorme número de núcleos radiadores e da interligação entre as cidades por meio, principalmente, de estradas pavimentadas. É também na região Sul que se encontra a maior parte das estradas de jurisdição federal, sendo que as vias duplicadas estão basicamente concentradas no estado

de São Paulo. A parte norte é nitidamente menos provida de infra-estrutura rodoviária quando comparada às outras regiões do Cerrado, sendo quase inexistente a presença de núcleos radiadores de estradas que interliguem as cidades dessa região. A localização da estrutura rodoviária segue o sentido de ocupação do bioma promovido pela abertura das frentes agrícolas (sul-norte), no qual o núcleo concentrador de rodovias, de onde irradiam estradas para os núcleos periféricos do bioma, está localizado próximo à região da grande Goiânia e de Brasília, cidades construídas com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento do interior do país (Figura 10).

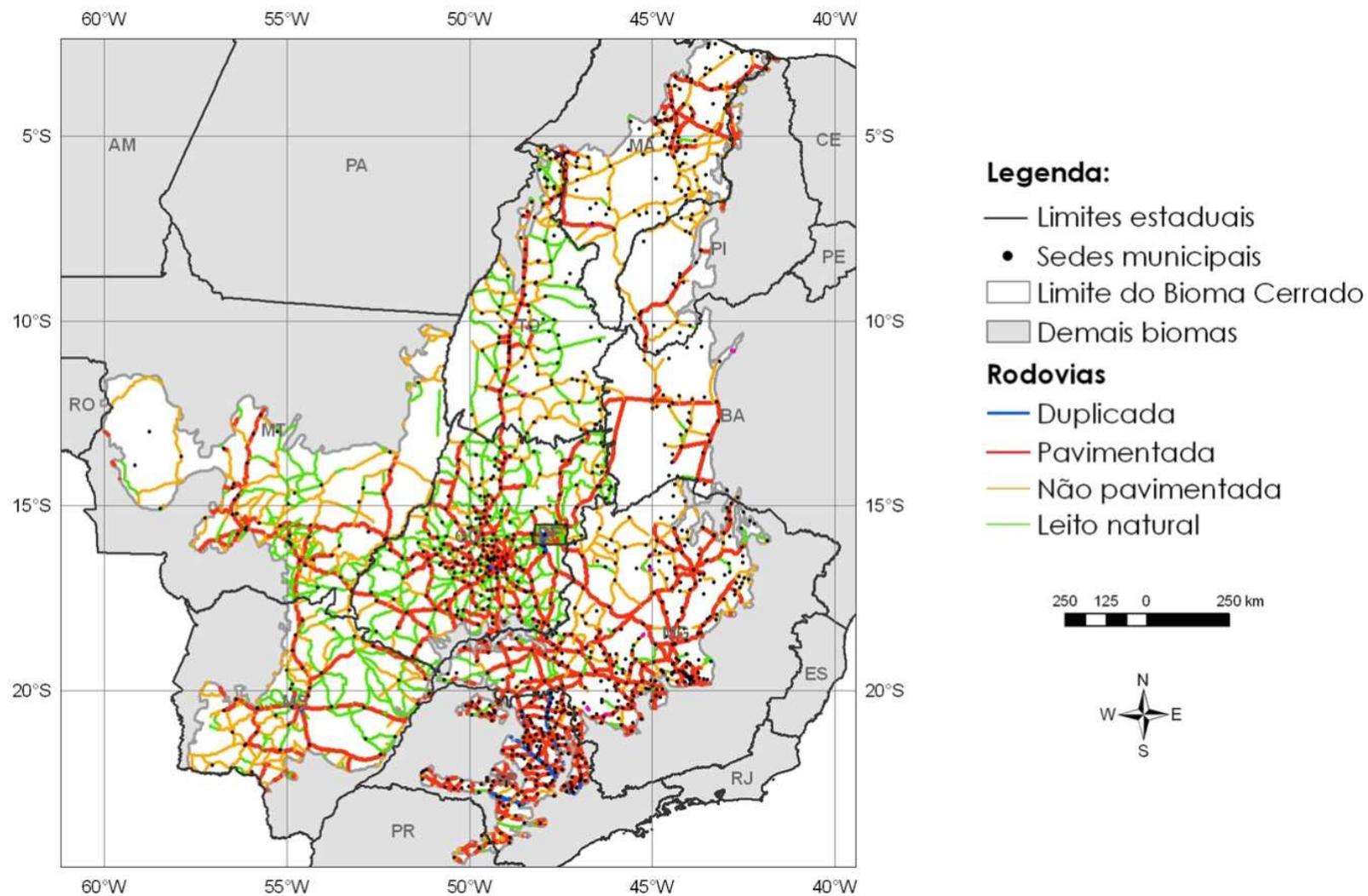


Figura 10: Mapa do sistema rodoviário do bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2005).

É interessante observar, no entanto, que a implantação rodoviária não está relacionada apenas com o sentido de ocupação do bioma (sul-norte). Ela também está intimamente ligada à conversão das paisagens naturais do bioma, uma vez que existe uma relação positiva entre a abertura de estradas e a incidência de desmatamento; à medida que nos aproximamos das estradas, a área desmatada tende a aumentar, como mostra o Gráfico 1.

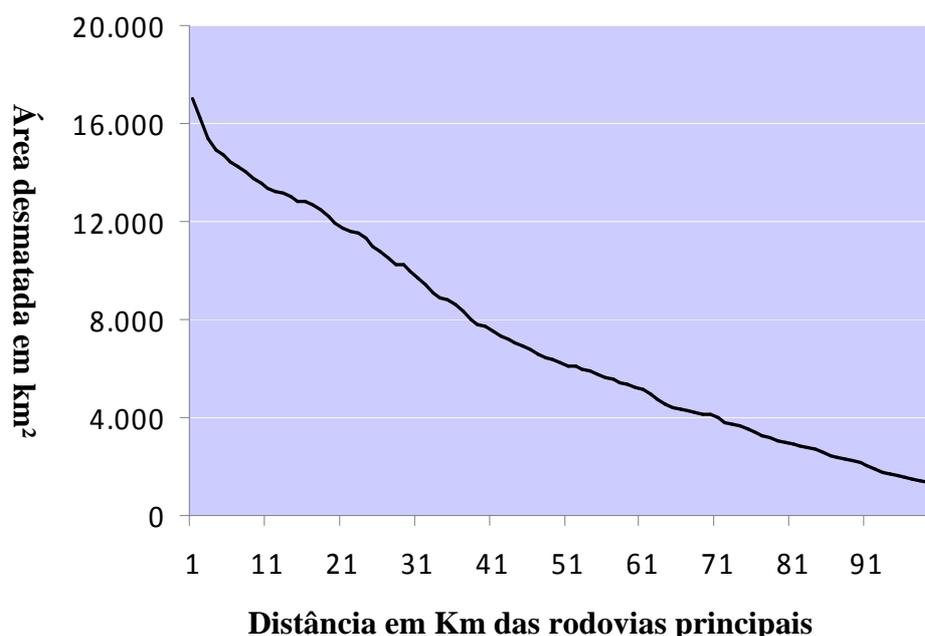


Gráfico 1: Relação entre a área desmatada e a distância das rodovias principais no bioma Cerrado.

Apesar de ser o Cerrado uma região exportadora de grãos, carne e minérios, a maioria dos seus municípios se caracteriza pelos baixos índices de qualidade de vida da população. Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio, a região tem altos índices de analfabetos, valores baixos de Índices de Desenvolvimento Humano - IDH e uma visível concentração dos valores de Produto Interno Bruto - PIB nas grandes capitais (IBGE, 2000; PNUD, 2000).

A espacialização dos dados de IDH (Figura 11a) mostra que os valores mais elevados desse índice concentram-se nas cidades localizadas na porção centro-sul do bioma, principalmente nas capitais e algumas cidades do estado de São Paulo. É importante considerar que os altos valores de IDH, principalmente nas grandes cidades, podem ser bastante relativos, isso porque o índice é composto por três variáveis: educação,

longevidade e renda. Assim, um aumento em apenas uma dessas variáveis pode elevar o valor total do índice, dando a impressão de que todas as demais variáveis acompanharam o crescimento. A espacialização dos dados de IDH mostra uma separação bem nítida com relação aos valores desse índice entre a porção norte e sul do ecossistema.

O índice de pobreza (Figura 11b) mostra que os municípios com maior percentual de pessoas pobres estão concentrados ao norte da região, menos atendida por infraestrutura rodoviária. Este fato pode contribuir para a manutenção da situação de pobreza dos municípios, uma vez que dificulta o fluxo de bens e serviços e, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico dessa região. Destaca-se que, assim como no IDH, os valores do Índice de Pobreza também são relativos, pois esse índice representa a porcentagem de pessoas pobres sobre o total da população, o que pode ocultar, em alguns casos, a grande presença de pobreza em grandes centros urbanos do bioma, quando analisados os valores absolutos.

Quando os dados da variável renda são analisados separadamente, através do índice de Gini (Figura 11c), não se percebe mais a separação nítida observada anteriormente entre a porção norte e a porção sul do Cerrado. Os dados mostram que em toda a extensão geográfica do bioma ocorre concentração de renda, com vários municípios apresentando valores acima de 0,6 (lembrando que, quanto mais próximo de 1, maior a concentração de renda).

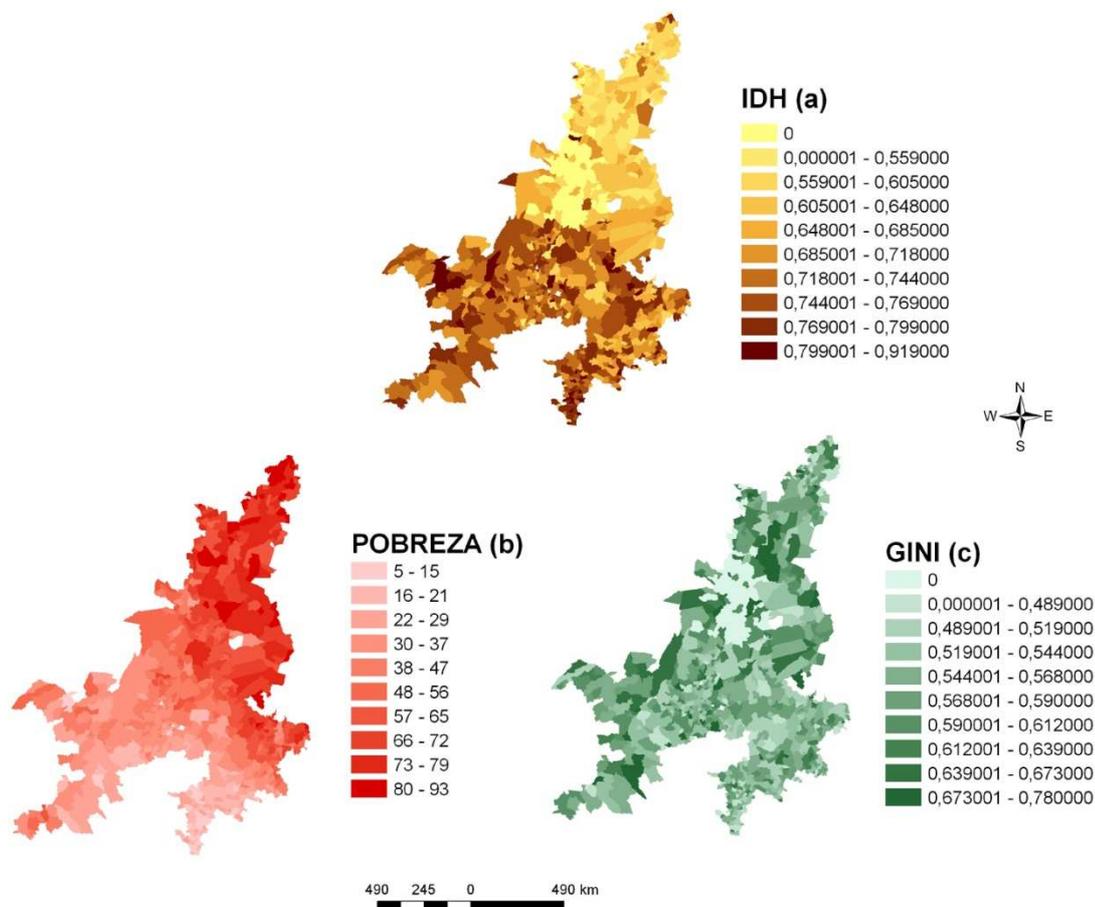


Figura 11: Mapas da distribuição espacial, conforme limites municipais, dos índices IDH (a), Pobreza (b) e Gini (c). Fonte: IBGE (2000). Os valores referentes ao Índice de Pobreza são apresentados em porcentagem. Para a espacialização dos dados referentes aos indicadores sociais, foram considerados apenas os municípios inseridos completamente no bioma.

De acordo com a espacialização dos dados de PIB Total (Figura 12a), salvo a região de Barreiras (BA), os altos valores desse indicador estão concentrados basicamente nas capitais e nos municípios com grande adensamento populacional e malha rodoviária consolidada. A região de Goiânia (GO), do Distrito Federal (DF), de Campo Grande (MS), de Jataí (GO) e de Uberaba (MG) são exemplos dessa constatação.

Quando os valores e a distribuição do PIB Indústria (Figura 12b) e o PIB Agropecuário (Figura 12c) são analisados, percebe-se que o primeiro segue, em geral, a mesma distribuição do PIB Total, enquanto o segundo apresenta-se distribuído de forma mais homogênea em todo o espaço geográfico.

Os maiores valores do PIB Indústria aparecem nas cidades de Brasília, Goiânia, Ribeirão Preto, Campo Grande, Uberaba, São Carlos, Araraquara, Franca e Anápolis. Para

os valores do PIB Agropecuário, há um destaque para as regiões de Jataí e Rio Verde em Goiás, no Triângulo Mineiro, em Araraquara, no estado de São Paulo e nas regiões centro-norte e leste do Mato Grosso do Sul. Novamente, à exceção da região de Barreiras, observa-se uma nítida vinculação entre os altos valores do PIB e a existência de estradas radiculares e entroncamentos rodoviários.

Ao compararmos os valores de contribuição de todos os PIBs, notamos que apesar de ter maior distribuição espacial em todo o bioma, o PIB Agropecuário pouco contribui em valores reais, absolutos. No entanto, é difícil dizermos exatamente qual a real contribuição dos PIBs agropecuário e indústria, uma vez que tanto as atividades industriais quanto as comerciais, em sua grande maioria, ocorrem em função da atividade agropecuária. Outro fator importante, relativo à questão do PIB agropecuário, é que apesar de esperado que a agricultura contribua para a geração de emprego e renda (focando na inclusão social de produtores e no estabelecimento de agroindústrias e mercados de produção e consumo (BANCO MUNDIAL, 2007), quando nos reportamos ao índice de Gini abordado anteriormente, percebemos que o complexo agropecuário do Cerrado, apesar de desempenhar um importante papel na economia do bioma, ainda deixa a desejar no que se refere ao aspecto social.

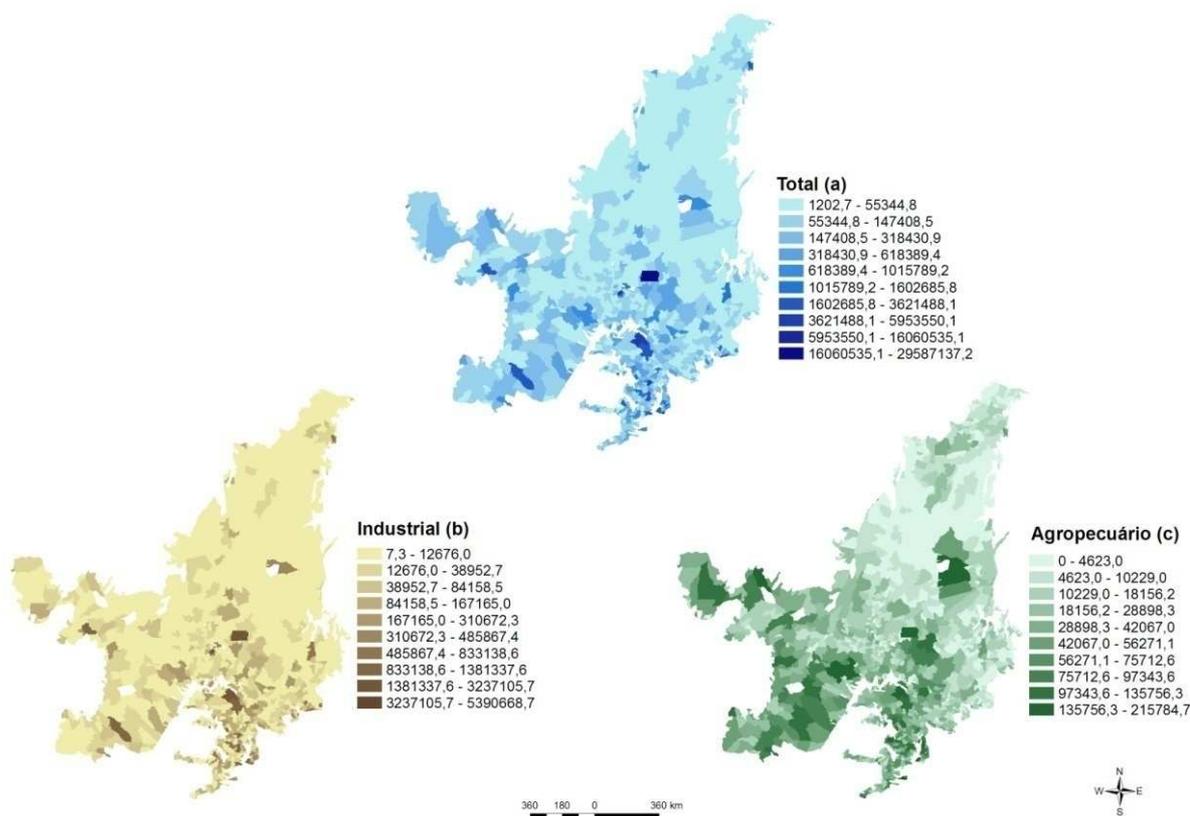


Figura 12: Mapas referentes à distribuição espacial dos valores de PIB Total, Indústria e Agropecuário nos municípios do bioma Cerrado. Fonte: IBGE (2000). Os valores dos PIBs são apresentados em R\$.

Parte da relação espacial existente entre os indicadores socioeconômicos discutidos aqui pode ser explicada pelo padrão espacial e temporal diferenciado de ocupação e de investimentos em infra-estruturas nas diferentes localidades do bioma. A conjuntura macro-econômica de estímulos de mercado, aliada às políticas de desenvolvimento, determinou a concentração de pessoas e cidades na região Centro-Sul. Além desses fatores, as barreiras naturais e as dificuldades de acesso conferiram à porção norte (região mais preservada) maior distanciamento dos grandes centros urbanos e consumidores (SANO *et al.*, 2002). Um exemplo desse fato pode ser dado através da publicação do IPEA sobre a Caracterização e Tendência da Rede Urbana no Brasil (2002), que faz uma análise sobre as cidades consideradas pólos de todas as regiões do país. Nesta publicação, as cidades-pólo do Cerrado pertencem à porção centro-sul do bioma, sendo representadas pelos municípios de Brasília (DF), Goiânia (GO) e Ribeirão Preto (SP).

2.4 Políticas Públicas.

A relação governamental com o Cerrado, no que diz respeito às políticas públicas, pode ser considerada um tanto quanto contraditória. Em um primeiro momento, as políticas são voltadas para a ocupação e o desenvolvimento a qualquer custo. São políticas impulsionadas pelo crescimento econômico com caráter desenvolvimentista, tendo como um dos maiores legados o varguismo, marcado pela forte presença do Estado em áreas consideradas cruciais para o desenvolvimento do país. Seja atuando como reguladora ou como empreendedora de certas atividades econômicas, esta intervenção estatal tinha por objetivo estimular a industrialização e a modernização do país. A Marcha para o Oeste, criada pelo governo de Getúlio Vargas para incentivar o progresso e a ocupação do Centro-Oeste, tinha como finalidade a ocupação dos grandes vazios demográficos da região central do Brasil por meio da absorção dos excedentes populacionais que faziam pressão no centro-sul do país.

Posteriormente, no governo de Juscelino Kubitschek, o país entra em uma fase política de cunho desenvolvimentista, na qual o Plano de Metas (que reunia capital estatal, nacional, privado e internacional) teve por objetivo o crescimento econômico através do fortalecimento da indústria e do setor energético. A construção da nova capital federal (Brasília) representou a idéia do novo Brasil de Juscelino e incentivou a expansão rumo ao interior do país, interligando-o através de rodovias e incentivando a formação de novos centros urbanos.

Nos governos militares, nos anos 60 e 70, o chamado "milagre econômico", que representou a fase áurea de desenvolvimento do país, obtido por meio da captação de enormes recursos e de financiamentos externos, financiou o fortalecimento de infraestrutura no país: estradas, portos, hidrelétricas, rodovias e ferrovias que se expandiram e serviram como base de sustentação do vigoroso crescimento econômico e da ocupação de áreas ainda pouco povoadas. O Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados - PRODECER, iniciado em 1979, e visando atender a diminuição da dependência japonesa da soja norte-americana, acelera o processo de ocupação do Cerrado, através do incentivo ao plantio de soja no bioma. Vários imigrantes saem então da região Sul do país (que enfrentava um grande problema com o excedente de minifúndios) e passam a se estabelecer na porção central do Brasil, principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás. Como o programa foi implantado por etapas, o

processo migratório e, concomitantemente, a entrada da soja no bioma ocorreram de forma gradativa.

Neste contexto, é importante destacar também a promulgação da Constituição Federal de 1988, a primeira Constituição brasileira em que a expressão “meio ambiente” é mencionada. O texto constitucional inova ao tratar da proteção a espaços territoriais, restringindo sua alteração ou supressão e proibindo usos, que ameacem sua integridade. No entanto, ao definir as áreas de patrimônio Nacional: “A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da Lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais” (artigo 225, § 4º), não menciona o bioma Cerrado. Este artigo da Constituição Federal exemplifica a forma como o bioma Cerrado era retratado pela sociedade e pelos governantes. Não havia interesse de proteção ambiental ao Cerrado, as políticas de interiorização e expansão da época apenas colocam em prática o que perdurava no imaginário: uma fitofisionomia feia, de aspecto tortuoso, que seria palco da expansão agrícola brasileira.

A partir de 1992, com o lançamento, no Fórum Global (evento que aconteceu paralelamente à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD)), do Tratado do Cerrado e a criação da Rede Cerrado de ONGs, as políticas governamentais passam a ter um caráter conservacionista. Em 1995, é iniciado o *Small Grants Program* (SGP) do *Global Environment Facility* (GEF), com foco geográfico no Cerrado, que, através de um viés ambiental, procurou apoiar projetos com enfoque no uso sustentável da biodiversidade e dos recursos naturais (SAWYER e LOBO, 2008).

Em 1998, com o objetivo de estabelecer estratégias de conservação da biodiversidade tanto para o Cerrado (já considerado como *hotspot* mundial da biodiversidade (MYERS, 2000)), quanto para os demais biomas brasileiros, o Ministério do Meio Ambiente - MMA, em parceria com representantes de várias instituições, avaliou e indentificou Áreas Prioritárias para a Conservação dos Biomas Brasileiros, instituídas pela Portaria MMA nº 126 de 27 de maio de 2004³.

Dessa forma, a partir do ano 2000, novas iniciativas com vistas à preservação do Cerrado também são desenvolvidas, como por exemplo: a criação do Núcleo dos Biomas

³ Essas áreas prioritárias foram atualizadas com o objetivo de serem utilizadas na gestão e políticas públicas e foram instituídas pela Portaria MMA nº 09 de 23 de janeiro de 2007.

Cerrado e Pantanal em 2004, cuja principal atribuição foi a de articular e propiciar a execução de iniciativas voltadas para a conservação e o uso sustentável desses biomas; o III Encontro dos Povos do Cerrado (do qual deriva o Plano Cerrado Sustentável, com enfoque nos aspectos de gestão para o bioma); e o Projeto GEF - Cerrado Sustentável, com financiamento do GEF, via Banco Mundial, que, dentre outras ações, direcionou a criação de unidades de conservação no bioma - Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado (instituído por meio do Decreto 5577/2005) (SAWYER e LOBO, 2008; MMA, 2009). Atualmente, por intermédio do MMA, existe o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado e, através do IBAMA, são desenvolvidos os seguintes programas voltados à proteção e manejo sustentável do Cerrado (IBAMA, 2009):

- Estudo de Representatividade Ecológica do Bioma Cerrado.
- Gestão Biorregional do EcoMuseu do Cerrado.
- Corredor Ecológico Araguaia-Bananal.
- Corredor Ecológico do Cerrado.
- Corredor Ecológico Jalapão-Mangabeiras.
- Corredor Ecológico Cerrado-Pantanal.
- Corredor ecológico JICA (que tem como objetivo preservar a região do Jalapão do avanço da agricultura, desenvolvido com cooperação técnica do Japão e do Instituto Chico Mendes).

Apesar da mudança de paradigma das políticas públicas desenvolvidas para o Cerrado, em se tratando da conservação da biodiversidade, as ações ainda são deficitárias. O Cerrado é o bioma com menor área efetivamente protegida no Brasil (Figura 13) e estas áreas não interligadas, localizam-se de forma esparsa no espaço geográfico do bioma (Figura 14).

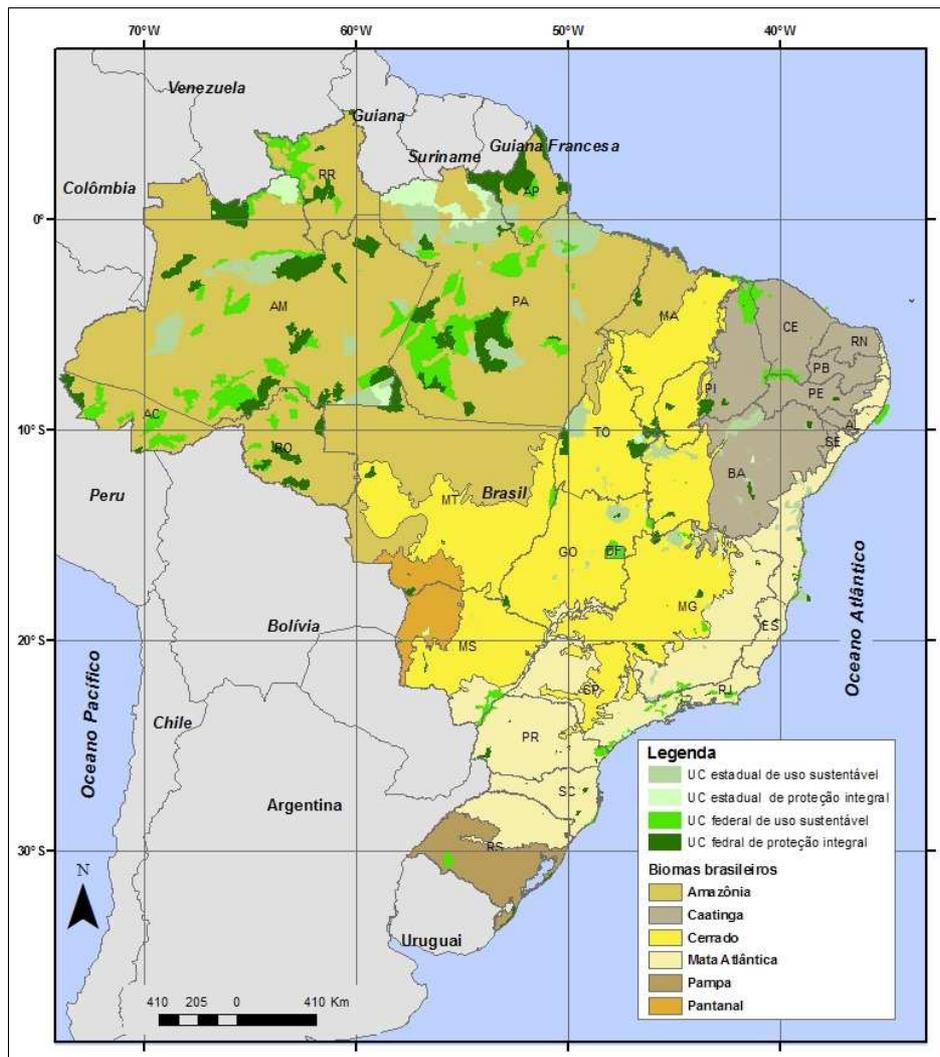


Figura 13: Mapa das unidades de conservação no Brasil. Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004.

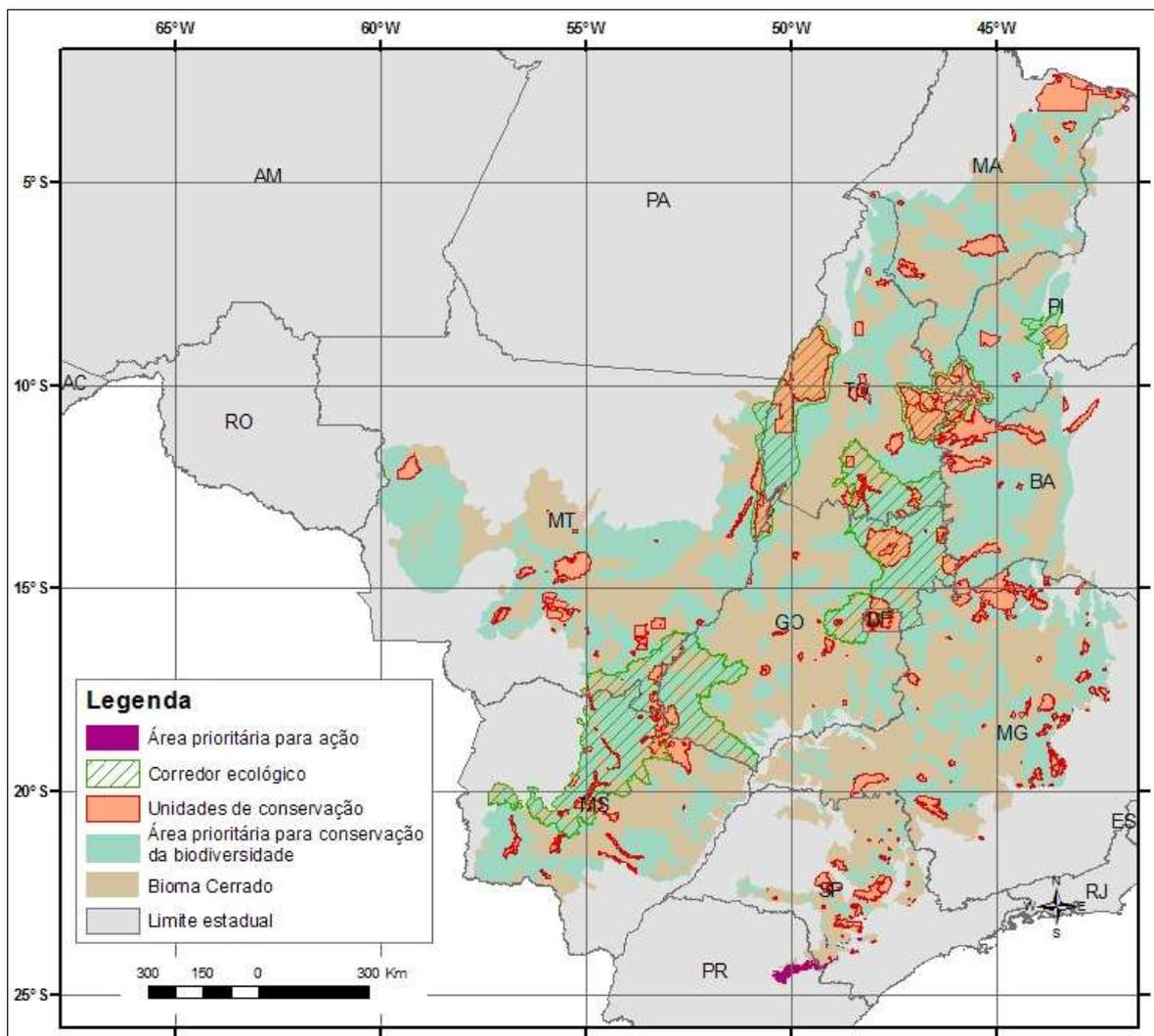


Figura 14: Mapa de localização das unidades de conservação do bioma Cerrado. Fonte: Ministério do Meio Ambiente - MMA (2006).

De acordo com os dados do PROBIO (2007), a cobertura vegetal nativa no bioma corresponde a 60% e, deste percentual, apenas 11,2% foram transformadas em unidades de conservação (o que corresponde a 8,2% do território do bioma), sendo 2,2% enquadradas na categoria de Proteção Integral, 1,9% na categoria de Uso Sustentável e 4,1% na categoria de Terras Indígenas (KLINK e MACHADO, 2005). Além disso, o fato de não haver ligação entre as unidades de conservação dificulta o manejo destas áreas e colabora com a fragmentação da paisagem do bioma (Figura 14). Segundo Garcia *et al.* (2009), além de sofrerem com o isolamento, essas áreas sofrem com a pressão antrópica dos espaços circundantes (Tabela 1). De fato, 31% das áreas que circundam as UCs apresentam conversão superior a 70%.

Tabela 1: Unidades de conservação de Uso Sustentável e Proteção Integral com suas respectivas taxas de conversão e desmatamentos ocorridos em um *buffer* de 10 km. Fonte: Garcia *et al.* (2009).

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	Conversão %	Desmat. km ²
PE Dom Osório Stafell, RPPN Parque Ecológico João Bosco	70,61	2,24
PE de Paraúna, APA Serra das Galés e da Portaria	70,66	5,21
PE Sonora, APA Pontal dos Rios Itiquira e Correntes, MN Pedras do Rio Corrente	71,43	7,60
APA da Serra da Jibóia	71,89	3,07
RB Barra	75,07	0,00
FE Cajuru	75,55	21,74
PE da Serra de Caldas Novas	75,79	0,93
Pq do Córrego Lucal	77,33	1,62
PE Furnas do Bom Jesus	78,49	0,00
PE Vassununga, EEx São Simão, EEx Luís Antônio, EEx Bento Quirino, EE Jataí, EE Santa Maria	78,86	35,96
FLONA de Silvânia	80,01	3,35
PE Altamiro de Moura Pacheco	80,20	1,52
Pq das Araras	80,35	1,13
EE Corumbá	80,65	0,86
FE Batatais	81,22	0,00
PE Matas do Segredo	82,42	0,00
ARIE Matão de Cosmópolis, FE Angatuba, EE e EEx Itirapina, FE Botucatu, APA Corumbataí, ESEC Angatuba e Paranapanema, FE Alvaré I, FE Paranapanema	82,88	43,20
PE do Cerrado, PE do Guartelá, EE e EEx Itapeva, EEx Itararé, APA da Escarpa Devoniana	83,95	5,66
EEx Casa Branca	84,03	5,02
APA Ibitinga	84,60	3,71
EE, EEx e RB Mogi Guaçu,	87,52	2,26
EE Itaberá	88,18	1,78
EE Bauru, EEx Bauru e APA do Rio Batalha	88,26	4,98
ARIE Águas de São João	88,59	0,05
RB de Sertãozinho	88,79	1,12
FE Bebedouro	89,51	1,63
FE e EE Santa Bárbara	90,39	4,51
PE Telma Ortegal	90,92	0,38
EEx Araraquara	91,20	2,19
EEx Mogi Mirim	91,80	2,12
EE de Assis	93,35	2,35
EEx Paraguaçu Paulista	93,38	2,02
FN Capão Bonito	94,49	0,43
EE de Ribeirão Preto	94,50	1,23

No ano de 2009, o Ministério do Trabalho lançou o Programa de Capacitação em Agroextrativismo no Cerrado, cujo objetivo é aumentar o preparo dos agricultores familiares para que eles melhorem a forma de explorar economicamente os recursos

oferecidos pelo bioma sem necessidade de devastá-lo. Outras ações são desenvolvidas nas demais esferas do poder público, como, por exemplo, o projeto Fruteiro Nativas do Cerrado desenvolvido pelo governo do estado de Goiás, que visa sensibilizar e capacitar os agricultores familiares para se engajarem em ações de apoio ao desenvolvimento rural sustentável, bem como por algumas instituições não governamentais, como o Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN).

No que diz respeito às ações de planejamento, estas também são isoladas e fragmentadas. Os zoneamentos ecológico-econômicos são desenvolvidos por poucos estados. De acordo com o Programa Zoneamento Ecológico-Econômico do MMA, dentro dos limites geográficos do bioma, apenas o estado do Mato Grosso teve seu ZEE concluído. Nos demais estados, os trabalhos ainda estão em andamento (MMA, 2007). Vale a pena ressaltar que, para a Amazônia Legal e para a Bacia do São Francisco, há um projeto de ZEE específico, o que nos faz refletir sobre a possibilidade de execução desta prática também para a área *core* do Cerrado, uma vez que é evidente a necessidade de políticas que englobem e direcionem ações com vistas ao planejamento integrado desse ecossistema.

Dessa forma, percebe-se que no âmbito de políticas públicas sociais ou mesmo de planejamento territorial, a situação não é muito diferente do que acontece no âmbito ambiental, apesar de existirem, as ações governamentais são ainda modestas e bastante localizadas para o bioma Cerrado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Análise da paisagem

Apesar de ter surgido cientificamente com a geografia, o conceito de paisagem é tão variado quanto às ciências que se utilizam dele. Cada área do conhecimento (história, arquitetura, ecologia) utiliza o conceito de acordo com uma interpretação própria, variando em função do objeto e do contexto de estudo.

O termo paisagem surge como conceito na escola geográfica naturalista alemã do séc. XIX e está presente nas obras de Alexandre Von Humboldt (Cosmos, 1884) e Carl Ritter (Geografia Comparada, 1859). A princípio, a paisagem era descrita a partir da mera observação. Os elementos sociais, assim como a interação destes com os elementos naturais que compõem a paisagem, eram ignorados. Com a escola francesa, na geografia humana de Vidal de la Blache, os elementos sociais são agregados ao estudo da paisagem que, apesar de não romper completamente com a visão naturalista, aumentou a carga humana no estudo geográfico (MORAES, 1997).

No âmbito da geografia, dentre os vários significados que podem ser dados ao conceito de paisagem, podemos destacar o seguinte: “um conjunto de forma que, num dado momento, exprime as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homem e natureza” (SANTOS, 2002). Apesar de fazerem parte da geografia desde os seus primórdios e acompanharem a evolução do pensamento epistemológico geográfico, o uso do conceito de paisagem e o estudo da mesma não são apenas um privilégio de geógrafos. A ecologia da paisagem pode ser citada como exemplo. Uma ciência relativamente nova (HOBBS, 1994), que tem, em suas bases teórico-fundamentais, duas abordagens distintas: a geográfica, mais antiga, com raízes nas produções europeias e a ecológica, mais recente, com embasamentos norte-americanos.

Na abordagem geográfica, há a preocupação com o planejamento da ocupação territorial, com a inter-relação entre o homem e seu espaço de vida e com o estudo das paisagens fundamentalmente modificadas pelo homem. É uma abordagem menos centrada em estudos bioecológicos e mais receptiva à influência de ciências como a geografia humana, a sociologia, a biogeografia e a arquitetura, focando, em particular, na visão global da paisagem e no ordenamento territorial. A concepção ecológica, por sua vez, é influenciada pela ecologia de ecossistemas e pela modelagem e análise espacial. Diferentemente da primeira, esta concepção dá mais ênfase às paisagens naturais e à

aplicação de conceitos de ecologia da paisagem para a preservação da diversidade biológica e o manejo dos recursos naturais (METZGER, 2001).

Independente da forma de abordagem, a proposta da ecologia da paisagem é a de trabalhar os fragmentos antropizados. Estes fragmentos, em geral, estão associados com as características sociais, culturais e econômicas impressas por uma determinada sociedade que, em geral, está ligada à dinâmica de usos do solo (SOUTHWORTH, 2004; VIANNA *et al.*, 1997). No Cerrado, como já descrito anteriormente, essa dinâmica foi intensificada com as frentes pioneiras de expansão, com a ocupação do Centro-Oeste do Brasil e com o incentivo às práticas agrícolas e de criação extensiva de gado, principalmente nos estados de Goiás e Mato Grosso (CARVALHO *et al.*, 2009).

Neste trabalho, o conceito de análise da paisagem é utilizado segundo a concepção mais geográfica, uma vez que o objetivo principal do estudo está em analisar como as práticas sociais estabelecidas, representadas através dos diversos tipos de uso da terra (agricultura, pastagem, mineração, etc.), se relacionam com os componentes físicos do Cerrado. Em particular, avaliamos como práticas antrópicas, como o desmatamento, se relacionam com as variáveis biofísicas, como a TS (caracterizada no próximo tópico), buscando o que alguns autores denominam *ecologia humana da paisagem*, em que os estudos são centrados nas relações do homem com o seu espaço de vida natural e construído (NAVEH e LIBERMAN, 1997). No entanto, como nesta pesquisa há também a preocupação com o padrão de distribuição na paisagem dos fragmentos de vegetação remanescente do ecossistema de Cerrado e as prováveis consequências ecológicas desta dispersão, a concepção ecológica de análise da paisagem não foi ignorada.

Dessa maneira, percebe-se que, independentemente da concepção utilizada, o uso do conceito de paisagem em estudos de caráter ambiental aproxima as diversas áreas do conhecimento ao mesmo tempo em que contribui com a prática da multidisciplinaridade. Sendo este um trabalho desenvolvido no âmbito das ciências ambientais, fica evidente a necessidade de utilizar tal conceito.

3.2 Temperatura de Superfície (TS)

A superfície da Terra, suas águas e a atmosfera comportam-se como uma gigantesca máquina de transformação de calor, o qual é redistribuído através dos ventos e das correntes oceânicas, formando os diversos padrões de clima. Pode-se dizer que há um

equilíbrio quase perfeito entre a quantidade de radiação solar incidente e a quantidade de radiação terrestre retornada para o espaço (RICKLEFS, 1993).

A forma como a superfície é aquecida ocorre primordialmente pela absorção da energia do Sol. As trocas de calor entre a atmosfera e a superfície podem acontecer tanto por condução quanto por radiação. A condução é restrita ao ar diretamente em contato com o solo, enquanto a emissão de calor, através da radiação, acontece por meio de ondas longas, constantemente. A troca de calor ocorre também pela condensação da água, pela evaporação da água, pela transpiração das plantas e pela ET (transpiração das plantas + evaporação da água no solo), sendo esta última, altamente sensível às mudanças de TS (SILVA, 2006).

Assim como a TA, a TS varia em decorrência de uma série de fatores, tanto externos (incidência de radiação, ciclo diário e anual, latitude, tipos de cobertura, topografia, altitude, influência antrópica, etc.) como internos (umidade, composição química dos elementos do solo, etc.).

No que se referem às influências externas, mais especificamente ao ciclo diário, a TS sofre picos que normalmente ocorrem duas horas após a culminação do Sol (temperatura máxima) e apresenta temperaturas mais baixas (temperatura mínima) duas horas antes do nascer do Sol. As mudanças de temperatura que ocorrem em função do ciclo anual estão relacionadas, por sua vez, com as diferentes latitudes e a quantidade de energia solar que chega à superfície.

O efeito do aquecimento do Sol é máximo no Equador (Figura 15a) e, além de ser responsável pelo aquecimento da Terra, influência também os movimentos da atmosfera e os fenômenos meteorológicos através da formação de ar quente e úmido nos trópicos e ar frio e seco nas latitudes subtropicais (Figura 15b) (RICKLEFS, 1993).

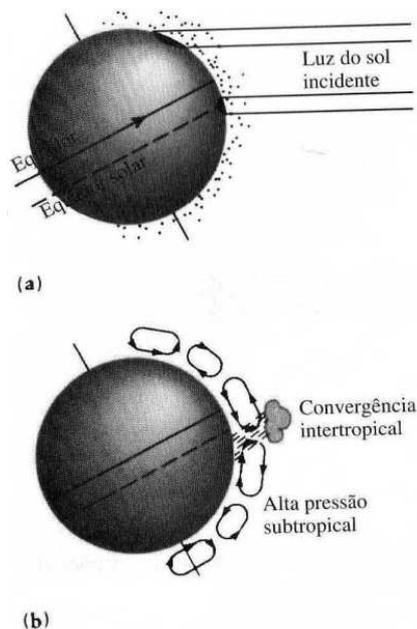


Figura 15: Direção do aquecimento solar na Terra e influência deste nos movimentos atmosféricos. Fonte: Ricklefs (1993).

Ainda com relação às influências externas, a variabilidade termal da superfície vai depender, também, do tipo de cobertura existente, que interfere diretamente no suprimento e na troca de energia. A presença de cobertura vegetal influencia a ET, auxiliando na regulação da transpiração das plantas e evitando que o calor recebido do Sol não chegue diretamente ao interior do solo, aumentando a evaporação da água presente no substrato. Outro fator que influencia tanto a TA, quanto a TS e já foi mencionado anteriormente, é a topografia. Esta variável interfere nas variações instantâneas de temperatura (estado de agitação do ar) através da resistência que a rugosidade natural da superfície exerce sobre o movimento do ar e também em decorrência da convecção devido ao aquecimento diferenciado da superfície pelo Sol. As diferenças de altitude, provocadas pelas diferenças topográficas do terreno, ao provocar alterações no volume de precipitação, também influenciam na temperatura. À medida que o ar carregado de umidade é desviado para locais mais altos, ele resfria e o seu vapor condensa-se na forma de precipitação. À medida que o ar se desloca para altitudes menores, ele tende a se aquecer e começa a absorver a umidade, criando micro-climas mais secos denominados sombra de chuva (RICKLEFS, 1993) (Figura 16).

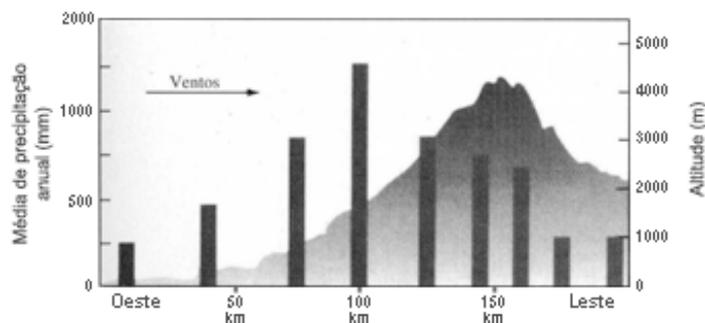


Figura 16: Distribuição de chuvas de acordo a presença do relevo. Fonte: Ricklefs (1993).

Já as interferências internas podem ocasionar um diferencial na temperatura principalmente devido à diversidade de solos, que apresentam propriedades físicas e químicas que variam de uma região para outra em função dos processos geológicos e climatológicos, tendo na umidade e na matéria orgânica, importante fatores na evolução térmica dos solos (NETO, 2001) (Figura 17).

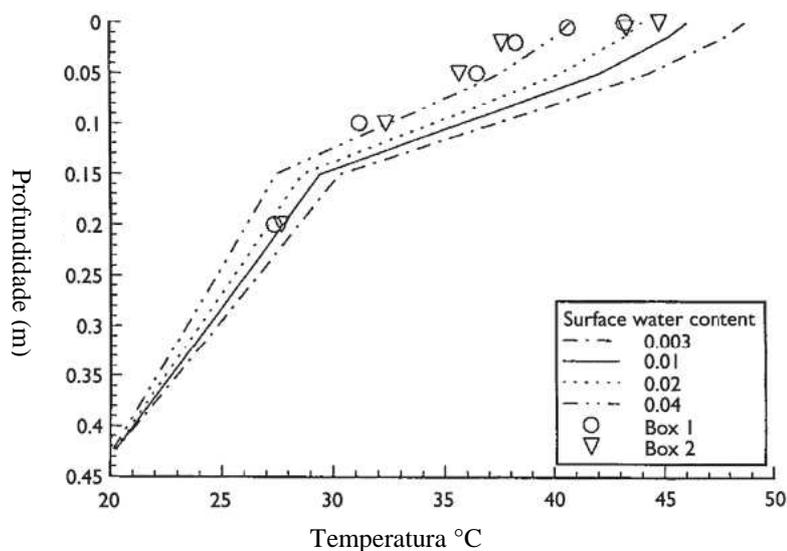


Figura 17: Variação da temperatura de superfície em função da quantidade de água existente no solo. Fonte: Carlson *et al.* (2005).

Além desses fatores de caráter natural, há também a interferência antrópica na paisagem que pode causar tendências de variabilidades termais, denominadas tendências seculares. Ao realizar um desmatamento, construir edificações urbanas ou provocar queimadas, a ação humana interfere diretamente na resposta termal da superfície, provocando uma tendência positiva no registro da mesma. Chudnovsky (2004) lembrou,

por exemplo, como o desmatamento em regiões tropicais pode contribuir com o quadro negativo de mudanças globais, afetando os ciclos biogeoquímicos e os fluxos de carbono e de energia.

No que se refere à medição, tanto a TS quanto a TA, esta, pode ser aferida de duas maneiras: por termômetros específicos ou por sensores que atuam na faixa espectral do infravermelho termal.

A aquisição de dados por termômetros normalmente está relacionada com a presença de estações meteorológicas e o seu uso depende basicamente da existência dessas estações, da periodicidade de monitoramento das informações e dos recursos humanos disponíveis para realizar as atividades de acompanhamento.

No campo dos sensores orbitais, há uma grande variedade de sensores termais que atuam nas mais diferentes resoluções espaciais e temporais, tendo sua utilização ampliada nas pesquisas científicas atuais. O maior uso dessas informações tem sido no âmbito de pesquisas sobre a variabilidade termal dos mares e oceanos e sobre mudanças na cobertura e uso do solo, principalmente em áreas de grande adensamento populacional, principalmente para verificação do fenômeno de ilhas de calor urbano (GILLET *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2007; RAYNER *et al.*, 2005; WENG *et al.*, 2002). A maior parte desses estudos foi executada a partir dos dados produzidos pelos sensores TM, ETM+ e AVHRR-NOAA (MANAWADU e NIROSHA, 2008; MALLICK *et al.*, 2008; SOBRINO *et al.*, 2004; PESTEMALCI *et al.*, 2004; SUN *et al.*, 2002). No Brasil, a grande maioria dos estudos que utilizam as informações de TS foi desenvolvida a partir de dados dos sensores AVHRR, TM, ETM+, ASTER e, em menor escala, o MODIS. Esses estudos estão, em geral, associados a pequenas áreas, com enfoque em problemas urbanos ou aplicações na agricultura (GUSSO *et al.*, 2007; SILVA e SANTOS, 2007; COLTRI *et al.*, 2007; BAPTISTA *et al.*, 2005; TESA e BAPTISTA, 2005). A Figura 18 apresenta um infograma com os sensores termais mais utilizados nas pesquisas científicas atuais.

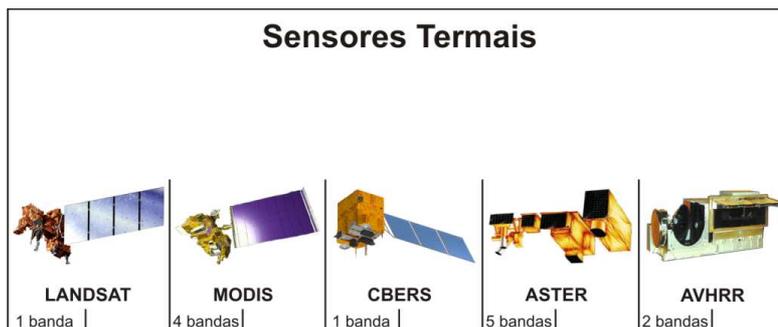


Figura 18: Sensores orbitais que atuam na faixa do infravermelho termial.

A crescente utilização de dados orbitais termiais para mensurar dados de TS se deve ao fato da grande proximidade entre os dados medidos nas estações meteorológicas e os estimados pelo sensor (Figuras 19 e 20).

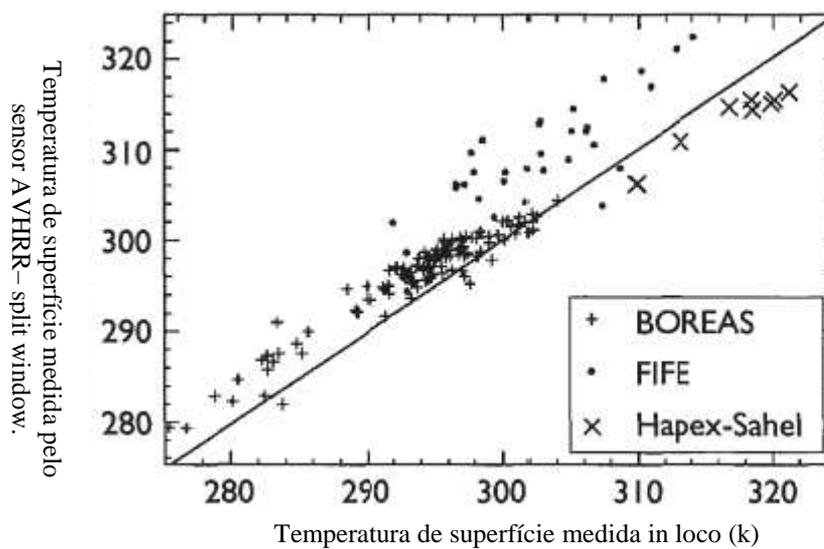


Figura 19: Comparação entre as temperaturas de superfície medidas *in loco* e estimadas pelo sensor AVHRR. Fonte: Czajkowsk *et al.* (2005).

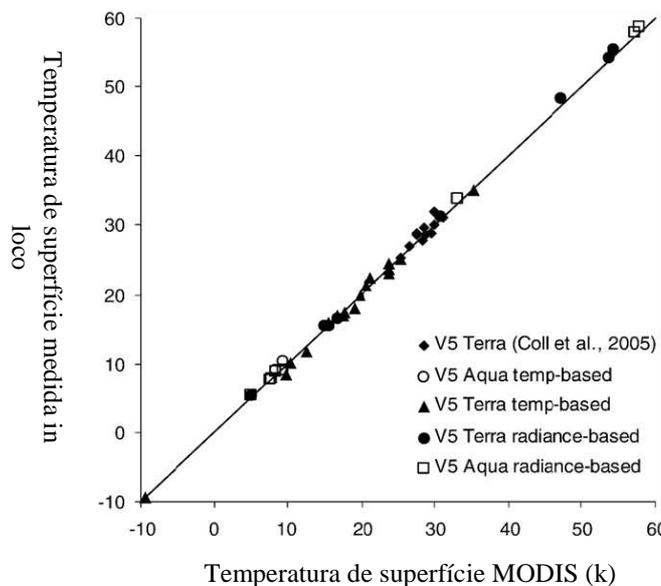


Figura 20: Comparação entre as temperaturas de superfície medidas *in loco* e estimadas pelo sensor MODIS. Fonte: Wan (2006).

Além disso, outro estímulo para a utilização de dados orbitais é a proximidade entre os valores de TS medidos pelo sensor e os dados de TA medidos em estações meteorológicas, conforme apontaram os trabalhos de Prihodko e Goward (1997), Jones *et al.* (2004), Colombi *et al.* (2009) (Tabela 2) e Yan *et al.* (2009). Em todos esses estudos, a correlação entre a TS e a TA foi bastante satisfatória, apresentando um r^2 superior a 0,7 em praticamente todos os casos. No último trabalho, os autores chegaram a uma correção próxima a 90% entre as duas temperaturas (de superfície e do ar) medidas no leste da China. Os três últimos autores utilizaram dados provenientes do sensor MODIS e detectaram que a variação da temperatura medida pelo sensor em comparação com a temperatura medida *in loco* ficou em torno de 2°C , para mais ou para menos. Bosilovich (2008), comparando os valores medidos entre o sensor e a TS *in loco*, mostrou que os resultados foram compatíveis, principalmente em latitudes médias.

Tabela 2: Comparação entre os dados de temperatura de superfície medidos pelo sensor MODIS e os dados de temperatura do ar medidos *in loco* nos Alpes. Fonte: adaptada de Colombi *et al.* (2009).

	Temperatura média satélite (°C)	Temperatura média <i>in loco</i> (°C)	Erro do satélite (°C)
11 Jan 2003 21:30h	-9,7	-9,7	0,0
18 Jan 10:25h	-6,9	-7,9	1,0
21 Fev 2003 10:15h	-4,0	-5,0	1,0
28 Fev 2003 21:30h	-4,0	-3,0	-1,0
09 Mar 2003 21:20h	-1,4	-2,1	0,7
14 Mar 2003 10:30h	-3,2	-6,7	3,5
24 Abr 2003 21:35h	-3,4	2,0	1,4
03 Ma 2003 21:30h	-0,3	2,0	-2,3
15 M 2003 10:45h	3,4	2,4	1,0
12 Jun 2003 20:40h	1,0	-1,9	2,9
29 Jun 2003 10:15h	12,5	14,3	-1,8
RMSE	13,1	13,5	-0,4
			1,89

Nesta mesma linha de pesquisa, o trabalho de Ataíde *et al.* (2009) também realizou um estudo comparativo entre a TA e a TS medida pelo sensor MODIS para o estado de Goiás. A pesquisa comparou os dados do sensor com dados de TA medidos a 2 metros de altura, em 11 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Alto Paraíso de Goiás, Aragarças, Brasília, Caiapônia, Faculdade da Terra, Goiás, Itapaci, Jataí, Luziânia, Monte Alegre de Goiás e Rio Verde). Os resultados mostraram uma correlação de 81% entre os dados do sensor MODIS e as informações das estações.

Esses estudos mostram uma tendência na utilização de dados de TS coletados por meio do sensoriamento remoto, em detrimento aos dados de coleta meteorológica. Isso porque as estações meteorológicas oferecem medidas pontuais e nem sempre conseguem uma cobertura espacial e temporal satisfatória. Por outro lado, os satélites, cada vez mais avançados, permitem uma maior cobertura espacial com curtos intervalos de tempo, facilitando, inclusive, o uso em modelos ambientais de ciclos biogeoquímicos que necessitam de valores de temperaturas espacializados de forma regional (DOUSSET e GOURMELON, 2003). Além disso, o preço e a disponibilidade de recursos humanos e

materiais e a falta de estações meteorológicas em diversos locais são outros fatores que favorecem o uso de dados de temperatura providos por sensores orbitais.

3.2.1 A importância da temperatura de superfície

A TS é uma variável biofísica com aplicações na meteorologia e em estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia (pois evidencia todas as representações dos processos de dependência da interface solo/atmosfera) e bioclimáticos. É uma variável que deve ser considerada na análise de climas locais, uma vez que o aquecimento diferencial das superfícies potencializa a diferenciação climática local (STEINKE, 2004).

O estudo da TS também é muito importante para fins de estudos e aplicabilidade agrícola, já que a variabilidade termal da superfície interfere diretamente na germinação e na atividade metabólica das plantas. Alguns trabalhos já analisaram, inclusive, a influência da temperatura nos sistemas agrícolas brasileiros, sugerindo que os impactos das mudanças climáticas sobre a estrutura produtiva no Brasil serão significativos e com importantes variações regionais nas áreas de lavoura, podendo afetar, até mesmo, a produtividade média das culturas, aumentando as áreas inaptas para o cultivo de algumas plantas como o café. Neste cenário, o Centro-Oeste do Brasil poderia ser o mais afetado, devido à sua vulnerabilidade aos efeitos climáticos e por apresentar temperaturas elevadas e baixos índices pluviométricos (ASSAD *et al.*, 2004; SANGHI *et al.*, 1997).

A importância da TA e da TS também fica evidenciada em trabalhos que analisam o efeito da ação humana sobre a variabilidade de processos físicos que ocorrem na interface terra-atmosfera. Essas intervenções provocam mudanças nos níveis pluviométricos, que por sua vez, podem ocasionar variações nos micro-climas locais e no caso de ocorrerem em grandes regiões, podem provocar também, mudanças no clima regional (NOBRE *et al.*, 1991). Um exemplo deste fato pode ser observado no trabalho de Hoffmann e Jackson (2000) que, por meio de simulações que convertiam áreas de savanas tropicais em áreas de pastagem em cinco regiões de savana no mundo (incluindo o Cerrado brasileiro), verificaram que essa substituição pode influenciar diretamente o padrão de circulação atmosférica em larga escala, podendo ser um elemento decisivo para que ocorram diminuições tanto no volume quanto nos períodos de precipitações (Figura 21). Os resultados mostraram uma redução de 10% na média anual de precipitação, principalmente nos períodos considerados úmidos e, como consequência desse fato,

observou-se, também, um declínio na ET, um fator muito importante no ciclo energético, cuja mudança afeta diretamente o esquema geral de produção primária.

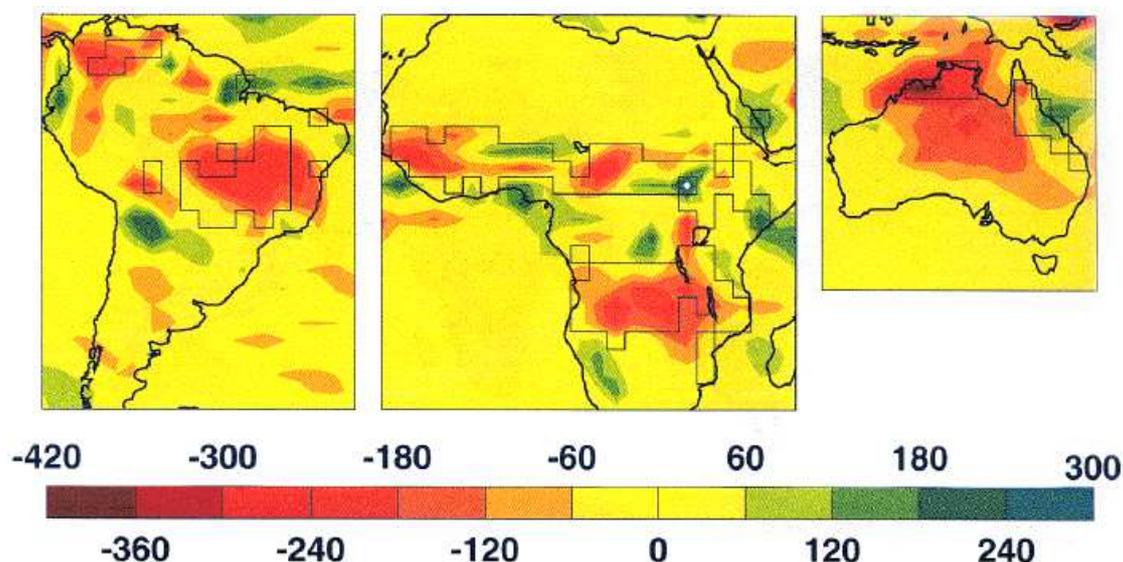


Figura 21: Mudança na média anual de precipitação em decorrência da substituição de vegetação de savana por pastagens. Fonte: Holffman e Jackson (2000).

Além disso, a substituição da vegetação nativa provocou um aumento de $0,4^{\circ}\text{C}$ a 1°C na média anual da TS e um declínio na quantidade de radiação solar absorvida ($5,5 \text{ W.m}^{-2}$) o que, conseqüentemente, altera a quantidade de energia disponível para os fluxos de calor sensível e de calor latente (Tabela 3).

Tabela 3: Valores médios de mudança nos fatores precipitação, temperatura, fluxo de calor latente, calor sensível e radiação em função da substituição da vegetação natural por pastagens. Fonte: adaptada de Holffman e Jackson (2000).

Fatores	Valores
Precipitação (mm/ano)	-83,0
Temperatura (K)	+0,58
Fluxo de calor latente (W.m^{-2})	-6,36
Calor sensível (W.m^{-2})	-2,63
Radiação (W.m^{-2})	-8,95

Hutyra *et al.* (2007), Rocha *et al.* (2004) e Costa (1997), em estudos realizados na Amazônia, também mostraram a importância da vegetação natural no balanço dos ciclos biogeoquímicos da natureza e como a ação humana pode alterar esse equilíbrio. De acordo

com Berbet e Costa (2003), quando florestas e savanas são substituídas por pastagens, ocorre uma redução na ET média anual de 0,05mm (o equivalente a 12%). Essas informações são corroboradas por Nobre *et al.* (1991) que, em um estudo desenvolvido também no bioma Amazônico, constataram que a conversão da floresta tropical em pastagem pode provocar um aumento de 1°C a 3°C na TS, o que reduziu a evapotranspiração em 30% e a precipitação em 25%.

Dentro dos ciclos biogeoquímicos, a importância da TS pode ser constatada quando observamos que praticamente todos os processos do ciclo hidrológico (evaporação, precipitação, transpiração), são sensíveis a mudanças de temperatura, com destaque para o processo de ET, como já fora mencionado nesse texto. A intensidade de energia é um dos fatores responsáveis pela reciclagem da água. À medida que o ar se aquece, sua capacidade de reter vapor de água aumenta e a evaporação acelera-se; a taxa de evaporação de uma superfície aproximadamente dobra a cada aumento de 10°C na temperatura (RICKLEFS, 1993). Isso sem falar que as oscilações térmicas na superfície podem influenciar na quantidade de calor que retorna para a atmosfera (ciclo energético) e o fornecimento de energia que abastece o início das cadeias produtivas.

3.3 Sensoriamento remoto no infravermelho termal.

O sensoriamento remoto é a medição ou aquisição de informações sobre alguma propriedade de um objeto ou fenômeno por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico direto com o objeto ou fenômeno em estudo (ROSA, 1995). O uso do sensoriamento remoto vem se ampliando em todo o mundo. Parte pela facilidade com que podemos obter imagens orbitais e parte pela série de vantagens em se utilizar dados obtidos por sensores remotos, tais como: a) aquisição de informações sem perturbar ou interferir no objeto ou área de estudo; b) obtenção de dados de maneira sistemática para áreas geográficas muito grandes; c) fornecimento de informação espacial, espectral e temporal variada, de forma eficiente e econômica; e d) possibilidade de organizar, com a repetição de dados, séries temporais precisas e acuradas (JENSEN, 2009).

Os dados de sensoriamento remoto obtidos no infravermelho termal não diferem dos demais dados obtidos pelos demais sensores: a energia eletromagnética que emana de um objeto ou área geográfica à distância é captada e, posteriormente, através de algoritmos matemáticos e estatísticos, são extraídas feições e informações de interesse (Figura 22).

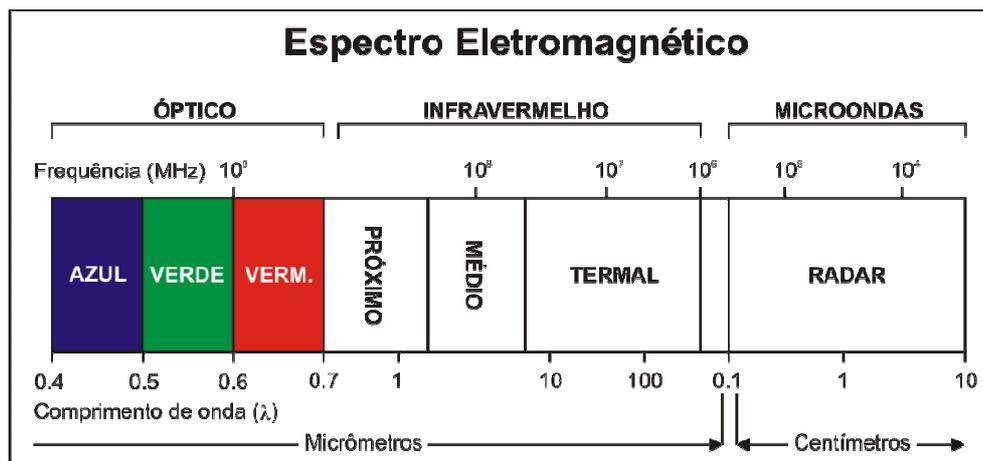


Figura 22: Intervalos do espectro eletromagnético.

A diferença é que os sensores que atuam na banda termal são fundamentados, basicamente, pelo comportamento térmico dos materiais que compõe a superfície da Terra. Tal fato é possível porque todos os objetos com temperatura acima de zero absoluto (0 K ou 273°C) emitem energia eletromagnética através da movimentação de suas partículas, o que produz uma energia denominada calor cinético, conhecida também como calor verdadeiro, interno ou real. Essa energia pode ser transmitida pelos corpos de três formas:

- convecção: processo de transferência de calor que se dá por transporte de matéria. Não envolve transferência microscópica de calor por átomos ou moléculas, e sim macroscópica, onde o calor é carregado de uma região quente para uma região fria;
- condução: o calor é transmitido através da matéria sem que esta se desloque. Ocorre por meio de colisões entre átomos e moléculas de uma substância e a subsequente transferência de energia cinética;
- radiação: este processo não necessita de um meio material para propagar o calor. A radiação térmica é da mesma natureza que a radiação da luz.

Como o calor cinético interno de um objeto também é convertido em energia radiante (energia externa ou aparente) e emitido em forma de ondas, é possível medi-lo a partir de técnicas de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009). A medição por meio de sensores orbitais é possível porque há, para a maioria dos objetos do mundo real, uma alta correlação positiva entre a energia cinética verdadeira do objeto e a quantidade de fluxo radiante radiado pelo mesmo objeto (energia aparente) (OREGON DEC, 2003). No entanto, para a utilização dos dados produzidos através de sensoriamento remoto termal, alguns fatores precisam ser observados.

O primeiro fator a ser considerado é o comportamento termal dos alvos. Isso porque, devido à capacidade térmica (grandeza física que determina a variação térmica de um corpo ao receber determinada quantidade de calor), a resposta termal dos objetos varia durante o dia e a noite. A água, por exemplo, por possuir uma enorme capacidade térmica, tem praticamente a mesma temperatura durante todo o período de 24h, diferentemente dos demais objetos como as rochas ou os solos, que têm seu pico de emissão térmica entre as 12h e 16h. Ou seja, em imagens termais noturnas, o solo e a rocha aparecerão mais frios do que a água e, em imagens termais diurnas, aparecerão mais quentes (JENSEN, 2009). Dessa maneira, imagens noturnas são melhores para diferenciar a água, uma vez que ela apresenta temperatura relativamente mais alta que os demais materiais existentes na superfície, e imagens diurnas são melhores para verificar o comportamento termal dos vários materiais que compõem a paisagem, em função do pico de emissão dos mesmos.

O segundo fator que merece atenção na análise de dados obtidos por sensoriamento remoto termal é a interferência de vapor de água, ozônio e carbono. Estes elementos formam feições de absorção na atmosfera, dificultando a obtenção de informações. De acordo com Souza e Silva (2005), o vapor d'água na atmosfera é o principal atenuador na região termal; quanto maior sua concentração, menor a transmitância, reduzindo a radiação emergente no topo da atmosfera. Assim, objetivando evitar esse problema, as bandas espectrais dos sensores de infravermelho termal são posicionadas, geralmente, no intervalo de 10,5 μ m a 12,5 μ m, o que possibilita a observação de satélite com um mínimo de distorção atmosférica - são as chamadas janelas atmosféricas (SALISBURY, 1992; LATORRE *et al.*, 2002).

O terceiro fator é a emissividade (capacidade de um objeto em emitir energia infravermelha, cujo valor varia de 0 até 1). Como dois corpos que estejam próximos um do outro no terreno podem ter a mesma energia cinética verdadeira, mas terem diferentes temperaturas aparentes devido às suas diferentes emissividades, é necessário considerar esta variável para que se possa chegar o mais próximo possível da temperatura cinética verdadeira de um objeto (WENG, 2004). Normalmente, para resolver essa questão, os sensores de infravermelho termal recorrem à calibração radiométrica da imagem, realizada, na maioria das vezes, utilizando um corpo negro como referência, ou por medições e coletas de dados *in situ*.

O deslocamento do relevo também pode interferir na obtenção de dados no infravermelho termal por sensores escaneadores. Isso porque tal efeito pode deslocar os

topos dos objetos que se projetam acima do terreno local para fora de suas posições planimétricas, o que ocasiona mapas termais com valores anômalos ou espacialmente inconsistentes. Dessa forma, as imagens infravermelhas termais, bem como todos os demais produtos de sensoriamento remoto, precisam ser retificadas geometricamente.

Além disso, como o sensor não recebe apenas a energia que provém dos elementos do terreno, mas também o fluxo radiante espalhado pela atmosfera, se faz necessária a aplicação de técnicas que visem amenizar tal efeito. Por essa razão, grande parte dos trabalhos científicos, objetivando remover os efeitos da atmosfera para determinar dados de TS, utiliza um método chamado *split-window* (GUSSO *et al.*, 2007; BECKER *et al.*, 1990; PRICE, 1984). Esse método, muito utilizado em estudos que consideram a variável TS estimada por sensores orbitais, consiste, basicamente, na correção para efeito atmosférico das temperaturas de brilho observadas, por uma diferença linear entre as temperaturas de brilho em outros canais termais (QUATTROCHI *et al.*, 2002). Dessa forma, vemos que, como o sinal registrado é uma integração de todos os fluxos radiantes emitidos pelos diversos materiais que compõem o campo de visada, a diferenciação dos alvos vai depender, principalmente, das resoluções radiométrica e espacial de cada sensor, cuja opção de escolha ficará a cargo do pesquisador, variando em função de seu objeto e/ou área de estudo. Dentre os sensores que atuam no infravermelho termal, podemos citar:

- ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*). Possui cinco bandas na faixa do infravermelho termal entre 8 μm e 12 μm com pixels de 90m. As bandas 13 e 14 são específicas para estimar a TS, com resolução temporal de 4 dias. É considerado o sistema sensor com melhor resolução espacial da plataforma TERRA do EOS (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>).

- LANDSAT. Os dados mais utilizados para a análise com base em imagens de infravermelho termal são provenientes do satélite LANDSAT 5 TM (*Thematic Mapper*), que possui uma banda no infravermelho termal (banda 6) com resolução espacial de 120m e resolução temporal de 16 dias. Em abril de 1999, foi lançado o satélite LANDSAT 7, equipado com sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), com a banda 6 com ganho baixo (Canal 6L) e ganho alto (Canal 6H) e com resolução espacial de 60-120 metros. No entanto, em 2003, o satélite Landsat 7 apresentou problemas. (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

- AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). É um dos três sensores a bordo do satélite NOAA. Foi projetado para análise multiespectral de

parâmetros meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos. Possui duas bandas no infravermelho termal (canais 4 e 5), com 1,1km de resolução espacial e cobertura diária (<http://eros.usgs.gov/AVHRR>).

- CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). Sensor destinado à coleta de dados ambientais, possui uma banda no infravermelho termal, com resolução espacial de 160m e temporal de 26 dias (www.cbears.inpe.br/).

- MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Visualiza toda a superfície da Terra a cada 1-2 dias, com resoluções espaciais de 250m x 250m, 500m x 500m e 1km x 1km (imagens MOD11), fazendo observações em 36 bandas espectrais da superfície terrestre e oceânica, da temperatura, da produtividade primária, da cobertura da superfície, das nuvens, dos aerossóis, do vapor d'água e de incêndios florestais. Dentre os vários produtos do sensor, há um produto específico de TS, o produto MOD11 - LST, com dados georreferenciados e corrigidos para efeitos da atmosfera. No sensor MODIS, destacam-se os seus subsistemas de calibração, os quais incluem um difusor solar, um monitor de estabilidade do difusor solar, um instrumento de calibração espectrorradiométrica, um corpo negro para calibração termal e uma abertura para visada do espaço (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

3.3.1 O PRODUTO MOD11

Como visto na descrição anterior, ao trabalhar com dados obtidos por sensoriamento remoto termal, se faz necessária a observação de uma série de fatores que podem comprometer a aquisição das informações e, conseqüentemente, a qualidade dos dados que serão analisados. Nessa perspectiva, faz parte do trabalho de pesquisa, avaliar, de acordo com o objeto de estudo e as características de cada sensor, qual o mais adequado. Neste estudo, a opção foi pelo sensor MODIS, produto MOD11.

O MOD11 utiliza o algoritmo LST para o cálculo de TS, incluindo o *Day/night LST algorithm* (WAN e LI, 1997), desenvolvido especificamente para o MODIS, que produz imagens termais diurnas e noturnas para toda a superfície da Terra, com periodicidade diária. Sua resolução espacial é de 1km e é tido como um dos melhores sensores em resolução radiométrica dentre os sensores termais, possuindo um corpo negro interno para calibração das temperaturas.

Com o objetivo de se aproximar ao máximo do valor da energia cinética verdadeira dos diferentes alvos que compõem a superfície terrestre, os dados de temperatura produzidos pelo MOD11 foram validados a partir de imagens MAS (*MODIS Airborne Simulator*) e por mensurações de campo conduzidas em 1996-1998 (WAN *et al.*, 1998). Para a coleção V5, novas medições *in situ* foram feitas, com mais de 50 estudos de caso medidos a céu aberto e, a partir dessas atuais medições, o sensor foi novamente calibrado e validado, para os diversos alvos com variações termais entre -10 °C e 58 °C (WAN, 2007; COLL *et al.*, 2005; WAN *et al.*, 2004; 2002; SNYDER *et al.*, 1998). Além disso, como a emissividade dos alvos influencia a sua resposta termal e não considerar essa variável é subestimar a temperatura real dos objetos, o MOD11 incorpora em seu algoritmo a emissividade para os diversos tipos de objetos da paisagem.

Paralelamente a essas atualizações e calibrações, os dados do produto MOD11 possuem outros recursos para melhorar a exatidão e confiabilidade de suas informações. Dentre eles, podem-se citar: a) o ângulo de visada desenvolvido para corrigir os efeitos atmosféricos; b) os 16 bits da imagem que dão a ela mais estabilidade; c) a assinatura da banda do infravermelho termal que incorpora dados de temperatura, reflectância da superfície, emissão, absorção e dispersão atmosférica e radiação solar do dia (*MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3, 1999*).

O dado LST do MODIS possui ainda um controle de qualidade automático (*Quality Control – QC*), fornecido para cada pixel, de modo que cada imagem de LST possui uma imagem QC correspondente, que indica a confiança no processamento da informação, na qual são considerados os seguintes parâmetros: 1) a exatidão radiométrica; 2) as variações espaciais de temperatura; 3) a classificação da cobertura do solo; 4) o efeito das nuvens; 5) o efeito da mistura dos diversos tipos de cobertura do solo; e 6) o efeito de topografia.

Os produtos LST disponíveis (MOD11 L2, MOD11 A1, MOD11 B1, MOD11 A2, MOD11 C1, MOD11 C2, MOD11 C3) variam em função da resolução espacial (6km e 1km) e temporal (diário, composição de oito dias e mensal), e também pela forma como são oferecidas as suas informações (linhas/colunas e graus). Para este trabalho, o produto MOD11 A2 foi escolhido por sua resolução espacial (1km) e temporal (que por ser uma composição de oito dias gerada a partir de dados do MOD11 A1, permite a aquisição de dados que, por algum motivo, tiveram sua determinação prejudicada em função,

principalmente, de interferências atmosféricas) e pela forma de disposição de suas informações, compatíveis com o objetivo desse trabalho (análise regional) (Tabela 4).

Tabela 4: Quadro representativo dos produtos LST disponíveis. Fonte: adaptado de: Collection – 5/MODIS Land Surface Temperature Products User Guide. Wan, 2007.

Produto	Nível	Dimensões	Resolução espacial	Resolução temporal	Projeção
MOD11 L2	L2	2030/2040 linhas 1354 pixels por linha	1km - nadir	Swath (scene)	Sem projeção*.
MOD11 A1	L3	1200 linhas por 1200 colunas	1km	Diário	sinusoidal
MOD11 B1	L3	200 linhas por 200 colunas	6km	Diário	sinusoidal
MOD11 A2	L3	1200 linhas por 1200 colunas	1km	oito dias	sinusoidal
MOD11 C1*	L3	360° por 180° (global)	0,05° por 0,05°	Diário	geográfica
MOD11 C2*	L3	360° por 180° (global)	0,05° por 0,05°	oito dias	geográfica
MOD11 C3*	L3	360° por 180° (global)	0,05° por 0,05°	mensal	geográfica

* Produto utilizado para orientação de latitude e longitude. Não tem sido espacialmente ou temporariamente manipulado.

* Oferecem dados de temperatura por grau de latitude/longitude (Climate Model Grids – CMG), o equivalente a mais ou menos 5,6km².

A coleção 5 (V5) foi utilizada em lugar da coleção 4 (V4), por apresentar melhorias metodológicas significativas, como pode ser observado na Tabela 5 (*Collection – 5 – MODIS Land Surface Temperature Products User's Guide, 2007*), proporcionando dados de maior acurácia quando comparados a coleção 4, como também pode ser observado na Figura 25. Vale ressaltar que a imagem de LST é composta por 13 *data sets*, cujas características gerais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 5: Quadro representativo das melhorias da Coleção V-5 sobre a Coleção V- 4. Fonte: adaptado de: *Collection – 5 – MODIS Land Surface Temperature Products User’s Guide*. Wan, 2007.

Especificação	V4	V5
Pixel obtidos em céu claro (máscara de nuvens do MODIS)	confiança 99% (terra) confiança 66% (lagos)	confiança \geq 95% (terra) confiança \geq 66% (lagos)
Média temporal de temperatura (M* D11A1)	sim	Não
Tamanho da grade de LST/emissividades no M*D11B1	5km x 5km	6km x 6km
Efeito da topografia	não é considerado	considerado no QA
Opção de combinar o uso do Terra e Aqua no algoritmo	não	sim
Incorporação do método <i>split-window</i> no algoritmo	parcialmente incluído	incluído
Remoção de nuvens contaminadas	não implementado	implementado para M*D11A1 e M*D11B1

Tabela 6: Quadro representativo: *Data Sets - MOD11 A*. Coleção – 5. Fonte: adaptado de *MODIS Land Surface Temperature Products User’s Guide*. Wan, 2007.

	unidade	Bit	Fill	Intervalo	Fator de multiplicação
LST Day_1km 8 dias daytime	Kelvin	16-bit	0	7500 - 65535	0.02
QC_day	Bit Field	8-bit		0 – 255	
Day_view_time	horas	8-bit	255	0 – 240	0.1
Day_view_angle	Graus	8-bit	255	0 – 130	1 (- 65)
LST Night_1km 8 dias nighttime	Kelvin	16-	0	7500 - 65535	0.02
QC_nighttime	Bit Field	8-bit		0 – 255	
Night_view_time	horas	8-bit	255	0 – 240	0.1
Night_view_angle	graus	8-	255	0 – 130	1 (-65)
Banda 31_ emissividade		8-	0	1 - 255	0.0020 (+ 0.49)
Banda 32_ emissividade		8-	0	1 - 255	0.0020 (+ 0.49)
Clear_sky_day					
Clear_sky_night		8-	0	1 – 255	

Algumas informações como a precisão geométrica, o tamanho do pixel e o efeito da topografia sempre devem ser levadas em consideração quando trabalhamos com dados provenientes de sensores orbitais. Isso porque em decorrência da precisão geométrica podem ocorrer problemas com os dados adquiridos, principalmente em áreas de fronteira entre os diferentes alvos; a resolução espacial da imagem pode dificultar a mensuração

exata devido à mistura espectral dos alvos; e a topografia pode provocar sombreamento, mascarando a resposta real dos alvos da superfície. No caso das imagens MODIS, os *tiles* já vêm geometricamente retificados e na produção dos dados de LST são considerados os efeitos da mistura dos diversos tipos de cobertura do solo e da topografia, o que minimiza muito o comprometimento das informações de TS, produzidas pelo produto MOD11.

4 MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 Procedimentos metodológicos de seleção e tratamento dos dados utilizados.

O presente estudo abrange toda a área do bioma Cerrado, aproximadamente 2.046 milhões de km² (IBGE, 2005) e foi desenvolvido a partir de informações obtidas pelo sensor MODIS. A escolha pela área se deveu, dentre outros fatores, à sua grande importância no cenário da biodiversidade mundial - *hotspots* (MYERS *et al.*, 2000) e à rápida conversão de suas paisagens naturais (SANO *et al.*, 2009; SANO *et al.*, 2008). A Figura 23 mostra a localização da área de estudo com as cenas (*tiles*) do sensor MODIS utilizadas na pesquisa.

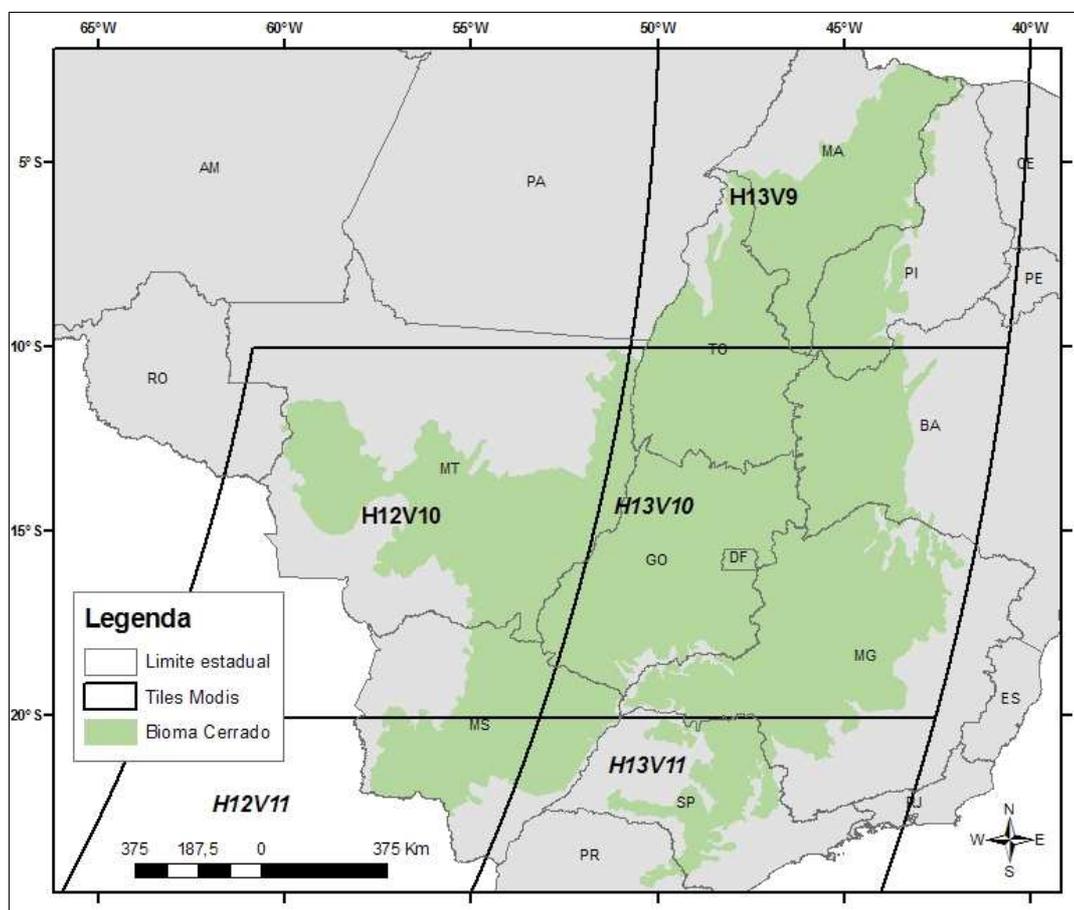
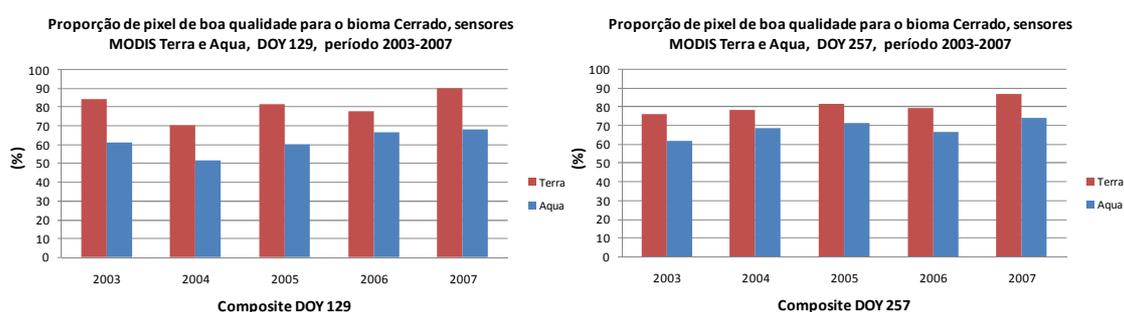


Figura 23: Mapa de localização da área de estudo e dos *tiles* MODIS utilizados na pesquisa.

As informações utilizadas para a análise de LST são provenientes do produto MOD11 A2, Coleção 5, com resolução espacial de 1km. Como descrito anteriormente, o produto A2 é uma composição de oito dias, realizada a partir de dados diários gerados pelo

produto A1, e a coleção 5 foi utilizada por apresentar melhorias metodológicas significativas quando comparada à coleção 4 (WAN, 2007b). Dentre as duas plataformas disponíveis para a obtenção dos dados de TS (TERRA e AQUA), optou-se, neste trabalho, pela utilização do satélite TERRA, visto que análises preliminares mostraram que as informações obtidas através dessa plataforma apresentam menor contaminação das informações por nuvens (como pode ser observado nos Gráficos 2 e 3), após a aplicação do *Quality Control* (controle de qualidade automático – QC que acompanha cada imagem e é fornecido para cada pixel) (WAN *et al.*, 1998; WAN, 2007b).



Gráficos 2 e 3: Comparação dos dados LST obtidos pela plataforma TERRA e pela plataforma AQUA após a aplicação do controle automático de qualidade, para os meses de maio e setembro, respectivamente.

Como os dados originais do Produto MOD11 são fornecidos em Kelvin, foi necessário utilizar um fator de conversão para que os dados da imagem fossem transformados para graus Celsius.

As imagens MOD11 foram então mosaicadas e reprojadas por meio do programa MODIS Reprojection Tool – MRT, para posterior processamento dos dados de LST no *software* ENVI 4.6.

Fator de conversão:

$$PgC = (B1 * 0,02) - 273 \quad [1]$$

onde:

PgC é o valor do pixel em graus Celsius e

B1 é o valor original do pixel em graus Kelvin.

As imagens LST foram processadas para todo o Cerrado, de janeiro a dezembro, para o período de seis anos, de 2003 a 2008, totalizando 350 *tiles* que formaram 70 mosaicos do bioma Cerrado (estas informações encontram-se no Anexo 1 desta pesquisa).

4.2 Procedimentos metodológicos para as análises dos dados.

Apesar de termos compilado dados de TS para todos os meses, optamos por desenvolver as análises desta pesquisa com base em um recorte sazonal, utilizando apenas as imagens dos meses de maio e de setembro (DOY 129 e 257 - início e final da seca, respectivamente), devido à importância que a sazonalidade exerce no bioma, tanto no que se refere às condições biofísicas, quanto à forte correlação temporal e espacial da vegetação com a ocorrência de chuvas. Essa opção é destacada também nos trabalhos de Ferreira *et al.* (2002 e 2003), Ferreira e Huete (2004), Ratana *et al.* (2005), onde os autores evidenciam a importância da análise temporal ou sazonal quando nos reportamos às fitofisionomias do Cerrado. As análises se restringiram, então, a um total de 60 *tiles* do produto MOD11 (12 mosaicos de imagens de TS).

Escolhido o recorte temporal, optou-se, em um primeiro momento, por análises qualitativas sobre as temperaturas de superfície no Cerrado. Assim, inicialmente, o estudo referente à distribuição espacial dos valores de TS foi desenvolvido levando em consideração apenas a divisão dos estados que fazem parte do bioma Cerrado. Por outro lado, como as bacias hidrográficas foram instituídas como unidades territoriais de planejamento ambiental no Brasil pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9233/1997), optamos por analisar a distribuição das TS também pela divisão de bacias hidrográficas do IBGE (Ottobacias - nível 4, 2006), por meio do cálculo da média de TS para cada uma delas.

Como há uma grande diversidade no que se refere aos tipos de uso do solo no Cerrado, o segundo passo da análise foi correlacionar os dados de TS com os diversos tipos de uso da terra no bioma Cerrado. As classes de uso foram delimitadas com base no mapeamento do PROBIO, elaborado em 2002, na escala 1:250.000, considerando 10 classes de maior representatividade espacial no bioma, sendo cinco classes com influência antrópica (agricultura, pastagem, mineração, área urbana e reflorestamento) e cinco classes consideradas como vegetação remanescente (savana estépica, savana florestada, savana

gramíneo-lenhosa, savana arborizada e savana parque). A Figura 24 mostra a localização dessas 10 classes.

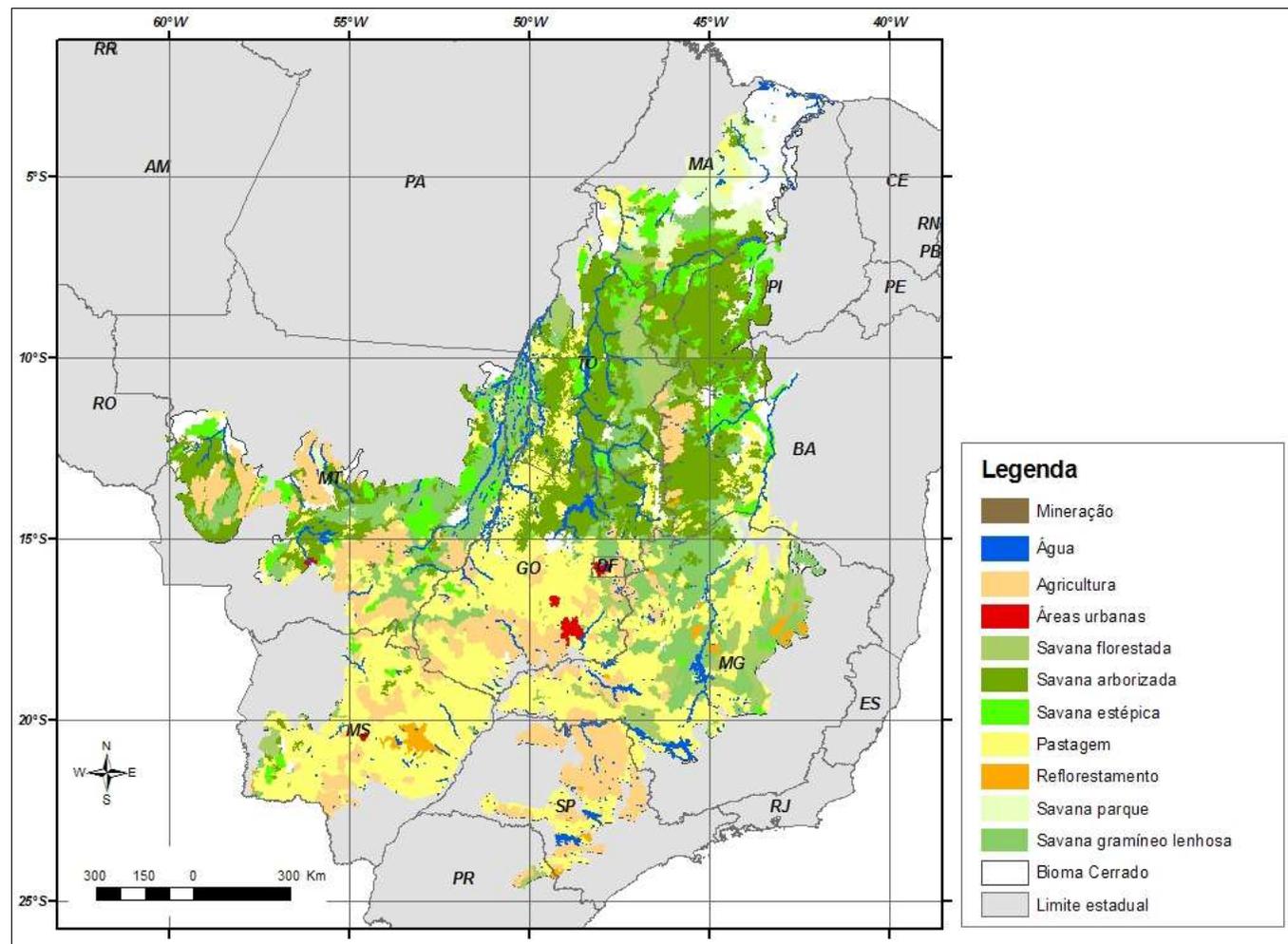


Figura 24: Mapa de localização das classes de cobertura e uso da terra no bioma Cerrado consideradas na pesquisa - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira/PROBIO, 2002.

As classes foram amostradas para cada grau de latitude sendo que, para cada amostra, obteve-se um total de 9 pixels. Com base nas coordenadas geográficas, os dados de TS foram correlacionados com as respectivas latitudes médias, bem como com dados de altitude, obtidos a partir de imagens do SRTM (Figura 25). Os dados de elevação SRTM são resultado da missão realizada em conjunto pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency- EUA*), com participação das agências espaciais DLR (*Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt*), da Alemanha, e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), da Itália. As informações foram obtidas em fevereiro de 2000, para 80% da superfície terrestre (entre os paralelos 60°N e 56°S), e projetadas para uma acurácia vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 metros, respectivamente, com 90% de confiança (MEDEIROS, 2009; BERRY, *et al.*, 2007).

Nessa etapa da pesquisa, as análises passaram a ser de caráter quantitativo e, para cada classe de uso amostrada, foram calculados a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação, assim como a distribuição da frequência de temperatura das diversas classes de uso e ocupação. Este último procedimento foi realizado considerando as classes de vegetação remanescente em dois grupos: Cerrado Denso e Cerrado Ralo, com objetivo de facilitar as comparações entre as diferentes classes. É importante ressaltar que apesar de todos os procedimentos metodológicos terem sido desenvolvidos para todos os anos, a descrição das análises presentes nesta parte do estudo (TS vs. classes de uso) se restringiu ao ano de 2003, por ser este o ano subsequente ao mapeamento realizado pelo PROBIO, baseado em imagens Landsat – TM 2002.

Tendo em vista que a grande maioria dos fenômenos ecológicos e as variáveis biofísicas (como a TS) estão sujeitas à autocorrelação espacial (LEGENDRE, 1993), calculamos, para os dois períodos de análise (i.e. DOY 129 e 257), o Índice de Moran. Esse índice, que varia de -1 a 1, mede o grau de dependência espacial dos dados por meio da similaridade entre observações de pares de localidades para cada classe de distância (valores positivos de I de Moran indicam autocorrelação positiva, i.e., células espacialmente mais próximas são mais similares) (CARVALHO *et al.*, 2008). Especificamente, o comportamento da autocorrelação foi avaliado para uma distância de até 50km, conforme um intervalo de 1km e uma vizinhança definida por quatro localidades adjacentes a cada pixel.

As diferenças entre as médias de temperatura, conforme os dois períodos investigados (i.e. DOY 129 e 257) foram avaliadas por meio do teste de Tukey, o qual, com base na diferença mínima significativa (DMS) identifica se, no intervalo espacial analisado, há diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias amostradas das diferentes classes. Aqui, consideramos os diversos tipos de savana como uma forma única de representação, de tal forma que o teste foi aplicado considerando apenas quatro grandes grupos, a saber: savana, agricultura, pastagem e reflorestamento (por serem estes mais representativos espacialmente).

Em um terceiro momento, após as análises que envolveram a distribuição espacial das TS e os diversos tipos de uso e cobertura da terra no Cerrado, a TS foi analisada com o objetivo de avaliar a sua variabilidade e dependência em função da conversão da paisagem natural no bioma. Nesse sentido, foram calculadas a temperatura média e o coeficiente de

variação para os alertas de desmatamento superiores a 500ha (o tamanho dos polígonos foi determinado com base na lógica para o cálculo das médias de temperatura e na resolução espacial das imagens), detectados através do SIAD para o período 2004/2005 (dia 161) (Figura 26). No total, foram calculadas a TS média para 266 polígonos. A escolha do período de análise levou em conta um período mínimo de três anos, anteriores e posteriores aos desmatamentos detectados. Assim, para o dia 161, foram considerados dados de temperatura obtidos em 2001, 2002 e 2003 (período anterior) e 2006, 2007 e 2008 (período posterior).

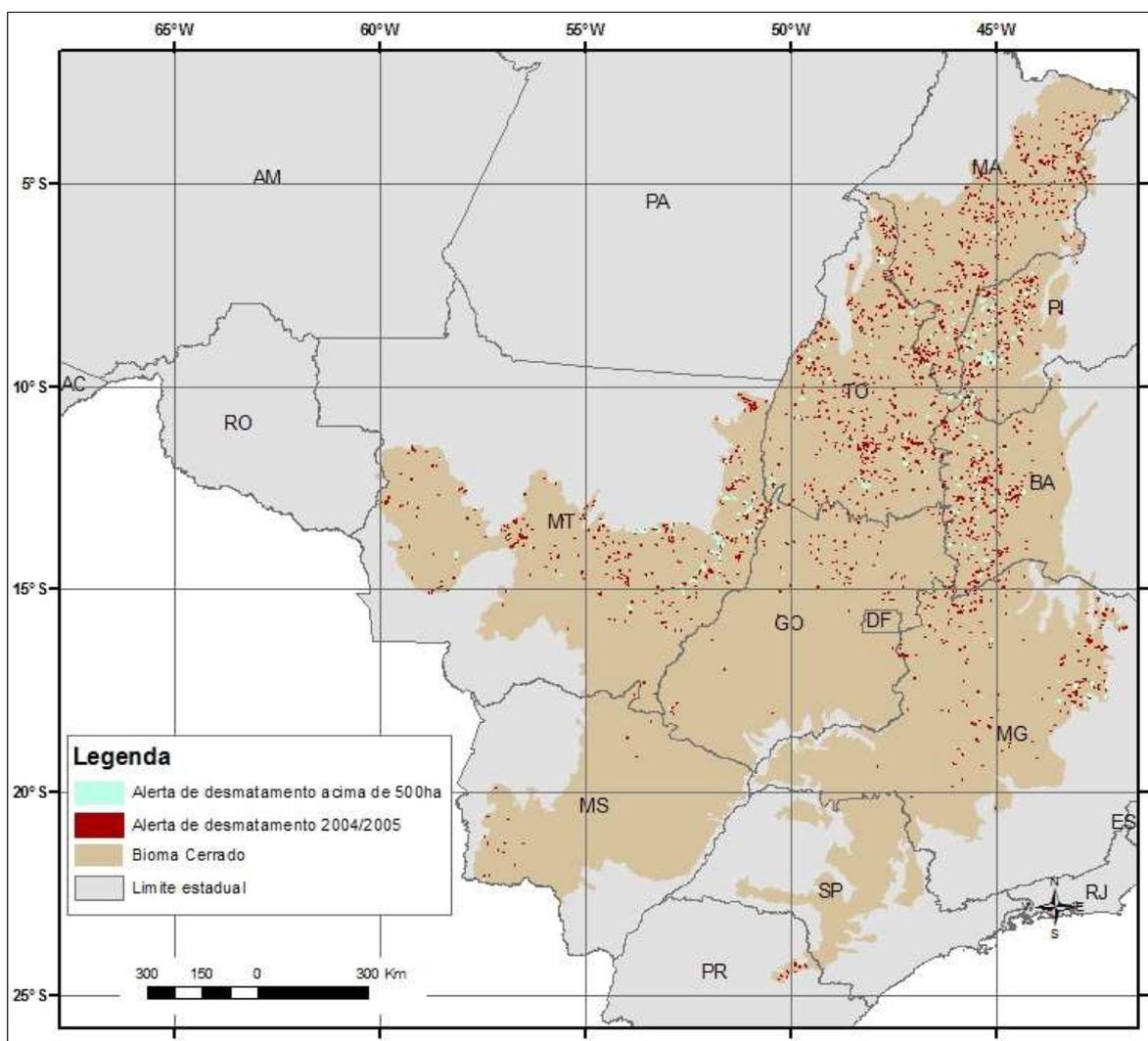


Figura 26: Mapa de localização dos alertas de desmatamentos detectados no período de 2004-2005 e dos polígonos analisados na pesquisa (acima de 500ha). Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento – SIAD.

O SIAD é baseado na comparação consecutiva de imagens MODIS índice de vegetação com resolução espacial de 250m (produto MOD13Q1). Esta comparação, pixel a pixel (i.e. $[data\ 1 - data\ 2]/data\ 1$) se dá em função de um determinado limiar de mudança (ex. 15%) e nível de qualidade radiométrica dos pixels, conforme a imagem de metadados que acompanha o produto MOD13 (i.e. imagens *Quality Assurance*). Os possíveis desmatamentos são então considerados a partir das ocorrências de mudanças intrínsecas nos valores dos índices de vegetação diretamente relacionados às mudanças na cobertura vegetal. As detecções são validadas a partir de uma inspeção visual realizada com base em imagens LANDSAT de melhor resolução espacial (FERREIRA *et al.*, 2010; ROCHA *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2007) (Figura 27). Todas essas informações são disponibilizadas gratuitamente por meio do ambiente I3Geo (Interface Integrada de Ferramentas de Geoprocessamento para Internet)⁴.

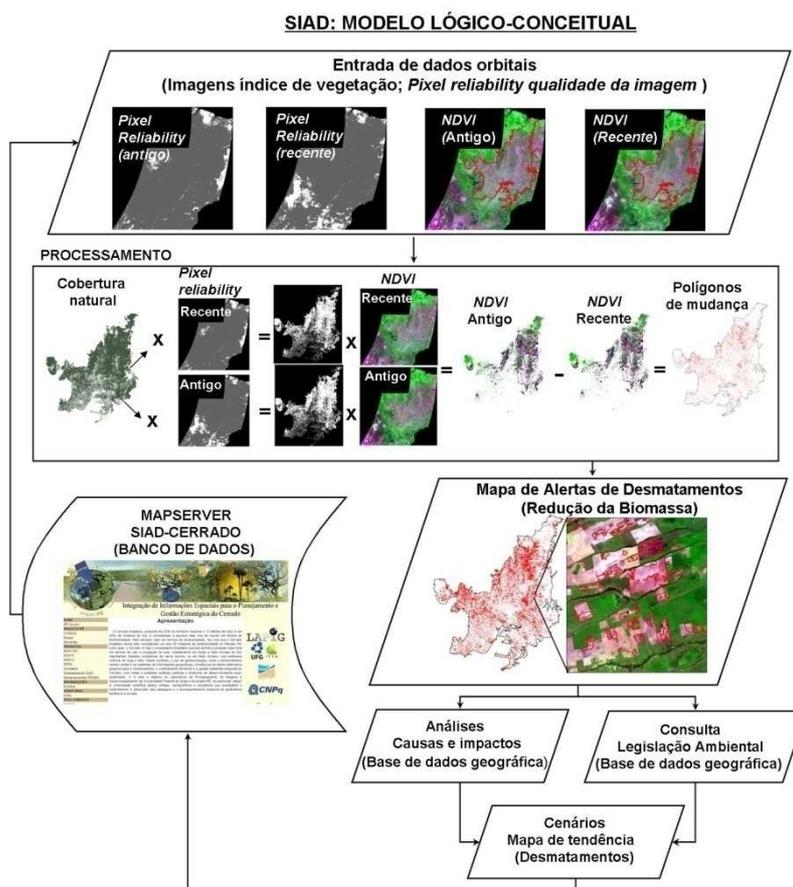


Figura 27: Modelo lógico-conceitual do SIAD-GO. Fonte: Rocha (2010).

⁴ - Desenvolvido pela Coordenação Geral de Tecnologia da Informação (CGTI) do Ministério de Meio Ambiente (MMA).

Com base nos polígonos de alertas de desmatamentos selecionados, foram analisadas as distribuições de frequência dos valores médios de TS e dos respectivos coeficientes de variação (CV) para todos os períodos anteriores e posteriores às possíveis ocorrências de desmatamentos, bem como as diferenças nas médias de temperatura entre estes períodos, conforme um intervalo de confiança de 95%.

A Figura 28 apresenta um fluxograma que sintetiza todos os procedimentos metodológicos desenvolvidos nesta pesquisa.

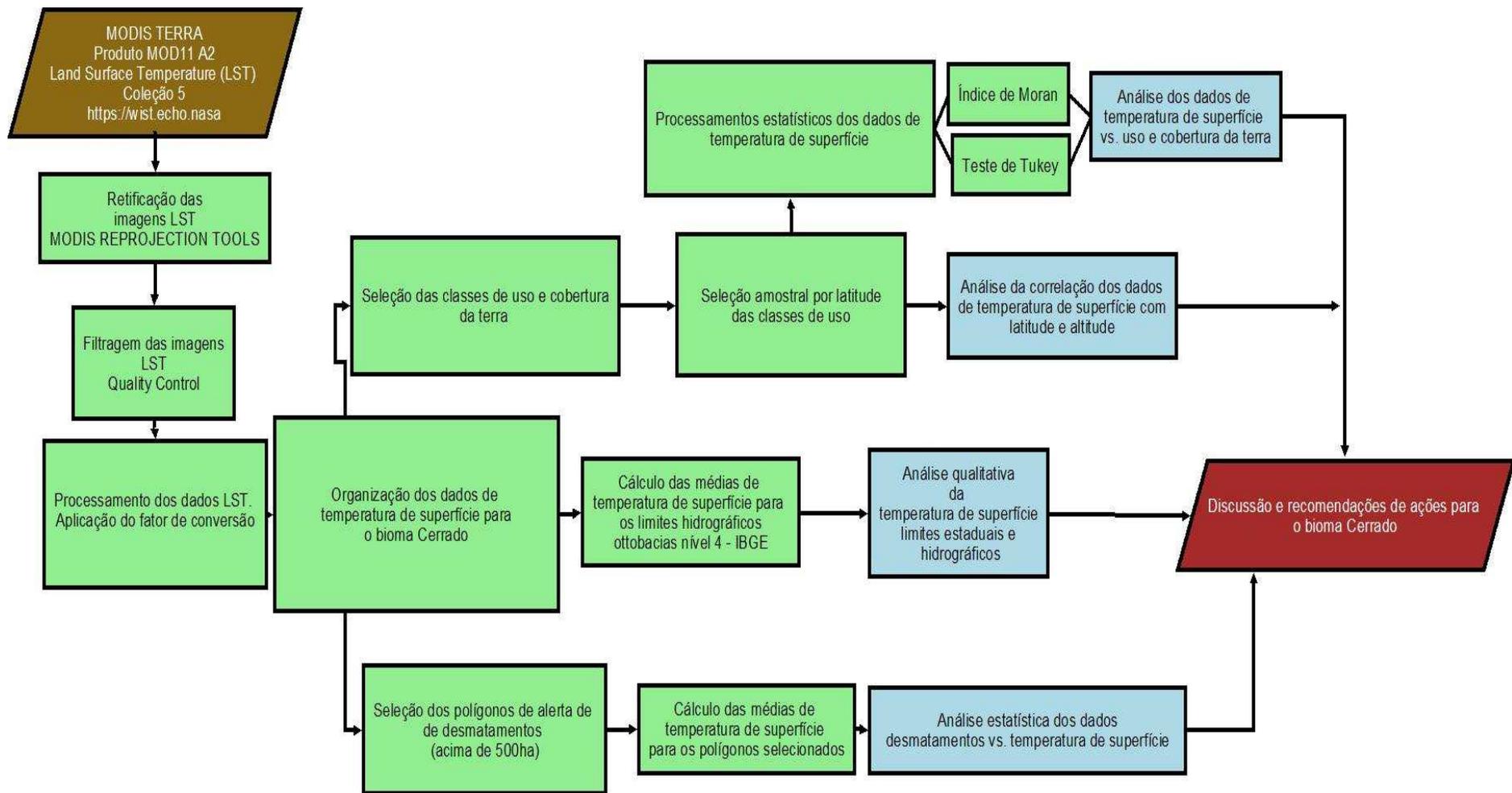


Figura 28: Fluxograma esquemático referente aos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.

5 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE NO CERRADO

5.1 Análise qualitativa dos dados de temperatura de superfície.

Assim como comumente ocorre com a TA, a TS atinge valores elevados no período considerado seco no bioma Cerrado, no qual os meses de setembro e outubro apresentaram os maiores valores do universo amostral e, conforme o esperado, os meses de maio e junho os menores valores de TS.

De modo geral, a qualidade espacial dos dados ficou comprometida nos meses de chuva em decorrência da presença de nuvens, o que dificultou a aquisição de informações em grande parte do bioma, principalmente nas áreas localizadas na porção norte e centro-oeste, sendo que os anos de 2003, 2004 e 2005 foram os mais prejudicados com a presença de pixels contaminados (Anexo 1). Contudo, é importante ressaltar que o comprometimento de dados no período chuvoso não é restrito ao sensor MODIS / produto MOD11, haja vista que a presença de nuvens dificulta a aquisição de informações para todos os sensores orbitais que operam na faixa do espectro refletido/emitido. Assim, a opção de trabalhar apenas os meses de maio e setembro se mostrou imprescindível à análise espacial da temperatura, tendo em vista o baixo comprometimento de pixels, por eventos atmosféricos, nesse período.

A distribuição da TS pelos limites estaduais do Brasil (Figuras 29 e 30) mostrou que o oeste do estado da Bahia, as porções do sudoeste e do noroeste goiano e porção centro-sul dos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul foram as regiões que apresentaram episódios mais frequentes de altas temperaturas de superfície (tanto nos meses de maio, quanto nos meses de setembro) de temperaturas de superfície.

Essas regiões têm em comum uma forte antropização, seja pelo uso intensivo para práticas agrícolas (como é o caso do oeste da Bahia e do sudoeste goiano), seja pela forte presença da pecuária (como acontece nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e no noroeste goiano). O estado do Tocantins também apresentou temperaturas de superfície elevadas, distribuídas de forma espaçada em seu território. Embora essas áreas não apresentem uma intensa relação com a agricultura e a pecuária, a consolidação do território urbano do Tocantins induz ao desmatamento, o que também pode alterar os valores de TS.

Os resultados da distribuição da TS com base nos limites estaduais não seguiram a mesma distribuição da TA, abordada no capítulo referente à caracterização da área (item

2.2), no qual se vê que os valores mais elevados ocorrem nos estados do Maranhão, Piauí e no sudoeste da Bahia e as temperaturas mais amenas acontecem nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Também não ficou evidente um aumento relativo da TS no sentido sul-norte.

É interessante observar nos mapas que, apesar da ausência de dados em algumas áreas do bioma, o comportamento sazonal da TS no Cerrado é bastante evidente. Para o mês de maio, embora os maiores valores de TS registrados no Cerrado ficassem entre 40°C e 47°C, espacialmente predominaram temperaturas entre 20°C e 30°C. Nos meses de setembro, as temperaturas mais altas ficaram entre 40°C e 60°C, sendo que espacialmente prevaleceram temperaturas entre 30°C e 40°C. O que vemos, então, é um aumento de, praticamente, 10°C da TS em uma grande parte do bioma, de um período para o outro, com picos de temperatura na estação seca superiores a 50°C em todos os anos analisados. Observa-se também que os valores máximos de TS registrados foram maiores do que os valores máximos de temperatura do ar (24°C e 33°C), registrados por Silva *et al.* (2008).

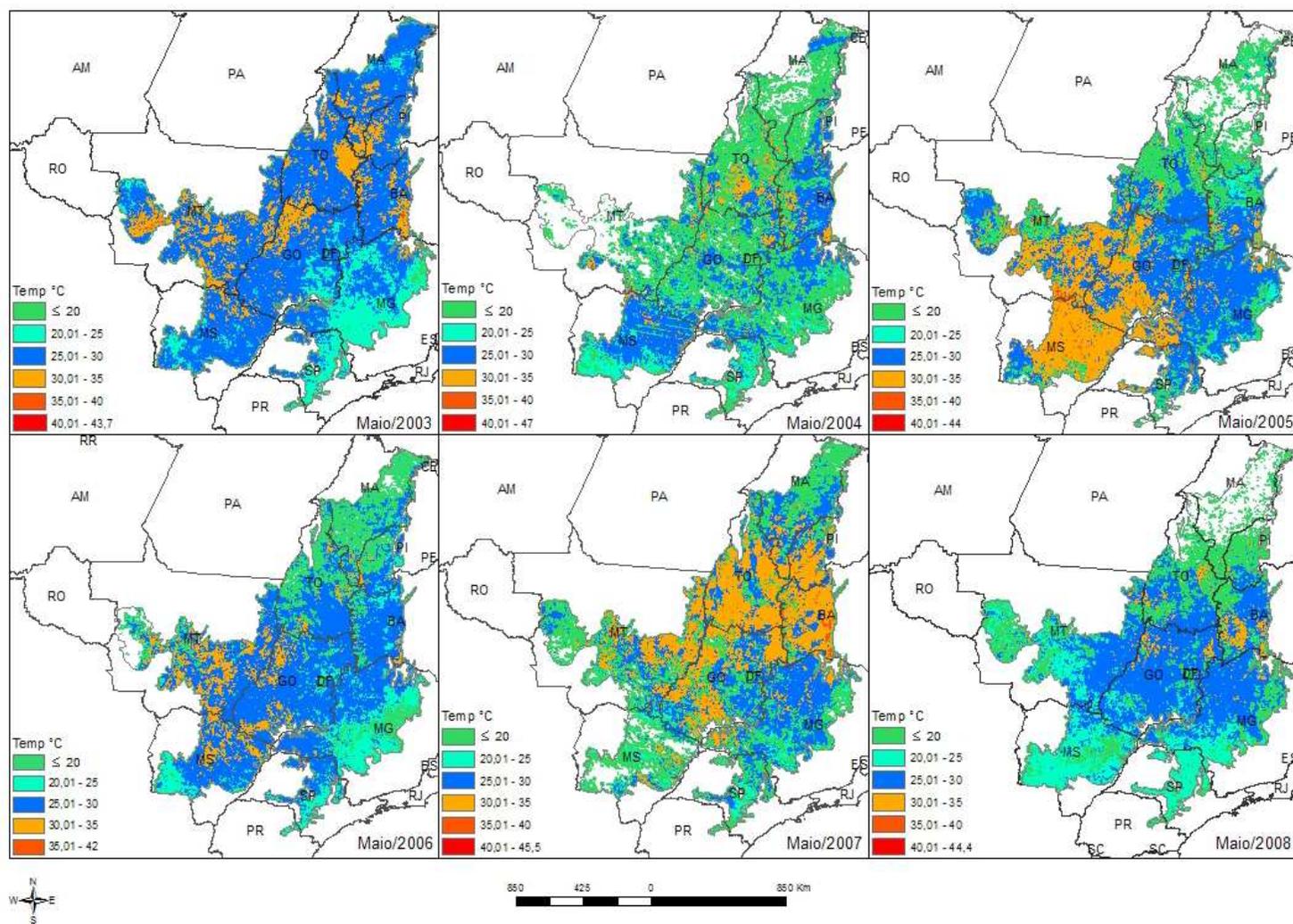


Figura 29: Distribuição da TS pelos limites estaduais (maio). As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam ausência de dados.

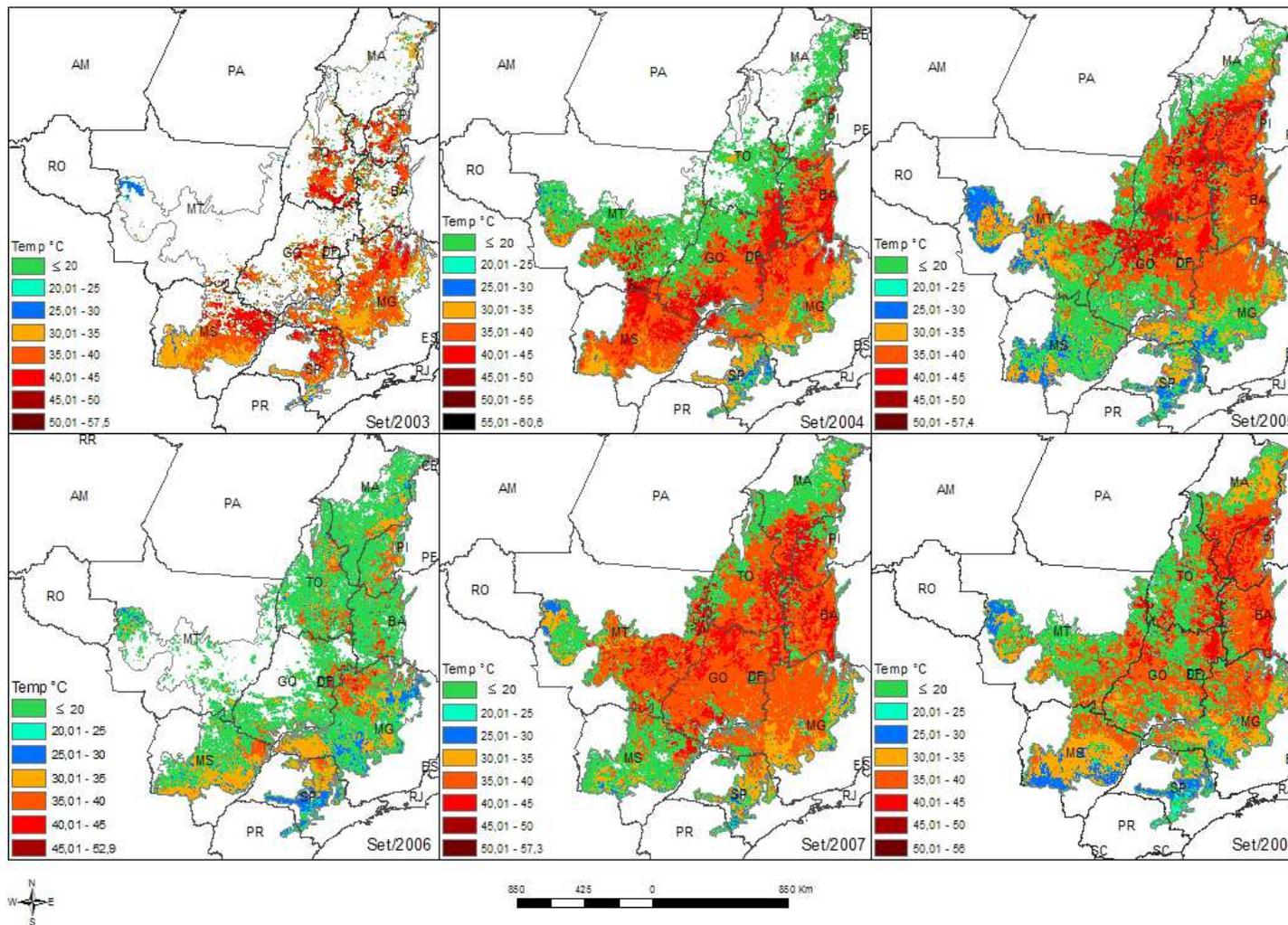


Figura 30: Distribuição da TS pelos limites estaduais (setembro). As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam ausência de dados.

Quando se efetua a distribuição das temperaturas de superfície pelos limites hidrográficos, através do cálculo das médias de TS por bacias hidrográficas, constata-se inicialmente, assim como na análise descrita anteriormente, a significativa variação termal de um período para o outro (maio-setembro), com temperaturas oscilando entre 30°C e 40°C, no mês de setembro, e entre 25°C e 30°C, no mês de maio.

Apesar de indícios de uma relação significativa entre as bacias hidrográficas mais antropizadas localizadas na porção centro-sul do bioma (Figura 31) com o registro de médias termais de superfície mais elevadas, essa suposição não se confirmou completamente. Ainda que o padrão espacial de distribuição seguisse a localização geográfica de áreas de criações intensivas de gado (pastagem) e de atividades intensivas de agricultura, não seguiu a localização das áreas com forte adensamento populacional e consolidação urbana (Figuras 32 e 33).

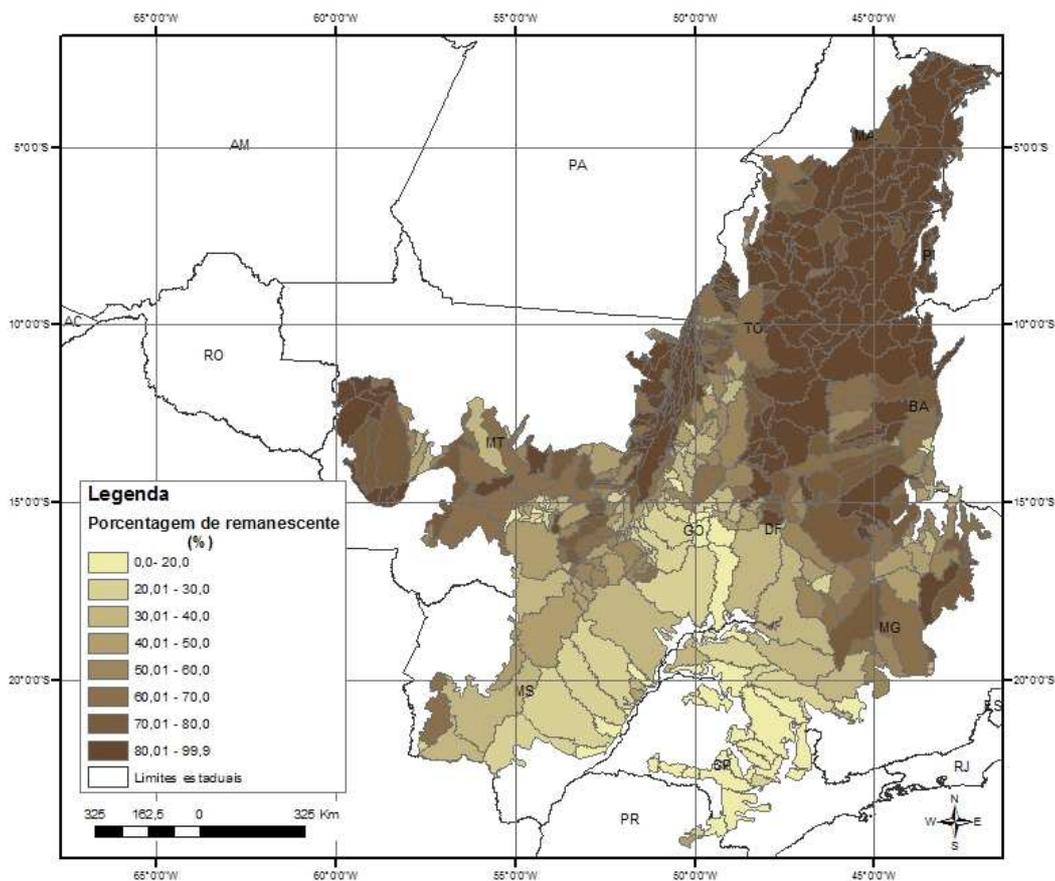


Figura 31: Distribuição da vegetação remanescente (dados PROBIO, 2002), conforme limites hidrográficos (Ottobacias - nível 4), 2006.

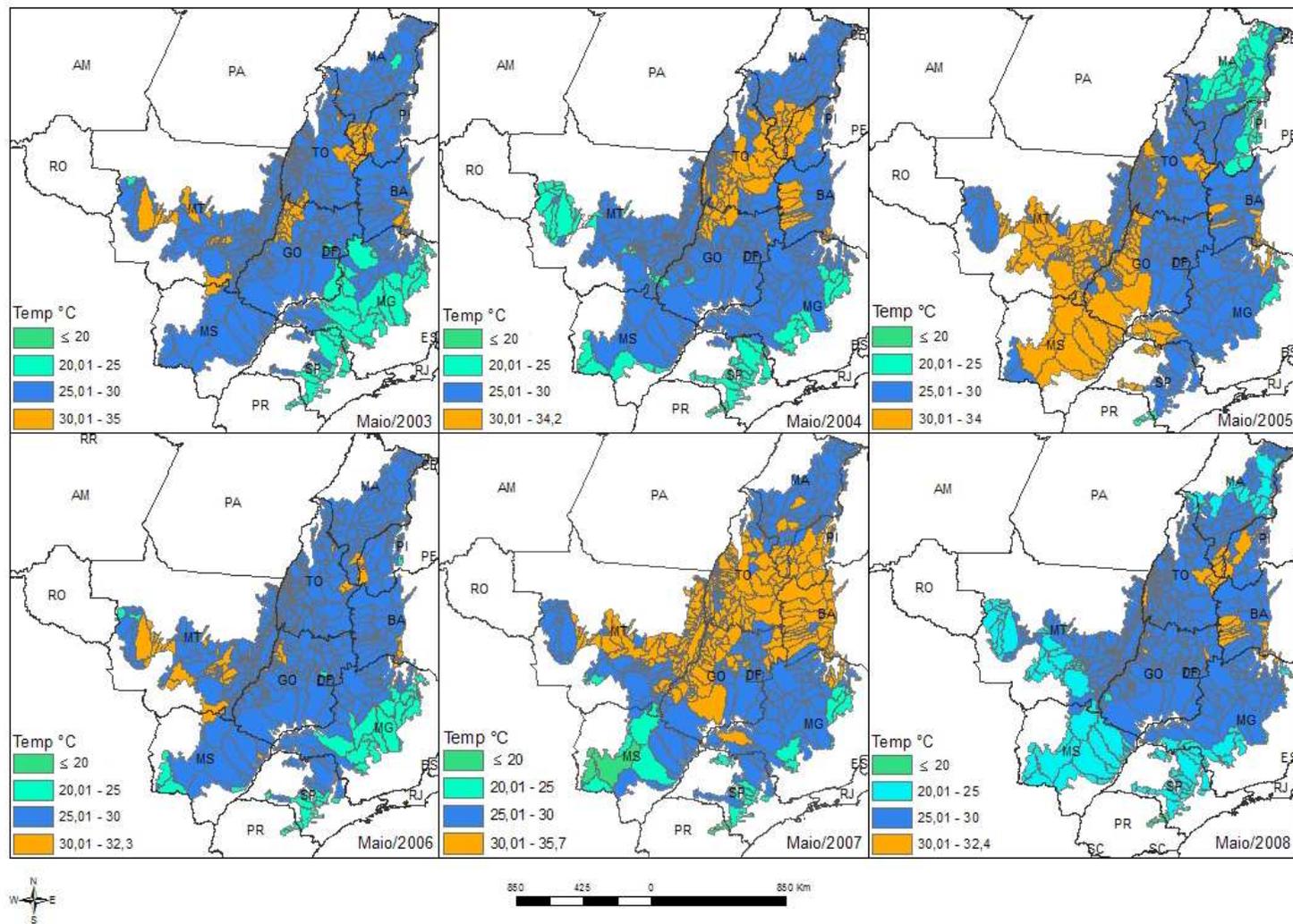


Figura 32: Distribuição das médias de temperatura de superfície para o mês de maio, conforme limites hidrográficos (Ottobacias- nível 4), 2006

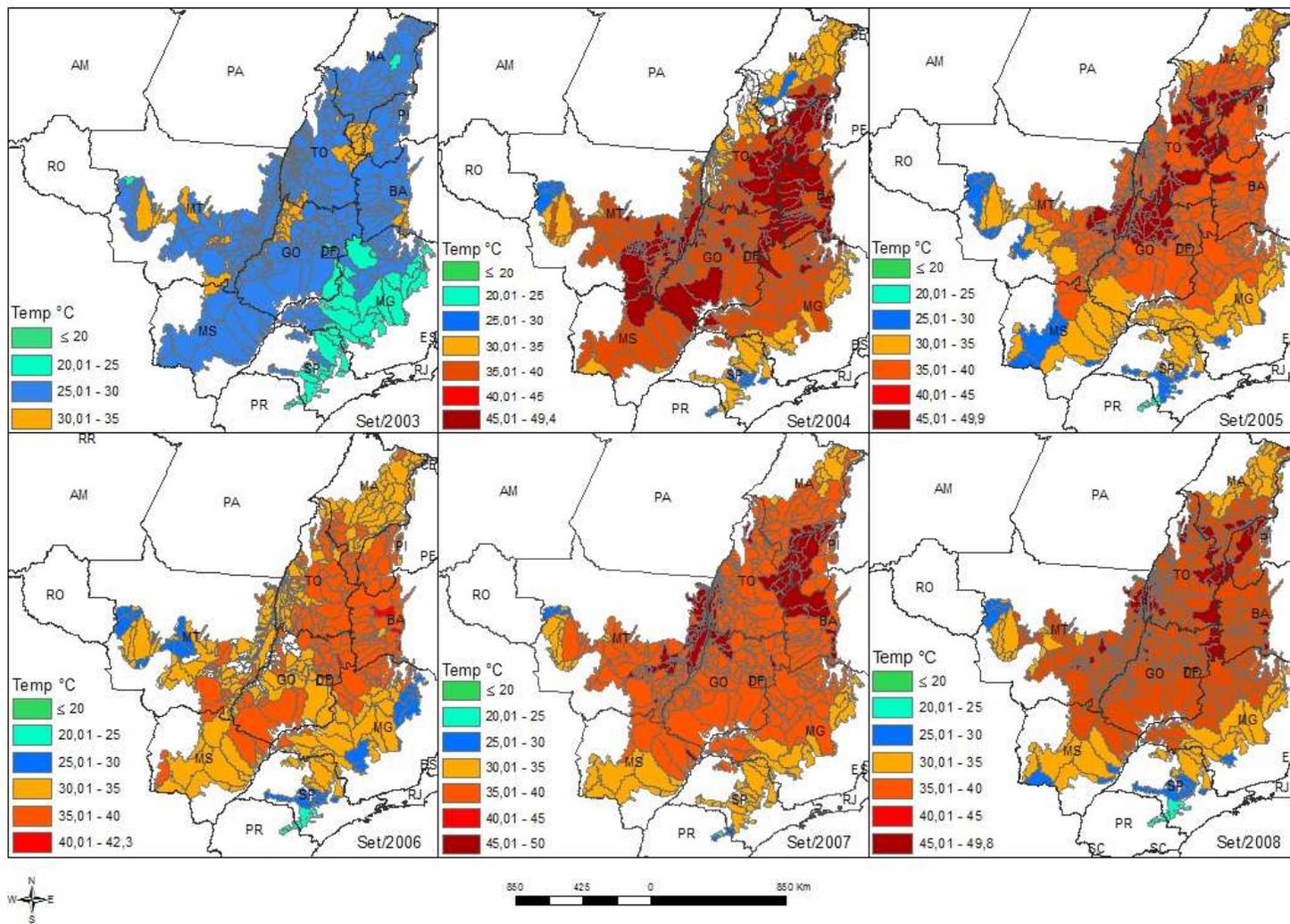


Figura 33: Distribuição das médias de temperatura de superfície para o mês de setembro, conforme bacias hidrográficas (Ottobacias- nível 4, 2006).

É claro que alguns fatores precisam ser levados quando se trabalha com a distribuição da TS pelos limites hidrográficos a partir de dados orbitais de média resolução espacial. Um deles é a localização geográfica dessas bacias consideradas mais antropizadas, que coincide com a localização de alguns estados brasileiros que possuem clima mais ameno, com temperaturas do ar mais baixas, como é o caso de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Como existe uma relação muito próxima entre a TA e a TS, há certa tendência das bacias antropizadas, localizadas ao sul do bioma, em apresentar temperaturas de superfície menores.

Além disso, apesar de áreas urbanizadas e de grande adensamento populacional estarem, em sua maioria, correlacionadas com a presença de bacias antropizadas, fenômenos termais urbanos como, por exemplo, as ilhas de calor, não são facilmente perceptíveis por sensores de média resolução espacial, que normalmente são utilizados em análises regionais, como é o caso deste trabalho.

5.2 Análise quantitativa dos dados de temperatura de superfície.

Após a análise qualitativa do comportamento da TS em função da distribuição espacial por limites estaduais e por divisão de bacias hidrográficas, procedemos à observação quantitativa em relação às diversas classes de cobertura e uso da terra consideradas na pesquisa. Essa análise foi realizada com base em coletas amostrais, conforme descrito no capítulo de materiais e métodos, sendo que as classes referentes à mineração e à área urbana não foram consideradas, devido à pouca expressão que apresentam em relação à escala espacial adotada neste trabalho. Assim, apesar de termos amostrado 10 classes inicialmente, apenas oito classes foram efetivamente consideradas do ponto de vista quantitativo.

Como se pode observar nos Gráficos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11, os valores de temperatura média amostrados em cada classe mantiveram a diferença sazonal apresentada na análise anterior, sendo nítida a separação entre os valores de temperatura registrados em maio (cor azul) e em setembro (cor vermelha). Em praticamente todas as classes (com exceção da savana estépica), o intervalo no qual se concentrou a maior parte das médias de temperatura amostradas foi o de 25°C e 30°C, no mês de maio, e de 35°C e 45°C, no mês de setembro. Apesar de ser esperado que valores de temperatura sejam intrinsecamente relacionados com a localização geográfica (maiores latitudes, menores valores de

temperatura), as informações presentes nos gráficos não evidenciaram uma relação acentuada entre a variabilidade termal e a latitude. Apenas em algumas classes, como o reflorestamento, a savana florestada, a savana estépica e a savana gramíneo-lenhosa, observou-se uma leve tendência de queda de temperatura nas latitudes a partir de -11°C . E, na agricultura e no reflorestamento, um pequeno indicativo de temperaturas mais elevadas nas amostras localizadas em latitudes menores.

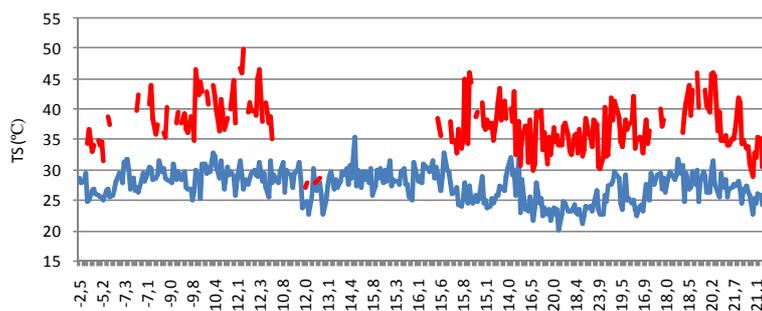
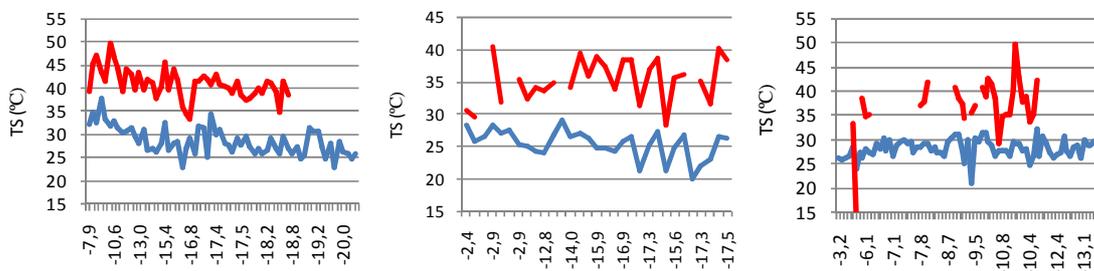
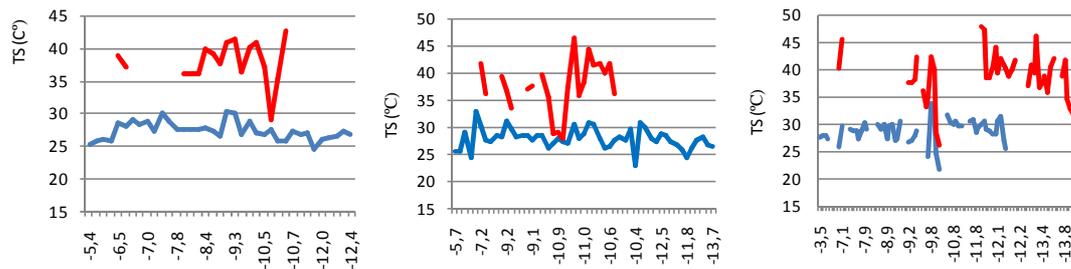


Gráfico 4: Distribuições das médias termais de superfície para a classe pastagem, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.



Gráficos 5, 6 e 7: Distribuição das médias termais de superfície para as classes agricultura, reflorestamento e savana arborizada, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.



Gráficos 8, 9 e 10: Distribuição das médias termais de superfície para as classes savana florestada, savana gramíneo-lenhosa e savana parque, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.

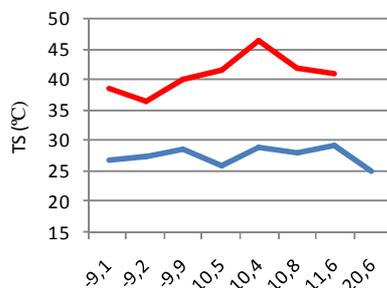


Gráfico 11: Distribuição das médias termais de superfície para a classe savana estépica conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa a temperatura do mês de maio e a cor vermelha à temperatura do mês de setembro.

A análise dos coeficientes de ajuste (r^2) corroborou a relativa dependência entre a temperatura média da savana estépica e a latitude (para ambas as épocas do ano), bem como evidenciou uma dependência latitudinal das classes agricultura e reflorestamento, principalmente em maio (Tabela 7), o que se deve ao caráter bastante localizado dessas duas classes antrópicas no bioma.

Tabela 7: Correlação entre os dados de temperatura de superfície e a latitude para diferentes classes de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado.

Tabela dos valores de r^2 para temperatura de superfície e latitude para o ano de 2003		
Classes de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado	Maio	Setembro
Agricultura	0,42	0,29
Pastagem	0,13	0,06
Reflorestamento	0,21	0,08
Savana Arborizada	0,00	0,12
Savana Estépica	0,33	0,32
Savana Florestada	0,05	0,00
Savana Gramíneo-Lenhosa	0,00	0,02
Savana Parque	0,00	0,00

No que diz respeito às altitudes, é interessante observar (Tabela 8) que as maiores dependências ocorrem para as temperaturas médias das classes antropizadas, i.e., reflorestamento, pastagem e agricultura, com valores de r^2 de 0,22, 0,18 e 0,14, respectivamente. Essa dependência pode ser parcialmente explicada pela “padronização” dos locais onde normalmente essas classes são encontradas: relevos planos, com pouca variação de altitude. Por outro lado, a maior correlação ($r^2 = 0,32$) ocorreu para a classe savana estépica. Tanto para as classes antrópicas, quanto para a classe nativa, é interessante também observar que as maiores correlações ocorreram em maio, à semelhança do que foi observado quanto às latitudes.

Tabela 8: Correlação entre os dados de temperatura de superfície e altitude para diferentes classes de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado.

Tabela dos valores de r^2 para temperatura de superfície e altitude para o ano de 2003		
Classes de uso	Maio	Setembro
Agricultura	0,14	0,10
Pastagem	0,18	0,01
Reflorestamento	0,22	0,04
Savana Arborizada	0,00	0,16
Savana Estépica	0,37	0,13
Savana Florestada	0,00	0,08
Savana Gramíneo-Lenhosa	0,00	0,08
Savana Parque	0,05	0,04

Com o objetivo de verificar a variabilidade termal que ocorre dentro das amostras coletadas, para cada classe considerada foram calculados os respectivos coeficientes de variação (CV). Essa análise mostrou valores significativamente baixos de CV, o que

corroborar certa homogeneidade nos conjuntos de dados amostrados. Os “maiores” valores de CV registrados, tanto no mês de maio, quanto no mês de setembro (0,02 a 0,06), foram referentes às classes reflorestamento e agricultura. Esse fato pode ser parcialmente explicado pela heterogeneidade das culturas agrícolas e dos reflorestamentos, representada pelos diversos estágios de crescimento, assim como pela diversidade de espécies de plantas que são utilizadas tanto nos reflorestamentos quanto na agricultura. Já os menores valores de CV foram verificados na savana parque e na savana arborizada, seguidos da savana gramíneo-lenhosa, da savana estépica e da pastagem. Nessas classes, o conjunto de características fitofisionômicas (a variedade de espécies, o tamanho e a dispersão espacial de seus indivíduos) contribuiu para uma “homogeneização” da paisagem, principalmente nos locais aonde foram coletadas as amostras, “padronizando” as temperaturas de superfície (Gráficos 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19).

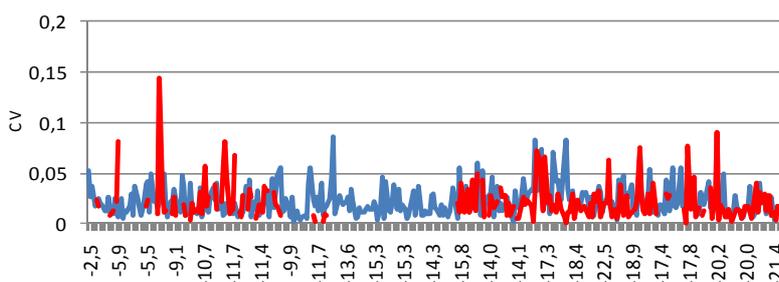
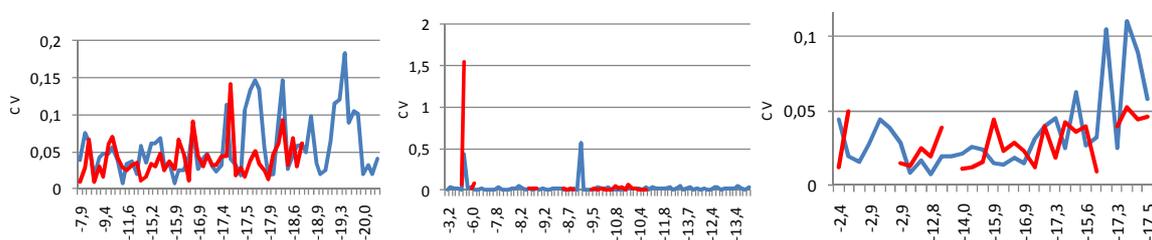
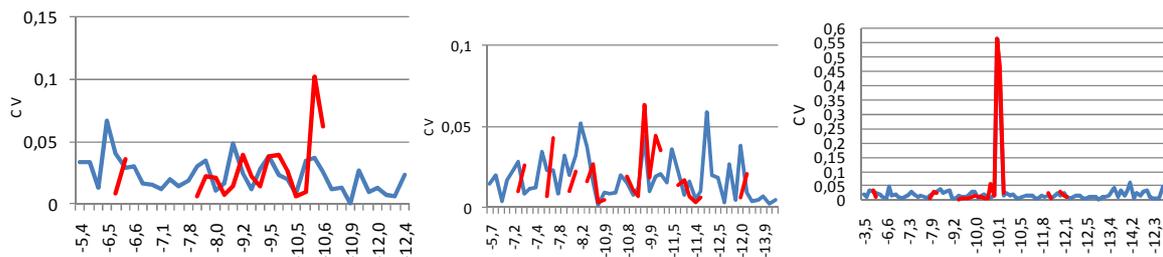


Gráfico 12: Distribuição do coeficiente de variação para a pastagem conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa o coeficiente de variação no mês de maio e a cor vermelha o coeficiente de variação no mês de setembro.



Gráficos 13, 14 e 15: Distribuição do coeficiente de variação para as classes agricultura, reflorestamento e savana arborizada (respectivamente), conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa o coeficiente de variação no mês de maio e a cor vermelha o coeficiente de variação no mês de setembro.



Gráficos 16, 17 e 18: Distribuição do coeficiente de variação para as classes savana florestada, savana gramíneo-lenhosa e savana parque, respectivamente, conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa as temperaturas no mês de maio e a cor vermelha as temperaturas no mês de setembro.

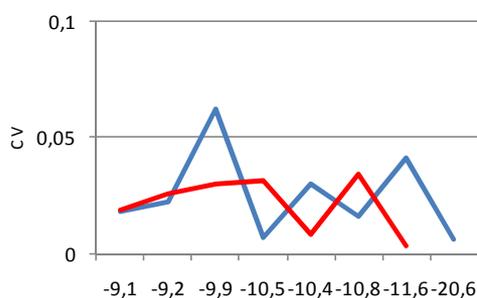
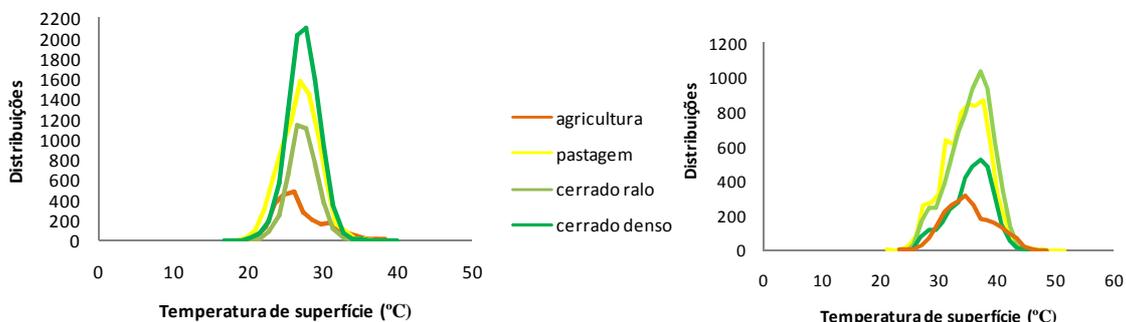


Gráfico 19: Distribuição do coeficiente de variação para a classe savana estépica conforme distribuição latitudinal. A cor azul representa as temperaturas no mês de maio e a cor vermelha às temperaturas no mês de setembro.

É interessante observar os amplos intervalos de temperatura, em maio e setembro, e as sobreposições destes intervalos entre as várias classes consideradas. A disparidade observada reforça a interferência da sazonalidade na TS das classes de uso e ocupação do Cerrado (Gráficos 20 e 21).



Gráficos 20 e 21: Distribuições de frequência (temperatura de superfície) das classes de uso e cobertura da terra no Cerrado, para os meses de maio e setembro, respectivamente.

De fato, e conforme já observado, a TS é o resultado de uma combinação complexa de fatores intrínsecos (tipos de solos e coberturas, substrato rochoso, etc.) e extrínsecos (topografia, iluminação solar, proximidade entre alvos, etc.), os quais resultam, invariavelmente, em homogeneização das respostas entre alvos e, conseqüentemente, em elevada dependência espacial. O correlograma com os valores do índice de Moran (Gráfico 22), cujos valores são significativos até a distância de 50km, confirma que a TS não só apresenta uma grande dependência espacial, como também é altamente estruturada espacialmente. Ou seja, boa parte da variância termal que observamos, ainda que em função do tipo de cobertura e substrato, é também explicada pelo efeito da variabilidade espacial em si. Por outro lado, a menor correlação espacial observada em setembro, quando esperamos mais diversidade na superfície (comparativamente a maio, quando os alvos vegetados estão invariavelmente “verdes”), mais uma vez corrobora o papel fundamental desempenhado pelos vários tipos de coberturas quanto à distribuição e variação dos valores da TS.

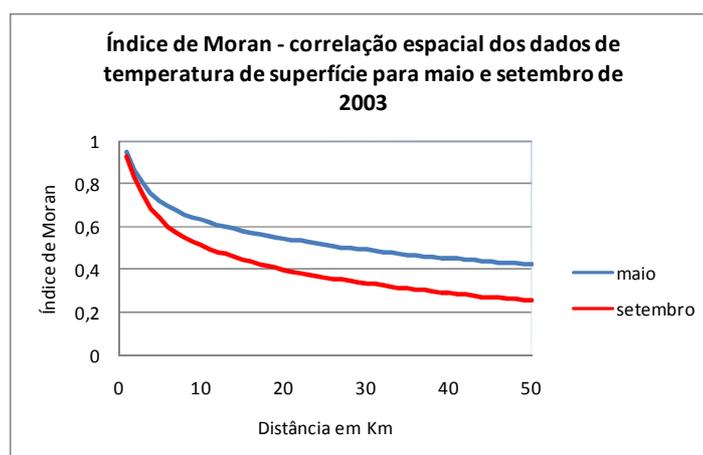


Gráfico 22: Distribuição dos valores referentes à dependência espacial (Índice de Moran) dos dados de TS no bioma Cerrado para maio e setembro.

A importância da sazonalidade na variação dos dados de temperatura, bem como o seu efeito distinto sobre cada classe de cobertura e uso da terra, é reiterada no Gráfico 23, no qual cinco médias de temperatura para cada classe, escolhidas aleatoriamente, são representadas no espaço sazonal definido para maio e setembro. Conforme a distribuição das amostras entre as isolinhas de temperatura, percebe-se que as variações concentram-se entre 0 e 70%. Especificamente em relação à classe pastagem, é interessante observar que esta apresenta um amplo intervalo de variação sazonal, o qual se estende de

aproximadamente 0 a 80%. No âmbito das classes naturais, destacam-se as classes savana estépica e savana arborizada, com variações próximas a 70 e 35%, respectivamente.

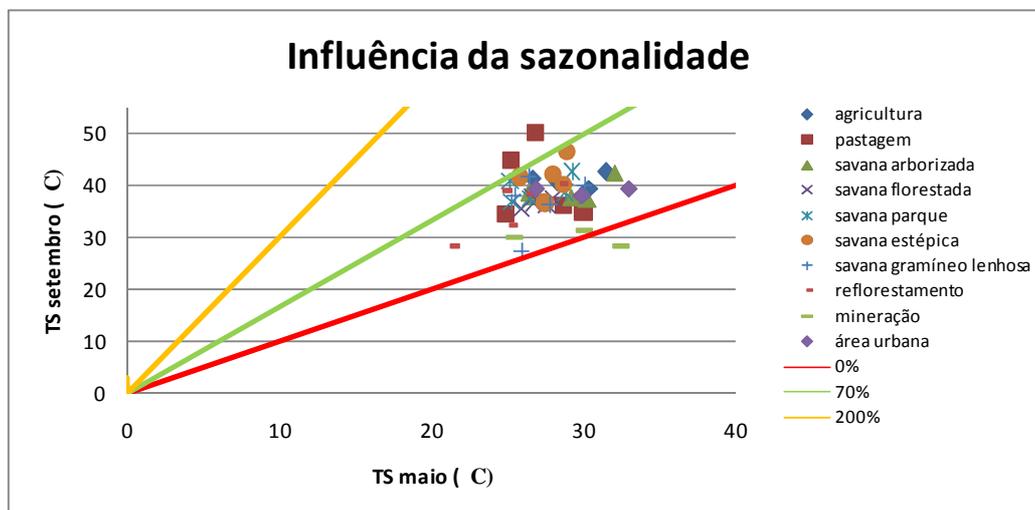


Gráfico 23: Comportamento sazonal da temperatura de superfície para as principais classes de cobertura e uso da terra no bioma Cerrado.

Especificamente no que diz respeito às diferenças entre as médias de temperatura nas várias classes de cobertura e uso da terra, elas foram avaliadas por meio do teste de Tukey. Esse teste, que tem como base a diferença mínima significativa entre os pares das médias amostrais, foi calculado considerando as diferentes classes de savana como uma categoria única, comparando-a ao valor das médias termais da pastagem, da agricultura e do reflorestamento. Assim, valores de p menores do que 0,05 indicam que as médias entre as classes são estatisticamente distintas. Como observado na tabela, para um intervalo de confiança de 95%, os resultados mostraram que, no mês de maio, as médias termais de superfície só não se diferenciaram entre as classes agricultura e savana. Já no mês de setembro, as diferenças das médias termais entre as classes, em sua maioria, não foram significativas, diferenciando-se apenas quando comparadas à agricultura (Tabela 9).

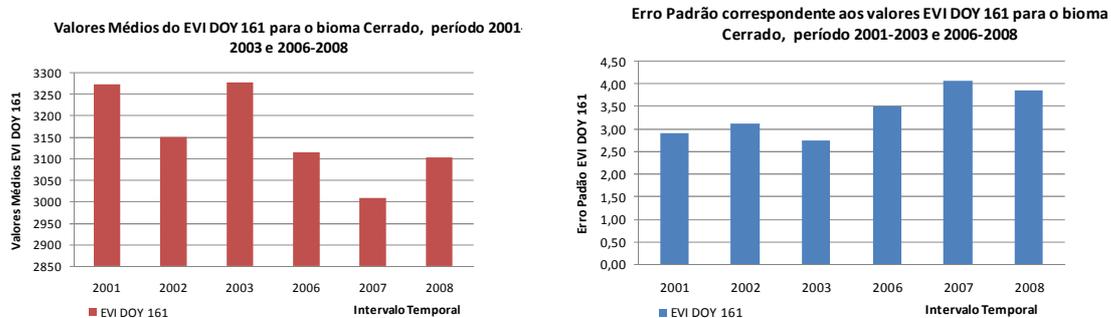
Ainda que no conjunto total de dados predominem diferenças significativas, a baixa separabilidade observada entre algumas classes, principalmente no mês de setembro, pode ser atribuída à elevada autocorrelação espacial envolvendo os dados de temperatura e também à grande variabilidade interna que caracteriza estas classes quanto à TS, variabilidade esta acentuada durante o período seco.

Tabela 9: Teste de Tukey – diferença mínima entre os pares das médias amostrais de temperatura de superfície, em maio e setembro, para as classes de cobertura e uso do solo no bioma Cerrado.

Teste de Tukey									
Classe	Classe	Diferença	Valor-p (Maio)	95% Intervalo de confiança		Diferença	Valor-p (setembro)	95% Intervalo de confiança	
				inferior	superior			inferior	superior
agricultura	pastagem	1.209	0.001	0.394	2.024	3.589	0	1.897	5.28
agricultura	reflorestamento	3.143	0	1.834	4.452	5.667	0	3.117	8.217
agricultura	savana	0.521	0.37	-0.308	1.35	3.098	0	1.303	4.892
pastagem	reflorestamento	1.934	0	0.811	3.056	2.078	0.065	-0.086	4.242
pastagem	savana	-0.688	0.001	-1.171	-0.205	-0.491	0.71	-1.674	0.691
reflorestamento	savana	-2.622	0	-3.754	-1.49	-2.569	0.017	-4.814	-0.324

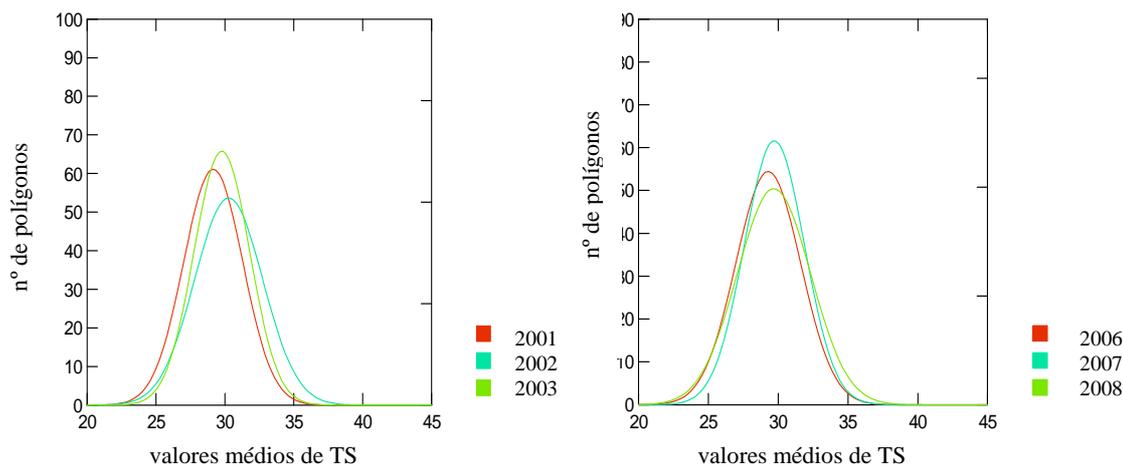
6 CONVERSÃO DA PAISAGEM NATURAL E VARIABILIDADE TERMAL DA SUPERFÍCIE: UMA ANÁLISE A PARTIR DE ALERTAS DE DESMATAMENTOS BASEADOS EM IMAGENS MODIS.

Nessa etapa da pesquisa, procurou-se avaliar o quanto a variável TS pode ser afetada pela conversão da paisagem natural, conforme indicado pelos alertas de desmatamentos detectados pelo SIAD, no período de 2004-2005, acima de 500ha (267 polígonos ao todo). As análises foram desenvolvidas considerando um período anterior ao “desmatamento” (2001, 2002 e 2003) e um período posterior aos alertas (2006, 2007 e 2008), cujos distintos valores de índice de vegetação corroboram as diferenças na superfície quanto à remoção da cobertura vegetal (Gráficos 24 e 25).

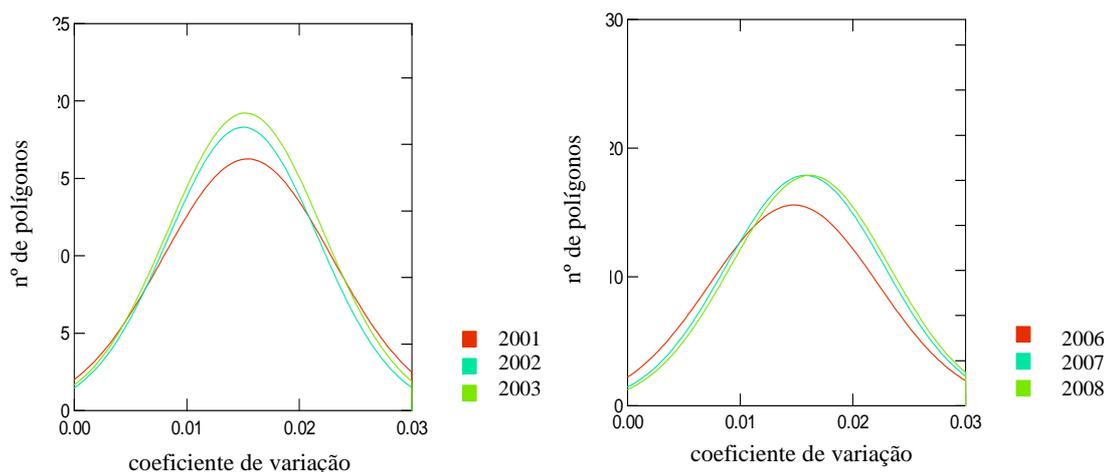


Gráficos 24 e 25: Valores de EVI para os polígonos antes (2001, 2002, 2003) e após (2006, 2007, 2008) os alertas de desmatamentos e o erro-padrão correspondente.

A primeira etapa consistiu na análise da distribuição das médias termais da superfície e dos respectivos coeficientes de variação, nos anos antes e após os alertas de desmatamentos. Os resultados podem ser visualizados nos Gráficos 26 e 27 e nos Gráficos 28 e 29.



Gráficos 26 e 27: Distribuição das médias termais da superfície, antes e após os polígonos de alertas de desmatamento detectados no bioma Cerrado, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e 2006, 2007 e 2008, respectivamente (Gráfico 05).



Gráficos 28 e 29: Distribuição dos coeficientes de variação referentes às temperaturas de superfície, antes e após os polígonos de alertas de desmatamento detectados no bioma Cerrado, para os anos de 2001, 2002 e 2003 e 2006, 2007 e 2008, respectivamente.

Como pode ser observado nos gráficos anteriores, há um ligeiro aumento das médias de TS nas áreas identificadas como possíveis desmatamentos, nos anos 2006, 2007 e 2008 (pós-desmatamento). Os valores de coeficiente de variação, ainda que baixos para todos os períodos (haja vista a significativa correlação espacial dos dados e a homogeneidade das amostras) tenderam a ser ligeiramente mais altos para os períodos pós-desmatamentos, o que pode ser atribuído à maior heterogeneidade espacial, em termos de TS das áreas desmatadas.

A segunda etapa, cujos resultados são apresentados na Tabela 10, consistiu na verificação do grau de significância entre as diferenças termais, anteriores e posteriores aos indicativos de desmatamentos foi realizada para um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 10: Diferenças entre as médias termais da superfície, antes e após os alertas de desmatamentos detectados no bioma Cerrado para o período entre 2003 e 2004.

Diferenças entre as médias termais de superfície para os períodos antes e após os alertas de desmatamentos		
2001 - 2006	-0,23005	-1,08054
2001 - 2007	-2,12328	-3,03011
2001 - 2008	-1,07314	-1,94216
2002 - 2006	1,01041	0,14310
2002 - 2007	-0,88334	-1,80596
2002 - 2008	0,16714	-0,71835
2003 - 2006	0,48060	-0,31550
2003 - 2007	-1,41084	-2,26687
2003 - 2008	-0,36188	-1,17774
	-1,180711	-0,665792

Com exceção dos anos 2002-2008 e 2003-2006, as diferenças nas temperaturas de superfície, entre os anos pré- e pós-desmatamentos, foram significativas. Além disso, outro fato a ser observado é que quando consideramos em conjunto, os anos pré- e pós-desmatamentos, as diferenças de TS ficam ainda mais evidentes (valores em negrito). Em média, quando as áreas de vegetação nativa no Cerrado são desmatadas, tem-se um aumento de 0,6°C a 1,1°C na TS.

7 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

O produto MOD11 A2, proveniente do sensor MODIS, mostrou-se adequado ao monitoramento da TS em âmbito regional, confirmando a possibilidade de uso de sensores orbitais (com cobertura espacial e temporal variada), como instrumentos auxiliares na coleta de dados termais. Apesar de ser um sensor de média resolução espacial, em que a presença de vários tipos de cobertura em um mesmo pixel dificulta a captação da temperatura real de cada alvo, os dados de LST foram capazes de distinguir o comportamento termal dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra no Cerrado, evidenciando, inclusive, o comportamento sazonal dessas classes.

A TS monitorada pelo sensor MODIS não seguiu os mesmos padrões de distribuição espacial da TA (variação positiva no sentido sul-norte) e os valores registrados também se diferenciaram o que, em parte, pode ter acontecido pela diferença metodológica adotada nos trabalhos, cálculo da temperatura da partir das médias e por valores absolutos. Não ficou evidente a relação entre os valores mais elevados de TS e a localização de bacias antropizadas, já que as maiores temperaturas de superfície seguiram a localização geográfica de áreas com forte influência de pastagens e agricultura, mas, não seguiram a localização das áreas fortemente urbanizadas e de adensamento populacional.

Apesar de algumas classes terem apresentado certa dependência da TS em relação às variáveis latitude e altitude, tal fato não se mostrou tão forte no contexto geográfico do Cerrado, o que pode ser parcialmente explicado por não haver mudanças latitudinais e altitudinais drásticas no bioma. Além disso, evidencia que outros elementos tanto intrínsecos quanto extrínsecos à superfície, estão atuando e contribuindo para que ocorram as diversidades termais. Dentre os fatores extrínsecos, a sazonalidade mostrou-se um fator determinante na resposta termal, com efeitos distintos em cada classe de uso e cobertura da terra.

Apesar de no conjunto total de dados ter ocorrido a predominância de diferenças termais significativas entre classes antrópicas e classes de vegetação remanescente, a avaliação da variável TS mostrou-se altamente complexa. A autocorrelação espacial dessa variável, somada à grande variabilidade de temperatura interna a cada classe, acentuadas pela sazonalidade do bioma, são alguns dos fatores que dificultam o mapeamento da TS em nível regional.

Como a variável TS mostrou-se altamente sensível às variações de cobertura da terra, tem-se que a distribuição espacial observada, além de ocorrer em função dos fatores físicos (extrínsecos e intrínsecos à superfície) também é resultado das políticas de ocupação e desenvolvimento promovidas pelo Estado, as quais, de certa forma, determinaram a configuração espacial das diversas classes de uso e cobertura da terra existentes hoje no bioma. Ou seja, além de ser uma variável com alta dependência em relação aos fatores físico-geográficos, a temperatura da superfície também pode ser influenciada pela dinâmica social e econômica de uma região.

A alteração positiva dos valores de TS, que ocorre após os episódios de desmatamentos, é uma evidência de que a interferência do homem na cobertura da terra influencia elementos físicos da paisagem. Esse resultado mostra a importância de se estudar a dinâmica da TS, principalmente em áreas de rápida conversão natural, visto que as diferenças térmicas provocadas pelo aquecimento diferenciado das superfícies podem estimular mudanças nos micro-climas locais, tendo como consequência alterações no volume, período e intensidade das chuvas, o que interfere na germinação e na atividade metabólica das plantas. No Cerrado, a preocupação é ainda maior, uma vez que essas consequências podem ser potencializadas em decorrência das temperaturas elevadas e dos baixos índices pluviométricos, característicos da região.

Dessa forma, sendo a TS uma variável tão importante no equilíbrio do sistema superfície-atmosfera e tão complexa de ser exatamente mensuradas, algumas recomendações tanto de cunho técnico quanto político, que visam melhorar o nível de entendimento/detalhamento do comportamento dessa variável no bioma Cerrado, precisam ser levadas em consideração.

As recomendações técnicas que, consideramos de suma importância são:

- 1) Como no bioma Cerrado há uma grande variedade de usos e cobertura da terra que se (re) estabelece em uma diversidade de estágios e ciclos de crescimentos, a TS deve ser avaliada ao longo de um ciclo anual, de modo que os dados evidenciem seu comportamento cíclico e não apenas sazonal. Dessa forma, em trabalhos futuros é necessário realizar análises da TS que considerem todos os meses do ano.

- 2) O comportamento termal de superfície das diversas classes de uso e ocupação da terra no bioma Cerrado deve ser confirmado através de um maior período de análise. Portanto, se faz necessário um estudo a partir de séries temporais.
- 3) Como a variabilidade termal de superfície está fortemente relacionada com o tipo de uso e cobertura do solo e como sensores de média resolução espacial, devido ao tamanho de seus pixels, não são capazes de exprimir com exatidão a temperatura dos diversos alvos, tornam-se necessárias análises com maior refinamento dos dados, considerando áreas específicas, a partir de sensores termais de maior resolução espacial.
- 4) A quantidade de calor que cada classe de uso da terra armazena (capacidade térmica) poderia ser medida com base na análise da amplitude térmica dos alvos, comparando os dados do LST Day com os dados do LST night.
- 5) É importante quantificar a influência da topografia na TS, bem como a influência de fatores como o tipo de solo e a quantidade de água presente no substrato, a partir de medições locais em áreas onde seja possível o isolamento desses fatores nas diferentes classes de uso.
- 6) O estudo sobre a influência antrópica na variabilidade termal de superfície pode ser complementado com análises que utilizam sensores de melhor resolução espacial para comparar o valor de TS antes e após a expansão e consolidação de áreas urbanas.
- 7) A correlação entre a TA e a TS no bioma Cerrado pode ser explorada a partir de estudos que comparem os dados estimados pelo sensor MODIS, com os dados mensurados em campo. Como existem poucas estações meteorológicas em pleno funcionamento no bioma, o estudo poderia ser desenvolvido a partir de métodos de extrapolação dos dados absolutos. Essas análises seriam importantes para verificar a possibilidade de utilizar dados orbitais para a confecção de modelos de balanço de energia em âmbito regional.

As recomendações políticas, por sua vez, podem ser assim apresentadas:

Como as práticas sociais estabelecidas pelas diferentes formas de apropriação da terra se relacionam com os diferentes componentes físicos da paisagem, as políticas territoriais de expansão no Cerrado não influenciam apenas os aspectos socioeconômicos do bioma. Ao incentivar a abertura de novas frentes agropecuárias, políticas públicas que visam promover o desenvolvimento e a economia promovem também impactos físicos e ambientais que em longo prazo podem inverter as expectativas. De que adianta aumentar a área de produção agrícola e pecuária se a conversão de paisagens naturais pode provocar alterações no balanço de energia que interferem negativamente na produção? Dessa maneira, para que políticas públicas de gestão territorial sejam efetivamente mercedoras do nome que recebem, devem levar em consideração a inter-relação entre o homem e seu espaço de vida, pautando-se pelos seguintes cuidados:

- 1) Ao promover políticas de expansão no bioma Cerrado, o Estado não deve considerar apenas indicadores socioeconômicos. Deve levar em consideração os impactos que a antropização da paisagem pode provocar nos aspectos físicos da região.
- 2) As ações e políticas governamentais no Cerrado devem ser ampliadas juntamente com o incentivo a pesquisas técnico-científicas que promovam uma melhor compreensão da relação homem-meio no bioma. A efetiva gestão territorial do Cerrado implica o conhecimento integrado dos aspectos sociais, econômicos e físicos da região.
- 3) A criação de Reserva Legal, Áreas de Proteção Permanente e Unidades de Proteção Integral deve ser estimulada pelos governos nas diferentes esferas (federal, estadual e municipal), de modo que essas áreas não desempenhem apenas o papel de redutos reservacionistas da biodiversidade, mas funcionem como pontos estratégicos para a manutenção do balanço de energia e do sistema ar/atmosfera.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, S.M.L.; MACHADO, B.R.; FILHO-MARINHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L.M.S.; CAMARGO, A.J.A. (eds.). *Cerrado. Ecologia e Caracterização*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 01, p. 17-38, 2004.

ANA (Agência Nacional de Águas). *Projeto Aquífero Guarani*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/guarani/projeto/sintese.htm>>. Acesso em: 14 mai. 2010.

ANA (Agência Nacional de Águas). *Política Nacional de Recursos Hídricos* (Lei 9233/1997). Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm

ANDERSEN, H.S. Land surface temperature estimation based on NOAA-AVHRR data during the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*, v. 189, p. 788-814. 1997.

ASSAD, D.E.; PINTO, S.H.; ZULLO Jr., J.; AVILA, H.M.A. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

ASSAD, D.E.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R.; SILVA, F.A.M. Veranicos na região do Cerrado brasileiro: frequência e probabilidade de ocorrência. In: ASSAD, E.D. (coord.). *Chuva no Cerrado: Análise e Espacialização*. 2ª ed., Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

ATAIDE, P.R.K.; LEDO, D.M.I.; OLIVEIRA, R.G.M.; BEZERRA, A.W. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície obtida pelo sensor MODIS para o estado de Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, RN. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 3495 - 3502, 2009.

BAPTISTA, G.M.M.; CARVALHO, J.M.; CAMACHO, R.G.V.; BIAS, S.E.; ZARA, F.L. Variação sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró, RN, por meio de dados ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, GO *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 2843-2850. 2005.

BARBOSA, S.A.; NETO, T.A.; GOMES, H. *Geografia: Goiás – Tocantins*. 2ª ed., Goiânia: Editora UFG, 2005.

BECKER, F.; LI, Z. Towards a local split window method over land surfaces. In: *International Journal of Remote Sensing*, v. 11, p. 369-393, 1990.

BERBET, M.L.C.; COSTA, M.H. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. *Journal of Climate*, v. 16, n. 12, p. 2099-2104, 2003.

BERRY, P.A.M.; GARLICK, J.D.; SMITH, R.G. Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry. *Remote Sensing of Environment*, v. 106, p. 17-27, 2007.

BORGUETTI, B.R.N.; BORGUETTI, R.J.; FILHO, R.F.E. *O Aquífero Guarani*. Disponível em: <<http://www.oaquiferoguarani.com.br>>. Acesso em: 12 mai. 2010.

BUSTAMANTE, M.M.C; NARDOTO, F.B.; CASTRO, A.A.A.; GAROFALO, C.R.; NARDOTO, G.B.; SILVA, M.R,S. *Effect of prescribed fires on the inorganic N by concentration in soil of Cerrado areas and on the assimilation of inorganic N by woody plants*. In: CONFERENCE ON FIRE AND FOREST METEOROLOGY, 14. Universidade de Coimbra: ADAI, 1998.

CARLSON, N.T.; RIPLEY, J.A.D.; SCHMUGGE, J.T. Rapid soil drying and its implications for remote sensing of soil moisture and the surface energy fluxes. In: QUATTROCHI, D.; LUVALL, J.C. (eds.). *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*. Nova York: CRC Press, 2005.

CARVALHO, F.M.V.; DE MARCO, P.; FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, v. 142, p. 1392-1403, 2009.

CARVALHO, F.M.V.; FERREIRA, G.L.; LOBO, C.F.; DINIZ, F.A. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no bioma Cerrado. *Revista Árvore*, v. 32, n. 2, p. 279-290, 2008.

CHEDE, C.F. *Manual de Meteorologia Aeronáutica*. Rio de Janeiro: ETA Editora Técnica de Aviação, 1974.

CHUDNOVSKY, A.; BEN-DOR, E.; SAARONI, H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy and Buildings*, n. 36, p. 1063-1074, 2004.

COLL. C.; CASELLES, V.; GALVE, J.M.; VALOR, E.; NICLOS, R.; SANCHEZ, J.M.; RIVAS, R. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, v. 97, p. 288-300, 2005.

COLTRI, P.P.; VELASCO, N.D.G.; POLIZEL, L.J.; DEMETRIO, A.V.; FERREIRA, J.N. Ilhas de calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, SC. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 5151-5157, 2007.

COLOMBI, A.; MICHELE, C.; PEPE, M.; RAMPINI, A. Estimation of daily mean air temperature from MODIS in Alpine areas. *EARSeL e Proceedings*, v. 6, pág. 38 – 46, 1/2007.

COSTA, M.L.; OLSZEWSKI. Caracterização da paisagem no Cerrado. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (eds.). *Savanas. Desafios e Estratégias para o Equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap 12, p. 363-378, 2008.

COSTA, M.H.; FOLEY, J.A. Water balance of the Amazon Basin: dependence on vegetation cover and canopy conductance. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, n. 23, p. 973–989, 1997.

CZAJKOWSKI, K.; GOWARD, N.S.; MULHERN, T.; GOETZ, J.S.; WALZ, A.; SHIREY, D.; STADLER, S.; PRINCE, D.S.; DUBAYAH. Estimating environmental variables using thermal remote sensing. In: QUATTROCHI, D.A.; LUVALL, J.C. (eds.). *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*, Nova York: CRC Press, 2005.

DOUSSET, B.; GOURMELON, F. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, n. 58, p. 43-54, 2003.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERREIRA, E.M. *Modelagem da dinâmica de paisagem no Cerrado*. (Tese de doutorado). Programa de Doutorado em Ciências Ambientais. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2009.

FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.R. ; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: an analysis within the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 534-550, 2003.

FERREIRA, N.C.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Assessing the response of the MODIS vegetation indices to landscape disturbance in the forested areas of the legal Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, p. 745-759, 2010.

GARCIA, N. F. *Áreas protegidas no bioma Cerrado: Pouco eficientes e pouco protegidas*. Monografia de final de curso (geografia), Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2009.

GILLET, P.N.; STOTT, A.; SANTER, B. Attribution of cyclogenesis region sea surface temperature change to anthropogenic influence. *Geophysical Research Letters*, v. 35, 2008.

GOERT, J.W.; WAGNER, E.; BARCELLOS, O.A. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectiva. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (eds.), *Savanas. Desafios e Estratégias para o Equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 2, p. 49-77, 2008.

GUSSO, A.; FONTANA, C.D.; GONÇALVES, A.G. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 2, p. 231-237, 2007.

HARIDASAN, M, Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

HASHIMOTO, H.; NEMANI, R.; YANG, F.; GRANGER, R.; RUNNING, S. VPD Estimation from land surface temperature (MOD11) for global map of evapotranspiration and NPP. *American Geophysical Union*, Fall Meeting. 2003.

HUTYRA, L.R.; MUNGER, J.W.; NOBRE, C.A.; SALESKA, S.R.; VIEIRA, S.A.; WOFSEY, S.C. Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia. *Geophysical Research Letters*, v. 32, n. L24712, 2007.

HATANA, P.; HUETE, A.R. FERREIRA, L.G. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain (LBA special issue). *Earth Interactions*, v. 9, p. 1-22, 2005.

HOFFMAN, W.A.; JACKSON, B.R. *Vegetation Climate Feedbacks in the Conversion of Tropical Savanna to Grassland*. American Meteorological Society, 2000.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais). *Projetos de Conservação e Manejo de Ecossistemas*. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/patrimonio/>>. Acesso em: 03 mar. 2009.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). Ministério dos Transportes. *Base de dados georreferenciadas – rodovias*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em: 16 abr. 2007.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). *Biomassas do Brasil*, 2005. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 25 de jun. 2007.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). *Compartimentos de relevo do Brasil*, 2002. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 25 de jun. 2007.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). *Censo Populacional*, 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#indicadores. Acesso em: 25 de jun. 2007.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). *Mapeamento de solos do Brasil (a partir da base de dados do RADAM BRASIL)*, 1981. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 25 de jun. 2007.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). *Insolação total mensal - normais climatológicas (1961 – 1990)*, 2008. Disponível em: www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php. Acesso em: 22 jun. 2007.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial). *Dados de queimadas no Brasil*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 22 jun. 2007.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). *Monitoramento de focos de calor no Brasil*. Disponível em: <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 22 jun. 2007.

IPEA, IBGE, UNICAMP. *Caracterização e Tendências da Rede Urbana no Brasil: Estudos Básicos para Caracterização da Rede Urbana*. Brasília, v. 2, 390 p., 2002.

IPEA (Instituto de Pesquisa Estatística Aplicada). IPEAdata – indicadores macro econômicos e sociais.

Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata?446998828>. Acesso em: 15 abr. 2007.

JENSEN, R.J. Sensoriamento Remoto do Ambiente. Tradução: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador), Antônio Roberto Formaggio, Athos Ribeiro dos Santos, Bernado Friedrich Theodor Rudorff, Cláudia Maria de Almeida, Lênio, Soareas, Galvão. Editora Parêntese. Tradução da Segunda Edição. São José dos Campos 2009.

JONES, P.; JEDLOVEC, G.; SUGGS, R.; HAINES, S. *Using MODIS LST to estimate minimum air temperature at night*. In: CONFERENCE ON SATELLITE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 13, *Proceedings...* Norfolk: American Meteorological Society, 2004.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LIMA, W.F.E.J.; SILVA, M.E. Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância e situação. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (orgs.), *Cerrado. Ecologia e Fauna*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 4, p. 89-1-5, 2008.

LIMA, W.F.E.J.; SILVA, M.E. Contribuição hídrica do Cerrado para as grandes bacias hidrográficas brasileiras. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE. ABRH, Campo Grande, pág., 2002.

LEGENDRE, P. Espacial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, v. 4, n. 6, p. 1659-1673, 1993.

MACHADO, B.R.; AGUIAR.; AUSTECLINIO.M.L.; CASTRO, F.J.A.A.; NOGUEIRA, C.C.; NETO, R.B.M. Caracterização da fauna e flora do Cerrado. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (eds.), *Savanas. Desafios e Estratégias para o Equilíbrio entre Sociedade, Agronegócio e Recursos Naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 9, p. 285-302, 2008.

MALLICK, J.Y.K.; BHARATH, B.D. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *Journal of Geophysical Union*, vol. 12, n. 3, p. 131-140, 2008.

MANAWADU, L.; LIYANAGE, N. Identifying surface temperature pattern of the city of Colombo. *Engineer*, vol. 41, n. 5, p. 133-140, 2008.

MARTINS Jr., O.P.; CHAVES, F. Uso de instrumentos econômicos para a conservação da biodiversidade em Goiás: reserva legal, servidão florestal e bolsa de reserva florestal. In: FERREIRA, L.G. (org.), *Encruzilhada ambiental*, p. 165-175, 2008.

MEDEIROS, L.C.; FERREIRA, C.N.; FERREIRA, L.G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 61, p. 137-151, 2009.

METZJER, P.J. O que é ecologia de paisagem? *Biota Neotropica*, vol. 1, n. 1/2, p. 2 - 9, 2001.

BOSILOVICH, M.G. A comparison of MODIS land surface temperature with in situ observations. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L20112, 2006.

MIRANDA, S.H.; SATO, N.M.; ANDRADE, A.M.S.; HARIDASAN, M.; MORAIS, C.H. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: AGUIAR, L.M.S.; CAMARGO, A.J.A. (eds.). *Cerrado. Ecologia e Caracterização*. Brasília: Embrapa, 2004.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). *Programa Zoneamento Ecológico-Econômico*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index>>. Acesso em: 19 out. 2009.

MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD), 1999. Version 3.3.

MORAES, R.C.A. *Geografia. Pequena História Crítica*. São Paulo: Editora Hucitec, 14ª ed., 1997.

MYERS, N.; MITTERMAYER, R.A.; MITERMAYER, C.G.; FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, vol. 403, p. 853-858, 2000.

NAVEH, Z.; LIBERMAN, A. *Landscape Ecology. Theory and Application*. Nova York: Springer-Verlag, 1997.

NETTO, M.S.J. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (eds.). *Sensoriamento Remoto. Reflectância dos Alvos..* Brasília: Editora UnB, 2001.

NETO, T.A.; CASTRO, A.J.; CHAVEIRO, F.E; CASSETI, V.; GOMES, H.. *O Espaço Goiano: Abordagens Geográficas*. Goiânia: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2004.

NOAA. *Satellite and Information Service – NOAASIS*. Disponível em: <<http://www.noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>>. Acesso em: 14 jun. 2009.

NOBRE, A.C.; SELLERS, J.; PIERS; S. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, vol. 4, p. 957-988, 1991.

OREGON DEC. *Aerial Surveys in the Umpqua River Basin: Thermal Infrared and Color Videography*. Portland: OREGON Department of Environmental Quality, 2003.

PALACIN, L. *Estrutura e Conjuntura Numa Capitania de Minas*. Goiânia: DEC Oriente, 1972.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PESTEMALCI, V.; KANDIRMAZ, H.M.; GINGIL, Y.E.I.; YILDIZ, B.Y. Determination of the land surface temperature of the Cukurova region using NOAA APT data. *Chinese Journal of Physics*, vol. 42, p. 776 - 784, 2004.

PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*. Disponível em: <http://www.fjp.gov.br/produtos/cees/idh/atlas_idh.php>. Acesso em: 23 mai. 2009.

PROBIO. *Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados*. Relatório Final. EMBRAPA – Documentos 190 ISSN 1517 – 5111. Edson Eiji Sano, Roberto Rosa, Jorge Luis de Silva Brito, Laerte Guimarães Ferreira.

PRIHODKO, L.; GOWARD, N. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sensing of Environment*, vol. 60, p. 335-346, 1997.

PRICE, C.J. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 advanced very high resolution radiometer. *Journal of Geophysical Letters*, vol. 89, n. D5, p. 7231-7237, 1984.

QUATTROCHI, H.; GOWARD, S.N.; CZAJKOWSKI, K.P.; SOBRINO, J.A.; VERMOTE, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements: an assessment for the AVHRR land pathfinder II data set. *Remote Sensing of Environment*, vol. 81, p. 114-128, 2002.

RAYNER, N.A.; BROHAN, P.; PARKER, D.E.; FOLLAND, C.K.; KENNEDY, J.J.; VANICEK, M.; ANSELL, T.J.; TETT, S.F.B. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the Mid-Nineteenth Century: the HadSST2 dataset. *Journal of Climate*, vol. 19, p. 446-469, 2005.

RATER, J.A.; BRIDGWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado Vegetation II. Comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, vol. 53, p. 153-180. 1996.

REATTO, A.; CORREIA, R.J.; SPERA, T.S.; MARTINS, S.E. Solos do bioma Cerrado, aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (orgs.). *Cerrado. Ecologia e Fauna*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

RIBEIRO, F.J.; WALTER, T.M.B. As principais fitofisionomias do Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (orgs.). *Cerrado. Ecologia e Fauna*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (eds.), *Cerrado: Ambiente e Flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 89-166, 1998.

RICKLEFS, E.R. *A Economia da Natureza*. Tradução: LIMA, C.B.P.L.S. Colaboração: OLIVEIRA, R.R. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 3ª ed., 1996.

ROBBS, R.J. Landscape ecology and conservation: moving from description to application. *Pacific Conservation Biology*. v. 1, p. 170-176, 1994.

ROCHA, R.H.; GOUDEN, L.M.; MILLER, D.S.; MENTON, C.M.; PINTO, O.V.D.L.; FREITAS, C.H.; FIGUEIRA, S. Seasonality of water and fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. S22–S32 (Suplemento), 2004.

ROCHA, G.F.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. ; SILVA, G.N.F. Distribuição espacial dos dados de alertas de desmatamentos do bioma Cerrado para o período 2003-2007. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, RN. *Anais...* São José dos Campos: INPE, v. 14, p. 2983-2988, 2009.

ROUGERIE, G. *Geografia das Paisagens*. Difusão Européia do Livro, 1971.

ROSA, R. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 3ª ed., 1995.

SALISBURY, W.; D'ARIA, D.M. Emissivity of terrestrial material in the 8-14m atmospheric window. *Remote Sensing of Environment*, v. 42, p. 83-106, 1992.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA, L.G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 166, p. 113-124, 2010.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO J.L.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semi-detalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANO, E.E.; BARCELOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. *Pasturas Tropicales*, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2002.

SANTOS, M. *A Urbanização Brasileira*. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 174 p., 2005.

SANTOS, M. *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo – Razão e Emoção*. São Paulo: EDUSP, 2002.

SAWYER, R.D.; LOBO, S.A. O papel da sociedade no estabelecimento de políticas públicas. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (eds.). *Savanas. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 39, p. 1153-1184, 2008.

SILVA, F.W.J.; SANTOS, L.R. Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IR-MSS (banda 4) do CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, SC. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 1159-1166, 2007.

SILVA, M.A.F.; ASSAD, D.E.; EVANGELISTA, A.B. Caracterização climática do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (orgs.). *Cerrado. Ecologia e Fauna*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008.

SNYDER, W.C.; WAN, Z.; ZHANG, Y.; FENG, Y.Z. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 14, p. 2753-2774, 1998.

SOUTHWORTH, J.; MUNROE, D.; NAGENDRA, H. Land cover change and landscape fragmentation – comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, p. 185-205, 2004.

SOUZA, D.J.; SILVA, B.B.; CEBALLOS, C.R. Parametrizações no Mono-Window e no Split-Window para correção atmosférica de uma imagem MOD02 na Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, Belém - PA, 2008.

SOUSA, D.J.; SILVA, B.B. Correção atmosférica para temperatura de superfície obtida com imagem TM- Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, p. 349-358, 2005.

SOBRINO, J.A.; MUNOZA, J.C.J.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, v. 90, p. 434-440, 2004.

STEINKE, E.T. *Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público*. (Tese de Doutorado). Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 2004.

SUN, Y.Y.F.M.; GÖTTSCHE, F.S.; OLESEN, F.H. Retrieval of land surface temperature from combined AVHRR data. *Annales Geophysicae*, v. 20, p. 1257-1259, 2002.

TESA, V.T.C.; BAPTISTA, M.G.M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, GO. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 3911-3918, 2005.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; BATISTA, J.L.F. Dinâmica e restauração de fragmentos na Floresta Atlântica. In: LAURANCE, W.F.; BIERREGAARD, R.O. (eds.), *Tropical Forest Remnants Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*. Chicago and London, University of Chicago Press, p. 351-365, 1997.

WAN, Z. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 112, pág. 59-74, 2007^a.

WAN, Z. *MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide Collection-5*. ICES, University of California, Santa Barbara, 2007b.

WAN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; LI, Z.L. Quality assessment and validation of the MODIS land surface temperature, *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, p. 261-274, 2004.

WAN, Z.; ZHANG, Y.Z.L.; WANG, L.R.; SALOMONSON, V.V.; YVES, A.; BOSSENO, R.; HANOCQ, J.F. Preliminary estimate of calibration of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) thermal infrared data using Lake Titicaca. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, p. 497-515, 2002.

WAN, Z.Y.Z.; FENG, Y.; ZHANG.; KING, M.D. Land-surface temperature and emissivity retrieval from MODIS Airborne Simulator (MAS) data. *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*, January 12-16, v. 3, p.57-66, 1998.

WAN, Z.; LI, Z.-L. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 35, no. 4, pp. 980-996. 1997.

WENG, Q.; DENGSHENG, L.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature – vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, v. 89, p. 467-483, 2004.

WENG, Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, v. 64, p. 273–284, 2002.

WORD BANK. World Development Indicators, 2007.

YAN, H.; ZHANG, J.; HOU, Y.; HE, Y. Estimation of air temperature from MODIS data in east China. *International Journal of Remote Sensing*, v. 30, p. 6261-6275, 2009.

ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, Z. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, n. 10, p. 2383–2390, 2007

<http://asterweb.jpl.nasa.gov>>Acesso em: 14 jun. 2009

http://www.cbcrs.inpe.br/en/index_en.htm>. Acesso em: 08 dez. 2009.

<http://www.ispn.org.br/>> Acesso em: 19 out. 2009.

<http://landsat.gsfc.nasa.gov> Acesso em: 14 jun. 2009.

<http://modis.gsfc.nasa.gov> Acesso em: 14 jun. 2009.

<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> Acesso em: 09 set. 2009.

<http://eros.usgs.gov/products/satellite/avhrr.php> Acesso em: 02 set. 2009.

ANEXO

Espacialização das temperaturas de superfície/LST para o Cerrado de janeiro a dezembro, para o período de 2003 a 2008. Base de dados sensor MODIS TERRA Produto MOD11 A2 Coleção 5.

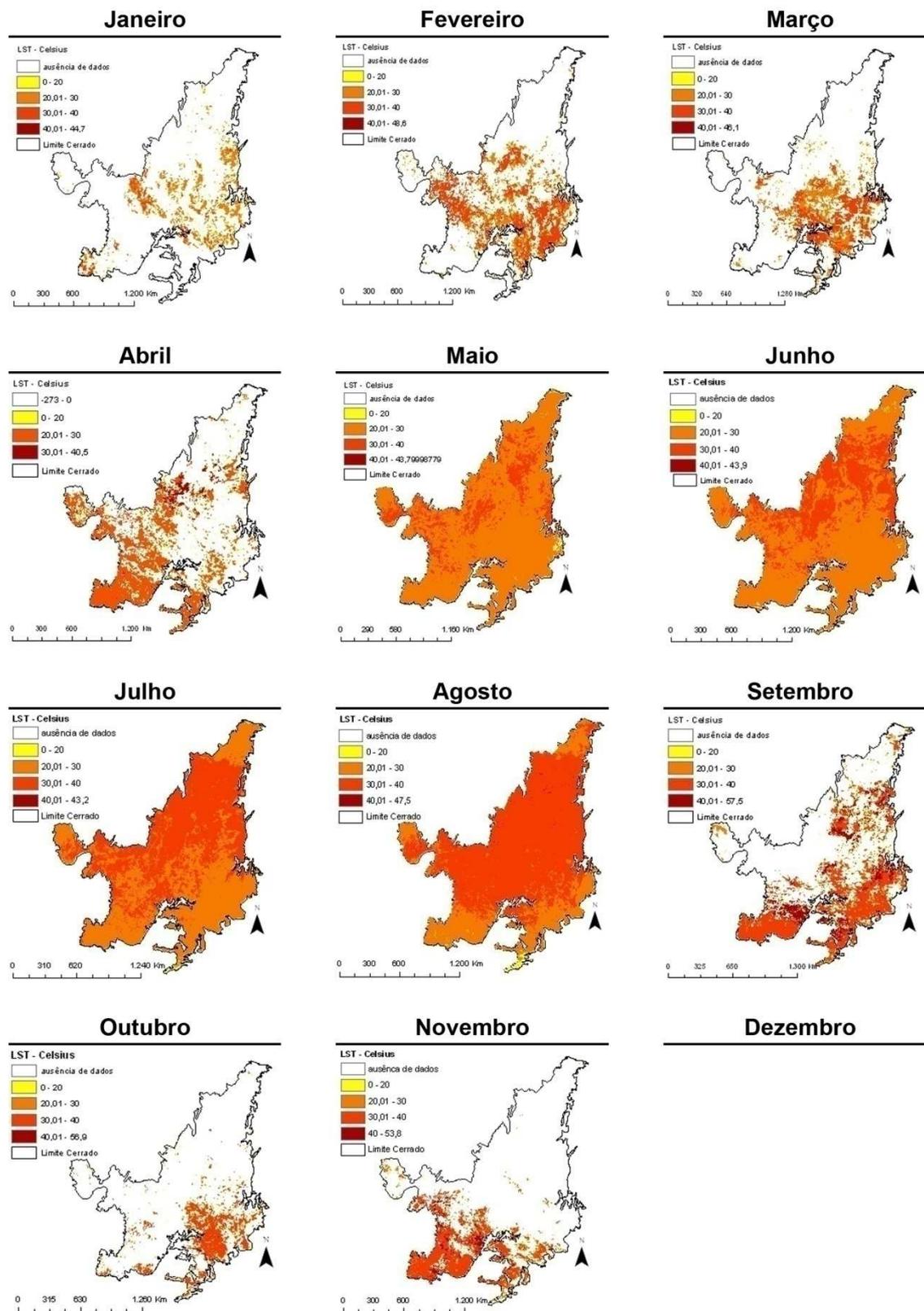


Figura 34: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2003.

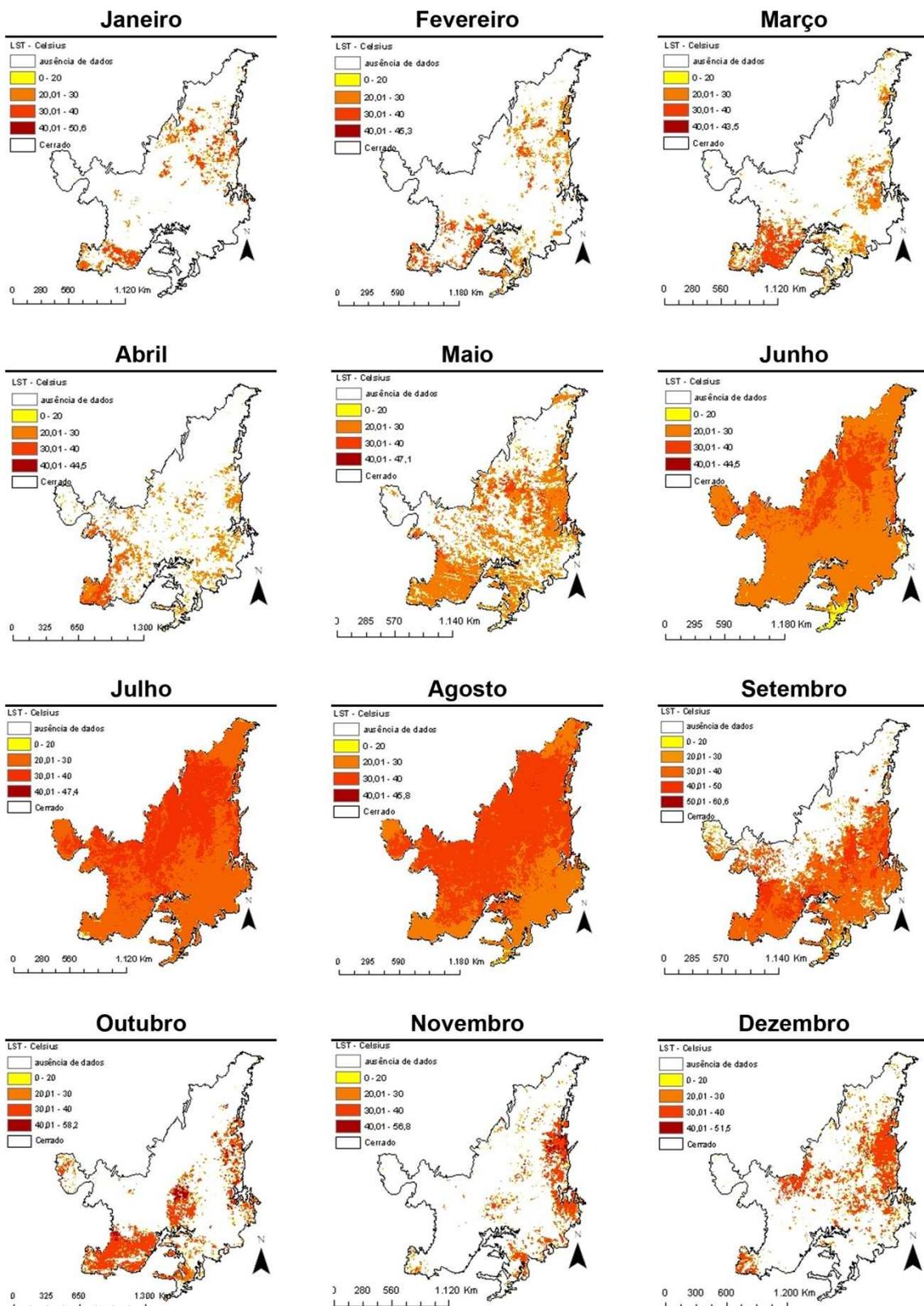


Figura 35: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2004.

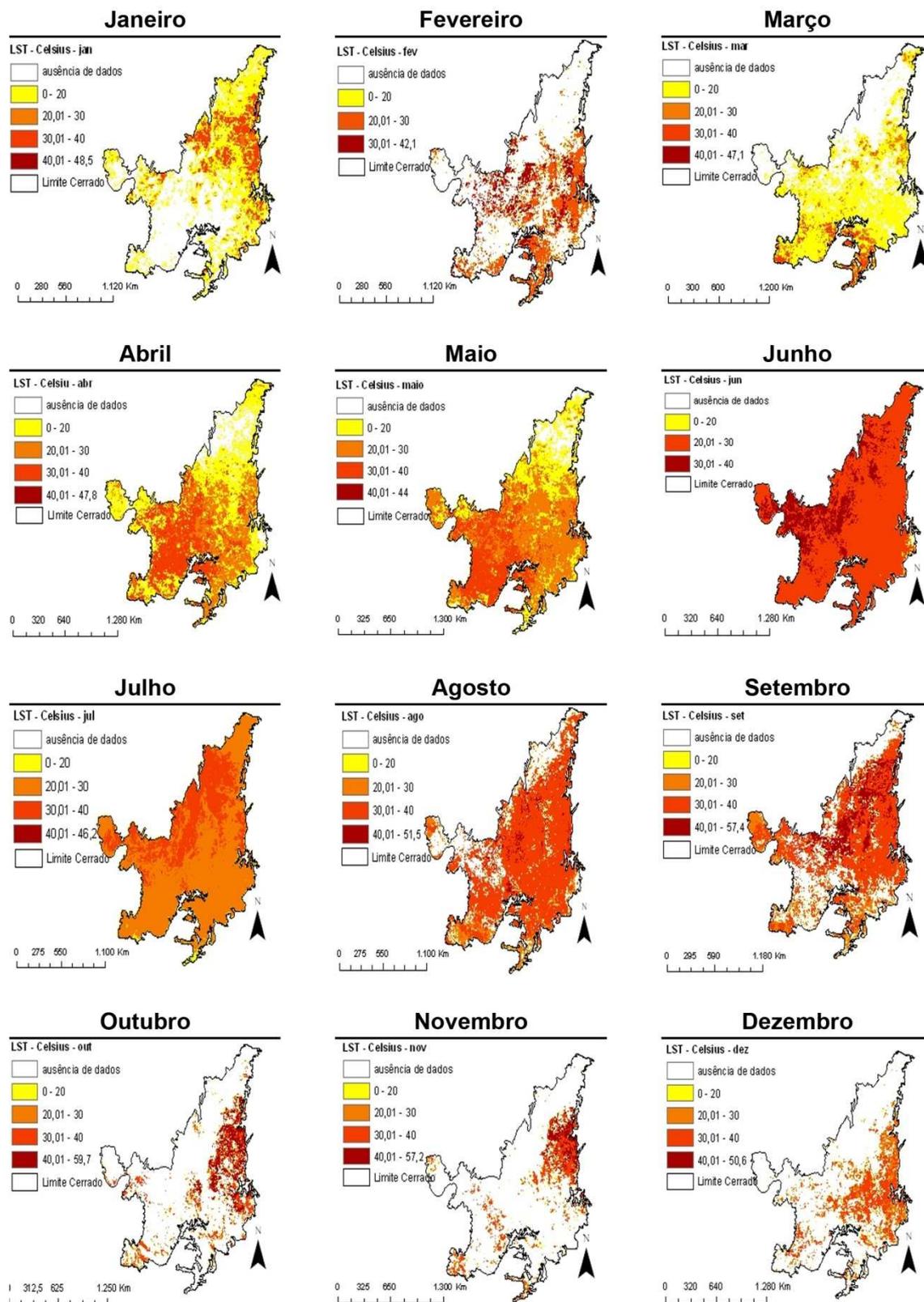


Figura 36: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2005.

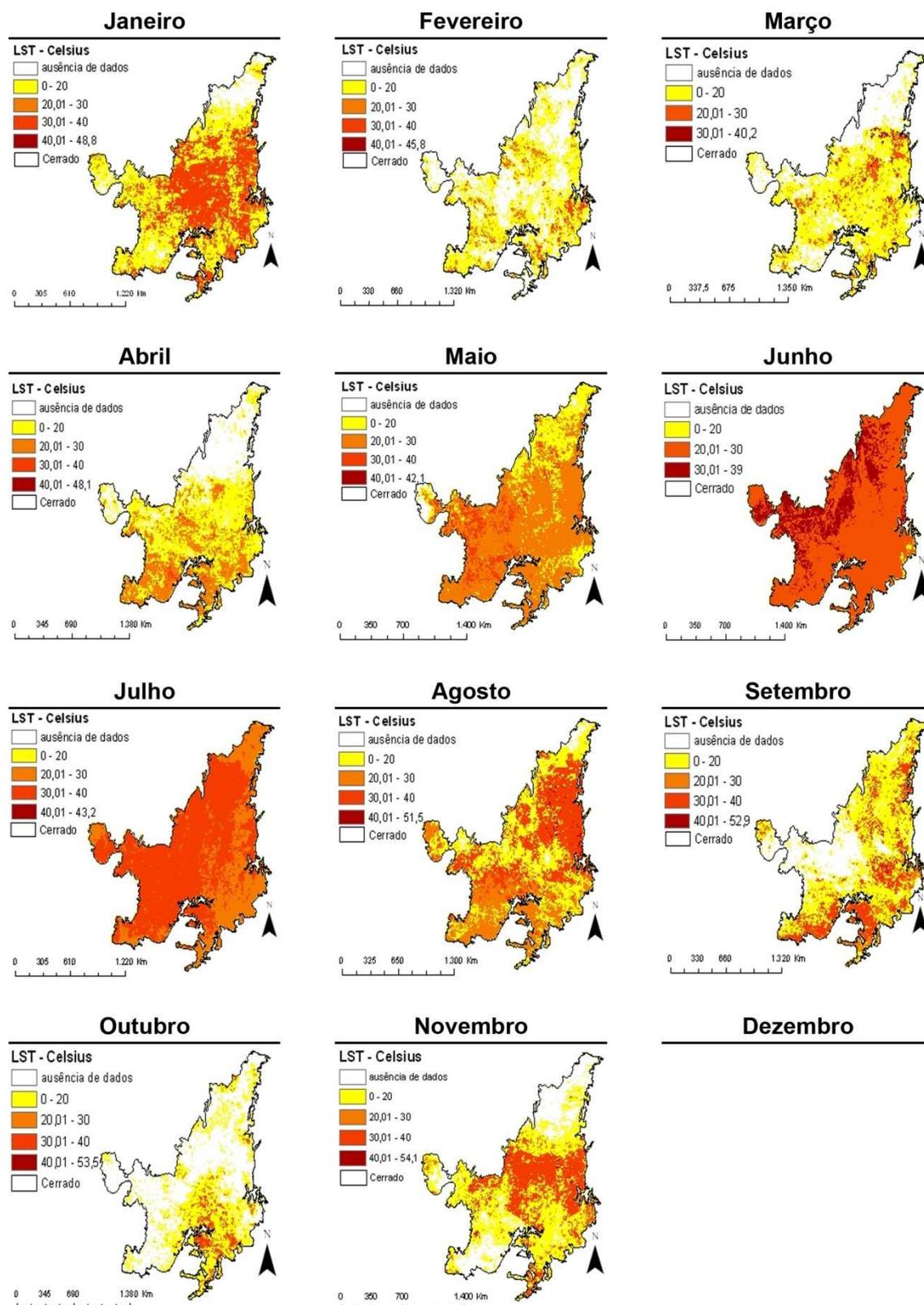


Figura 37: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2006.

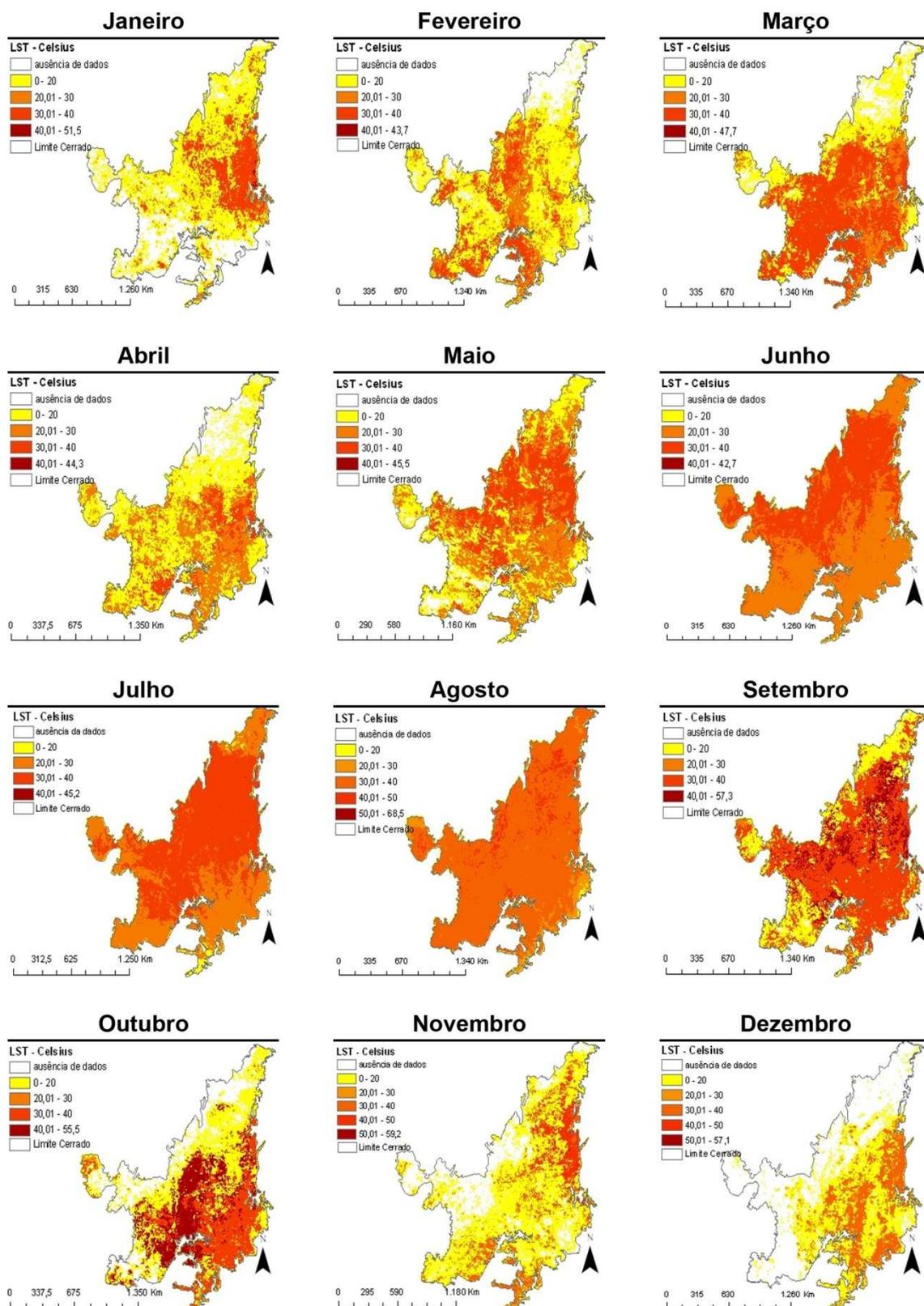


Figura 38: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2007.

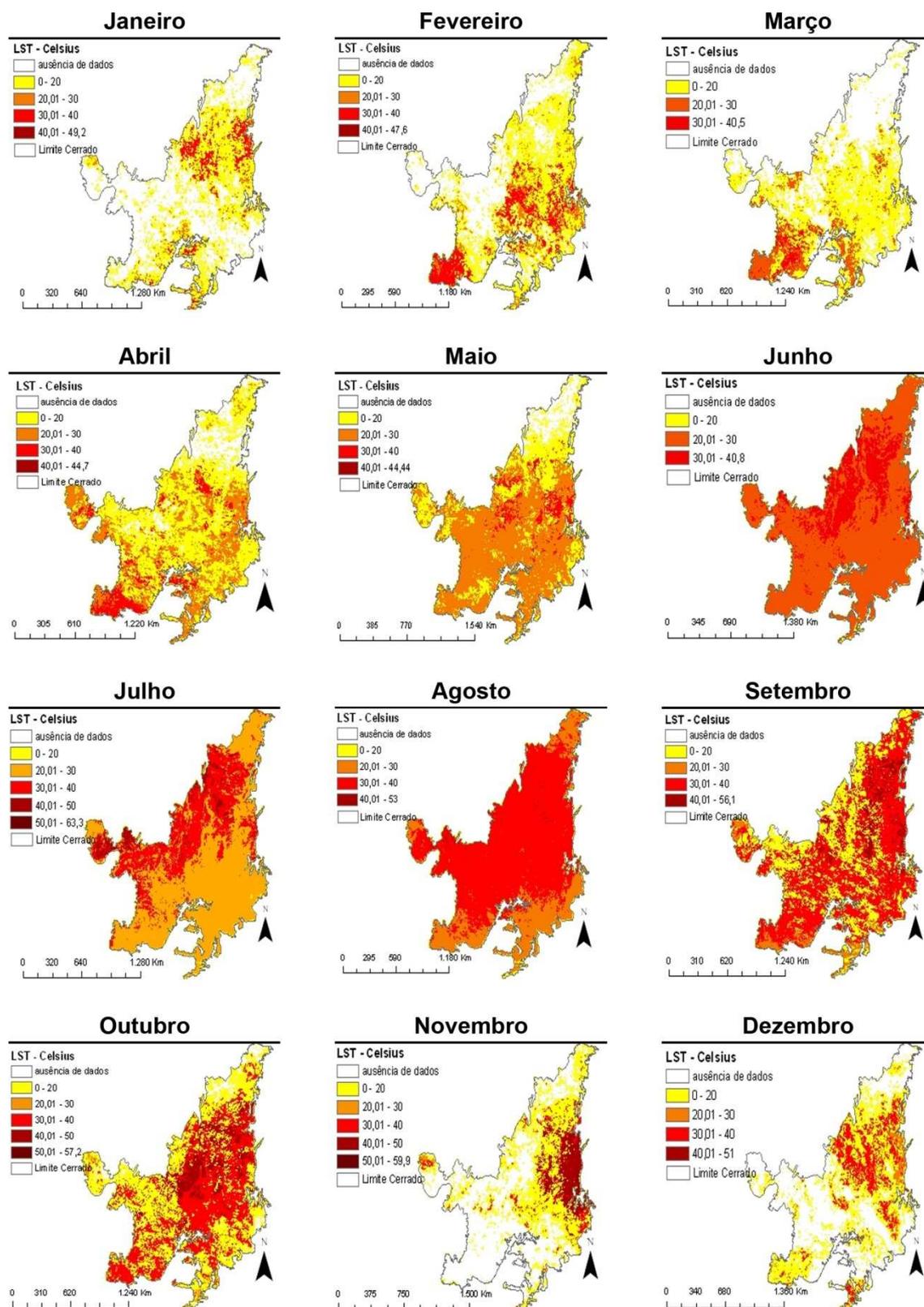


Figura 39: Espacialização da distribuição de *Land Surface Temperature* no bioma Cerrado para o ano de 2008.