



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E
GEOPROCESSAMENTO (LAPIG/UFG)
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA
REPÚBLICA – SAE/PR

RADIOGRAFIA DAS PASTAGENS DO BRASIL

Goiânia, dezembro de 2014

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E
GEOPROCESSAMENTO

Laerte Guimarães Ferreira
Silvio Braz de Sousa
Arielle Elias Arantes

RADIOGRAFIA DAS PASTAGENS DO BRASIL

Relatório final do projeto de pesquisa **Radiografia das Pastagens do Brasil**, executado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG) com financiamento da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR).

1º Edição

Edição dos autores
Goiânia, dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. Arnaldo Carneiro e Pedro Arraes, que acreditaram no nosso trabalho e no potencial do LAPIG, tornando possível a parceria entre a Sub-secretaria de Desenvolvimento Sustentável da Secretaria de Assuntos Estratégicos e a Universidade Federal de Goiás. Ao Engenheiro Agrônomo Rafael Curado Fleury, que, de forma presente e pró-ativa, norteou e apoiou o desenvolvimento do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil. À toda equipe do LAPIG – UFG, que não mediu esforços para alcançarmos os resultados apresentados neste relatório.

LISTA DE SIGLAS

- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ET – Evapotranspiração
- ETn – Evapotranspiração normalizada
- ETp – Evapotranspiração potencial
- EVI – Índice de Vegetação Realçado/*Enhanced Vegetation Index*
- EVI2 – Índice de Vegetação de Duas-Bandas/*EVI of two-bands*
- FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada/*Normalized Difference Vegetation Index*
- PAVAN – *Pasture Validation Network*
- Plano ABC – Plano Agricultura de Baixo Carbono
- PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
- SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo/*Soil Adjusted Vegetation Index*
- SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática
- SRTM – *Shuttle Radar Topographic Mission*
- TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*

	Pág.
Figura 1. Cenas MODIS utilizadas para a geração das imagens EVI2 (índice de vegetação realçado de duas bandas) e análise de evapotranspiração para o todo o Brasil.....	17
Figura 2. Localização das regiões geográficas utilizadas para a análise de densidade de focos de calor a nível local para as áreas de pastagens do Brasil.....	20
Figura 3. Fluxograma esquemático dos principais passos e abordagens realizados na análise de densidade de focos de calor sobre as áreas de pastagens cultivadas no Brasil (polígonos PROBIO > 50 ha).....	21
Figura 4. Distribuição dos pontos do PAVAN pelos estados brasileiros (até o momento, 216 pontos), com destaque para a elaboração dos polígonos de pastagem para cada um dos pontos.....	23
Figura 5. Exemplos de pastagens demarcadas nos principais estados pecuaristas do Brasil, a partir de pontos elencados no PAVAN (<i>Pasture Validation Network</i>) (pontos na cor vermelha), com as respectivas coordenadas abaixo de cada quadro.....	24
Figura 6. Fluxograma mostrando as etapas envolvidas no processamento das imagens EVI2 e geração das métricas sazonais.....	25
Figura 7. Regressão linear dos índices de vegetação NDVI, EVI e EVI2 para amostras de áreas de pastagens no bioma Cerrado.....	28
Figura 8. Distribuição dos valores EVI2 e EVI2 ponderado para amostras de pastagem sobre pixels de qualidade máxima, intermediária e mínima.....	29
Figura 9. Valores dos índices de vegetação em uma série temporal suavizada através do filtro <i>Savitzky-Golay</i> parametrizado com janelas de diferentes larguras.....	31
Figura 10. Correlação entre os dados EVI originais e filtrados com <i>Savitzky-Golay</i> (conforme diferentes janelas).....	32
Figura 11. Métricas sazonais definidas a partir do software TIMESAT e aplicadas à série temporal de imagens EVI2 (referentes à totalidade da área de pasto no Brasil).....	33
Figura 12. Relação entre estimativas satelitárias de evapotranspiração <i>real</i> e <i>normalizada</i> (2013 - dados mensais).....	34
Figura 13. Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (Estado de Goiás), com destaque para pontos de pastagens submetidos à aquisição sistemática de parâmetros biofísicos e transecto ao longo do qual teremos sobrevoo LiDAR (outubro 2014) (com vistas à determinação de padrões ópticos ativos em pastagens sob diferentes condições de uso e manejo).....	35
Figura 14. Fluxograma destacando o conjunto de dados e principais etapas de processamento e análise referentes aos fluxos de água e energia das pastagens do Brasil.....	36
Figura 15. Mosaico SRTM para o Brasil construído por meio dos dados Brasil em Relevo (EMBRAPA) (tamanho total 8,21 GB e resolução espacial aproximada de 90 metros).....	37
Figura 16. Fluxograma esquemático referente ao conjunto de dados e procedimentos metodológicos adotados para a determinação das classes de declividade das pastagens do Brasil.....	38
Figura 17. <i>layout</i> da página inicial do portal Pastagem.org.....	39

Figura 18. Arquitetura da plataforma Mapa Interativo do portal pastagem.org.....	40
Figura 19. Hierarquia dos dados geográficos disponibilizados através do Mapa Interativo (portal pastagem.org).....	41
Figura 20. Interface da plataforma Bases Documentais do portal pastagem.org.....	42
Figura 21. Área ocupada por pastagens no Brasil, segundo levantamento realizado no âmbito do PROBIO (2002).....	44
Figura 22. Área ocupada por pastagens no Brasil, segundo levantamento realizado pela FUNCATE (2002).....	45
Figura 23. Área ocupada por pastagens, conforme a divisão municipal – IBGE (2006).....	47
Figura 24. Área ocupada por pastagens nas macrorregiões brasileiras, segundo diferentes levantamentos – PROBIO e FUNCATE (2002) e IBGE (2006).....	48
Figura 25. Área média municipal ocupada por pastagens, conforme os dados PROBIO (2002), FUNCATE (2002) e IBGE (2006).....	51
Figura 26. Valores de coeficientes de variação associados às áreas médias de pastagens - PROBIO (2002), FUNCATE (2002) e IBGE (2006) - nos municípios brasileiros.....	52
Figura 27. Mapas da ocupação do Brasil por pastagens naturais, segundo os censos agropecuários de 1970 a 2006.....	64
Figura 28. Área cultivada com espécies florestais também usadas para lavouras e pastejo de animais – 2006 Fonte: IBGE (2012).....	66
Figura 29. Mapas da ocupação do Brasil por pastagens plantadas, segundo os Censos Agropecuários de 1970 a 2006.....	68
Figura 30. Área de forragem de corte para cada cabeça de bovino (ha/cab.).....	70
Figura 31. Percentual da área de pastagem plantada considerada degradada – 2006.....	72
Figura 32. Mapas da ocupação por bovinos no Brasil, segundo os censos agropecuários de 1975 a 2006.....	73
Figura 33. Distribuição das pastagens plantadas e naturais no Brasil – 2006. Fonte: IBGE (2012).....	74
Figura 34. Zonas de pastejo do Brasil delimitadas com base no histórico e na situação em 2006.....	75
Figura 35. Área ocupada por pastagens cultivadas, conforme os limites municipais – PROBIO (2002).....	77
Figura 36. % de cobertura de pastagens (PROBIO 2002) em relação à área municipal.....	79
Figura 37. Distribuição municipal do rebanho bovino brasileiro – IBGE (2006).....	81
Figura 38. Área ocupada por lavouras temporárias por municípios do Brasil – IBGE (2006).....	83
Figura 39. Abate de bovinos por municípios do Brasil – IBGE (2012).....	85
Figura 40. Produção leiteira por município – IBGE (2012).....	86
Figura 41. Abate de bovinos por estado do Brasil (2012) – <i>Informa Economics FNP</i> (2014).....	88
Figura 42. Produção leiteira por estado do Brasil (2012) – <i>Informa Economics FNP</i> (2014).....	89
Figura 43. Abate de bovinos (cabeça) e Produção de leite por estado da federação, Brasil - <i>Informa Economics FNP</i> (2014).....	91
Figura 44. Produção de carne bovina e exportação de carne bovina <i>in natura</i> por estado da federação, Brasil - <i>Informa Economics FNP</i> (2014).....	92

Figura 45. Produtividade pecuária dos municípios do Brasil, conforme área média de pastagem, rebanho bovino, produtividade leiteira, número de vacas ordenhadas e número de abates.....	93
Figura 46. Localização de matadouros e/ou frigoríficos em zona de Baixa Produtividade Pecuária.....	97
Figura 47. Localização dos 259 matadouros e/ou frigoríficos no Brasil (cadastrados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA).....	98
Figura 48. Investimentos do Plano ABC em 2013 (recuperação de pastagens) por municípios do Brasil.....	101
Figura 49. Expansão das pastagens, entre 2002 e 2010, na Amazônia Legal e Bioma Cerrado. Dados Síntese gerados a partir do PROBIO (2002) para os Biomas Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, FUNCATE (2010) para o Bioma Cerrado e TerraClass (2010) para a Amazônia Legal.....	103
Figura 50. Área ocupada por pastagens (dado síntese: PROBIO 2002, FUNCATE 2010 e TerraClass 2010) em relação à distribuição de terras indígenas e Unidades de Conservação.....	104
Figura 51. Distribuição das áreas de pastos no Brasil em relação às classes de declividades.....	106
Figura 52. Distribuição das áreas ocupadas por pastagens no Brasil por classe de declividade.....	107
Figura 53. Distribuição das áreas de pastagens nos diferentes biomas Brasileiros, conforme as classes de declividades principais.....	109
Figura 54. Distribuição relativa das áreas ocupadas por pastagens nos Biomas brasileiros.....	110
Figura 55. Distribuição das pastagens nos biomas brasileiros (km ²), conforme classes de declividade.....	111
Figura 56. Distribuição das pastagens em áreas de interesse e alta produtividade pecuária, segundo classes de declividades.....	112
Figura 57. Distribuição da quantidade de focos de calor anual sobre as áreas de pastagens e a sua proporção (%) em relação ao total detectado no Brasil (entre 2000 a 2013).....	113
Figura 58. Densidade de focos de calor total (2000 a 2013) sobre as áreas de pastagens no Brasil (fragmentos).....	115
Figura 59. Densidade de focos de calor total (2000 a 2013) sobre as áreas de pastagens no Brasil (municípios).....	116
Figura 60. – Distribuição da quantidade média de focos de calor por fragmento de pastagem (A) e densidade de focos por hectare (B) (entre 2000 a 2013).....	118
Figura 61. Composição colorida RGB / PC1, PC2 e PC3, onde diferentes tons indicam o respectivo vigor vegetativo e respostas sazonais (a) e distribuição dos pesos dos auto-vetores (b) (curvas tracejadas --> imagens componentes principais de precipitação).....	121
Figura 62. Evapotranspiração (mm) média mensal (14 anos) para áreas de pastagens na bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - Goiás, dados de referência), pastagens de 175 propriedades certificadas pela Aliança da Terra e pastagens localizadas nos 24 municípios situados no âmbito do chamado <i>Rally</i> da Pecuária 2013 (detentores de aproximadamente 75% do rebanho bovino nacional).....	122

Figura 63. Imagens de evapotranspiração média (14 anos) acumulada durante o período de crescimento vegetativo (indicativa do vigor vegetativo) e senescência (indicativa da resistência à seca).....	123
Figura 64. Distribuições de frequência da evapotranspiração normalizada acumulada (médias mensais) durante a estação chuvosa (período de crescimento vegetativo) para os biomas Brasileiros. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada (novembro a junho) para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência).....	124
Figura 65. Distribuições de frequência da evapotranspiração normalizada acumulada (médias mensais) durante a estação seca (período de senescência) para os biomas Brasileiros. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada (julho a outubro) para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência).....	124
Figura 66. Distribuições de frequência da evapotranspiração acumulada (médias mensais) durante as estações chuvosa (período de crescimento vegetativo) e seca (senescência) para as áreas de pastagens dos 24 municípios visitados pelo <i>Rally</i> da Pecuária. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência) durante os dois períodos considerados.....	125
Figura 67. Taxa de rebrota média (2000 a 2013) para as pastagens do Brasil (conforme o mapa PROBIO 2002).....	127
Figura 68. Taxa de senescência média (2000 a 2012) para as pastagens do Brasil (conforme o mapa PROBIO 2002).....	128
Figura 69. Produtividade primária líquida (NPP), b) taxa de rebrota, c) taxa de senescência média para as amostras do PAVAN, do Arco do Desmatamento, Cerrado e <i>Rally</i> da Pecuária, d) média de 14 anos da taxa de rebrota, senescência e NPP.....	130
Figura 70. Classes de produtividade primária líquida (NPP) das pastagens cultivadas localizadas no Mato Grosso, no Arco do Desmatamento e no bioma Cerrado.....	133

Equipe Técnico-Científica

Membro	Responsabilidades	Vínculo Institucional	Bolsista (SAE/PR)	
Docentes	Laerte G. Ferreira	Coordenação geral & concepção do projeto; desenvolvimento de métricas de qualidade e análise dos dados.	(LAPIG - IESA - UFG)	Não
	Elaine B. Silva	Análise de dados históricos de pastagens	(LAPIG - IESA - UFG)	Sim
	Jorge B. Silva	Levantamento de dados em campo & desenvolvimento de métricas de qualidade	(UFU)	Não
	Manuel E. Ferreira	Coordenação atividades de campo & PAVAN (<i>Pasture validation network</i>)	(LAPIG - IESA - UFG)	Sim
	Pablo S. Santos	Análise de parâmetros biofísicos; classificação de imagens	(UFOB)	Não
	Cláudia V. de Lima	Interpretação de imagens de satélite	(LAPIG - IESA - UFG)	Sim
	Pedro Alves Vieira	Levantamento de dados em campo	(UEG)	Não
Pós-graduandos	Arielle E. Arantes	Apoio à coordenação do projeto; organização de bases de dados <i>raster</i> (imagens para todo o Brasil), análise de séries temporais	Mestre em Geografia (UFG)	Sim
	Silvio B. Sousa	Apoio à coordenação do projeto; organização e análise de bases vetoriais e censitárias; apoio à organização do portal <i>pastagem.org</i>	Doutorando em Geografia (UFG)	Sim
	Antônio dos Anjos	Análise de dados históricos de pastagens	Doutorando em Geografia (UFG)	Não
	Bernard S. Oliveira	Desenvolvimento de <i>scripts</i> ; processamento de dados <i>raster</i>	Mestrando em Geografia (UFG)	Sim
	Fernando M. Araújo	Análise & modelagem de queimadas em áreas de pastagens	Doutorando em Ciências Ambientais (UFG)	Não
	Gabriel Veloso	Interpretação de imagens de satélite	Doutorando em Geografia (UFG)	Sim
	Anna C. dos Santos	Interpretação de imagens de satélite	Mestre em Ecologia (UFRN)	Sim
	Leomar R. Alves Jr.	Levantamento de dados em campo	Mestrando Geografia (UFG)	Sim
Alunos de graduação	Daniel Soares	Compilação & caracterização PAVAN (<i>Pasture Validation Network</i>)	Bacharelado em Geografia (UFG)	Não
	Gabriella Garcia	Organização de base de dados de queimadas em áreas de pastagens	Bacharelado em Ciências Ambientais (UFG)	Sim
	Leonardo Nogueira	Apoio às atividades de campo	Bacharelado em Ciências Ambientais (IESA - UFG)	Não
	Sergio Nogueira	Compilação & caracterização PAVAN (<i>Pasture Validation Network</i>)	Bacharelado em Ciências Ambientais (IESA - UFG)	Sim
Apoio Técnico / pesquisadores CNPq - DTI	Adriano S. de Faria	Interpretação de imagens de satélite	Tecnólogo em Gestão Ambiental	Sim
	Janete R. Silva	Organização de bases de dados & portal	Geógrafa	Não
	Leandro L. Parente	Desenvolvimento de plataforma de dados e do portal <i>pastagem.org</i>	Cientista da Computação	Sim
	Roberto Paiva	Apoio computacional	Cientista da Computação	Sim
	Wanessa C. Silva	Organização do portal <i>pastagem.org</i>	Cientista Ambiental	Sim

SUMÁRIO EXECUTIVO

O setor agrícola desempenha um papel de fundamental importância na economia brasileira, respondendo por aproximadamente 25% do PIB e 30% da ocupação do território. A conversão de terras em larga-escala resultou em severa fragmentação dos ecossistemas e na baixa lotação e produtividade das pastagens. Estima-se que a degradação afete ao menos 30% dos 190 milhões de hectares de pastagens cultivadas, com significativos impactos nas emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, e como vários estudos demonstram, um uso mais eficiente das áreas de pastagens é crítico para o país alcançar suas metas de redução das emissões, ao mesmo tempo que reduzir a perda de *habitats*, alavancar a produção de alimentos e exportação de *commodities* e se adaptar às mudanças climáticas.

Em sintonia com estas evidências, em 2010, o governo federal criou o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), através do qual, crédito subsidiado tem sido disponibilizado para recuperação de pastagens. Apesar do enorme potencial do Plano ABC para impactar positivamente o agronegócio Brasileiro e a sustentabilidade agrícola, até o momento, a capacidade de medir e monitorar estes impactos tem sido bastante limitada. As informações sobre a extensão e condições das pastagens são dispersas, pouco detalhadas e desatualizadas. Os resultados do Plano ABC também têm sido afetados pela falta de estratégias e prioridades, especialmente explícitas, quanto à alocação de recursos.

O interesse do Governo Federal nesta agenda é grande e premente. Neste sentido, a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), através da sua Sub-secretaria de Desenvolvimento Sustentável, firmou parceria com o Laboratório de Processamento de Imagens da Universidade Federal de Goiás com vistas ao desenvolvimento do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, cujos resultados, de caráter exploratório, são apresentados neste relatório. Estes resultados, disponibilizados de forma pública e acessível através do portal *pastagem.org*, ao mesmo tempo que indicam a preocupante lacuna (e inconsistência) das informações cartográficas e o predomínio de práticas de manejo ambientalmente pouco sustentáveis, também confirmam o enorme potencial das imagens de sensoriamento remoto quanto ao monitoramento das condições das pastagens brasileiras, especialmente no que diz respeito às estimativas de fluxos de carbono e energia. Entre os vários desdobramentos e perspectivas de continuidade do projeto que ora se encerra, destacamos o apoio da *Gordon and Betty Moore Foundation*, que recentemente aprovou a proposta *Spatial metrics and baselines of degradation patterns and provision of ecosystem services by pastures in Brazil*.

Palavras-chaves: Pastagens. Qualidade de pastagens. Intensificação da Pecuária. Plano ABC.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
LISTA DE SIGLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
Equipe Técnico-Científica.....	9
SUMÁRIO EXECUTIVO.....	10
SUMÁRIO	11
INTRODUÇÃO	12
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
2. Dados Utilizados	14
2.1.1 Bases cartográficas das Pastagens no Brasil: PROBIO e FUNCATE	14
2.1.2 <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)</i>	15
2.1.3 Focos de Calor.....	18
2.1.4 Dados Estatísticos e Censitários	21
2.1.5 <i>Pasture Validation Network</i>	22
2.2 Processamento Digital de Imagens – Métricas Fenológicas	24
2.2.1 Produto MODIS MOD13Q1 – Índice de Vegetação.....	24
2.2.2 Produto MODIS MOD16A2 – Evapotranspiração	34
2.2.3 Dados SRTM – Modelo digital de elevação e declividades das pastagens do Brasil	36
2.3 Disponibilização de bases de dados.....	38
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
3.1 Bases vetoriais e mapeamentos das áreas de pastagens do Brasil	43
3.2 Reflexões sobre a pecuária no Brasil	53
3.2.1 Histórico da atividade pecuária.....	53
3.2.2 Estatísticas e padrões espaciais.....	76
3.2.3 Modelagem e estimativa dos tipos de relevo das pastagens brasileiras.....	105
3.2.4 Queimadas em áreas de pastagens.....	109
3.3 Fluxos de água e energia das pastagens Brasileiras	119
3.4 Aplicação de métricas fenológicas às pastagens do Brasil.....	125
3.5 Produtividade das pastagens do Mato Grosso, bioma Cerrado e Arco do Desmatamento	131
4. Considerações & Recomendações	134
Referências Bibliográficas	136
APÊNDICES.....	142

O setor agrícola desempenha um papel fundamental na economia Brasileira, respondendo por aproximadamente 25% do produto interno bruto (incluindo toda a cadeia do agronegócio) e ocupando cerca de 30% do seu território. A maciça e rápida conversão de terras resultou em importantes fragmentações e perdas de *habitats* e em uma pecuária de baixa produtividade (~ 1.1 cabeças / hectare) (Hansen et al., 2013; Lapola et al., 2013). Além da baixa eficiência da ocupação bovina, estima-se que entre 27%¹ e 42% do total dos 190 milhões de hectares de pastagens cultivadas estejam degradadas (Silva et al., 2013), o que tem um impacto direto e significativo nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) (Bustamante et al., 2012).

Por outro lado, e de acordo com resultados preliminares de um estudo apoiado pela *Climate and Land-Use Alliance* (CLUA), enquanto pastagens degradadas emitem entorno de quatro toneladas de CO₂ equivalente, o carbono fixado no solo em uma pastagem restaurada corresponde à cerca de 3,6 toneladas de CO₂ equivalente, uma quantidade capaz de neutralizar as emissões de metano de três cabeças de gado². Considerando que ao menos 80% dos desmatamentos recentes resultaram em pastagens, a intensificação da pecuária, ao limitar novos desmatamentos (em um contexto de maior e melhor governança e fiscalização), pode contribuir de forma substancial para a mitigação global de GEE. O uso semi-intensivo das pastagens pode também gerar uma oferta de terras, a baixo-custo, para outros usos. Em fato, em função da crescente vulnerabilidade da agricultura Brasileira à variabilidade e mudanças climáticas, a substituição (já em curso) de pastagens por grãos e cana-de-açúcar pode vir a ser potencialmente compensada por uma pecuária de maior produtividade (Assad et al., 2013; Lambin et al., 2013; Cohn et al., 2014).

Dentro deste contexto, em 2010, o governo federal criou o Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), o qual, entre outras metas, tem disponibilizado crédito subsidiado para a restauração de pastagens. Em que pese o seu enorme potencial para causar um impacto positivo no agronegócio Brasileiro, até o momento, os resultados do Plano ABC ainda são modestos. De acordo com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE), além da falta de um *baseline* para verificação dos

¹ Estimativas baseadas no Censo Agropecuário IBGE 2006 (Eduardo Assad, comunicação pessoal).

² Eduardo Assad, comunicação pessoal.

resultados, a maior parte dos investimentos tem ocorrido de forma dispersa, sem priorizar concentrações de pastagens ou rebanhos.

Considerando que a localização mais precisa e uma melhor caracterização das áreas de pasto perfazem uma necessidade evidente e imprescindível no norteamento de políticas públicas que afetam o setor agropecuário, ao mesmo tempo que reconhecendo o potencial dos dados e ferramentas de sensoriamento remoto, em janeiro de 2014, a partir da parceria entre a Sub-Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SSDS-SAE) e o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG – UFG), teve início o projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, cujos métodos e resultados são apresentados neste relatório. Especificamente, através da parceria entre a SSDS-SAE e o LAPIG-UFG, as seguintes metas foram priorizadas: 1) *Levantamento, com base em mapeamentos existentes e dados censitários, das áreas de pasto no Brasil*; 2) *Espacialização, em base municipal e para todo o país, de atributos socioeconômicos relacionados à atividade pecuária*; 3) *Análise de padrões (espaciais e temporais) biofísicos*; 4) *Desenvolvimento e avaliação de métricas capazes de qualificar as áreas de pasto*; 5) *Organização, filtragem, transformação e análise de séries temporais (dados satelitários índices de vegetação e evapotranspiração)*.

2. Dados Utilizados

2.1.1 Bases cartográficas das Pastagens no Brasil: PROBIO e FUNCATE

O Brasil, um país de dimensões continentais, ainda possui graves lacunas quanto ao seu recobrimento cartográfico, sendo nítida a necessidade de bases e produtos cartográficos para promover uma melhor planificação do espaço brasileiro. O déficit de dados abrange vários temas, tais como solos, geologia, infraestrutura e principalmente cobertura e uso da terra. Além do problema de acesso e disponibilização de dados, temos também o problema das escalas de mapeamento, em geral pequenas, isto é 1:1.000.000 até 1:250.000, o que, do ponto de vista cartográfico, pode inviabilizar uma série de aplicações que necessitam de detalhe, geralmente em nível local e regional.

Nos dias atuais é possível espacializar as pastagens do Brasil utilizando dados **vetoriais**, os quais são resultado do emprego de técnicas de geoprocessamento, e dados **alfanuméricos**, que são resultados de levantamentos estatísticos realizados por pesquisas de campo e amostragens, em geral sob a responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados vetoriais são resultado da interpretação de imagens de satélite tanto por algoritmos classificadores, quanto por analistas visuais e constituem-se um modelo da realidade. Todavia, sabe-se que por mais complexo que seja esse modelo, ele ainda se constitui uma analogia da realidade. Os dados censitários, por sua vez, estão limitados justamente na questão espacial, sendo disponibilizados para um recorte pré-estabelecido, normalmente jurídico-político, como o município.

Para a construção do banco de dados do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, foram pesquisados todos os dados existentes e capazes de contribuir para a construção do cenário das pastagens no território nacional. Especificamente em relação aos dados vetoriais, priorizamos as seguintes fontes:

- A. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO – 2002.
 - Mapa de cobertura e uso da terra para o Brasil, escala 1:250.000. formato vetorial (.shp)
- B. Mapa Nacional de Densidade de Carbono em Fisionomias Florestais e de Carbono Retido no Solo - FUNCATE/MCT/PNUD.

- Mapa de cobertura e uso da terra, escala 1:250.000 - Brasil. formato vetorial (.shp)

Vetores (formato vetorial) são abstrações gráficas em forma de ponto, linha ou polígono e são utilizados para representar a forma, localização e distribuição de objetos no mundo real (Fitz, 2008). A estrutura vetorial é sem dúvidas, um dos principais formatos para dados de entrada em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), tendo-se popularizado bastante no formato *Shapefile* (.shp).

Os dados oriundos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, 2002, e os dados do Mapa Nacional de Densidade de Carbono em Fisionomias Florestais e de Carbono Retido no Solo - FUNCATE/MCT/PNUD, constituem-se arquivos vetoriais e foram construídos por meio da interpretação e classificação de imagens Landsat 7 ETM+. Ambos informam a distribuição contínua das classes de cobertura e uso da terra para todo o país em escala 1:250.000 (regionalizadas por biomas).

Ainda que o recorte temporal e a fonte primária dos dados (i.e. imagens Landsat ETM+, 2002) sejam idênticos, pressupõe-se que há diferença entre as duas fontes (i.e. PROBIO e FUNCATE) quanto ao tamanho da área ocupada por pastagens no Brasil e sua posição. Tais diferenças à metodologia de manipulação e interpretação das imagens, bastante subjetivo em função do componente humano.

2.1.2 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

O sensor MODIS, abordo dos satélites TERRA e AQUA, lançados em 2000 e 2002, têm 36 bandas espectrais nos intervalos do visível ao infravermelho médio, 250 m, 500 m e 1 km de resolução espacial e um período de revisita de dois dias. As imagens são disponibilizadas gratuitamente na forma de produtos e são corrigidas para efeitos atmosféricos, georreferenciadas e convertidas para valores de reflectância. Os produtos MODIS são *composites* gerados pela seleção da melhor observação *pixel a pixel*, i.e. com menor contaminação atmosférica e menor ângulo de visada, durante o período de 16 dias. Os produtos utilizados neste trabalho foram o MOD13Q1 (índice de vegetação) e o MOD16A2 (evapotranspiração).

O produto MOD13Q1 índice de vegetação tem doze bandas espectrais, com dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e uma imagem de confiabilidade denominada de *Pixel Reliability*, a qual indica, *pixel a pixel*, e conforme quatro categorias, a qualidade das

imagens índice de vegetação. O produto MOD16A2, que compreende imagens de evapotranspiração (ET) e evapotranspiração potencial (PET), possui resolução espacial de 1 km, com disponibilização a cada 8-dias, mensal e anual. As estimativas de evapotranspiração se baseiam na equação de Penman-Monteith (MU et al., 2011) e nos seguintes dados de entrada: cobertura da terra da Coleção 4 (MCD12Q1), albedo (MOD43C1), índice de área foliar (MOD15A2), índice de vegetação realçado (MOD13Q1) e dados meteorológicos diários do *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO) da NASA. As imagens do produto MOD13Q1 e MOD16A2 são disponibilizadas por cenas (*tiles*), sendo necessárias 17 cenas para cobrir todo o Brasil (Figura 1).

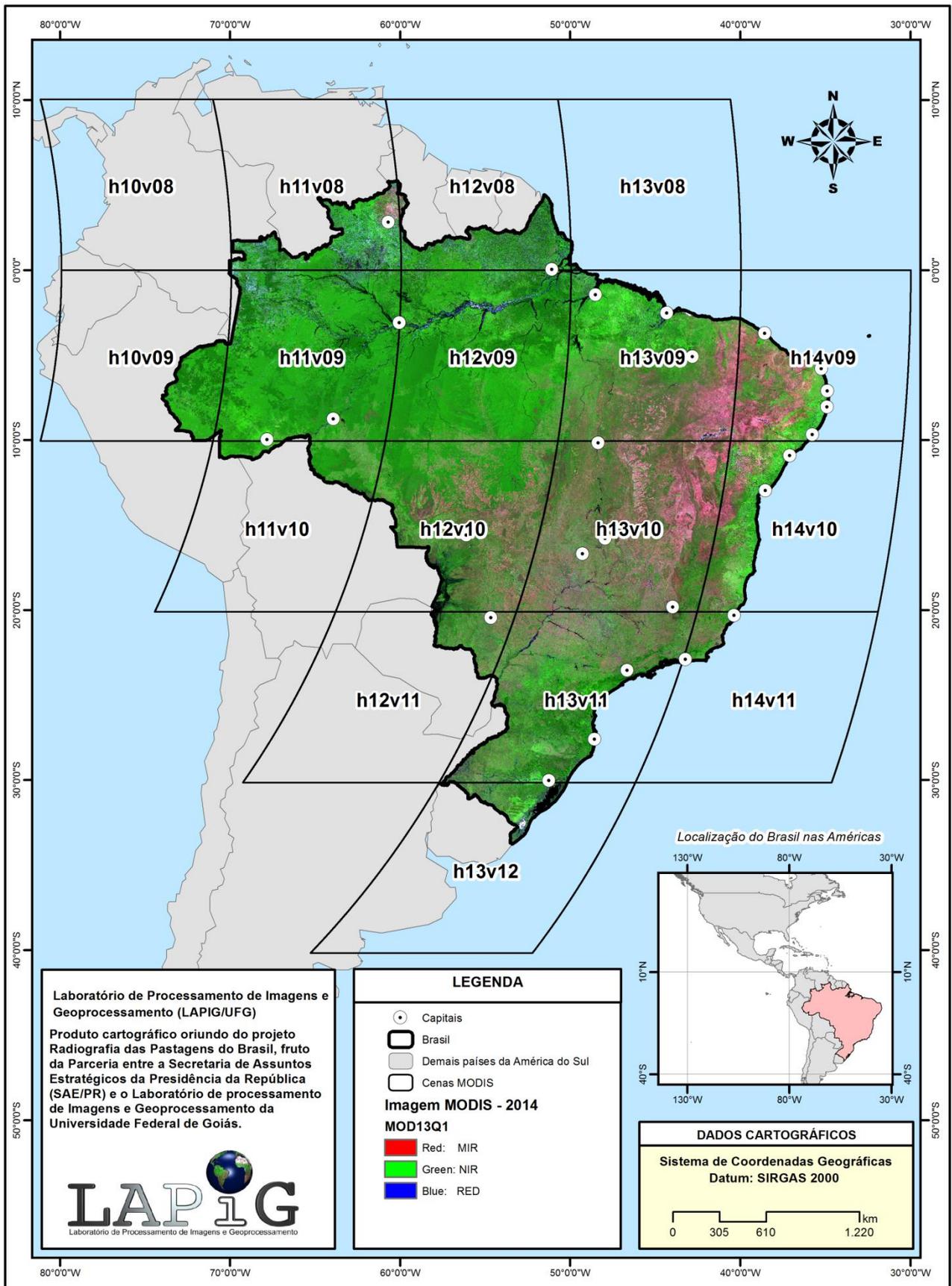


Figura 1 – Cenas MODIS utilizadas para a geração das imagens EVI2 (índice de vegetação realçado de duas bandas) e análise de evapotranspiração para o todo o Brasil.

2.1.3 Focos de Calor

No Brasil, a prática de manejo sobre as áreas de pastagens é baixa ou inexistente para considerável proporção de sua extensão territorial, o que se reflete na baixa lotação bovina (i.e. aprox. 1 cabeça por hectare) (Ferreira et al., 2013) e na utilização do fogo para limpeza e renovação de pastos (Coutinho, 1990). As queimadas se intensificam no final da estação seca (setembro) quando o estrato herbáceo-subarbustivo encontra-se bastante inflamável (Ramos-Neto e Pivello, 2000). Em fato, é este o regime de queima com maior impacto, pois nesse período temos o padrão fenológico da vegetação voltado para a renovação das copas e reprodução (Oliveira, 1998; Dias e Miranda, 2010). A alta densidade das pastagens, sobretudo as invasoras invasivas (*Brachiaria sp.*, *melinis minutiflora* – capim gordura, etc.), contribuem para o aumento da frequência das queimadas e de grandes incêndios (Miranda et al., 2002; Beckage et al., 2009), sendo que a vegetação do estrato herbáceo representa mais de 90% do combustível durante as queimadas (Miranda et al., 2004).

Para a análise dos padrões de distribuição dos focos de calor (anomalias termais), sobre áreas de pastagens cultivadas para o território brasileiro entre 2000 a 2013, utilizou-se os focos de calor provenientes de 28 produtos satelitários disponibilizados pela plataforma digital do Banco de Queimadas (BDqueimadas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) 12, 15 a 19 – manhã e tarde; 14 - noite, *Global Online Enrollment System* (GOES) 8 – noite; 10 a 13 – todos, AQUA e AQUA UMD (manhã e tarde), TERRA e TERRA UMD (manhã e tarde), METEOSAT 02 (todos), *National Polar Orbiting Partnership* (NPP NASA), ASTR ESA e *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM NASA) (INPE, 2014).

Atualmente, o satélite de referência utilizado pelo BD queimadas é o AQUA (manhã e tarde), pois fornece consistência temporal em relação ao satélite de referência anterior (i.e. horário de passagem no Equador semelhante), NOAA 12 (i.e. desde 1999 a ago. 2007). A resolução temporal é diária, enquanto a resolução espacial é variável, sendo de 1 km para os satélites de órbitas polares e de 4 km para os satélites geoestacionários (METEOSAT e GOES). Para a detecção das anomalias termais são utilizadas as bandas termais-médias centradas nos canais de 3,7 μm e 4,1 μm do espectro óptico (Justice et al., 2006; Rivera-Lombardi, 2009). Para essa análise foram considerados todos os focos de calor disponibilizados anualmente para cada produto

supracitado e coincidentes com os polígonos de pastagens (PROBIO) com área maior ou igual a 50 hectares, em relação aos quais procedeu-se ao cálculo da densidade de focos por ha de pastagem cultivada:

$$Densidade\ de\ Focos\ de\ calor = \frac{Qtde.\ Focos\ de\ calor}{\acute{a}rea\ do\ fragmento\ de\ pastagem\ (ha)} \quad (1)$$

Em particular, as análises de densidade de focos de calor concentraram-se nos polígonos do PAVAN (*Pasture Validation Network* / ver seção 2.1.5), nas áreas de pastagens encontradas nos 24 municípios (em nove estados) situados ao longo da rota do *Rally* da Pecuária (i.e. expedição técnico privada com foco na avaliação das condições da bovinocultura nas principais regiões produtoras, as quais concentram aproximadamente 75% do rebanho nacional), nas pastagens dos 20 municípios com os maiores investimentos do Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono / recuperação de pastagens degradadas – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA) e nas áreas de pastagens distribuídas na totalidade do Arco do Desmatamento da Amazônia (Figura 2).

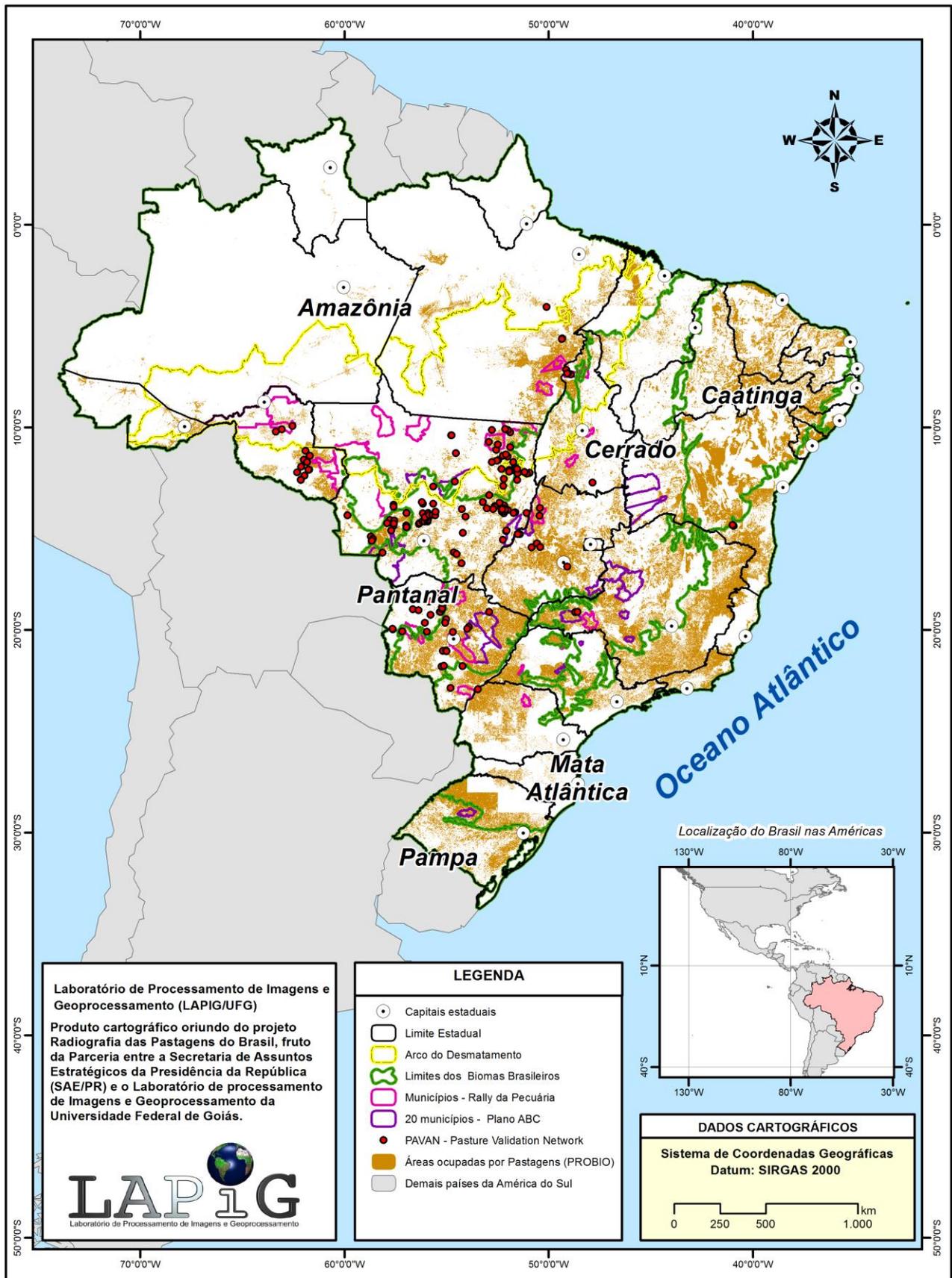


Figura 2 – Localização das regiões geográficas utilizadas para a análise de densidade de focos de calor a nível local para as áreas de pastagens do Brasil.

A figura 3 mostra todo o procedimento metodológico envolvido nesta análise, incluindo a aquisição, amostragem e processamento dos dados (focos de calor) sobre as áreas de pastagens a nível regional (biomas) e local (municípios) no território brasileiro.

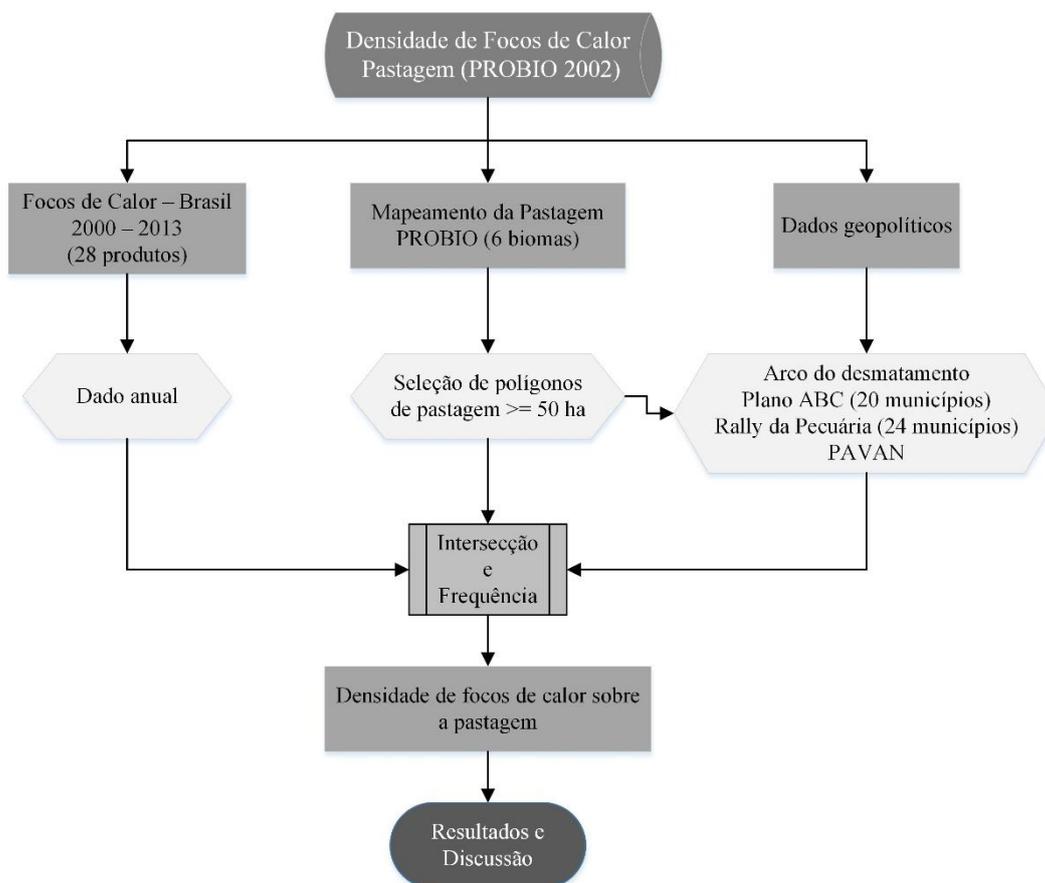


Figura 3 – Fluxograma esquemático dos principais passos e abordagens realizados na análise de densidade de focos de calor sobre as áreas de pastagens cultivadas no Brasil (polígonos PROBIO > 50 ha).

2.1.4 Dados Estatísticos e Censitários

Este trabalho tem a característica de combinar dados espaciais e de sensoriamento remoto à dados estatísticos e censitários, com vistas à uma modelagem mais efetiva, a partir de múltiplas fontes e escalas de análise, do cenário das pastagens no Brasil.

Os dados estatísticos e censitários foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio de seu Banco de Dados Agregados – Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) - <http://www.sidra.ibge.gov.br>. A partir do SIDRA foram recuperados dados do Censo Agropecuário 2006 e da Pesquisa Pecuária Municipal 2012. Foram colhidos dados para todos os municípios do Brasil, abrangendo

os seguintes temas: cobertura de pastagens, rebanho bovino, abate bovino, produção de leite e lavouras temporárias e permanentes.

Para a montagem de um panorama histórico das pastagens e do rebanho bovino no Brasil, também foram utilizados dados estatísticos do IBGE, porém, adquiridos através do portal do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA / <http://www.ipeadata.gov.br>). Por meio destes dados estatísticos, foi possível construir uma série temporal com os seguintes recortes 1970; 1975; 1980; 1985; 1995 e 2006 para as pastagens naturais e cultivadas, e de 1974 a 2007 (periodicidade anual) para o rebanho bovino municipal.

Dados obtidos através da Secretária de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), quanto à liberação de créditos do Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), foram espacializados para todo o Brasil, tendo como unidade de análise o município. Por fim, também foram considerados os dados de produção leiteira, abate e rebanho bovino (em nível estadual), obtidos através do AnualPEC - *Informa Economics FNP* (<http://www.anualpec.com.br>).

2.1.5 Pasture Validation Network (PAVAN)

A rede de validação de pastagens (identificada pela sigla PAVAN - *Pasture Validation Network*) foi estabelecida no ano de 2014, no escopo deste projeto, visando reunir uma extensa e atualizável rede *on-line* de localidades (coordenadas geográficas) para todo o Brasil, caracterizadas *in loco* como pastagens, com acesso irrestrito à comunidade técnico-científica.

Com a localização de representativas áreas de pasto espalhadas pelo país, alguns parâmetros como índice de vegetação, índice de área foliar, taxa de evapotranspiração e presença de queimadas, por exemplo – dados em geral obtidos a partir de imagens de satélite (ex. dados Terra/MODIS) –, poderão ser acompanhados por meio de séries temporais, permitindo tanto a calibração e validação destas séries, quanto inferir sobre a criação, manutenção, forma de manejo ou suporte bovino/qualidade de uma determinada pastagem.

Instituições de ensino/pesquisa, empresas da área de geotecnologias e organizações não-governamentais vêm colaborando com a criação desta rede, através do repasse de coordenadas geográficas referentes a pastos bem formados, sempre que possível acompanhadas com informações obtidas em campo (ex. descrição física da

propriedade, lotação bovina, fotos, etc.), a citar as ONGs Aliança da Terra (www.aliancadaterra.org) e *World Wide Fund* (WWF Brasil) (www.wwf.org.br), a empresa Primegeo (www.primegeo.com.br), além do próprio Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG – UFG), a partir dos dados e informações levantadas nos trabalhos de campo realizados de forma sistemática.

Até o momento, já foram catalogados 216 pontos de pastagens³, especializados através da plataforma *on-line* do projeto “Radiografia das Pastagens do Brasil” – <http://pastagem.org>. Os pontos estão distribuídos pelos estados da Bahia (03), Goiás (13), Minas Gerais (02), Mato Grosso do Sul (49), Mato Grosso (123), Pará (03), Rondônia (18) e Tocantins (05), conforme disponibilização das instituições parceiras. A figura 4 ilustra esta etapa dos resultados.

Todos os dados exemplificados nas figuras 4 e 5 podem ser obtidos via *download* da referida plataforma de dados (mapa interativo - <http://pastagem.org/index.php/mapa-interativo>), com um simples comando/opção no *menu*, nos formatos *shapefile* e *raster* (imagens).

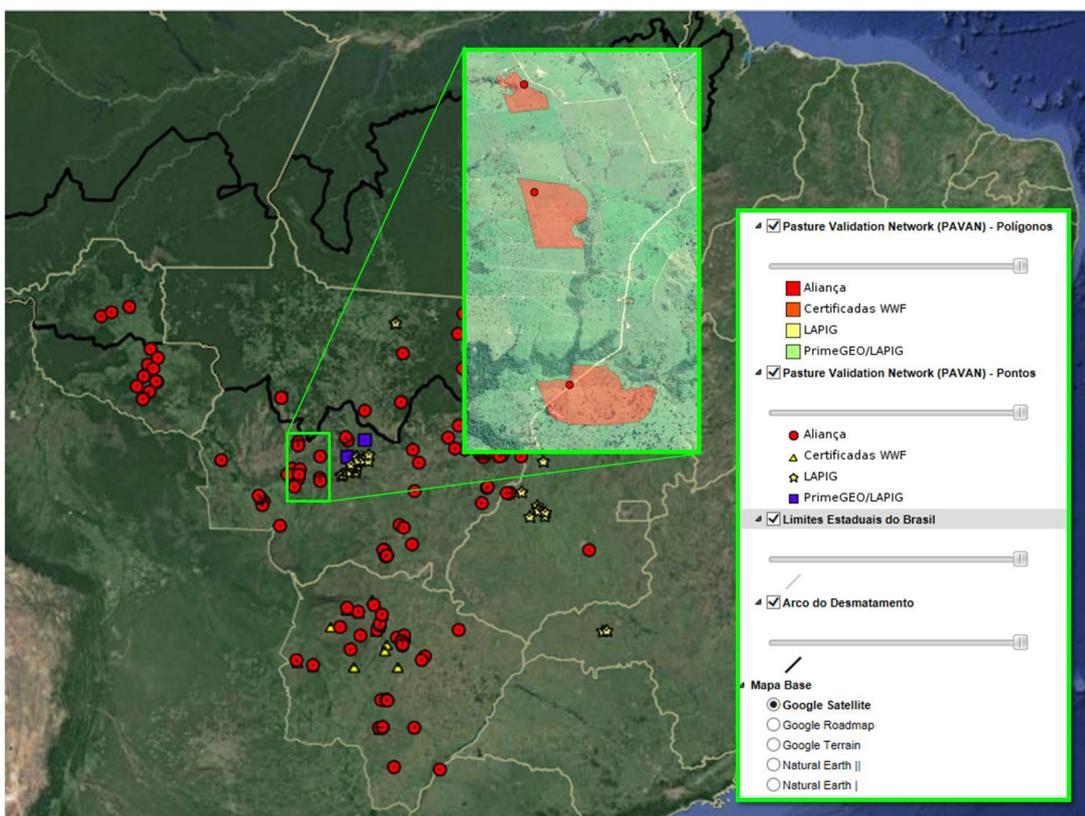


Figura 4: Distribuição dos pontos do PAVAN pelos estados brasileiros (até o momento, 216 pontos), com destaque para a elaboração dos polígonos de pastagem para cada um dos pontos.

³ No momento, 1188 novos pontos de pastagens estão sendo inspecionados para serem incorporados à base do PAVAN.

Mais especificamente sobre os tipos de pastagens encontradas na rede de pontos do PAVAN, a figura 5 ilustra, por meio de imagens de satélite com elevada resolução espacial (base *Google Earth*), a demarcação (poligonal) e as características de amostras de pastos distribuídos pelos estados supracitados; no somatório, os polígonos representam uma área de 30.353 hectares, com área média de 141 ha.

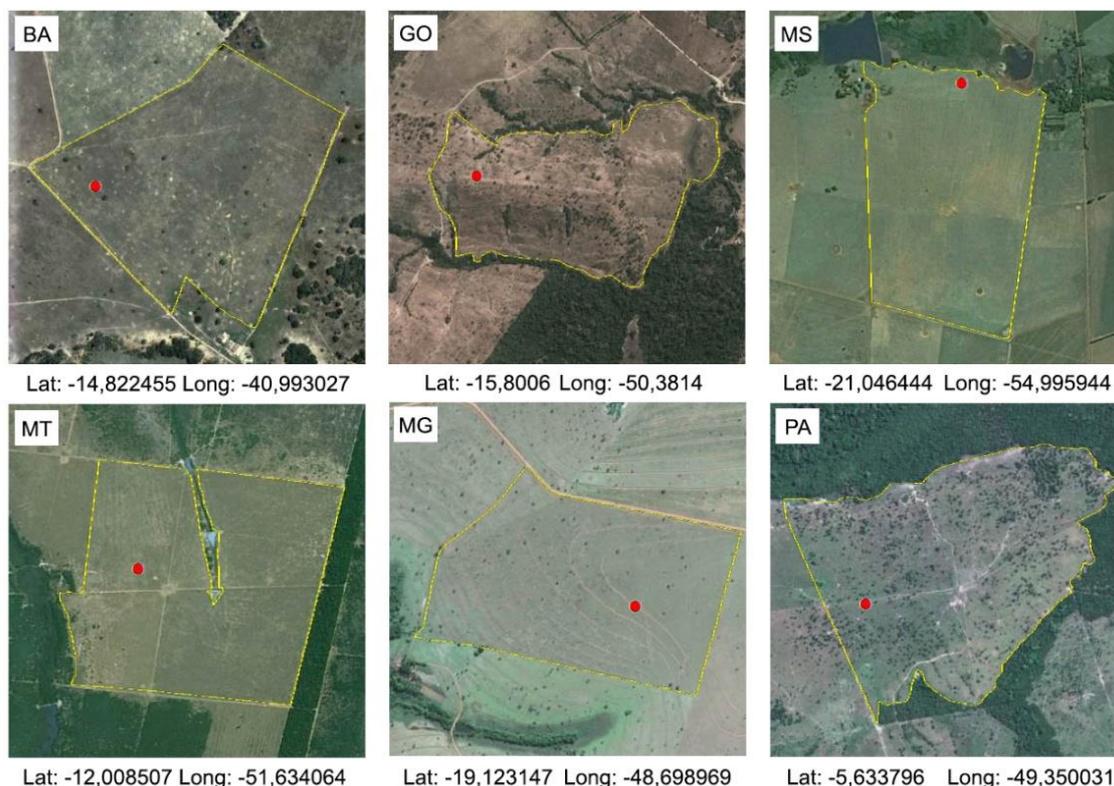


Figura 5: Exemplos de pastagens demarcadas nos principais estados pecuaristas do Brasil, a partir de pontos elencados no PAVAN (*Pasture Validation Network*) (pontos na cor vermelha), com as respectivas coordenadas abaixo de cada quadro.

2.2 Processamento Digital de Imagens – Métricas Fenológicas

2.2.1 Produto MODIS MOD13Q1 – Índice de Vegetação

Para a geração de métricas fenológicas foi necessário processar e organizar um grande acervo de imagens índice de vegetação do sensor MODIS para o período de 2000 a 2013. Para isso, as 17 cenas do produto MOD13Q1 ilustradas na figura 1 foram baixadas através do portal REVERB (<http://reverb.echo.nasa.gov>) anualmente (23 imagens por ano) para os 14 anos considerados em nossas análises (Figura 6). Posteriormente foi feito o mosaico e a reprojeção das cenas para cada data e para as bandas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e *Pixel Reliability* (Figura 6). No total foram gerados 957 mosaicos para o Brasil, sendo 319 mosaicos do vermelho, 319 do infravermelho próximo e 319 do *Pixel Reliability*.

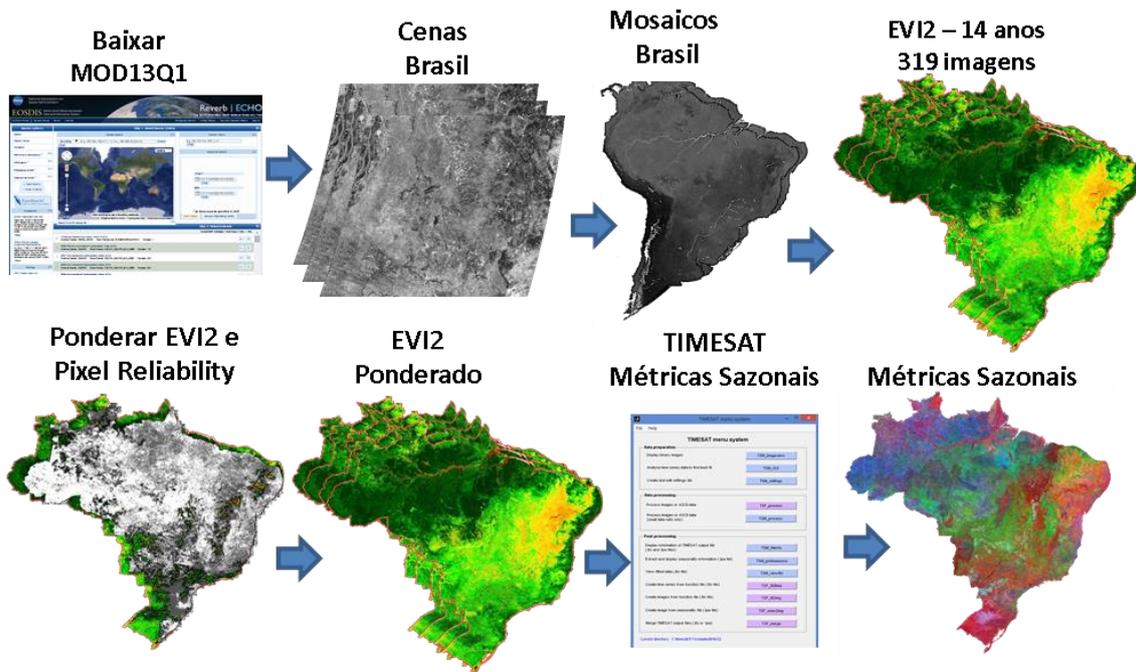


Figura 6: Fluxograma mostrando as etapas envolvidas no processamento das imagens EVI2 e geração das métricas sazonais.

Com o acervo de imagens MODIS, a próxima etapa constituiu na escolha do melhor índice de vegetação para a análise das pastagens do Brasil, o qual é gerado com o objetivo de realçar a cobertura vegetal fotossinteticamente ativa. Os principais índices utilizados pela comunidade científica são o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e o EVI2 (EVI de 2-bandas).

O NDVI, o mais conhecido dos índices, é calculado pela razão normalizada entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED), conforme a equação 2:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

Ao mesmo tempo que simples e amplamente utilizado, o NDVI sofre considerável influência do substrato (ex. tipo de solo, condições de umidade) e espalhamento atmosférico, além de saturar em regiões com elevada biomassa. Assim, e com vistas a reduzir o sinal de fundo, Huete (1988) propôs o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), cujo diferencial é um fator de ajuste do solo (L), definido a partir do ponto de convergência das isolinhas de vegetação (linhas com biomassa constante) com a linha do solo no espaço vermelho – infravermelho (Equação 3).

$$SAVI = (1 + L) \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \quad (3)$$

Ainda que o SAVI seja eficiente quanto à correção dos ruídos de fundo provenientes do sinal do solo, este, à semelhança do NDVI, satura em regiões de alta biomassa. Neste sentido, foi desenvolvido o EVI (Huete et al., 2002), cuja formulação (que considera os *feedbacks* entre a atmosfera e solo) buscou otimizar o sinal da vegetação e aumentar a sensibilidade em regiões com alta biomassa, além de melhorar o monitoramento da vegetação pela separação do sinal de fundo e redução das influências atmosféricas.

Enquanto o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, na fisionomia da planta e arquitetura do dossel, o NDVI é mais sensível à clorofila (Huete et al., 2002). Assim, o EVI, que também demonstra ser bem relacionado e sincronizado com as medidas de fotossíntese de torres de covariância, tem sido efetivo no monitoramento da vegetação, detecção de mudança e avaliação da variação sazonal de florestas (Deng et al., 2007).

O EVI, implementado no âmbito dos produtos MODIS, é calculado conforme a equação 4, sendo que no algoritmo MOD13Q1 (índice de vegetação MODIS) os valores dos coeficientes são $G = 2,5$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$ e $L = 1$:

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 RED + C_2 BLUE + L} \quad (4)$$

Onde:

NIR , RED e $BLUE$ = reflectâncias no infravermelho próximo, vermelho e azul corrigidas para efeitos de espalhamento *Rayleigh* e absorção de ozônio.

G = fator de ganho

C_1 e C_2 = coeficientes para o termo resistente a aerossol

L = fator de ajuste em relação ao substrato

O EVI2 foi desenvolvido por Jiang et al., (2008) para substituir o EVI em sensores sem a banda do azul (ex. AVHRR), apresentando uma vantagem em relação ao EVI, pois, segundo Wang et al., (2012), a banda do azul do MODIS apresenta sinais de degradação. Este índice também é adequado para dados de alta qualidade e sem efeitos

atmosféricos. Para o cálculo do EVI2 há dois métodos principais: 1) cálculo do índice de vegetação linear (LVI) otimizado, calibrado com o EVI; 2) Derivação direta da equação do EVI, tendo por referência a alta correlação entre as bandas do azul e do vermelho ($R^2 \sim 0,96$).

O LVI é calculado com base na análise de Jiang et al., (2008), no qual os índices de vegetação são funções dos ângulos espectrais relacionados às isolinhas de vegetação no espaço vermelho e infravermelho (Equação 5).

$$LVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + RED \tan\left(\frac{\pi}{4} + \beta\right) + \frac{L}{(1 - \tan\beta)}} \quad (5)$$

Onde:

NIR e RED = reflectâncias no infravermelho próximo e vermelho corrigidas para efeitos de espalhamento *Rayleigh* e absorção de ozônio.

G = fator de ganho

β = fator de ajuste linear

L = fator de ajuste ao substrato

Os parâmetros G , β e L são definidos com base na menor diferença média absoluta entre o EVI2 e o EVI. Com dados de 40 áreas de campo espalhadas pelo globo, Jiang et al., (2008) utilizaram-se de um algoritmo dicotômico para selecionar os valores ideais para os parâmetros G , β e L , sendo $G = 2,5$, $\beta = 22,38^\circ$ e $L = 0,59$. Quando estes valores são inseridos na equação 4 obtém-se o EVI2 (Equação 6).

$$EVI2 = 2,5 \frac{NIR - RED}{NIR + 2,4RED + 1} \quad (6)$$

Quanto ao cálculo do EVI2 diretamente a partir do EVI, este se justifica em função da pouca contribuição da banda do azul em condições de baixa concentração de aerossóis na atmosfera. Especificamente, e tendo por base a razão entre as bandas do vermelho e do azul, define-se o valor de c , sendo que para cada valor de c há um determinado valor do fator de ganho (G). O valor de c , que minimiza a diferença média absoluta entre EVI2 e EVI é 2,08, que corresponde ao $G = 2,5$, conforme a equação 7.

$$EVI2 = G \frac{NIR - RED}{NIR + RED \left(6 - \frac{7,5}{2,08}\right) + 1} = 2,5 \frac{NIR - RED}{NIR + 2,4RED + 1} \quad (7)$$

Especificamente no âmbito do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, a escolha do índice de vegetação a ser utilizado teve por base a comparação entre o NDVI, EVI e EVI2 para algumas áreas de pastagem. A correlação (R^2) observada entre o EVI e o EVI2 foi de 0,962, indicando uma relação linear forte entre os dois índices, ainda que inferior àquela obtida por Jiang et al., (2008) ($R^2 = 0,998$). Esta diferença se deve ao uso de dados com algumas observações ruins, comparativamente aos dados de Jiang et al., (2008) que utilizaram apenas dados com confiabilidade máxima. Conforme a figura 7, mesmo com alto R^2 , ainda permanecem alguns valores extremos com maior valor de EVI comparativamente ao EVI2.

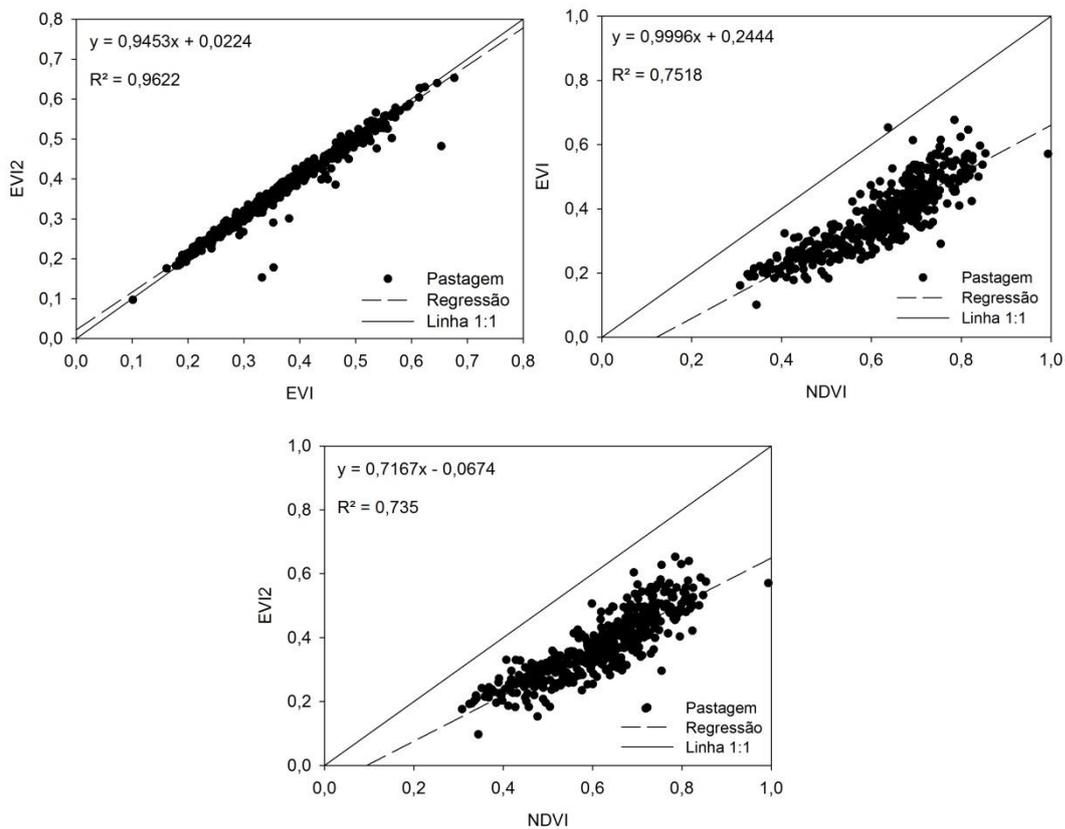


Figura 7: Regressão linear dos índices de vegetação NDVI, EVI e EVI2 para amostras de áreas de pastagens no bioma Cerrado.

Os valores do NDVI são sistematicamente maiores que os valores EVI e EVI2, sendo que a relação linear entre o NDVI e o EVI é menor do que entre o EVI e EVI2 ($R^2 = 0,751$), apresentando maior dispersão dos valores em torno da linha de regressão, particularmente para os valores de NDVI acima de 0,6 (Figura 7). O mesmo

comportamento é observado para o EVI2, mas com um R^2 ligeiramente menor (0,735) e menor dispersão dos valores em torno da linha de regressão. Como o EVI e EVI2 apresentam semelhanças e o EVI2 não utiliza a banda do azul, que já apresenta sinais de degradação, este foi escolhido como o índice a ser utilizado para geração das métricas fenológicas.

Para as próximas etapas foi calculado o EVI2 para todas as datas durante os 14 anos, conforme a equação 6. As 319 imagens EVI2 tiveram os valores dos *pixels* ponderados conforme a qualidade do *pixel* indicado pelas imagens de qualidade (*Pixel Reliability*) (Figura 6). Para os *pixels* de máxima qualidade (0) os valores da imagem EVI2 permaneceram os mesmos, para os *pixels* com qualidade intermediária (1) os valores da imagem EVI2 foram multiplicados por 0,5 e para os *pixels* com baixa qualidade (2 e 3) por 0,10. A figura 8 mostra a resposta do EVI2 e EVI2 ponderado para 15 amostras de pastagem sobre *pixels* de qualidade alta, intermediária e baixa para o Dia do Ano 193 (mês de Julho). As imagens EVI2 ponderadas foram recortadas para os seis biomas brasileiros (Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, Amazônia) e para o Arco do Desmatamento da Amazônia.

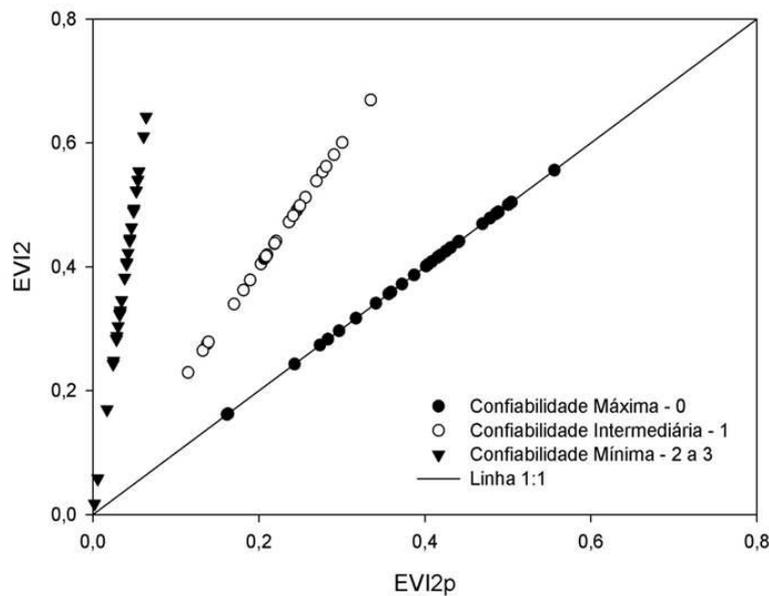


Figura 8: Distribuição dos valores EVI2 e EVI2 ponderado para amostras de pastagem sobre pixels de qualidade máxima, intermediária e mínima.

As imagens EVI2 ponderadas para cada bioma e Arco do Desmatamento da Amazônia foram suavizadas utilizando o filtro *Savitzky-Golay*, implementado no *software* TIMESAT. O filtro *Savitzky-Golay* é um filtro para suavizar dados e minimizar ruídos, sendo que o valor de cada *pixel* é substituído por uma combinação

linear de diferentes valores dentro de uma janela temporal (Jönsson e Eklundh, 2004). A largura da janela temporal determina o grau de suavização e a habilidade de detectar mudanças rápidas. O filtro *Savitzky-Golay* preserva a área e a posição média do valor máximo de cada estação, mas altera a espessura e a altura da curva sazonal. Este filtro é melhor para acompanhar o rápido aumento e a redução dos valores, mas não é adequado para séries temporais com muitos ruídos, o que pode resultar na determinação errada do final da primeira estação. Para se avaliar o impacto do filtro *Savitzky-Golay* sobre a informação original, procedeu-se à uma análise de sensibilidade a partir do uso de janelas temporais com diferentes larguras (i.e. observações anteriores e posteriores à um determinado ponto da série temporal) às imagens NDVI, EVI e EVI2 (Figuras 9 e 10).

Na figura 9, observa-se que a aplicação do filtro *Savitzky-Golay*, independente da largura da janela utilizada, eliminou muitos ruídos presentes na imagem original. Com o aumento da janela temporal os picos máximos são minimizados e os mínimos aumentados, o que pode dificultar a detecção de mudanças abruptas no comportamento da vegetação. Em fato, o uso de uma janela menor é mais adequado para detectar o aumento súbito nos valores do índice e a resposta quase instantânea da vegetação à precipitação.

Por outro lado, os picos variados (*spikes*), indicativos de ruídos na imagem, só são suavizados com o uso de uma janela temporal maior. É interessante observar que no caso do EVI, predominou a suavização dos picos máximos, enquanto para o EVI2, dos picos mínimos (Figura 9). Isso porque a banda do azul responde a contaminação atmosférica, aumentando o valor do EVI. Já a ausência da banda do azul, a qual é utilizada na correção atmosférica dos dados, reduz o valor do NDVI e EVI2. Este comportamento é retratado para as imagens 90, 110, 150 e 250 do NDVI e EVI2, que apresentaram a mesma queda abrupta nos valores, indicativos de ruídos (Figura 9).

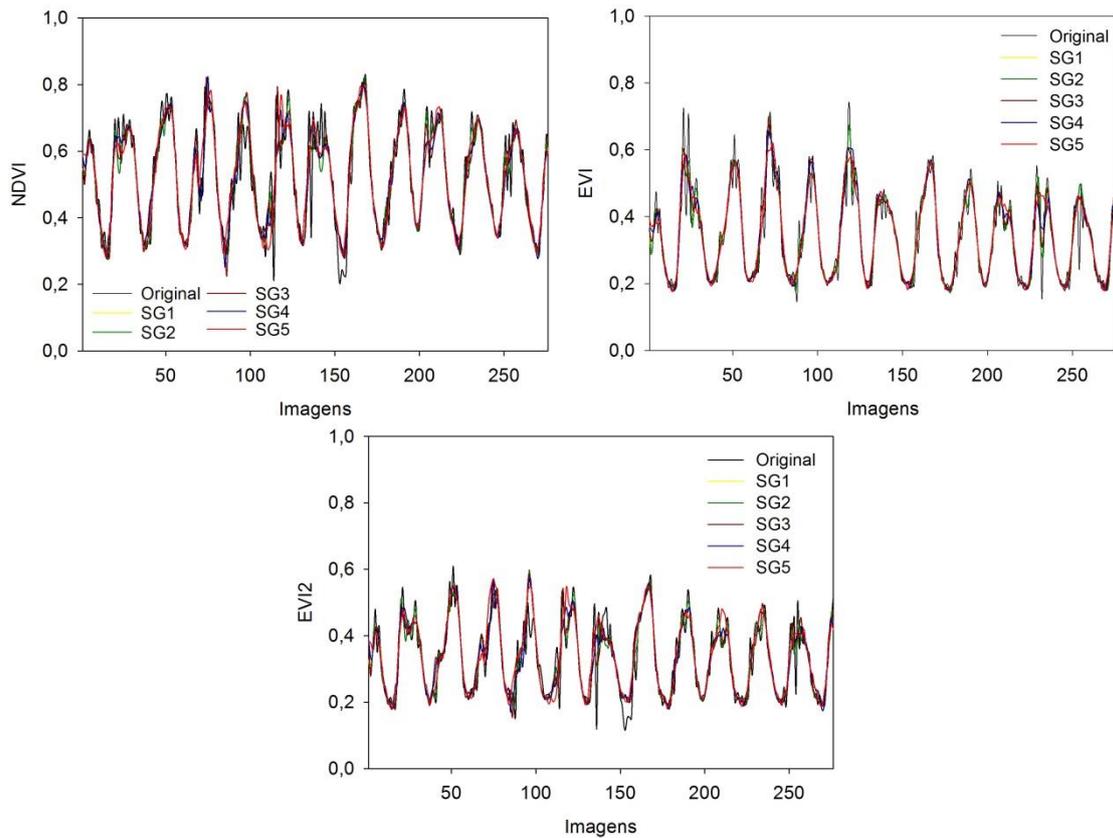


Figura 9: Valores dos índices de vegetação em uma série temporal suavizada através do filtro *Savitzky-Golay* parametrizado com janelas de diferentes larguras.

Os dados EVI originais e filtrados são diretamente proporcionais, com correlação forte a moderada (0,83 a 0,74), que diminui com o aumento da largura da janela temporal utilizada (Figura 9). As janelas de 1 a 3 apresentam correlações fortes positivas (acima de 0,8), seguidas de uma redução abrupta a partir do uso de uma janela de 4 observações. Da janela 6 a 10, a redução da correlação é gradual variando de 0,77 para 0,74. A redução da correlação implica que a partir da aplicação de uma janela temporal de 4 observações (anteriores e posteriores à um dado ponto da série temporal), aumenta a discrepância entre os dados originais e filtrados (que tendem a saturar), o que acarreta em perda de informação. Com base em todas estas análises, optamos pelo uso de uma janela de 3 para a suavização das séries temporais EVI2 no *software* TIMESAT.

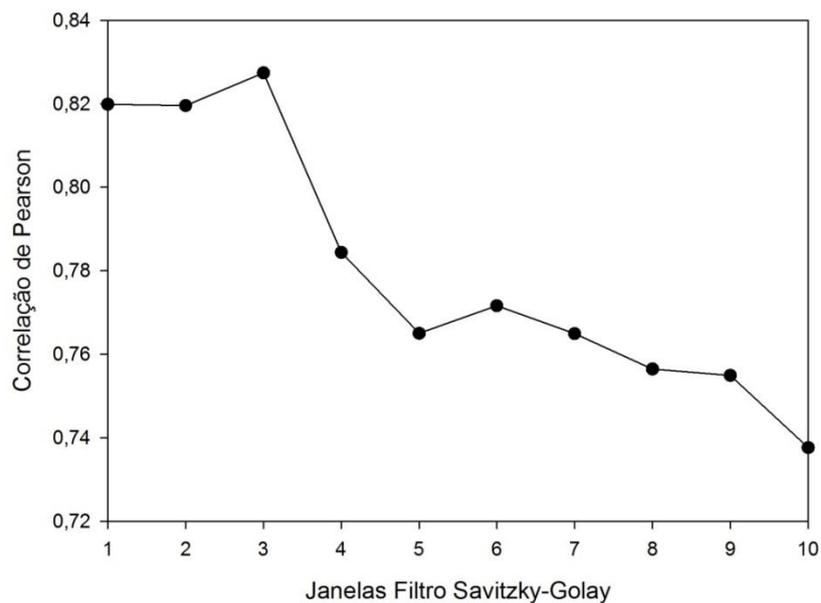


Figura 10 – Correlação entre os dados EVI originais e filtrados com *Savitzky-Golay* (conforme diferentes janelas).

O TIMESAT, além de suavizar curvas contínuas no tempo, utilizando o filtro *Savitzky-Golay*, assimétrica Gaussiana e funções de dupla logística (Jönsson e Eklundh, 2002; Jönsson e Eklundh, 2004), também serve para se determinar o início (SOS) e o final (EOS)⁴ da estação de crescimento, a derivada à esquerda (taxa de rebrota), a derivada à direita (taxa de senescência) e a pequena integral (produtividade primária líquida) (Beurs e Henebry, 2010) (Figura 11). O início e o fim do período de crescimento vegetal é definido como o DOY (Dia do Ano) onde o índice de vegetação, partindo do valor mínimo, cruza 20% na direção ascendente na porção esquerda e direita da curva sazonal (Figura 11). Para cada estação de crescimento, do início ao fim da estação (total de 13 estações de crescimento para um período de 14 anos), foram obtidas a taxa de rebrota, correspondente a derivada à esquerda da curva sazonal, a taxa de senescência (ou derivada à direita) e a produtividade primária líquida, correspondente à integral no tempo do EVI2 (Figura 11).

⁴ Respectivamente, *Start – and End – of the Season*.

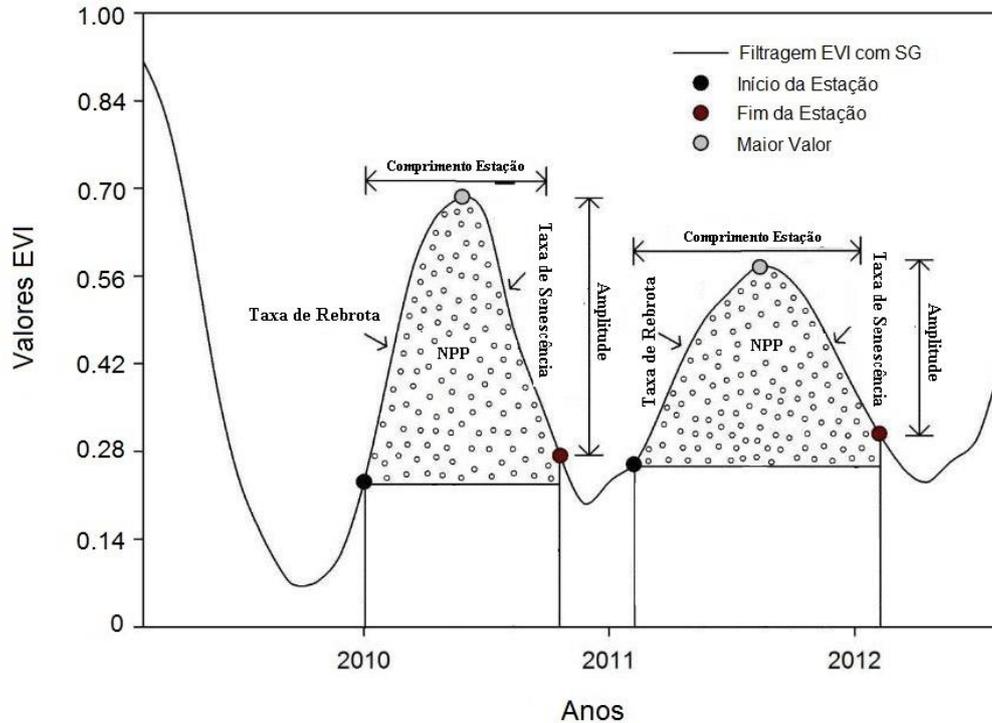


Figura 11 – Métricas sazonais definidas a partir do *software* TIMESAT e aplicadas à série temporal de imagens EVI2 (referentes à totalidade da área de pasto no Brasil).

Após a geração das métricas fenológicas foi calculada a média das imagens taxa de rebrota e taxa de senescência, as quais foram divididas em cinco classes (Muito Baixa a Muito Alta) conforme os valores de referência das pastagens da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV, estado de Goiás), integrantes do PAVAN. As pastagens da BHRV utilizadas nesta análise foram aquelas que tivessem a maior área e que apresentassem alto nível de forragem. Nestes critérios foram incluídas três propriedades da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

Considerando os pontos do PAVAN localizados no Arco do Desmatamento e no Cerrado e 100 pontos aleatórios sobre os municípios do *Rally* da Pecuária, foram extraídos os valores da taxa de rebrota, taxa de senescência e produtividade primária líquida de cada estação de crescimento. Com isso, foi possível identificar o comportamento interanual das pastagens localizadas nas regiões de maior atividade pecuária. Por fim, as imagens de produtividade primária líquida (NPP) das pastagens do Arco do Desmatamento, Cerrado e Mato Grosso foram divididas em três classes (Alta a Baixa), tendo como base os valores das pastagens da Bacia do Rio Vermelho, a fim de estimar o nível de qualidade destas e a sua distribuição espacial (para esta análise, em particular, foi considerada uma série temporal de 13 anos, i.e. 2000 a 2012).

2.2.2 Produto MODIS MOD16A2 – Evapotranspiração

Em relação aos dados de evapotranspiração (2000 a 2013), optamos por trabalhar com dados mensais (MOD16A2), os quais, comparativamente aos dados de frequência semanal, tendem a apresentar menor erro, comportamento sazonal mais consistente e melhor correlação (~ 0.7) com dados de campo (Ruhoff, 2011). Com vistas a minimizar diferenças locais oriundas de variação na radiação terrestre conforme a latitude e longitude, estes dados foram normalizados (ETn) (a partir da razão, *pixel a pixel*, entre ET e ETp) (conforme observado na figura 12, a relação entre evapotranspiração *real* e *normalizada* é predominantemente linear, o que corrobora a opção por análises baseadas em dados normalizados).

Da mesma forma, e com o objetivo de se eliminar eventuais ruídos, todas as análises descritas a seguir foram baseadas em médias mensais. O uso de médias, além de minimizar a influência de oscilações climáticas locais, traz o foco destas análises para o entendimento de padrões regionais gerais e consistentes ao longo do tempo. O uso de médias justifica-se ainda pelo fato de que todo este projeto se baseia na distribuição das pastagens mapeadas a partir de imagens Landsat 7 de 2002, sendo que assumimos, com base em dados obtidos pelo LAPIG - UFG para o bioma Cerrado, que as alterações destas áreas não foram significativas entre 2000 e 2013 (i.e. aproximadamente 0.04% para toda a área remanescente do bioma - ver Rocha et al., 2011).

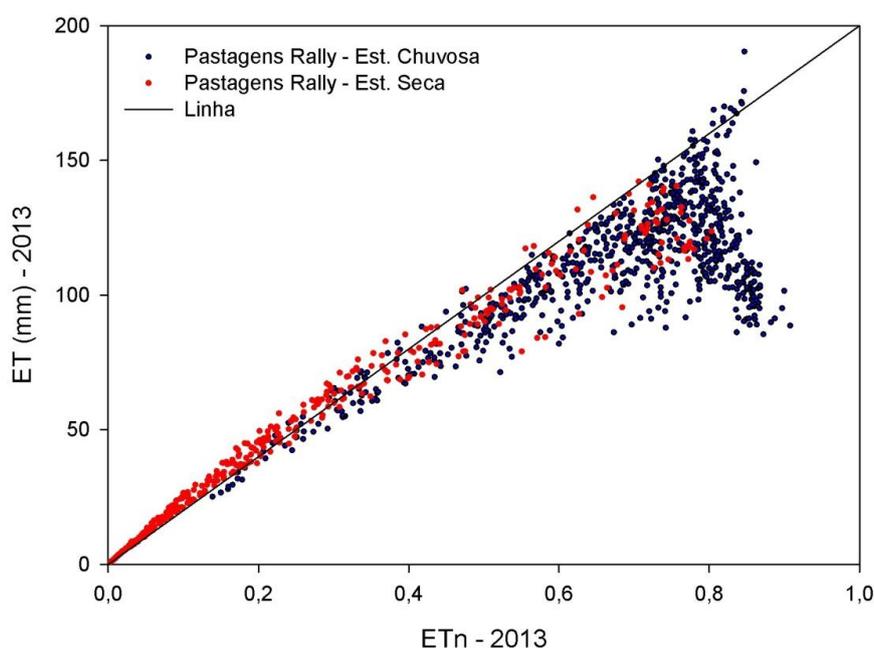


Figura 12 - Relação entre estimativas satelitárias de evapotranspiração real e normalizada (2013 - dados mensais).

A partir das imagens medias mensais de evapotranspiração normalizada foram geradas imagens componentes principais (auto-valores e auto-vetores calculados a partir de uma matriz de correlação, restrita à área de ocorrência das pastagens) e imagens acumuladas para o período predominante de crescimento vegetativo e senescência (novembro a junho e julho a outubro, respectivamente). De forma auxiliar, foram compilados, para o período de 2000 a 2013, imagens mensais de precipitação TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission* – Kummerow et al., 1998).

As análises destes dados foram concentradas em três domínios principais: a) os 24 municípios abrangidos pelo *Rally da Pecuária*; b) um conjunto de 175 propriedades cadastradas pela Aliança da Terra e consideradas como possuidoras de bom nível de forragem (as quais fazem parte da rede de validação - PAVAN); c) “biomas” Brasileiros (Cerrado, “Arco do Desmatamento”, Pantanal, Mata Atlântica, Caatinga e Pampas). Por sua vez, cada um destes conjuntos de dados foram comparados às respostas obtidas para as pastagens localizadas na BHRV (Figura 13).

O conjunto total de dados, métodos e análises utilizados para esta etapa do projeto é apresentado no fluxograma da figura 14.

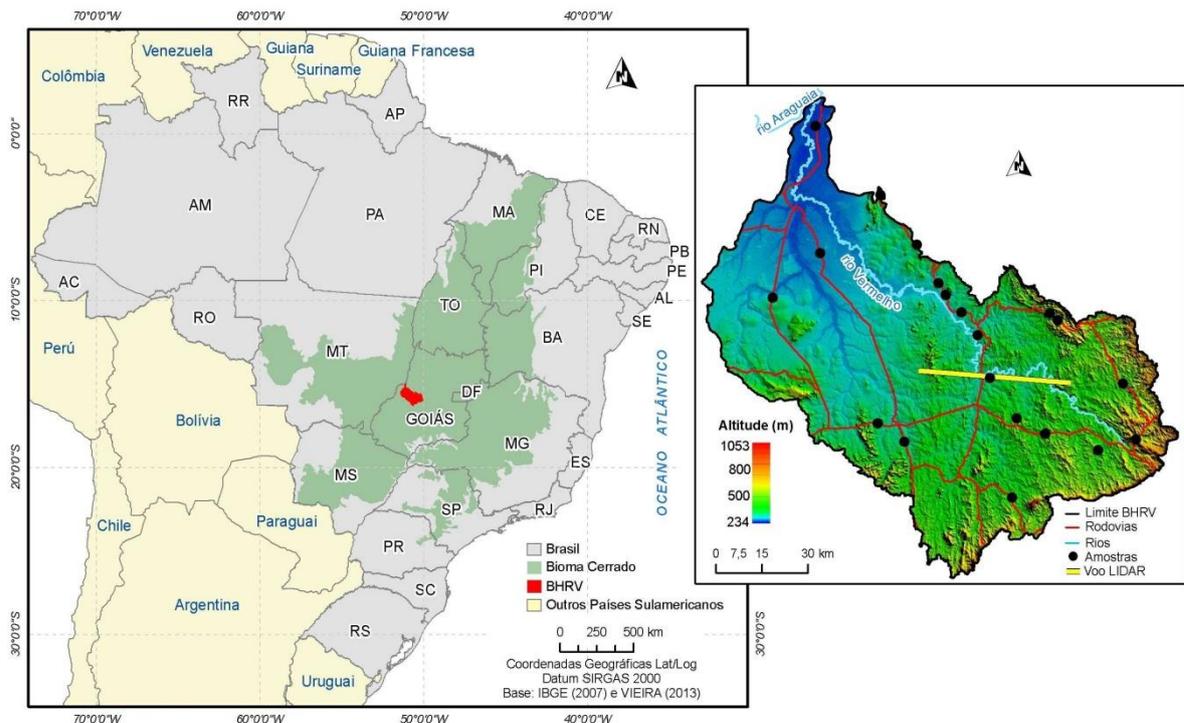


Figura 13 - Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (estado de Goiás), com destaque para pontos de pastagens submetidos à aquisição sistemática de parâmetros biofísicos e transecto ao longo do qual teremos sobrevoio LiDAR (outubro 2014) (com vistas à determinação de padrões ópticos ativos em pastagens sob diferentes condições de uso e manejo).

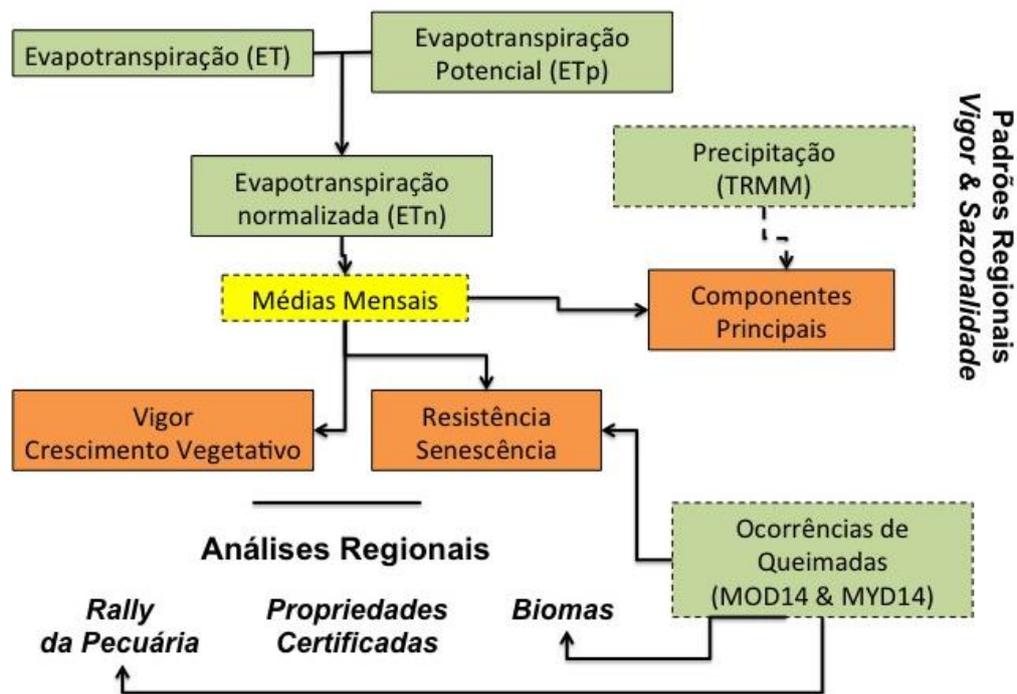


Figura 14 - Fluxograma destacando o conjunto de dados e principais etapas de processamento e análise referentes aos fluxos de água e energia das pastagens do Brasil.

2.2.3 Dados SRTM – Modelo digital de elevação e declividades das pastagens do Brasil

As áreas de pastos no Brasil foram caracterizadas e classificadas em relação à declividade do terreno, a partir da geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Miranda, 2005) Brasil em Relevo (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>).

O Brasil em Relevo é disponibilizado pela Embrapa Monitoramento por Satélite desde 2005, sendo um produto bastante conhecido e utilizado pela comunidade científica de geomática/sensoriamento remoto. Especificamente para esse projeto, foram adquiridos os dados no formato Geotiff (16 bits), com resolução espacial de 90 metros, e em projeção GCS WGS 84, articulados em folhas 1:250.000, para todo os estados do Brasil (ao todo, 556 folhas para o recobrimento do território nacional). Após o *download* e integração destes dados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foi executado um mosaico das 556 folhas e posteriormente um mascaramento para os limites territoriais do Brasil.

Para a estimativa dos valores de declividade, o modelo digital de elevação para todo o Brasil foi re-projetado para a projeção *South America Albers Equal Area Conic*, a qual, com sistema de coordenadas métrico, preserva a área da superfície terrestre (fato

necessário para execução do procedimento de estimativa de declividade e cálculo acurado de áreas). Após a re-projeção, os valores de declividade foram estimados em ambiente SIG para todo o Brasil e mascarados para as pastagens segundo os dados de cobertura e uso da terra do PROBIO (Figura 15).

As classes definidas para o mapa de declividade foram aquelas sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1999), conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Classes de declividade de acordo com classificação recomendada pela Embrapa (1999).

Classe	Tipo
0 a 2	Plano
2 a 8	Suave Ondulado
8 a 12	Moderadamente Ondulado
12 a 20	Ondulado
20 a 45	Fortemente Ondulado
> 45	Montanhoso

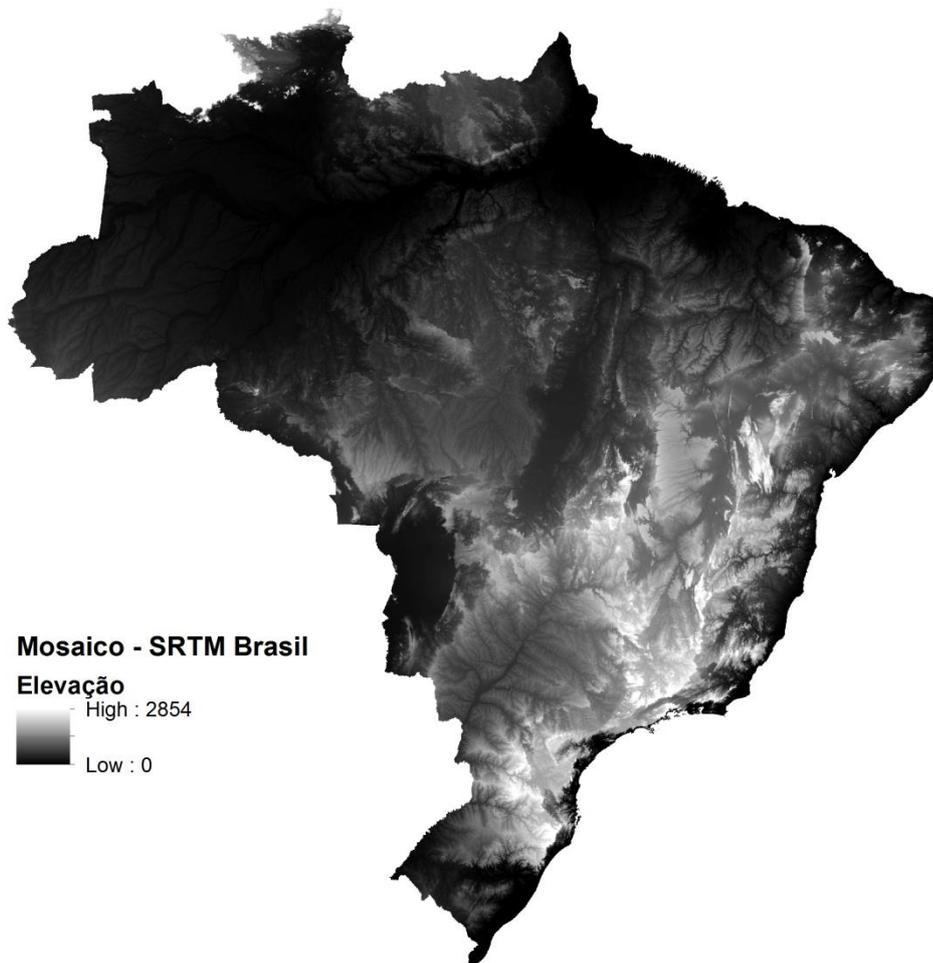


Figura 15: Mosaico SRTM para o Brasil construído por meio dos dados Brasil em Relevo (Embrapa) (tamanho total 8,21 GB e resolução espacial aproximada de 90 metros).

Todos os procedimentos metodológicos utilizados para estimar os valores de declividade para as pastagens do Brasil, incluindo o processamento dos dados altimétricos, e geração de mosaico e recortes, são detalhados no fluxograma mostrado na figura 16.

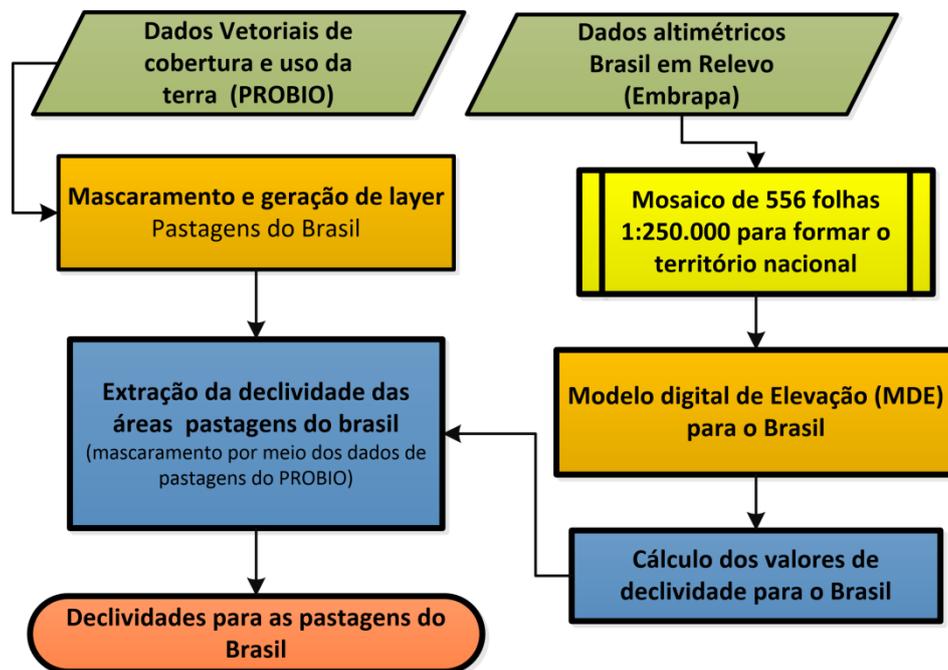


Figura 16: Fluxograma esquemático referente ao conjunto de dados e procedimentos metodológicos adotados para a determinação das classes de declividade das pastagens do Brasil.

2.3 Disponibilização de bases de dados

Todos os dados produzidos no escopo do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil estão disponíveis, de forma pública, através do portal www.pastagem.org, conforme ilustrado na figura 17. Esse portal foi desenvolvido a partir da estrutura de disponibilização de dados e das tecnologias já utilizadas no portal do LAPIG (www.lapig.iesa.ufg.br). Preferiu-se utilizar uma estrutura já validada na prática e adaptada para a disponibilização de dados oriundos de projetos de pesquisa, ao desenvolvimento de uma nova proposta e sistema para realizar tal tarefa. Outro fator que contribuiu significativamente para essa escolha é que tal estrutura foi desenvolvida, em sua totalidade, com *softwares* livres. Por definição qualquer *software* livre possui uma licença que garanta aos seus usuários liberdades relacionadas ao uso, alteração e redistribuição (*The Free Software Foundation*, 2014). Portanto, sua utilização, além de ser validada na prática, não acarretou nenhum custo extra (de aquisição) ao projeto.



Figura 17: *layout* da página inicial do portal Pastagem.org.

O projeto produziu um grande volume de dados que podem ser classificados em três grupos: dados documentais, satelitários e vetoriais. Para disponibilização adequada de cada um desses grupos, o portal *pastagem.org* dispõe de duas plataformas de pesquisas, responsáveis por organizá-los e prover mecanismos eficientes de busca, visualização e aquisição (*download*). O “Mapa Interativo” é a plataforma responsável pela disponibilização dos dados satelitários e vetoriais. Já a área “Bases Documentais” disponibiliza os documentos como artigos científicos, notícias e tutoriais. Optou-se por dividir a disponibilização dos dados por meio dessas duas plataformas, pois dados satelitários e vetoriais possuem particularidades relacionadas à cartografia, geralmente com diversos formatos de armazenamento. Em contrapartida, dados documentais (relatórios, apresentações, artigos publicados, etc.) na maioria das vezes são armazenados e disponibilizados no formato PDF (*portable document format*) e não possuem especificidades que inviabilizem sua leitura.

A arquitetura do Mapa Interativo é do tipo cliente-servidor, na qual uma aplicação cliente (*Webmap client*) se comunica com um servidor HTTP (*HTTP Server*), conforme apresentado na figura 18. A aplicação cliente realiza requisições relacionadas

à visualização e ao *download* de dados satelitários e vetoriais. A visualização dos dados utiliza o padrão de interoperabilidade WMS - *Web Map Service*, definido pela *Open Geospatial Consortium* (OGC, 2014), um protocolo consolidado e utilizado há alguns anos em aplicações WebGIS (Boulos e Honda, 2006; Xu et al., 2003). As requisições WMS são enviadas ao servidor HTTP, que as redireciona para o servidor de padrões OGC (OGC Server), capaz de acessar a base de dados e converter os dados solicitados para o padrão WMS. O *download* dos dados é processado pelo servidor HTTP, responsável por compactar e disponibilizá-los em uma URL.

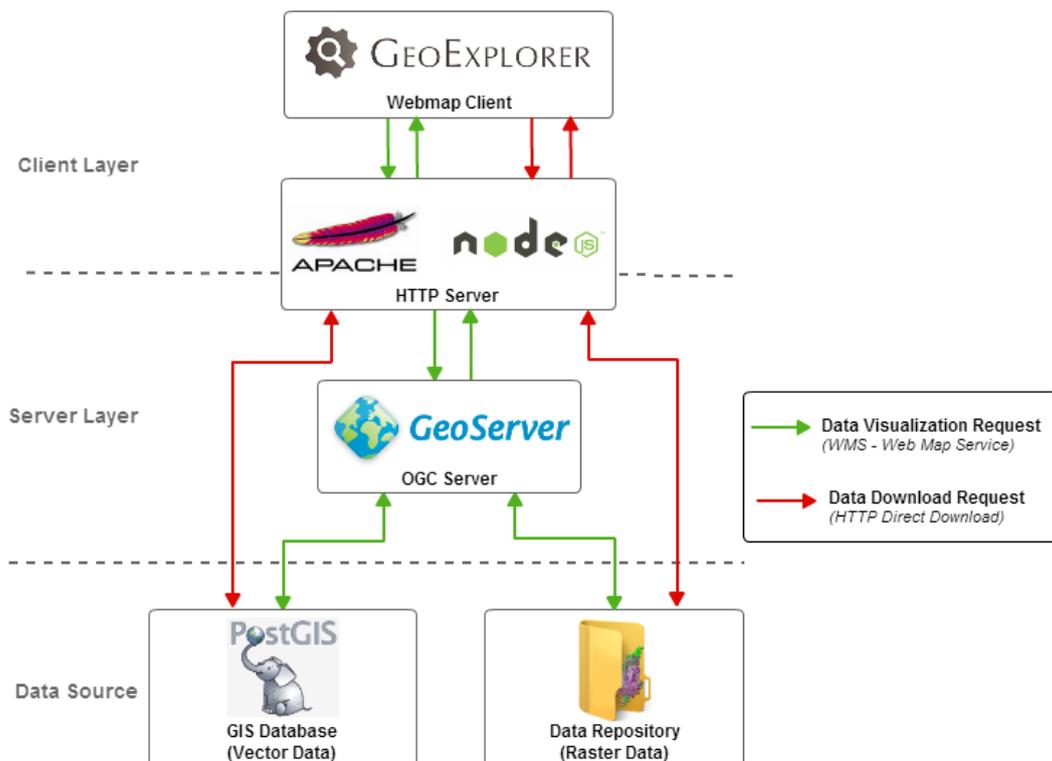


Figura 18: Arquitetura da plataforma Mapa Interativo do portal pastagem.org.

Na aplicação cliente foi desenvolvida uma ferramenta de navegação para consulta aos dados satelitários e vetoriais, apresentada na figura 19. A navegação pelos dados ocorre por meio de uma hierarquia de árvore. O conjunto de dados disponíveis para visualização e *download* é apresentado quando o último nível da hierarquia de navegação é atingido. Para visualizá-lo no mapa, basta que o mesmo seja selecionado. Após sua visualização, o usuário pode solicitar o *download* do mesmo.

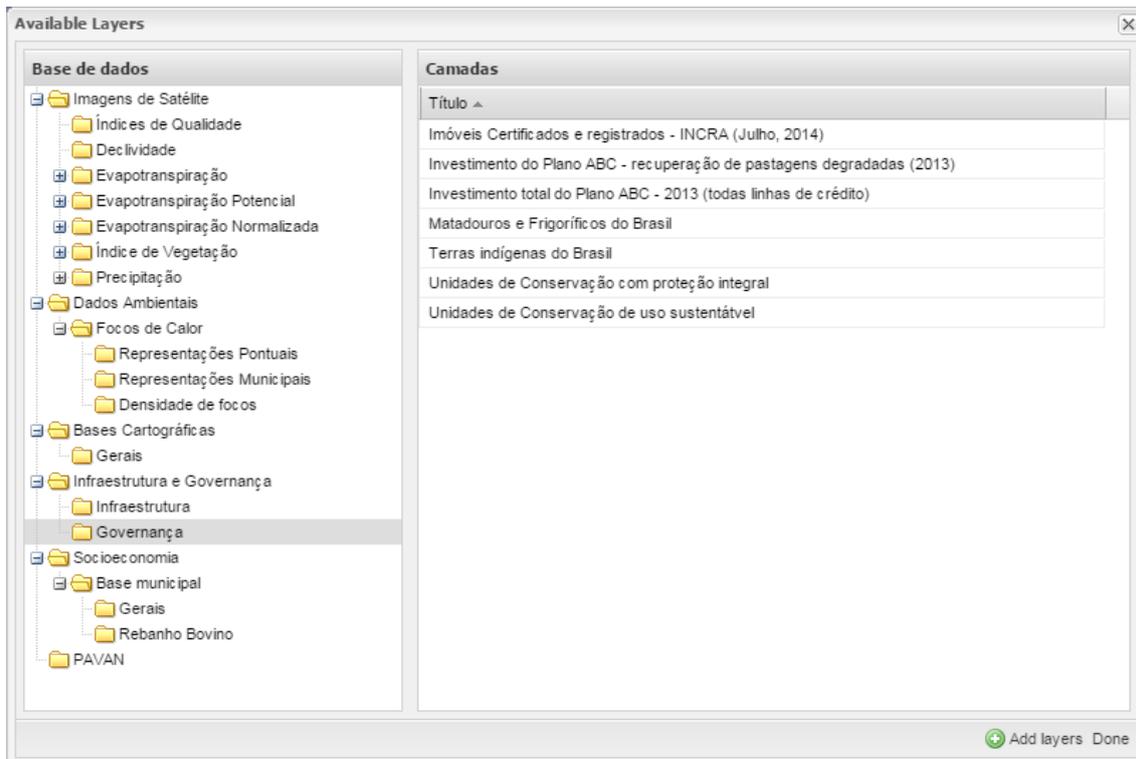


Figura 19: Hierarquia dos dados geográficos disponibilizados através do Mapa Interativo (portal pastagem.org).

A disponibilização das Bases documentais se dá com o auxílio do *Jdownloads*, versão 1.9, um componente do *framework Joomla*, versão 2.5, utilizado para manter o portal pastagem.org. Esse componente permite a disponibilização de qualquer formato de arquivo, associando ao mesmo uma breve descrição e uma categoria. Os dados documentais foram organizados em uma hierarquia de categorias, na qual o usuário pode facilmente verificar, por exemplo, quais publicações ou apresentações estão disponíveis na base de dados, conforme ilustrado na figura 20. Cada documento possui uma descrição composta por um conjunto de campos específicos, como ano, autoria, tema e *abstract*, os quais podem variar de acordo com a categoria do documento. Existe também uma ferramenta de busca capaz de pesquisar, na descrição dos arquivos, por uma ou mais palavras-chave. Ao acessar um documento, é possível visualizar as informações relacionadas ao mesmo e realizar seu *download*.

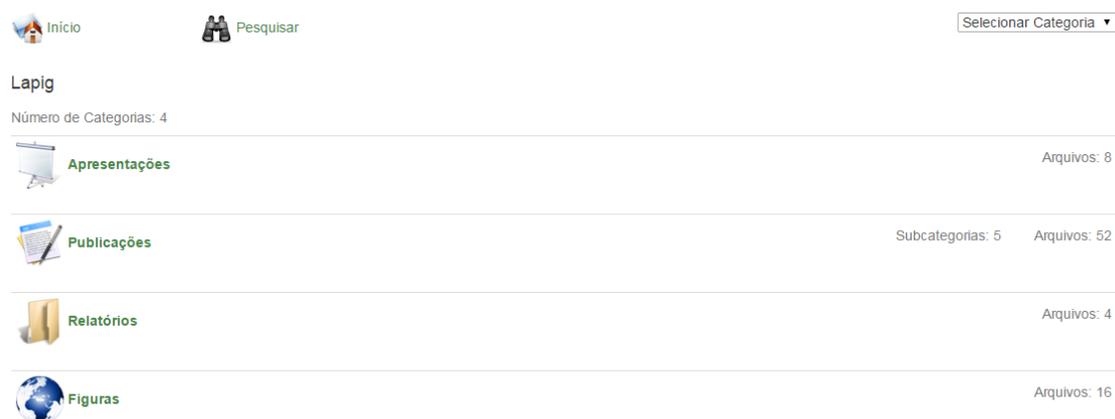


Figura 20: Interface da plataforma Bases Documentais do portal pastagem.org.

Essa estrutura de disponibilização de dados se destaca como um meio capaz de organizar e tornar público o conhecimento produzido no âmbito do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, provendo um avanço na divulgação desses dados, e proporcionando, assim, subsídios para a comunidade em geral, em particular aquela voltada ao desenvolvimento da pecuária, intensificação no uso de pastagens e melhores práticas de governança territorial.

3.1 Bases vetoriais e mapeamentos das áreas de pastagens do Brasil

Como já comentado no item 2.1.1, as bases vetoriais consideradas neste projeto (em fato, grandes campanhas de mapeamento realizadas no Brasil), foram, a princípio, os dados do PROBIO e o mapeamento elaborado pela FUNCATE (Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais). A opção por uma base em particular, para representar a mancha de ocupação das pastagens brasileiras, se deu após a análise cuidadosa das duas bases em questão.

Os dados PROBIO apontam que, em 2002, existia no Brasil uma área coberta por pastagens de **149.457.102,3** hectares (Figura 21). Esta estimativa de área se mostra consistente pela dimensão do trabalho realizado. Porém, é necessário comentar que em uma análise visual é possível inferir que possam ter ocorrido erros em relação as cobertura de pastagens no litoral nordestino, no nordeste do estado de Minas Gerais e no norte do estado do Rio Grande do Sul.

Quanto à distribuição espacial das pastagens no Brasil, nota-se a presença expressiva de pastagens em todas as unidades federativas, com exceção da região amazônica, onde a cobertura de pastagens ainda aparece de forma tímida.

Os dados FUNCATE apontam para uma cobertura menor de pastagens, indicando que existiam **135.559.016** hectares distribuídos por todo território nacional em 2002 (Figura 22). De forma espacial, ao se analisar visualmente os dados PROBIO e FUNCATE, é possível apreender as diferenças já esperadas quanto à área total ocupada por pastagens e a forma com que elas se distribuem pelo território, as quais chamam atenção: 1) O mapeamento do PROBIO destaca presença expressiva de pastagens no leste do Mato Grosso do Sul, caso oposto ao mapeamento FUNCATE; 2) É possível perceber falha de mapeamento no centro baiano para os dados FUNCATE, fato que não ocorre com o mapeamento PROBIO; 3) O mapeamento FUNCATE apresenta, comparativamente aos dados PROBIO, maior densidade de pastagens no norte do estado de Mato Grosso.

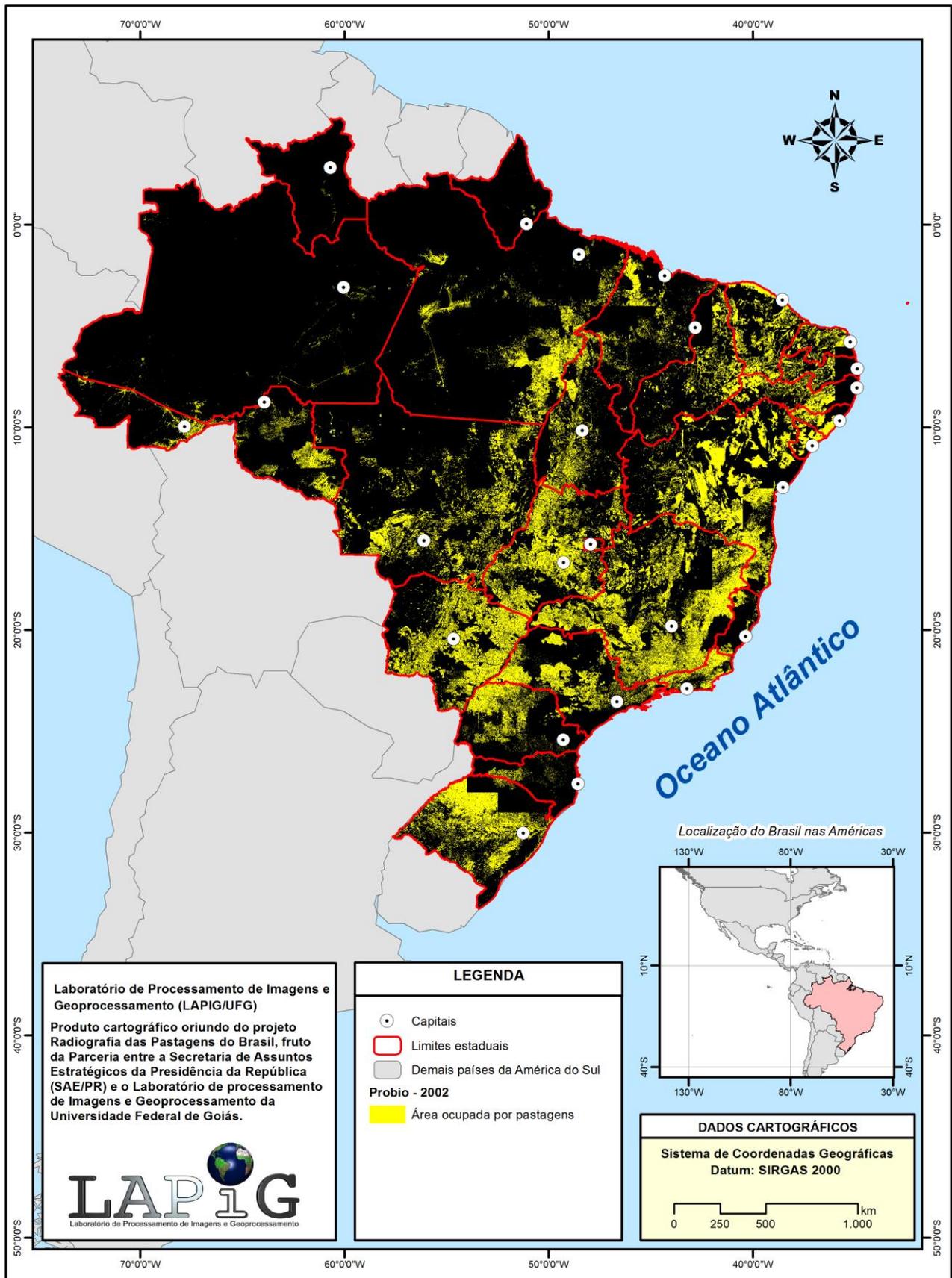


Figura 21: Área ocupada por pastagens no Brasil, segundo levantamento realizado no âmbito do PROBIO (2002).

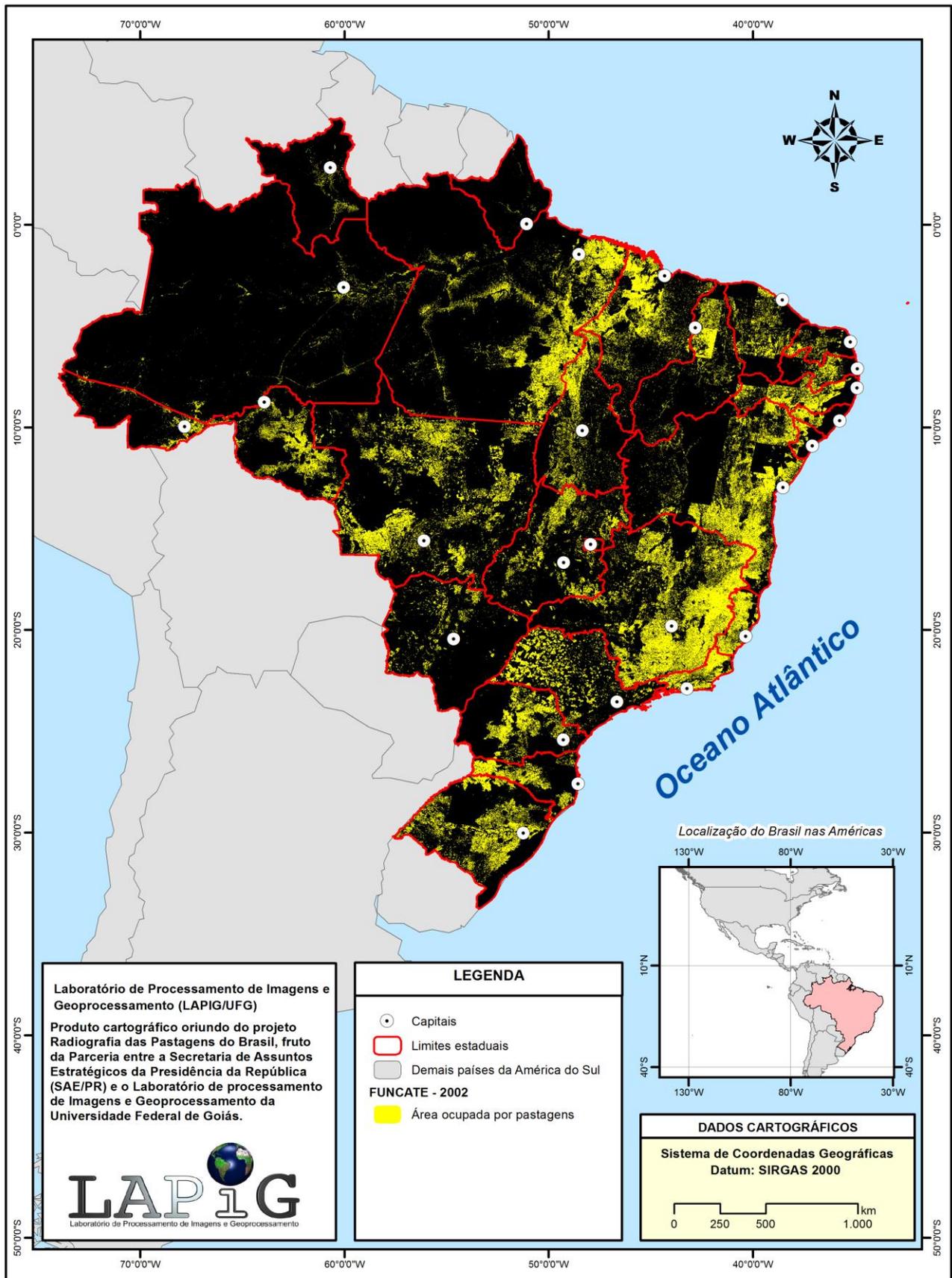


Figura 22: Área ocupada por pastagens no Brasil, segundo levantamento realizado pela FUNCATE (2002).

Quando comparamos os dados PROBIO e FUNCATE (2002) com os dados censitários do IBGE (Censo Agropecuário, 2006) (Figura 23), ressaltam-se tanto comportamentos semelhantes, principalmente em relação à distribuição de valores e padrões regionais (Tabela 2 e Figura 24), quanto discrepâncias entre estes três conjuntos de dados, a saber:

- 1) A região norte possui suas áreas de pastagens quase que todas concentradas no estado do Tocantins, o qual ainda possui cobertura fisiográfica do bioma Cerrado, comportamento inverso encontrado na região amazônica;
- 2) O Centro-Oeste possui menores valores para os dados FUNCATE, o que seria resultado da disparidade de interpretação para o Leste do estado do Mato Grosso do Sul (Ao observar os valores do IBGE, nota-se que os dados do PROBIO apresentam-se mais coerentes com a realidade observada em 2006 pelo Censo Agropecuário);
- 3) As macrorregiões Sul e Sudeste do Brasil apresentaram valores semelhantes para as três fontes, o que sugere, entre 2002 e 2006, uma certa estagnação na evolução da cobertura por pastagens. Tais implicações dizem respeito à Divisão Territorial do Trabalho no Brasil, já que Sul e Sudeste apresentam características mais voltadas para a Indústria e Agroindústria⁵, repassando funções como a pecuária para a região Centro-Oeste do Brasil (Moreira, 2004).

⁵ Essa característica peculiar das regiões Sul e Sudeste de apresentarem a maior concentração industrial do país, é uma característica que teve gênese na república velha, atrelada principalmente à economia cafeeira, que permitiu o desenvolvimento de fatores locacionais e capitais para o desenvolvimento industrial, principalmente do Estado de São Paulo. Em 1930, 70% das exportações do país eram de Café, e em 1931 foi fundada a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP).

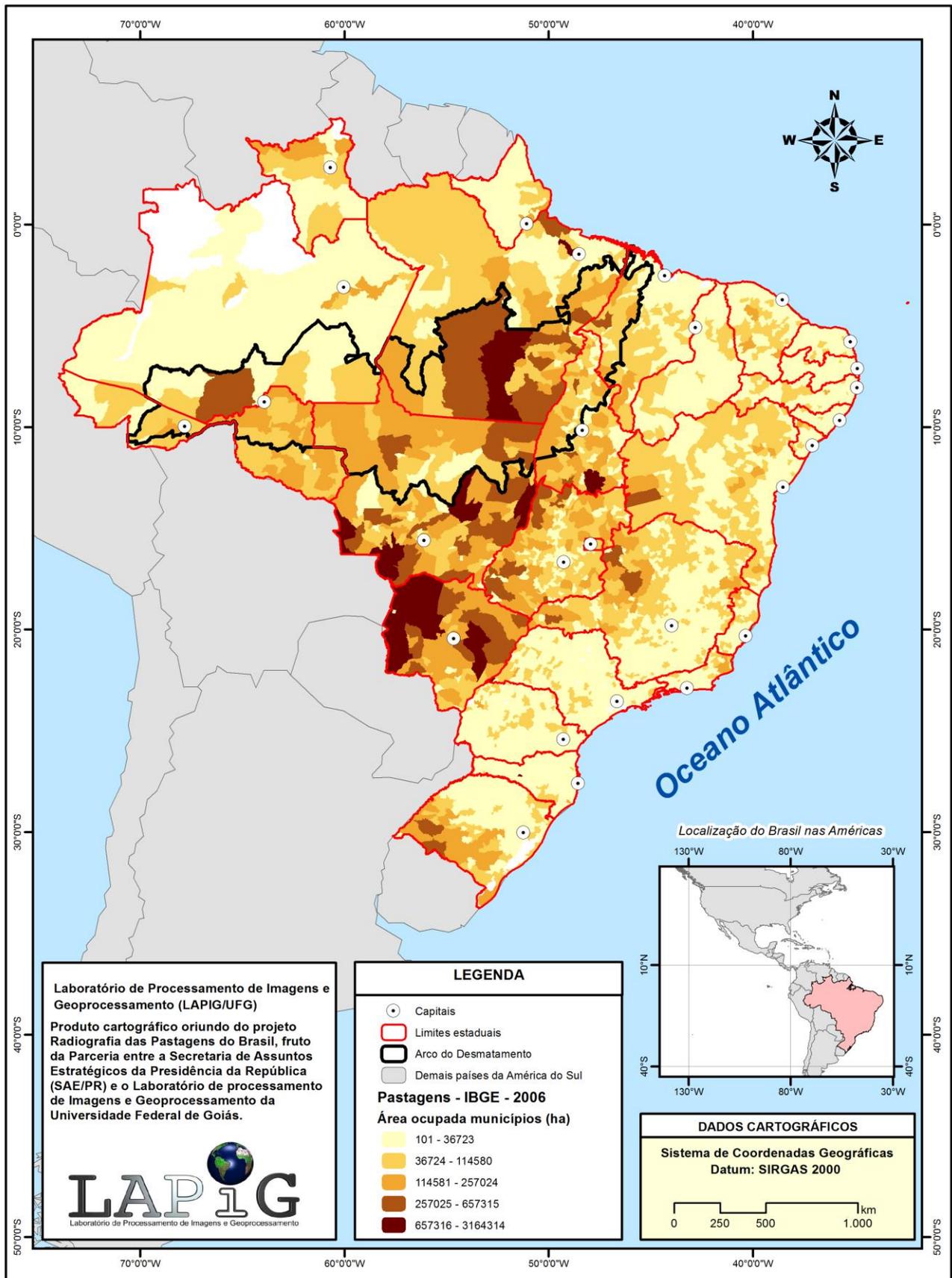


Figura 23: Área ocupada por pastagens, conforme a divisão municipal – IBGE (2006).

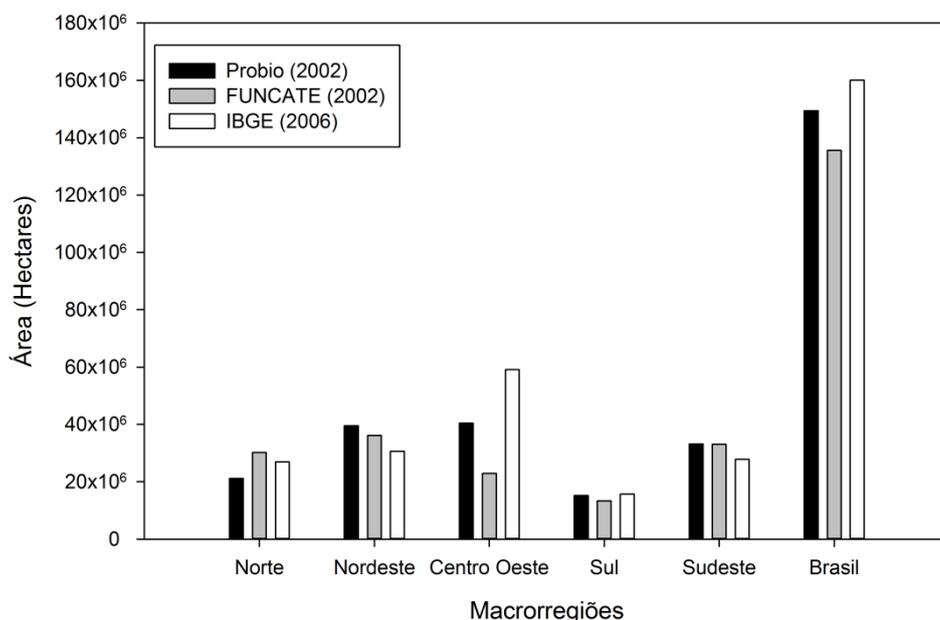


Figura 24: Área ocupada por pastagens nas macrorregiões brasileiras, segundo diferentes levantamentos – PROBIO e FUNCATE (2002) e IBGE (2006).

Tabela 2: Quantitativo de áreas ocupadas por pastagens por macrorregiões.

Macrorregião	Área ocupada por pastagens (ha)		
	PROBIO 2002	FUNCATE 2002	IBGE 2006
Norte	21163445,59	30185147,56	26892660
Nordeste	39558799,49	36106552,47	30601695
Centro Oeste	40412358,51	22877330,07	59035896
Sul	15188477,05	13324918,58	15685635
Sudeste	33133761,09	33065067,36	27826056
Brasil	149457102,3	135559016	160041942

Ao compararmos os dados mapeados pelo PROBIO (especializados para limites municipais) com os dados censitários do IBGE (Figura 23) podemos ver várias semelhanças. Os dados do IBGE também apontam para o eixo norte-sul já citado, apresentando ainda maior concentração das pastagens no norte e nordeste do estado do Mato Grosso do Sul (fato que valida às informações advindas do PROBIO, ao mesmo tempo em que coloca em dúvida muitas das inferências feitas pelo mapeamento FUNCATE).

Em um ranking feito a partir de dados do PROBIO (Tabela 3), é possível notar que os 20 municípios com maior ocorrência de pastagens estão nos estados de PA, MS e GO. Os dados do IBGE (Tabela 4) apontam também para municípios em outros estados, como SC, TO e SP. Por outro lado, há uma grande disparidade, à escala municipal, entre os dados PROBIO e FUNCATE. Por exemplo, o município de Três Lagoas (Mato

Grosso do sul) ocupa a segundo posição no Ranking PROBIO, porém figura na posição 3916º no Ranking criado a partir das áreas mapeadas pela FUNCATE.

Tabela 3: Ranking Municipal de Cobertura de Pastagens – PROBIO/FUNCATE (2002).

Ranking PROBIO	Ranking FUNCATE	Nome do município	Estado	Região	Pastagens - PROBIO (2002)	Pastagens - Funcate (2002)
1	1	São Félix do Xingu	PA	Norte	703600,04	915054,04
2	3916	Três Lagoas	MS	Centro-Oeste	697647,65	3146,79
3	2512	Água Clara	MS	Centro-Oeste	671722,24	12249,66
4	3993	Ribas do Rio Pardo	MS	Centro-Oeste	658323,89	2700,39
5	4591	Campo Grande	MS	Centro-Oeste	597060,48	211,45
6	79	Porto Murtinho	MS	Centro-Oeste	550648,23	185992,10
7	659	Nova Crixás	GO	Centro-Oeste	493086,38	54372,63
8	6	Cáceres	MT	Centro-Oeste	481741,54	480003,13
9	3	Paranatinga	MT	Centro-Oeste	461953,88	535831,68
10	4	Marabá	PA	Norte	457341,06	512220,05
11	1892	Inocência	MS	Centro-Oeste	456278,03	18643,81
12	10	Canarana	MT	Centro-Oeste	445003,67	416284,73
13	14	Cumaru do Norte	PA	Norte	441135,57	387524,13
14	13	Água Azul do Norte	PA	Norte	433873,85	389545,89
15	7	Santana do Araguaia	PA	Norte	428313,29	457030,48
16	1058	Paranaíba	MS	Centro-Oeste	418994,85	35062,55
17	216	Água Boa	MT	Centro-Oeste	400906,63	114042,97
18	88	Rio Verde de Mato Grosso	MS	Centro-Oeste	395379,59	175945,70
19	8	Santa Maria das Barreiras	PA	Norte	392179,89	441524,27
20	3790	São Miguel do Araguaia	GO	Centro-Oeste	386508,48	3813,16

Os municípios que estão listados entre os 20 maiores em termos de ocupação de pastagens e que figuram nos dois mapeamentos efetuados a partir de dados satelitários (PROBIO e FUNCATE) são: São Félix do Xingu (PA), Paranatinga (MT), Marabá (PA), Cáceres (MT), Santana do Araguaia (PA), Santa Maria das Barreiras (PA), Canarana (MT), Água Azul do Norte (PA) e Cumaru do Norte (PA). Considerando simultaneamente as bases satelitárias e censitárias (i.e. as três fontes de dados), somente sete municípios aparecem entre os 20 com as maiores áreas de pastagens: São Félix do Xingu (PA), Paranatinga (MT), Cáceres (MT), Santana do Araguaia (PA), Santa Maria das Barreiras (PA) e Cumaru do Norte (PA). Tal fato corrobora com a predominância das pastagens no eixo norte-sul, principalmente nos estados do Pará e Mato Grosso.

Tabela 4: Ranking Nacional de Cobertura de Pastagens – IBGE (2006).

Ranking - IBGE (2006)	Nome do Município	UF	Pastagens - IBGE (2006)
1	Corumbá	MS	3164314,00
2	Ponta de Pedras	PA	2496699,00
3	Herval D'Oeste	SC	1392537,00
4	Nova Andradina	MS	960185,00
5	Paranã	TO	955009,00
6	Aquidauana	MS	949694,00
7	Porto Murinho	MS	930253,00
8	Rosana	SP	928491,00
9	Cáceres	MT	883210,00
10	Paranatinga	MT	850259,00
11	Cocalinho	MT	836583,00
12	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT	823100,00
13	São Félix do Xingu	PA	805297,00
14	Ribas do Rio Pardo	MS	788974,00
15	Gouvelândia	GO	657315,00
16	Chaves	PA	573130,00
17	Santa Maria das Barreiras	PA	537456,00
18	Bandeirantes do Tocantins	TO	499212,00
19	Santana do Livramento	RS	495788,00
20	Santana do Araguaia	PA	493290,00

A área média de pastagem (dados PROBIO, 2002, FUNCATE, 2002 e IBGE, 2006), conforme os limites municipais, é mostrada na figura 25. O somatório destas médias indica uma área ocupada de aproximadamente **163.703.795,6** hectares para todo o Brasil. Os respectivos valores de coeficiente de variação (Figura 26) indicam, por sua vez, as regiões com as maiores discrepâncias entre as três fontes, as quais devem ser priorizadas em novos levantamentos, em maior escala.

As médias municipais confirmam o padrão das fontes individuais, i.e. interiorização das pastagens, destaque para o Sul/Sudeste do Pará, Norte/Nordeste do Mato Grosso, noroeste Goiano e norte do Mato Grosso do Sul. Por sua vez, os valores de coeficiente de variação não indicam grandes distorções entre a aquisição dos dados (em termos Brasil), ainda que seja possível notar uma dependência espacial entre os maiores coeficientes, representados por pequenos *clusters*, como nos municípios do Bioma Pantanal no Mato Grosso do Sul, na região leste e sudeste do Tocantins, e no norte dos estados do Amazonas, Amapá e Pará.

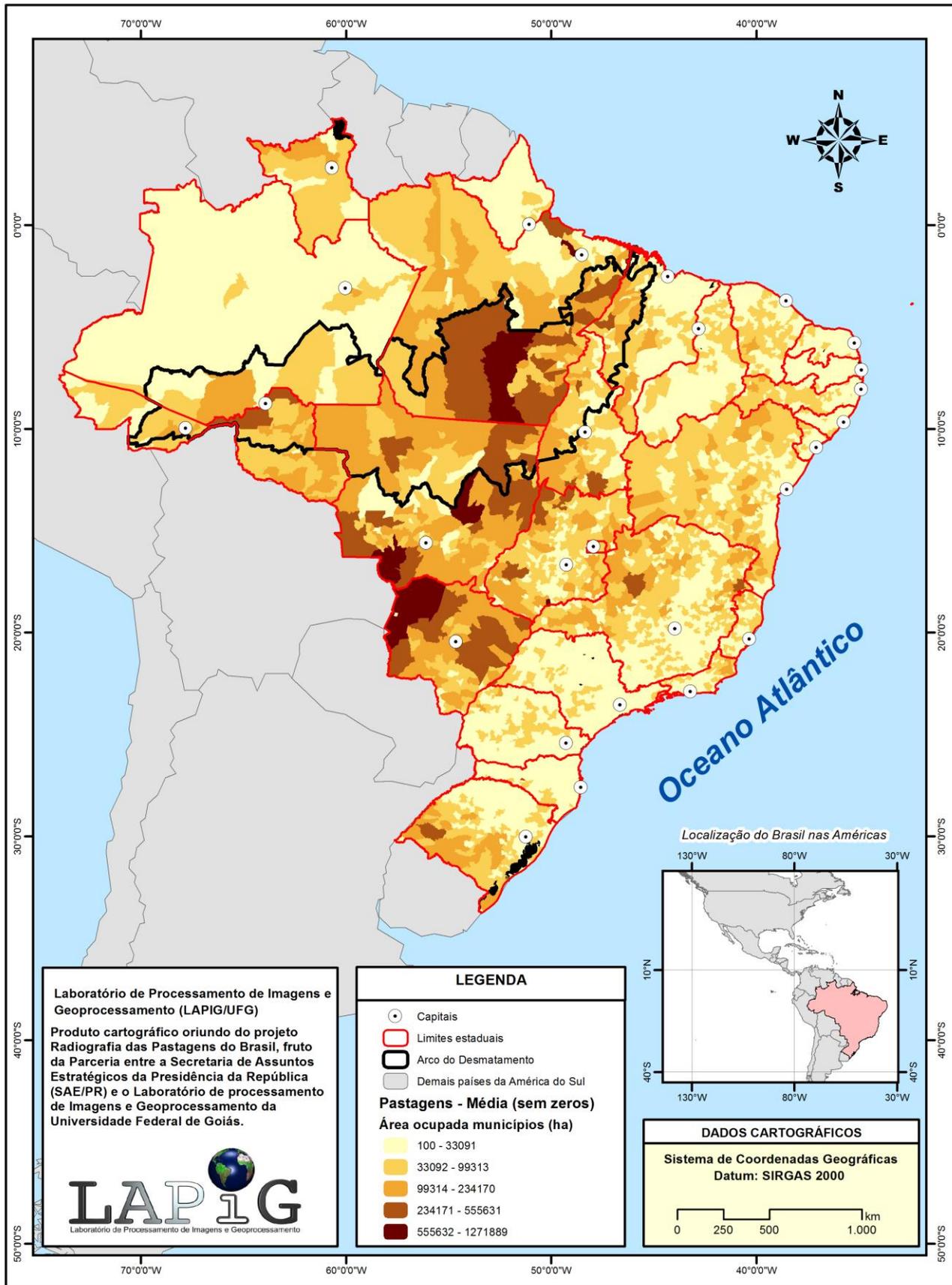


Figura 25: Área média municipal ocupada por pastagens, conforme os dados PROBIO (2002), FUNCATE (2002) e IBGE (2006).

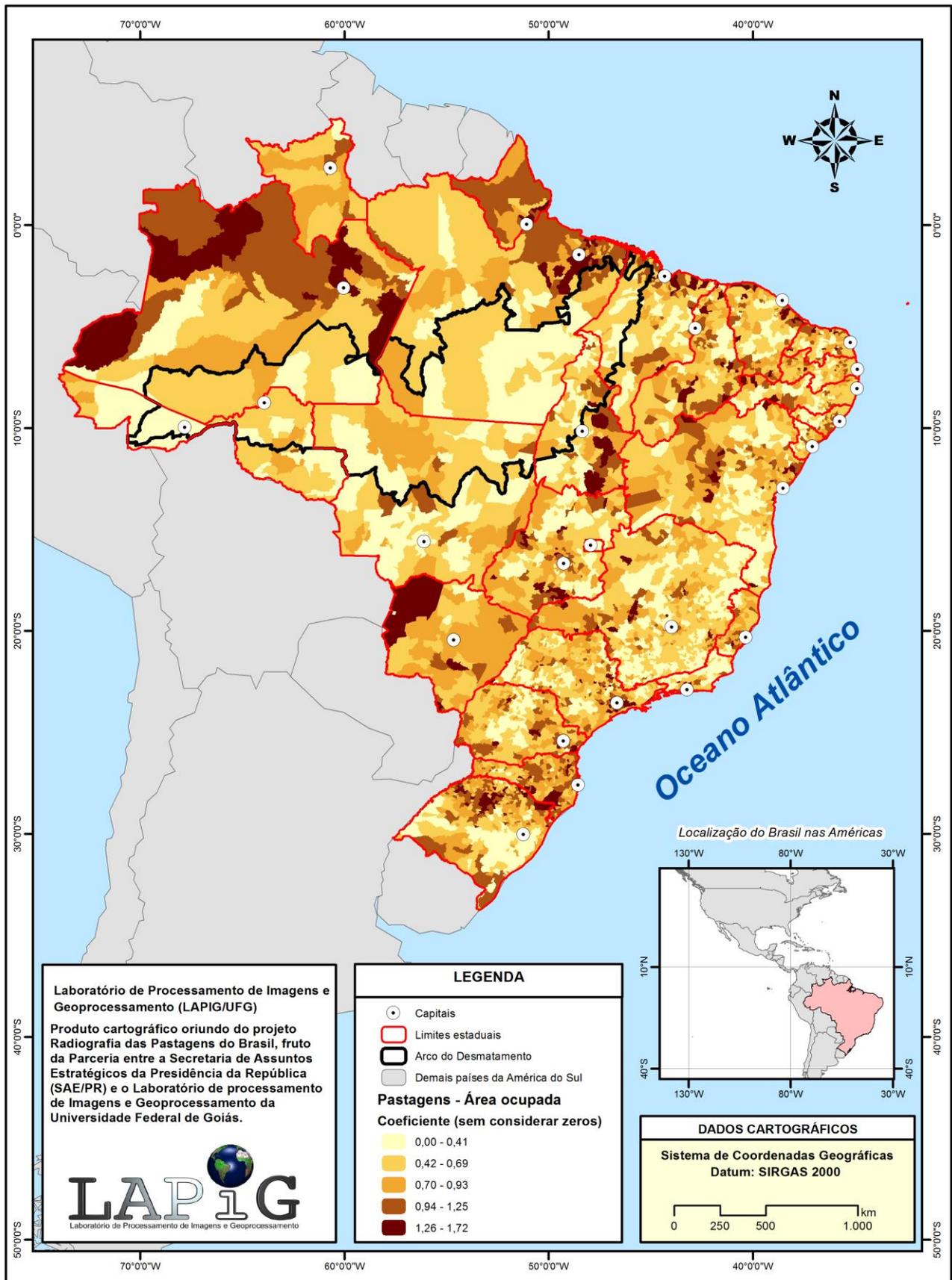


Figura 26: Valores de coeficientes de variação associados às áreas médias de pastagens - PROBIO (2002), FUNCATE (2002) e IBGE (2006) - nos municípios brasileiros.

Diante do apresentado para as bases vetoriais PROBIO e FUNCATE, principalmente quanto aos erros encontrados no mapeamento FUNCATE em relação ao estado do Mato Grosso do Sul, adotamos a base vetorial do PROBIO como referência para a análise dos dados satelitários, sendo que as análises no âmbito sócio-econômico também foram feitas a partir da base censitária (IBGE, 2006).

3.2 Reflexões sobre a pecuária no Brasil

3.2.1 Histórico da atividade pecuária

A história das pastagens no Brasil seguiu constantemente as mudanças na economia nacional, já que a pecuária sempre desenvolveu o importante papel de provisão de alimentos. A criação de gado subsidiou a exploração da cana de açúcar, quando os animais serviram mesmo como força motriz nos engenhos, e apoiou os ciclos econômicos da mineração e do café. Do ponto de vista espacial, o uso das pastagens tornou-se intenso em todo o espaço economicamente ativo, com exceção da extração de drogas da Amazônia, no início do Século XVII. Foi à pecuária que possibilitou as façanhas de se ocupar o extenso sertão nordestino, como extensão da economia açucareira, e se tornou a atividade central da ocupação dos campos sulinos, tendo aí o papel geopolítico de estabelecimento econômico e militar do Brasil nessas terras. Desde o princípio do Século XVIII o gado acompanhou os mineradores que se aventuraram pelo interior do Brasil. Acabado o ouro, ficou o boi, que moldou o próprio modo de viver da população isolada da economia litorânea. Mesmo com a expansão da agricultura por todo o país, as pastagens sobreviveram, dada a baixa exigência e ao padrão seletivo que a agricultura moderna trouxe, que acabou possibilitando em todo o país a convivência das duas atividades. Por fim, a pecuária embrenhou-se na Amazônia, antes inacessível, continuando a ser o pioneiro da ocupação econômica capitalista. Deste ponto, olhando-se para todo o país, percebe-se que as pastagens se tornaram presentes em quase todo espaço agrário brasileiro, quase sempre com muita terra para pouco boi, tornando-se a baixa lotação e a degradação dos pastos preocupações presentes nas pautas políticas, econômicas, ambientais e sociais.

As primeiras experiências do Brasil com o uso das pastagens se deram no sertão do Nordeste, no sul de Minas Gerais e nos campos do Sul (Valverde, 1967). Na década de 1530, chegaram de Portugal ou das ilhas de Açores, Cabo Verde e Madeira, de colonização portuguesa, as primeiras cabeças de gado *vacum*. Eram animais de corpo

pequeno, magros e musculosos, com enormes chifres, chamados “pé duro”, “crioulo” ou “curraleiro”. Embora também tenha chegado à São Vicente, na costa paulista, o sertão do semiárido nordestino foi a principal zona de expansão desse gado, onde, a partir dos estados da Bahia e Pernambuco, adentrou pelas margens do Rio São Francisco, indo até o Rio Parnaíba, no Piauí, e para além daí, na região de Pastos Bons, ao sudeste do Maranhão, estendendo-se até o norte de Minas. Inicialmente a pecuária se deu ao lado dos grandes cursos d’água, mas, com o fim do domínio holandês a pecuária se estendeu pelas margens dos rios menores, bem como nos seus interflúvios, onde o gado era dessedentado em cacimbas e cursos intermitentes de água. Nas planícies se desenvolvia a pastagem composta, sobretudo pelos capins-milhã (*Brachiaria fasciculata* (Sw) Parodi e *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.), pelos capins-de-cheiro (*Cymbopogon citratus*, *Kyllinga odorata* e *Vetiveria zizanioides*) e pelo capim-mimoso (*Axonopus purpusii* Nees) (Andrade, 1963). Em tempos mais secos os vaqueiros lançavam mão de cactáceas e macambiras para alimentar os animais. A motivação dessa expansão da pecuária nordestina foi a atividade econômica principal, a produção de açúcar, nos séculos XVI e XVII. Nos engenhos o gado criado pelos próprios senhores de engenho servia tanto de força motriz como de transporte do produto final. Contudo, a natureza do ambiente mostrou-se inóspita aos animais, pois a baixa precipitação limitava o desenvolvimento das pastagens naturais e limitava a disponibilidade de água para dessedentação. O gado magro tinha que se deslocar a pé por longos trechos, onde cerca da metade percia antes de chegar aos abatedouros (Andrade, 1963; Valverde, 1967).

Essas condições ambientais da Caatinga, limitadoras que são para o desenvolvimento das pastagens, foram sempre os maiores empecilhos da pecuária nordestina e a razão da lenta substituição das pastagens naturais, já adaptadas ao ambiente, pelas plantadas, em geral mais exigentes quanto às condições do solo e das chuvas (Dias-Filho, 2014). Com a decadência da economia canavieira, associada às constantes secas no século XVIII, a pecuária nordestina entrou em decadência (Valverde, 1967), mas permaneceu como atividade importante, ao lado da agricultura de subsistência. É sintomático dessa dificuldade com as pastagens a considerável presença de ovinos e caprinos nas propriedades familiares, por serem pouco exigentes quanto à alimentação.

A segunda região onde se deu o uso intenso de pastagens naturais foram os campos do Sul. O relevo suave, a presença de chuva todo o ano e os cursos d'água perenes criaram o ambiente propício para a existência de uma das maiores biodiversidades do mundo em plantas forrageiras. São 523 espécies de gramíneas e 250 espécies de leguminosas (Boldrini, 2009), quase todas perenes e de crescimento estival. Esse tipo de vegetação apresenta maior quantidade de biomassa no período quente que no período frio do ano. Portanto, ao contrário do Nordeste, no Sul as pastagens naturais sofrem pela baixa insolação em parte do ano, apesar do bom regime de chuvas.

No princípio do século XVII os jesuítas introduziram nos campos do Sul os primeiros bovinos, que aí passaram a viver soltos, chegando a formar um rebanho superior a quatro milhões de cabeças, que era caçado tanto por colonos espanhóis como por luso-brasileiros (Valverde, 1967). Tendo em vista que atividade econômica principal do Brasil estava localizada no Nordeste, o comércio da carne bovina se mostrava impossível, já que dependia de transporte e conservação. Assim, enquanto para os colonos espanhóis o interesse estava na carne dos animais, para os luso-brasileiros o principal produto foi inicialmente o couro. Foi com a abertura do Caminho do Sul, em 1730, que possibilitou o transporte do gado a pé até os mercados do Sudeste brasileiro. Nas décadas seguintes surgiram as charqueadas, que passaram fornecer carne seca para as áreas de extração aurífera do Sudeste e do interior do Brasil. Também nos Campos Gerais do Paraná se desenvolveu a pecuária em pastagens naturais, contudo foi muito menos pujante que a do extremo sul brasileiro. Também na Ilha de Joanas (Marajó) se desenvolveu a pecuária, no final do século XVII, e no atual estado de Roraima se deu no final do século XVIII, contudo não experimentaram a pujança que ocorreu no Nordeste e nos campos do Sul (Valverde, 1967). No Brasil Central, a mineração do ouro nos atuais estados do Tocantins, Goiás e Mato Grosso, entre o primeiro e o terceiro quartel do século XVIII, induziu a criação de bovinos para abastecimento dos garimpos, que persistiu depois de esgotado o ouro dos leitos dos rios (Estevam, 1998; Palacin; Moraes, 2008). A economia remanescente reforçou a pecuária, dada a disponibilidade de pastagens naturais e o isolamento a que ficou sujeito o interior do país, sendo o boi vivo o principal produto comercializado, sobretudo com o sudeste brasileiro, onde as boiadas chegavam a pé.

A modernização da pecuária brasileira se deu pela introdução de novas raças de bovinos vindas da Europa e da Índia, a partir da década de 1870, por iniciativa dos próprios produtores. No Rio Grande do Sul disseminou-se a raça *Hereford* (inglesa) e,

em menores proporções, as raças *Shorthorn* (inglesa), *Polled Angus* (inglesa), *Charolês* (francesa) e *Schwytz* (suíça), todas adaptadas a ambientes mais frios. No Brasil Central, com destaque para a região do Triângulo Mineiro e para o sul de Goiás, foram introduzidas as raças zebuínas *Guzerath*, *Gyr* e *Nellore*, todas indianas, e criada uma raça do cruzamento dessas três, chamada Indubrasil, com resultados melhores que o das vindas da Índia (Valverde, 1967).

As paisagens do continente africano apresentam muitas semelhanças com as do Brasil, contudo o estágio evolutivo da vegetação apresenta grandes diferenças, sobretudo no caso das gramíneas. Lá essas plantas se desenvolveram sob forte pressão de numerosos grupos de herbívoros, que criaram um ambiente de forte seleção natural. Há longa data as gramíneas de origem africana são conhecidas no Brasil. Acredita-se que os navios que transportavam escravos e mercadorias traziam também camas feitas com capins de algumas das espécies que mais se difundiram pelo país. As introduções mais antigas, em ordem de relevância, foram o capim Guiné (*Panicum maximum*), o Angola (*Brachiaria mutica*), o Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), e o Gordura (*Melinis minutiflora*). O capim Guiné adentrou o Brasil pela Bahia no século XVIII em data incerta. Atualmente são encontrados vários tipos da mesma espécie, como o Colômbio, o Guiné, o Guinezinho, o Sempre-verde, a Touceira do Ceará, o Colômbio do Paraná, entre outros, devido à propensão dessa espécie ao cruzamento com outras espécies. Juntamente com o Guiné, o capim Angola, cuja presença no Brasil foi registrada em meados do século XVI, foi um dos primeiros a ser introduzidos no Brasil. Para esta espécie são conhecidos os tipos Angolão, Angola (ou fino) e Angolinha. O capim Jaraguá é originário da costa angolana e adentrou a Bahia ainda no século XVIII. Mostrou-se muito competitivo com os capins naturais do Cerrado, mas também adaptou-se a diferentes ambientes do Norte e Nordeste, apesar da limitada variabilidade genética. O capim Gordura chegou ao Brasil no século XVIII, ou mesmo antes, e já estava bem disseminado no país no início do século XIX, dada a adaptação aos solos já esgotados pelo café ou aos ambientes montanhosos do Cerrado. É encontrado pelos tipos Gordura, Francano, Cabelo de Negro etc. (Rocha, 1988).

As primeiras quatro espécies de gramíneas citadas foram em boa parte responsáveis pelo sucesso da pecuária brasileira até o século XIX. A partir das décadas de 1930 e 1940, com o declínio da economia cafeeira, os capitais passaram cada vez mais a ser aplicados em outras atividades, como a indústria e a agricultura, mas também muito fortemente na pecuária. Uma importante mudança foi o avanço das pastagens em

áreas de floresta. Se até a década de 1930 as invernadas de pastagens plantadas eram criadas sobretudo onde havia vegetação rala, dada a facilidade com que as gramíneas aí cresciam após a queima da vegetação, aos poucos uma parte dos pecuaristas adentrou em terras de matas. Alguns tinham mesmo a intenção de aliar a criação do gado à “formação” de novas fazendas, não raramente situadas em terras devolutas ou onde havia litígio sobre a posse, que mais tarde eram vendidas a agricultores, como notou Mombeig (1984) no interior do estado de São Paulo. Além dos estados mais desenvolvidos, desde as três primeiras décadas do século XX, o interior do país, sobretudo Goiás e Mato Grosso, também começava a participar mais ativamente do mercado de produtos da pecuária, já tradicional. Nesses estados era comum que o arroz de sequeiro fosse plantado com a função de “amansar a terra”, isto é, diminuir a acidez do solo e as ervas daninhas, para depois se lançar as sementes de capim (Estevam, 1998).

A pecuária bovina, que até a década de 1930 era uma atividade marginal na economia brasileira, passou a ser um dos seus pilares. Em 1920 o censo contou 34.271.324 de bovinos, enquanto o de 1940 apontou 34.457.576 de cabeças, indicando estagnação, ou mesmo retração relativa, da pecuária. Foi a partir da década de 1940, quando o rebanho cresceu 37%, que o gado bovino começou a aumentar continuamente e a pastar cada vez menos nos pastos naturais ou formados com os quatro capins tradicionais.

O momento econômico favorável fez com que a partir das décadas de 1930 e 1940 novas espécies de gramíneas fossem introduzidas na pecuária, dando início ao que Rocha (1988) denominou “os ciclos dos capins”. Por parte dos pecuaristas a preocupação recaía sobre a degradação das pastagens, o fim comum da maioria dos pastos. Estavam desejosos de encontrar uma “planta milagrosa”, que se desse com a terra fraca e suportasse o inverno, ainda nutritiva para o gado, pois das quatro espécies mais usuais, apenas o capim Angola (*Brachiaria mutica*) não havia levado os pastos ao esgotamento, contudo não podia ser plantada fora das baixadas, naturalmente mais férteis. Essa preocupação adentrou as universidades e centros de pesquisa, que foram fortalecidos e multiplicados no primeiro governo de Vargas. Assim, a pesquisa por novas variedades, que já havia sido iniciada na primeira década do século XX, ganha novo fôlego. Ainda antes dos ciclos dos capins, em 1923, o capim africano Quicuiu (*Pennisetum clandestinum*) foi introduzido no Sul do país, que antes já havia recebido, dentre outras, as forrageiras exóticas Azevém (*Lolium multiflorum*) e o trevo

(*Trifolium*spp). Outra descoberta dessa década foi o capim Elefante (*Pennisetum purpureum*), exigente quanto à fertilidade e de uso restrito para o corte e a ensilagem, pois não suporta o pisoteio (Rocha, 1988).

Os ciclos dos capins em si, dada a sua natureza científica, não ficaram circunscritos à descoberta de uma gramínea extraordinariamente diferente das tradicionais, mas se voltou para a resposta das plantas à adubação, sistemas de corte, aceitação pelos animais, tolerância a pragas, frio, seca, pastejo, comportamento em solos e climas, etc. Os ciclos ocorreram a partir da década de 1950 e cada um se refere ao estudo, disseminação e resultados de uma planta significativa, podendo ocorrer concomitante com o ciclo de outra planta. O primeiro ciclo foi o do capim Pangola (*Digitaria decumbens*), trazido dos EUA e introduzido pelo Instituto Agrônomo de Campinas em maio de 1948, ficando inicialmente aos estudos de conservação do solo. O instituto promoveu nova introdução em 1950, com material vindo da Flórida (EUA), e em 1960, dessa vez trazido da Venezuela. A planta apresentou boa adaptação aos mais diferentes ambientes, desde o Rio Grande do Sul ao Nordeste, substituindo com vantagem os tradicionais Colômbio e Jaraguá. Uma das dificuldades estava na sua forma de propagação, pois, não apresentando sementes, é plantado por estolões, e apresenta dificuldade de melhoramento genético. Foi atacado pelo vírus do “*littleleaf*”, pela cigarrinha (*Deois*spp) e pela cochonilha (*Antonina graminis*), esta última detida por uma vespa trazida da Índia e criada em laboratório, a *Neodusmetia sangwani* (Rocha, 1988).

As gramíneas rasteiras do gênero *Cynodon*, recebidas dos EUA na década de 1960 e aqui cruzadas com outras, tiveram bom desenvolvimento em campos de esporte e na alimentação de bovinos. O ciclo do capim Elefante (*Pennisetum purpureum*), a partir das plantas introduzidas na década de 1920, fez com que mais de trinta cultivares fossem desenvolvidas, algumas crescendo mais de três metros de altura. Servindo quase sempre para a ensilagem, as pesquisas avançaram muito nas técnicas de conservação do material estocado. Outra gramínea desenvolvida para a ensilagem foi o capim Guatemala (*Tripsacum laxum*), que se disseminou rapidamente a partir da década de 1960 por suportar bem os períodos de estiagem. O *Panicum maximum* iniciou seu ciclo a partir de sementes vindas da Austrália e se desenvolveu a partir de várias cultivares comerciais desde a década de 1960, chegando a se incorporar em alguns ecossistemas do Cerrado. A *Setaria sphacelata*, introduzida antes da década de 1960, contou com

outras variedades na década seguinte e se adaptou bem aos climas frios com geadas leves do sul, mas chegou a se desenvolver bem no Pantanal (Rocha, 1988).

No começo da década de 1960 teve início o ciclo do gênero *Brachiaria*, sem dúvida o mais duradouro e espacialmente expansivo. A *B. decumbens*, originária do Pará, ocupou inicialmente os solos pobres do Cerrado, mas logo passou a ser usada nos mais diversos ambientes. Esse sucesso provocou a busca de novas espécies na África, de onde foram trazidas as espécies *B. ruziziensis*, *B. brizantha*, *B. arrecta* e *B. humidicola*, esta última afeita ao ambiente amazônico, onde é chamada “Quicuiu do Amazonas”. O sucesso das braquiárias foi tanto que, tem sido plantada mesmo em solos férteis, que daria suporte a gramíneas de melhor rendimento (Rocha, 1988). Estima-se que atualmente 80% das pastagens brasileiras são do gênero *Brachiaria* (Schunke, 2001) e que, dos 190 milhões de hectares, 50 milhões são ocupados apenas pela *B. Brizantha* cv. Marandu (Jank et al., 2014).

O Nordeste brasileiro, além de ter recebido algumas das gramíneas que se adaptaram a outros ambientes do país, obteve maior sucesso com o ciclo do capim Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), originário da África, Índia e Indonésia. Introduzido na Austrália em 1870, chegou ao Brasil pelo estado de São Paulo em 1953, mas somente mais tarde foi levado ao Nordeste, onde passou a ser estudado desde o final da década de 1970 (Oliveira, 1981). As mais de vinte cultivares variam do porte alto ao baixo e adaptaram-se ao calor e às diferentes condições hídricas encontradas nessa região (Rocha, 1988).

No início da década de 1980 teve início o ciclo do Andropógom (*Andropogon gayanus*), a partir da variedade *bisquamulatus*, cultivar Planaltina, para solos de baixa e média fertilidade. No final da década de 1950, já se havia conhecido a variedade *squamulatus*, mas houve problemas com a produção de sementes. A cultivar Planaltina apresenta facilidade de melhoramento genético e é muito adequada ao cultivo associado com leguminosas, dado o seu porte ereto, fazendo com que competisse com as braquiárias (Rocha, 1988).

Ao lado das pesquisas e lançamentos de gramíneas, um dos grandes percalços da pecuária brasileira sempre foi a manutenção da qualidade dos pastos, que sempre se esbarrou no custo do manejo, sobretudo no que se refere à adubação. A adição de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por meio das rochas calcárias é uma necessidade quase sempre presente, considerando-se que boa parte da pecuária nacional se dá nos solos ácidos do Cerrado. Enquanto o calcário é encontrado em ambientes naturais, por isso é

relativamente barato, a adubação básica de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e nitrogênio (N), além dos micronutrientes, de fontes industriais representa grandes custos. No caso do N, o Brasil foi um dos países pioneiros a pesquisar a fixação desse elemento por meio da simbiose leguminosa/*Rhizobium*, como forma de baratear o custo da produção. A primeira cultivar lançada foi a da espécie *Galactiastriata*, por meio de estudos do Instituto de Pesquisas IRI, conduzidos entre 1961 e 1963. Desde então várias outras leguminosas foram estudadas e melhoradas, de maneira semelhante ao que ocorreu com as gramíneas, destacando-se o gênero *Stylosanthes*. A maior dificuldade é que a adubação precisa atender à gramínea e à leguminosa, que normalmente necessita de P (Rocha, 1988). Recentemente passou-se a reconhecer que os resíduos de palha também incorporam N ao solo, mas a solução mais viável é a introdução de leguminosas (Schunke, 2001). Estima-se que para suprir completamente a necessidade de N em uma pastagem é necessário que as leguminosas componham 30% de toda a matéria seca (Cadisch et al., 1994). A inoculação de bactérias de *Rhizobium* nas gramíneas ou nas leguminosas e o uso de micorriza com fungos também começou a se desenvolver na década de 1960, mas ainda se mostram antieconômicas, face às grandes extensões das pastagens (Rocha, 1988).

Outra preocupação que acompanhou a revolução tecnológica das gramíneas foi a falta de material para o gado nos meses de outono e inverno, quando essas plantas entram em senescência devido ao estresse hídrico, frio e baixa insolação. Para isto desenvolveram-se técnicas de culturas de inverno, como as canas de açúcar, e a fenação e ensilagem de plantas cultivadas ainda no verão. Nos estados do Sul avançou-se nas culturas de inverno, como aveia, centeio, azevém, trevos, ervilhaca, etc. O uso da irrigação está em parte das propostas, apesar do elevado custo (Rocha, 1988).

Especialmente para o Nordeste, ocorreram melhoramentos das cactáceas ainda em 1877, com a “Palma Santa”, resultado do cruzamento de outras duas espécies vindas do Texas, EUA. Em Juazeiro foi encontrada outra cactácea, ainda melhor, em 1905. Desde então a palma se disseminou pelo Nordeste, destacando-se as conhecidas pelos nomes Santa, Graúda, Miúda e Redonda (Rocha, 1988). Há também relatos de espécies vindas do México, que possui pesquisa mais evoluída que a brasileira (Cândido et al., 2013). Atualmente há mais de 500.000 de hectares cultivados com palmas no semiárido nordestino (Cândido et al., 2013). Também as espécies nativas têm sido mais bem conhecidas, como no trabalho de Lima (1996), contudo os avanços têm sido mais acanhados que no restante do país, dada a dimensão econômica da atividade pecuária.

Outra forma de alimentar o gado surgiu com os pastos arbóreos, cujos estudos se iniciaram na década de 1980, quando se destacaram: *Leucaena leucocephala*, *Prosopis* (para o Nordeste), *Desmanthus*, *Desmodium*, *Cassia* e *Cajanus*. Tem-se conhecimento de mais de vinte plantas promissoras para esse uso, algumas de uso já tradicional, dentre as quais se pode citar: Canafístula, Camunzé, Sabiá, Jurema, Jucá, Catingueira, Unha-de-Vaca, Turco, Faveiro, Umarizeiro, Feijão Bravo, Pau Branco, Juazeiro, Ficus e *Capparis* (Rocha, 1988).

Na esteira de acontecimentos que levaram o Brasil a produzir cada vez mais conhecimento técnico-científico sobre a pecuária, um dos fatos marcantes foi a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em abril de 1973, notadamente no auge do chamado milagre econômico. A empresa herdou toda a estrutura do Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação (DNPEA) e se tornou o núcleo do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA) e um marco na história da extensão rural no país. Um dos quatro primeiros centros de pesquisa a serem criados foi a Embrapa Gado de Corte, em 1974, que encabeçou o desenvolvimento de pesquisas com pastagens e bovinos para todo o país.

Anda no âmbito das políticas dos governos militares os programas de ampliação da agropecuária merecem destaque. No II PND, a proposta estratégica para a pecuária incluía a ocupação de novas áreas, sobretudo nas regiões Centro-Oeste e Norte. Nas regiões Sudeste e Sul, onde a pecuária já estava consolidada, pretendia-se modernizar ao máximo a produção, dotando-a de base empresarial e ainda, criando corredores de abastecimento/exportação. Para a região Nordeste, criou-se o Programa de Desenvolvimento de Áreas Integradas do Nordeste, que, dentre outras ações, pretendia aumentar o número de rebanhos e elevar a produtividade da pecuária em uma área de 1,4 milhões de hectares.

Para as regiões Centro-Oeste e Norte foram criados o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro) e o Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (Polamazônia). O Polocentro previu a ocupação de 3,7 milhões de hectares distribuídos da seguinte forma: 1,8 milhões de hectares para lavouras, 1,2 milhões para a pecuária e 700 mil hectares para reflorestamento (Alencar, 1975). Dentre as determinações estava o melhoramento das pastagens plantadas, que deveriam expandir sobre as naturais. Estima-se que as novas espécies de pastagem possibilitaram a criação de cinco a dez vezes mais animais por área que na criação com pastagem natural, que ainda era muito usada nessa década (Brossard; Barcellos, 2005).

Ainda que o Polocentro não tenha sido executado em sua plenitude, o padrão técnico da agropecuária do Cerrado começou a se transformar irreversivelmente, com a tecnologia mais avançada servindo de parâmetro para toda a produção. Assim, a quantidade de pastagens plantadas aumentou significativamente tanto nas áreas abrangidas pelo programa quanto nas que não foram objeto de sua ação direta, já que durante os governos militares os créditos agrícolas abaixo das taxas de juros de mercado e os incentivos fiscais eram facilmente concedidos aos médios e grandes produtores (Silva, 1981). Esse programa, além do seu sucessor, o Programa de Cooperação Nipo-brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (Prodecer), entre 1978 e 2001, transformou o Cerrado no produtor de grande parte dos alimentos e matérias-primas que atendem ao mercado interno e externo (Inocêncio, 2010).

No Polo amazônico a pecuária foi inserida no subprograma dos Polos Pecuários. A meta era elevar o rebanho da região para 5.000.000 de cabeças até o final da década de 1970. As principais áreas de atuação eram o norte do Mato Grosso, o norte de Goiás (atual estado do Tocantins) e o sul do Pará. Essa estratégia, além do aumento da produção, visava a ocupação das faixas de 100 km das rodovias federais na Amazônia.

As duas áreas priorizadas por esses programas, a região Norte (Amazônia) e a região Centro-Oeste (Cerrado), responderam de formas diferentes ao planejamento. No Cerrado a modernização da agropecuária se deu sem grandes problemas, pois aí havia terras baratas, atividades agropecuárias já em funcionamento e uma imensa rede viária e urbana. Na Amazônia a modernização esbarrou no alto custo das grandes rodovias, nos conflitos pela posse da terra, na inexistência da rede urbana mínima para a agropecuária. Por isso os maiores êxitos foram obtidos nas bordas da Amazônia Oriental, por onde ela se abre à agropecuária já consolidada no Cerrado, destacando-se o avanço das pastagens plantadas depois de retirada floresta. Essa dualidade entre os biomas advém também da pressão pela conservação da Amazônia, sobretudo após a Conferência de Estocolmo, em 1972, primeiro grande congresso internacional sobre a biodiversidade mundial, que ocorria justamente no momento em que a política brasileira estava enxergando a floresta como espaço a ser ocupado economicamente. De fato, até antes da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento as diplomacias de vários países cogitavam a transformação da Amazônia em um território internacional de conservação de recursos naturais (Ribeiro, 2001). O Cerrado não logrou desfrutar dos olhos conservacionistas do mundo e, num acordo tácito, foi dado em sacrifício pela

Amazônia, que passou a receber dos governos tanto ações de promoção econômica quanto de conservação.

Os censos agropecuários do IBGE registraram o abandono da pecuária baseada no uso das pastagens naturais. Houve um movimento nacional de aumento do uso de pastagens, com grande participação das naturais até a década de 1970, que depois perde espaço para as plantadas. Regionalmente, percebe-se que no Sudeste a pecuária tendeu a utilizar cada vez mais as pastagens plantadas. O uso considerável das pastagens naturais está concentrado, sobretudo no norte do estado de Minas Gerais, onde as condições edafoclimáticas e socioeconômicas se assemelham muito ao da região Nordeste. Na região Sul, apesar do aumento das pastagens cultivadas, o maior uso continuou sendo das naturais, concentradas ao sul do estado do Rio do Grande do Sul. A região Nordeste também explora mais intensamente as pastagens naturais, muito em função das restrições edafoclimáticas e socioeconômicas. O grande destaque cabe à região Centro-Oeste, para onde se direcionou boa parte da produção pecuária nacional. Apesar de haver ainda o uso considerável de pastagem natural, em nenhuma outra região as pastagens plantadas se expandiram tanto. A região Norte, atual fronteira de expansão da pecuária nacional, se destaca pela produção extensiva, que se baseou muito nas pastagens naturais até a década de 1970, mas que tem adotado cada vez mais as plantadas.

Para o IBGE, as pastagens naturais são as áreas de vegetação natural que são usadas para o pastejo de animais. Cessado o uso, em outros censos, a área volta a ser categorizada como vegetação natural ou com outro uso, como pastagem plantada ou agricultura. Isso explica por que, em algumas áreas, a pastagem natural aumenta. É o que ocorreu, sobretudo nas frentes de expansão vindas das regiões Centro-Oeste e Nordeste em direção à Amazônia, entre os censos de 1970 e 1975 (Figura 27). Isto denota o baixo padrão técnico dessas frentes, que se baseiam no uso extensivo de terras baratas, muitas delas com problemas em relação à documentação cartorária, e que aproveitam ao máximo os recursos existentes, incluindo as forragens naturais. Esse é o movimento que se vê entre os censos de 1970 e 1985. Depois de então, as pastagens naturais passaram a ser cada vez menos usadas em todo o país. O censo de 2006 apresenta uma realidade muito diversa da do censo anterior, indicando um salto tecnológico da pecuária em todo o país. A diminuição do uso de pastagens plantadas nas bordas da Amazônia Oriental e Meridional.

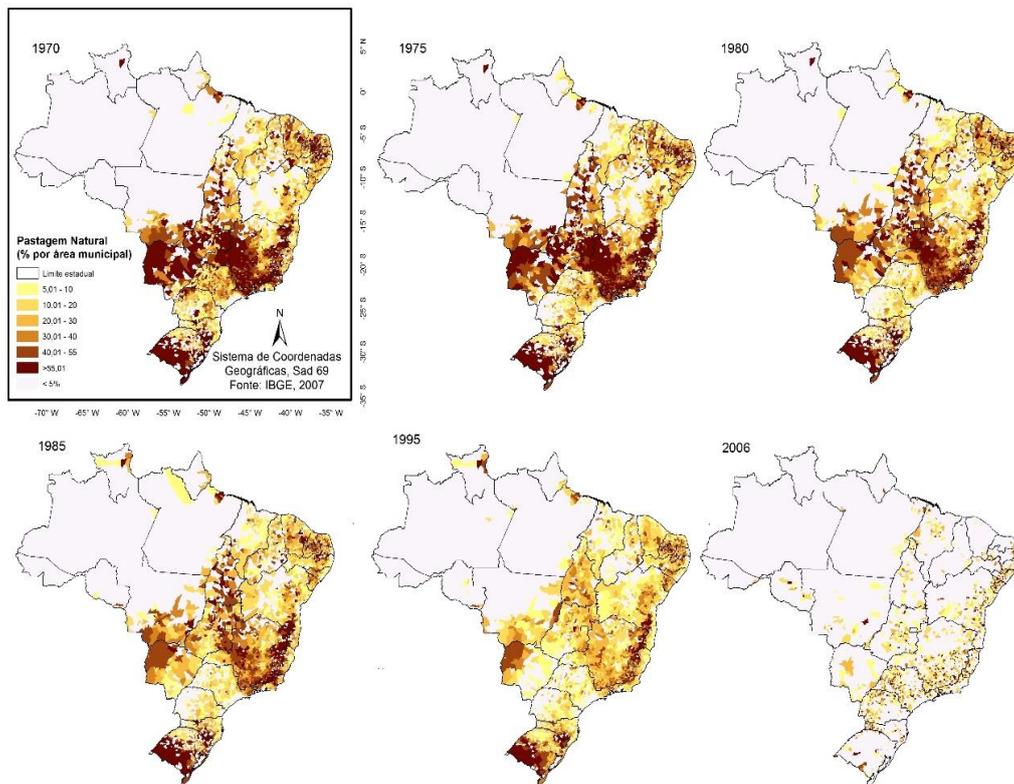


Figura 27 – Mapas da ocupação do Brasil por pastagens naturais, segundo os censos agropecuários de 1970 a 2006.

A despeito do que mostram os dados estatísticos, é possível que não reflitam a estrita realidade. Sabendo-se que as quantificações são baseadas nas declarações dos proprietários, é possível que quisessem declarar estar em uso produtivo boa parte da extensão de sua propriedade, pois o domínio de terras no Brasil se justifica pelo seu uso produtivo, tanto no caso do acesso precário à terra (posses) quanto no acesso por compra, que pode ser objeto de desapropriação para reforma agrária quando não cumprir sua função social, que é a produção. Ora, a história mostra que o uso das pastagens plantadas é uma prática secular. Em uma área de vegetação rasteira e arbustiva basta lançar sementes e soltar o gado, que logo a gramínea exótica se torna quase que exclusiva na terra pelo sufocamento das demais plantas. Mesmo o melhoramento genético dos animais ocorreu ainda no século XIX, inclusive no interior do país, onde os censos mostram intenso uso de pastagens naturais. O último censo agropecuário, ao mostrar uma diminuição drástica do uso dessas pastagens em apenas uma década, pode estar mostrando outras mudanças: as propriedades estão, de fato, sendo usadas mais produtivamente; os proprietários estão se sentindo juridicamente mais seguros em relação à posse e domínio da propriedade; e o IBGE está conduzindo o censo com maior refinamento. As notas técnicas do último censo apresentam algumas

mudanças significativas em relação ao censo de 1995, que trazem as seguintes definições:

Matas e/ou florestas naturais - compreenderam as áreas utilizadas para a extração vegetal, cobertas por matas, e as florestas naturais, não plantadas, inclusive as áreas com mato ralo, caatinga ou cerrado, *que foram utilizadas ou não para o pastoreio de animais*. Não se incluiu as áreas de preservação permanente e as áreas em sistemas agroflorestais.

Terras inaproveitáveis para a agricultura ou pecuária (pântanos, areais, pedreiras, etc.) - formadas por áreas inadequadas para implantação de culturas, pastos e matas, tais como: encostas íngremes, pedreiras, *pântanos* e outras. (IBGE, 2012 p. 50, 51, grifo nosso).

Esse refinamento fez com que boa parte das propriedades com pastagem natural nos censos anteriores deixassem de constar nessa categoria. Especialmente os campos naturais do Sul, em boa parte ainda natural, as terras alagadas do Pantanal, as planícies do médio Rio Araguaia, deixam de serem considerados pastos naturais. Acrescente-se a isto o novo critério de contabilizar apenas os rebanhos de corte com mais de 50 cabeças e rebanhos de leite com mais de 5 cabeças (IBGE, 2012), fazendo com que as propriedades familiares com poucos animais criados soltos na pastagem natural não entrem nas estatísticas, diminuindo ainda mais essa categoria de uso.

Outra categoria de uso do censo de 2006 introduziu uma importante categorização que possibilita enxergar melhor o que ocorre na criação extensiva de bovinos, ainda que não haja a identificação do tipo de animal:

Áreas florestais usadas para lavouras e pastejo de animais– compreenderam as áreas ocupadas com o sistema agroflorestal de produção, baseado em consórcios ou combinações de espécies florestais variadas (árvores ou palmáceas), produtivas ou não, com agricultura diversificada e/ou criação de animais, que normalmente é de forma intensiva e em escala reduzida. (IBGE, 2012 p. 50).

No censo de 1995 esse tipo de uso compôs as categorias matas e florestas naturais, matas plantadas e terras produtivas não utilizadas, velando modos de vida tradicionais. Percebe-se claramente que é na região Nordeste que mais se utiliza a vegetação nativa para o pastejo extensivo de animais (Figura 28), claramente conformado pelas condições ambientais impróprias à pecuária intensiva e às pastagens plantadas.

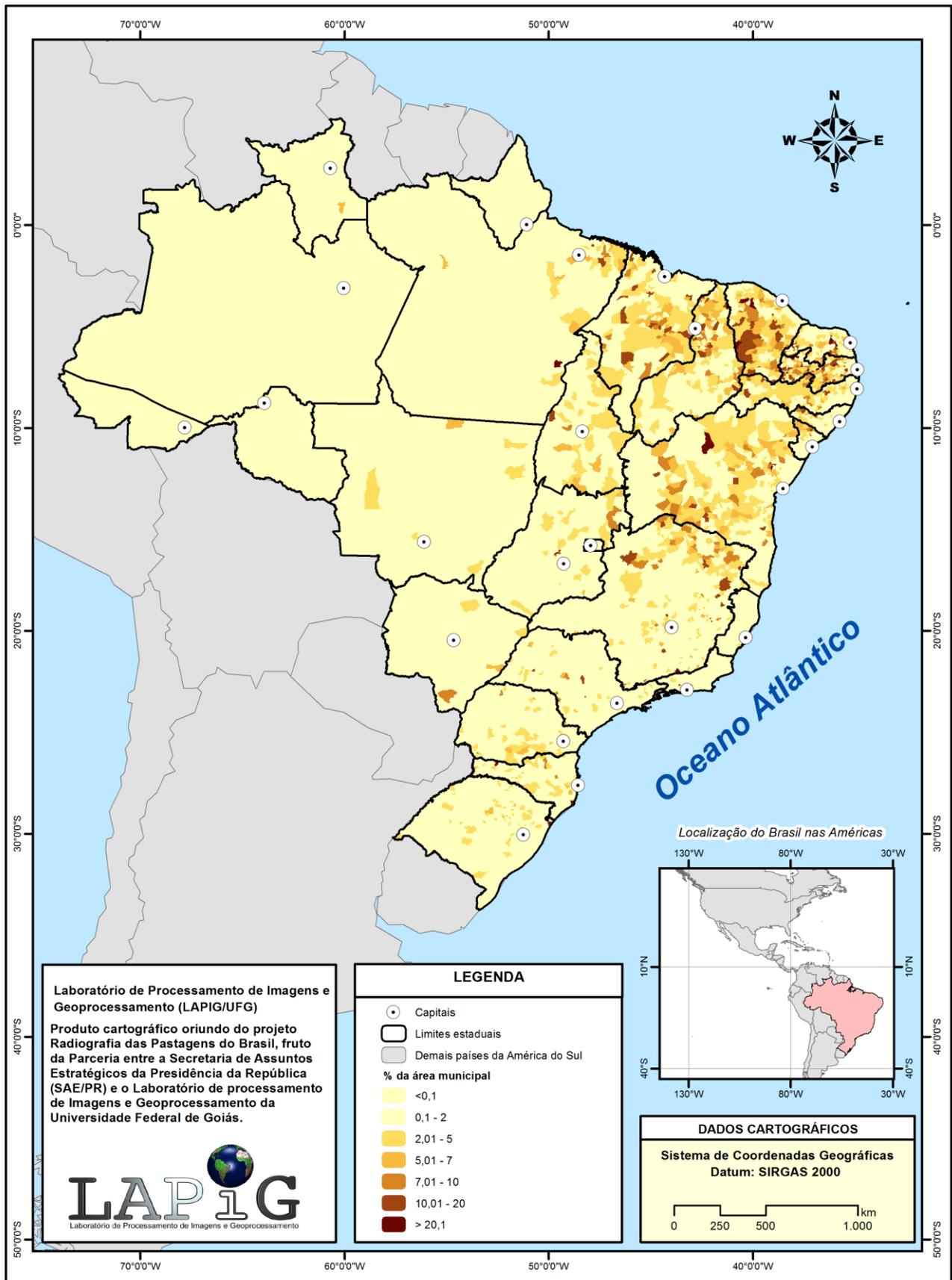


Figura 28 – Área cultivada com espécies florestais também usadas para lavouras e pastejo de animais – 2006 Fonte: IBGE (2012).

A história espacial das pastagens plantadas pode ser vista sob a perspectiva da sucessão de ciclos econômicos no território nacional. A economia cafeeira transformou a região Sudeste num espaço privilegiado de reprodução do capital, atraindo e difundindo diversos fluxos pelas estradas e ferrovias, que deu vantagem a São Paulo nos novos ramos econômicos. Ao deixar de ser atividade periférica, a pecuária se alimentou das terras, capitais e tecnologias disponíveis para crescer. A serviço do café as ferrovias haviam chegado ao oeste paulista, onde as pastagens cultivadas se espalharam rapidamente, transformando este espaço em um polo irradiador da pecuária mais avançada tecnologicamente, como se vê na sucessão de mapas até o censo de 1995 (Figura 29). Tão logo o Brasil optou pelo incremento do transporte rodoviário, lançando vias em todas as direções a partir de Brasília, no Planalto Central, as pastagens plantadas puderam grassar pelas margens desses eixos e de outros caminhos, como se pode ver nitidamente no caso da Belém-Brasília (BR-153), que corta o Tocantins. Pela BR-163, fez-se o mesmo no Mato Grosso, como também pela BR-365, em Minas Gerais. O oeste paranaense serviu de zona de expansão do oeste paulista, fazendo mesmo com que essa parte do Paraná fosse dinamizada mais rapidamente que a sua porção leste. O Nordeste tem o maior foco de dispersão das pastagens plantadas na Zona da Mata e no Agreste, onde o clima não é tão severo como no Semiárido, que recepcionou essas gramíneas mais branda e lentamente. Outro ponto de dispersão das gramíneas no Nordeste foi o interior do estado do Maranhão, sobretudo na margem esquerda do Mearim, na região da Mata dos Cocais, onde as palmeiras e os capins formam uma paisagem antrópica que mais parece ser natural.

O censo de 1995 mostra o que pode ser considerado como o ponto de saturação da expansão das pastagens plantadas no Centro-Oeste, ao passo que nas regiões Sul e Sudeste elas se retraem e recebem mais tecnologia, visto que o preço da terra exige grande retorno para que a pecuária possa competir com a agricultura em expansão. O passo seguinte à consolidação das cultivadas no Centro-Oeste é o adentramento da frente de expansão no Norte, onde a ocupação da floresta é mais trabalhosa, porém a terra é barata ou mesmo nem é comprada. Para esse ambiente sob influência do clima equatorial, quente e úmido, acometido de graves secas em alguns anos, foram pesquisadas muitas gramíneas, tanto para ambientes de terra seca, como de várzeas e campos (Camarão et al., 2006). Vale destacar o papel que aí desempenham as rodovias, pois a pecuária depende delas para se alastrar pelas “espinhas de peixe” que dão forma à

ocupação às margens da Transamazônica (BR-230) e da BR-364, que possibilitou a instalação e ampliação do maior assentamento agrário promovido no Brasil, no estado de Rondônia, cuja mancha é visível mesmo em imagens de satélite. Outra porta de entrada da Amazônia se abriu pelo estado de Roraima, a começar pelas estepes savânicas semelhantes ao Cerrado. A década de início dessa saga amazônica é a de 1980, como consequência das políticas presentes no II Plano Nacional de Desenvolvimento, apenas em parte executadas pelos últimos governos militares, mas que desencadeou um movimento de ocupação territorial que ainda não se equilibrou. Ao contrário de todas as outras regiões brasileiras, na Amazônia as reservas indígenas e as unidades de conservação são barreiras para a expansão da agropecuária e fontes de intensas disputas de poder.

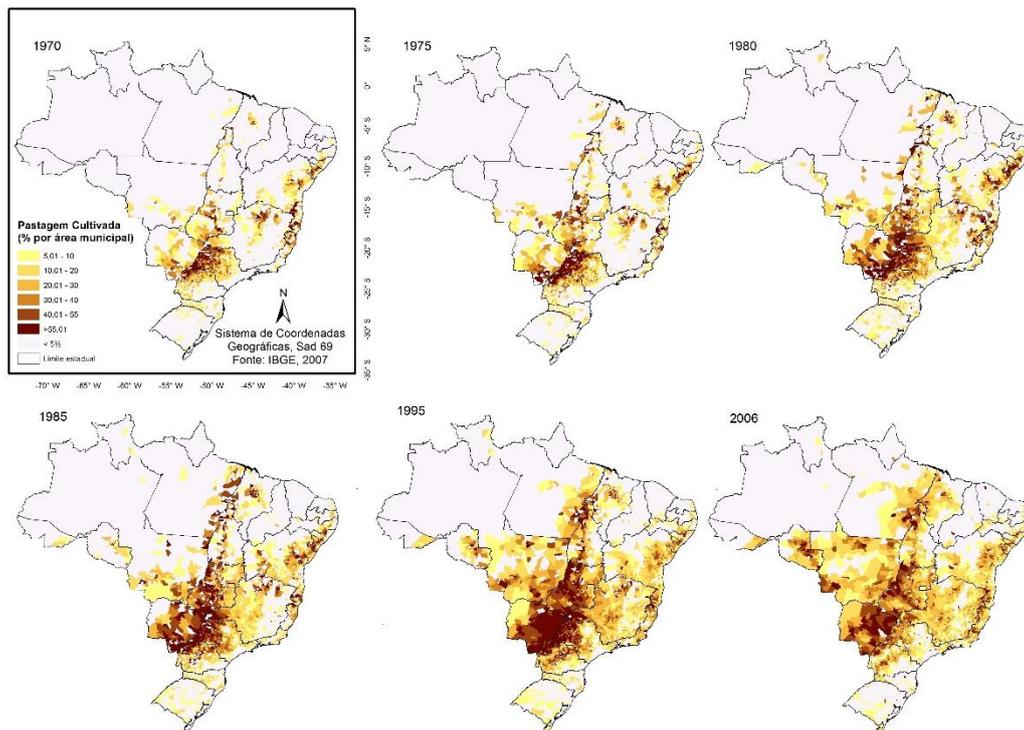


Figura 29 – Mapas da ocupação do Brasil por pastagens plantadas, segundo os Censos Agropecuários de 1970 a 2006.

Uma importante inovação do censo de 2006 foi mensurar as forrageiras de corte, que tem sido desenvolvidas há algum tempo, como vista acima, e desempenham o papel de socorrer o gado nos meses de estiagem. Ao que parece, essa prática está disseminada em todo o país, mas se mostra de forma mais intensa onde o padrão técnico é elevado, como no estado de São Paulo e na região Sul, com alguma expressão também no centro-sul goiano, no Triângulo Mineiro e a oeste do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 30). Na Amazônia o mapa as maiores proporções onde há poucos bovinos, devendo ser

entendida mais como uma limitação dessa correlação. Veja-se que no estado de Rondônia, onde há intensa pecuária, utiliza-se pouca forrageira para corte, que deve ser atribuída à distribuição mais regular da precipitação durante o ano, propiciada pelas monções amazônicas. O clima parece ter forte influência na pouca presença das forrageiras de corte no semiárido nordestino, onde o gado está sujeito a estiagens piores que as que assolam o restante do país. É de se pensar que o período chuvoso é tão curto e variável que se torna arriscado apostar no bom desenvolvimento das forrageiras para corte, sobretudo os capins, mais frágeis que as cactáceas e palmáceas.

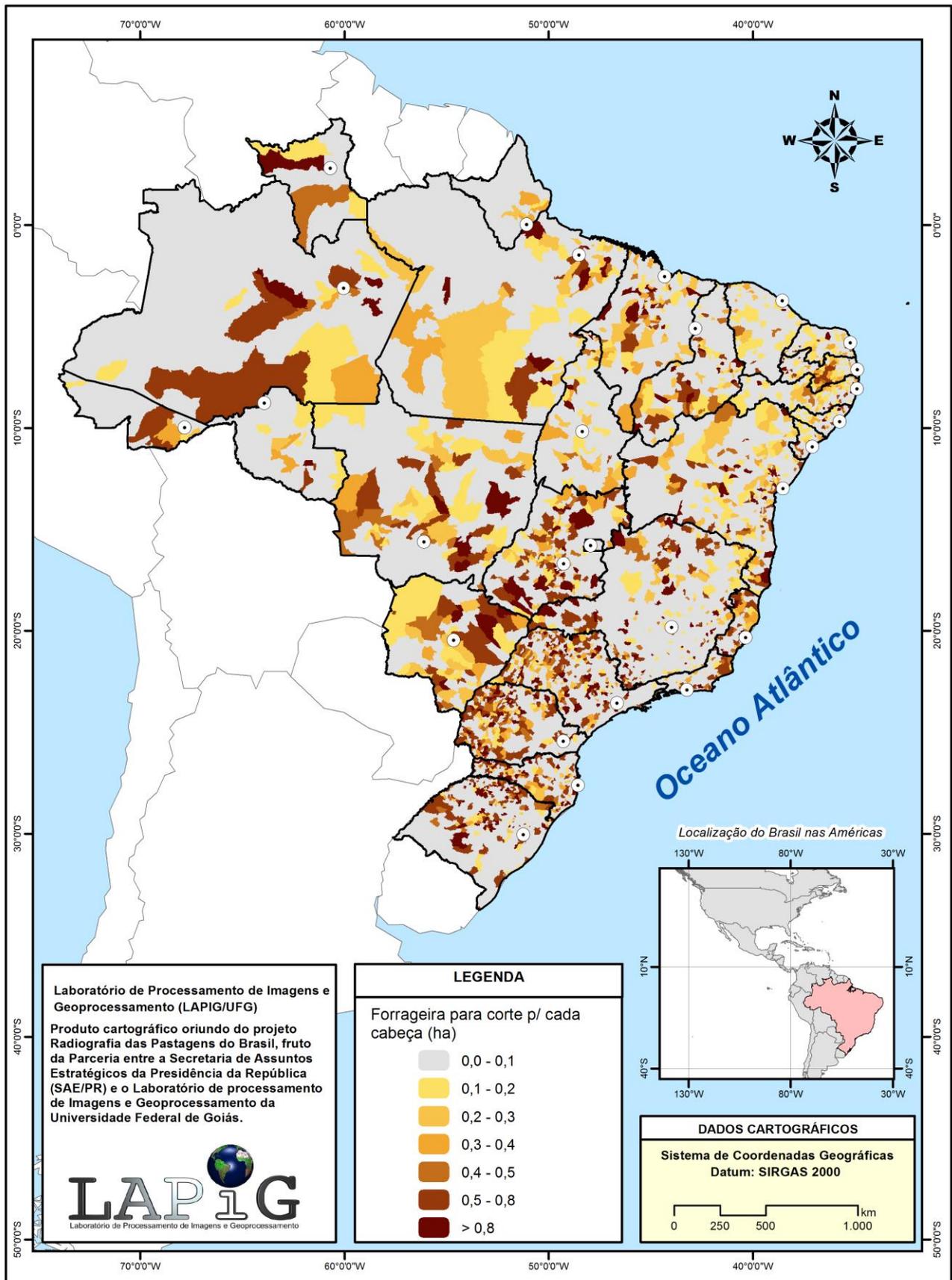


Figura 30 – Área de forragem de corte para cada cabeça de bovino (ha/cab.)

O censo de 2006 também inovou ao contabilizar as pastagens degradadas separadamente, tornando esse dado uma preciosa informação, dada a extensão dessas áreas. A figura 31 mostra que a quantidade de pastagem nessa condição é alta em praticamente todos os municípios onde há expressiva atividade pecuária. Chama à atenção a quantidade de pastagem degradada no Nordeste, que pode ser explicada pela propensão dos solos arenosos e da baixa precipitação a causar a degradação. O exemplo oposto está nos campos sulinos, que apesar da intensa pecuária apresenta apenas alguns municípios em situação crítica. Ademais, pode ser atribuído ao preço da terra a opção por deixar que as pastagens cheguem a esse nível de desgaste ou que não se invista na recuperação, pois muitos municípios da Amazônia Oriental e Meridional apresentam mais que 10% e mais que 25% de toda a sua pastagem plantada em estado de degradação. Por outro lado, há uma zona que vai do centro-sul de Goiás e de Minas Gerais e inclui o Mato Grosso do Sul, São Paulo e todos os estados do sul, onde predominam os percentuais de até 5% e 10%. Conclui-se que onde o ambiente for desfavorável ou o preço da terra for relativamente baixo grande parte das pastagens chegará ao estágio de degradação. Todavia, as políticas de restrição ambiental ou de apoio à recuperação podem ajudar a mudar essa realidade.

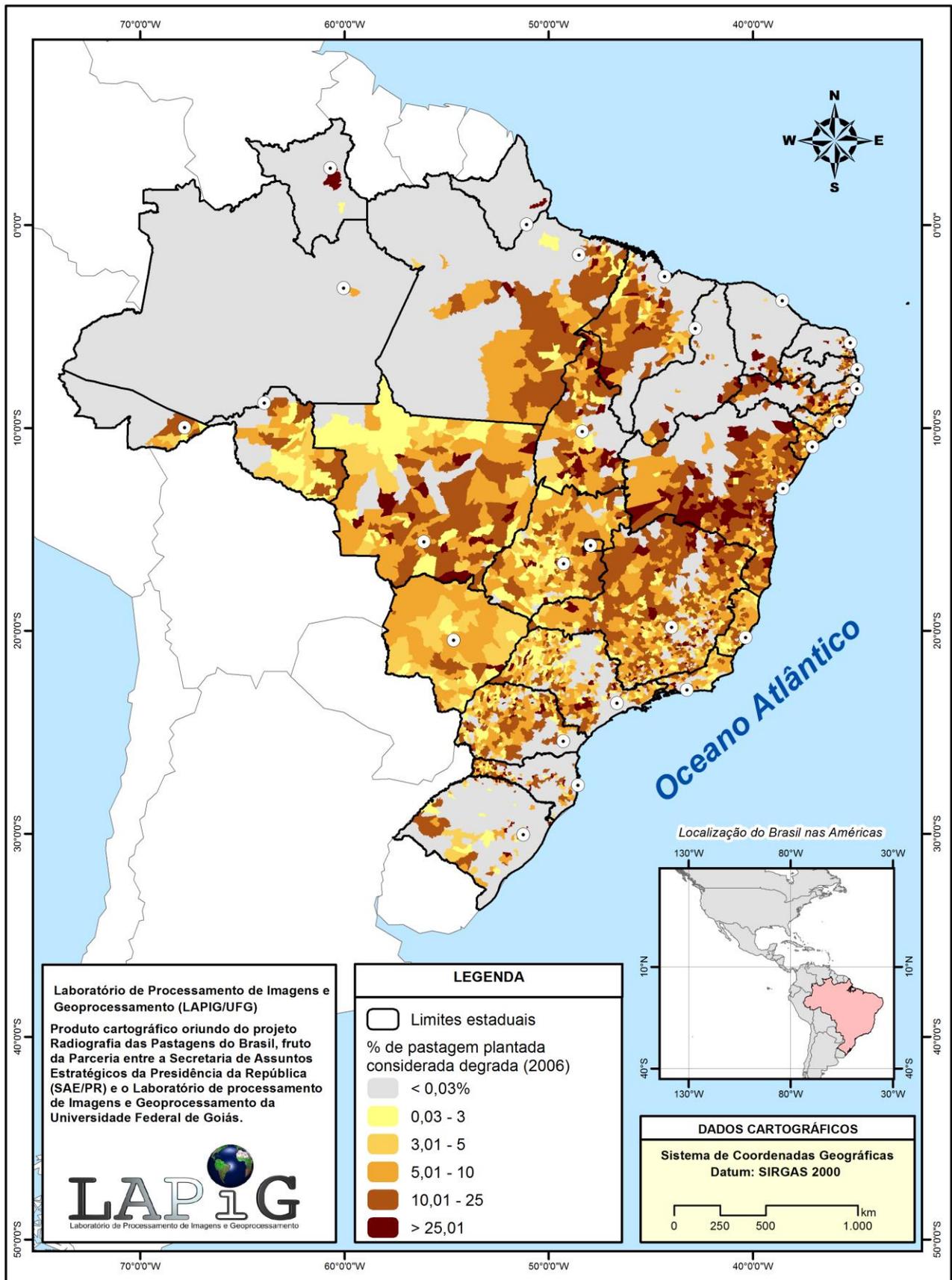


Figura 31 – Percentual da área de pastagem plantada considerada degradada – 2006

Nota: Utilizou-se a fórmula: (pastagem degradada)/(pastagem cultivada em boas condições + pastagem cultivada degradada)*100

A distribuição espacial das pastagens no Brasil segue de perto o que ocorre com o rebanho bovino (Figuras 32 e 33). Na série histórica de bovinos percebe-se o movimento da pecuária em direção às regiões Centro-Oeste e Norte, do mesmo modo que as pastagens. Contudo, a pecuária manteve-se importante nas regiões Sul e Sudeste, onde se utiliza de toda sorte de tecnologias para se perpetuar, seja com as pastagens naturais ou plantadas. As naturais se mantêm como boa opção no Pampa sulino e no Pantanal mato-grossense, como também no semiárido. Com exceção de um ou outro ambiente, como o norte dos estados do Pará e de Roraima, onde as pastagens naturais também são importantes, por todo o país as plantadas tem se estabelecido fortemente.

Da correlação entre todos os elementos analisados propomos um zoneamento das áreas homogêneas de pastoreio no Brasil (Figura 34).

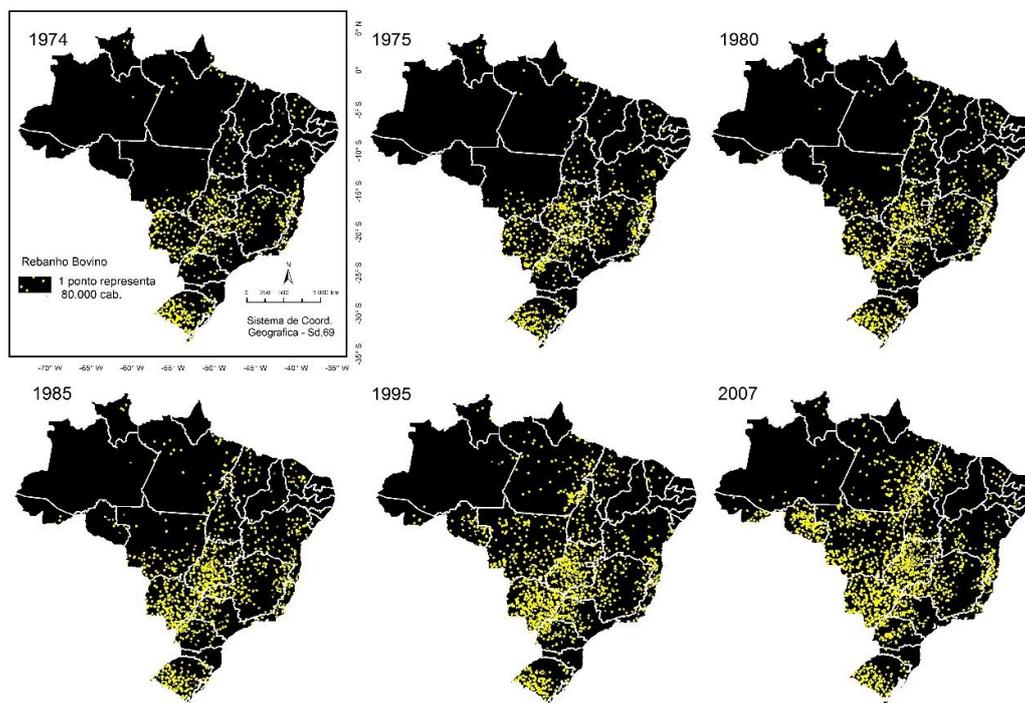


Figura 32 – Mapas da ocupação por bovinos no Brasil, segundo os censos agropecuários de 1975 a 2006. Fonte: IBGE

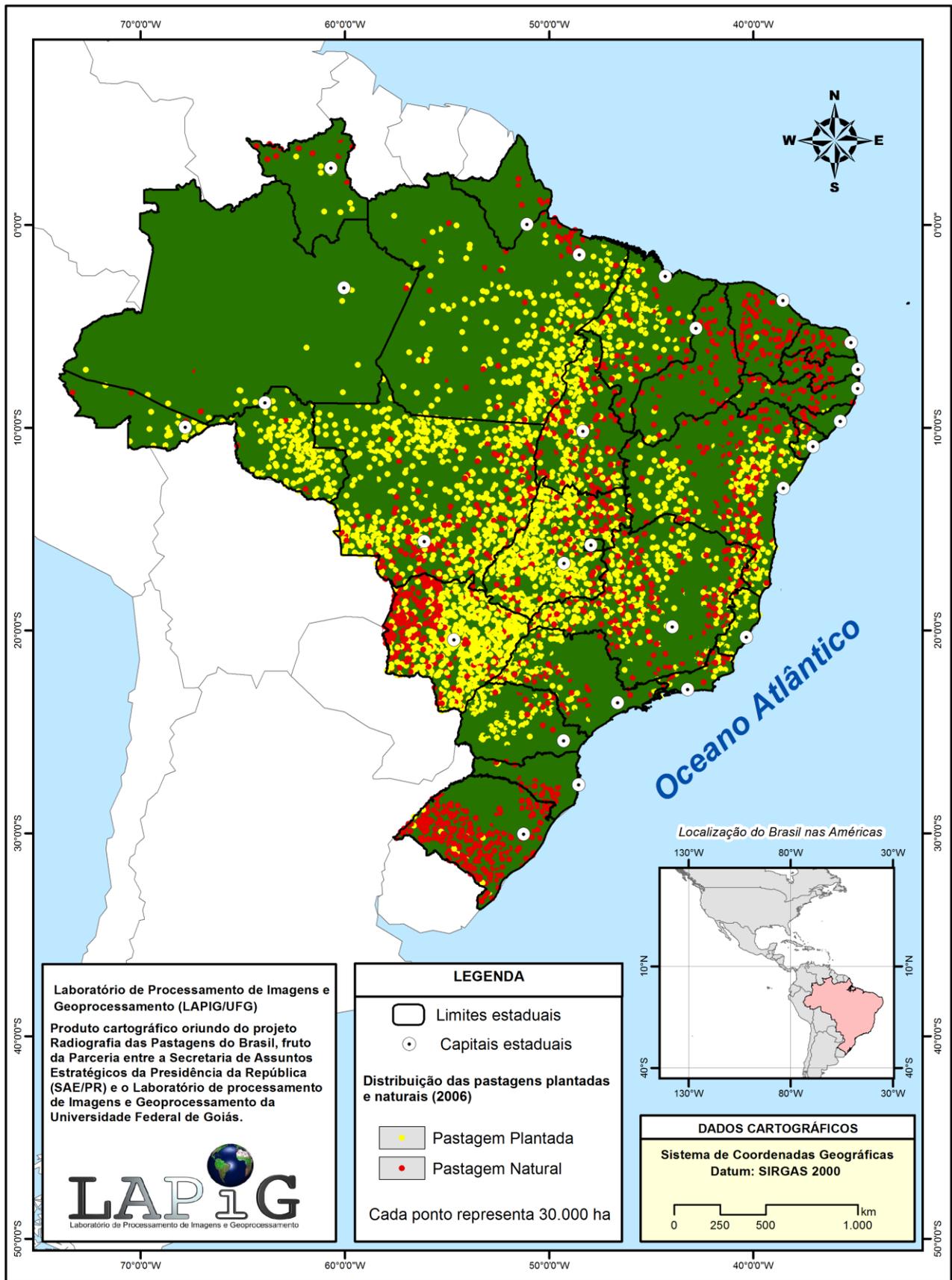


Figura 33 – Distribuição das pastagens plantadas e naturais no Brasil – 2006. Fonte: IBGE (2012)

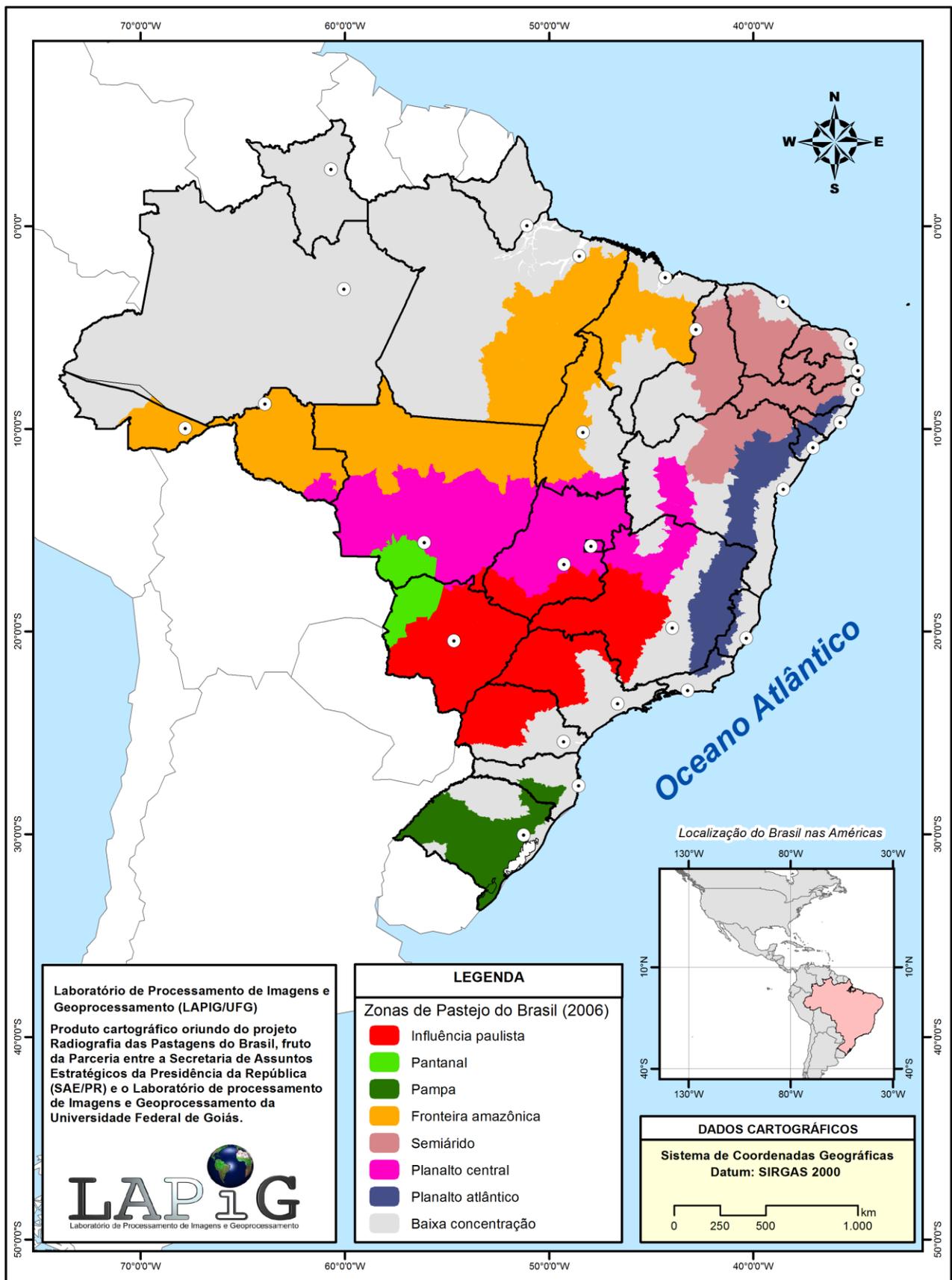


Figura 34 – Zonas de pastejo do Brasil delimitadas com base no histórico e na situação em 2006.

3.2.2 Estatísticas e padrões espaciais

A partir da espacialização dos dados do PROBIO em relação aos limites municipais (Figura 35), alguns questionamentos possíveis incluem: 1) Qual a relação entre extensão das pastagens e rebanho? i.e. os municípios com as maiores concentrações de pastagens são também possuem os maiores efetivos bovinos? 2) Em quais regiões prevalecem a produção pecuária efetiva, em contraposição ao uso das pastagens como reserva de terras?; 3) Maiores áreas de pastagens devem ser alvo de acesso facilitado a crédito?

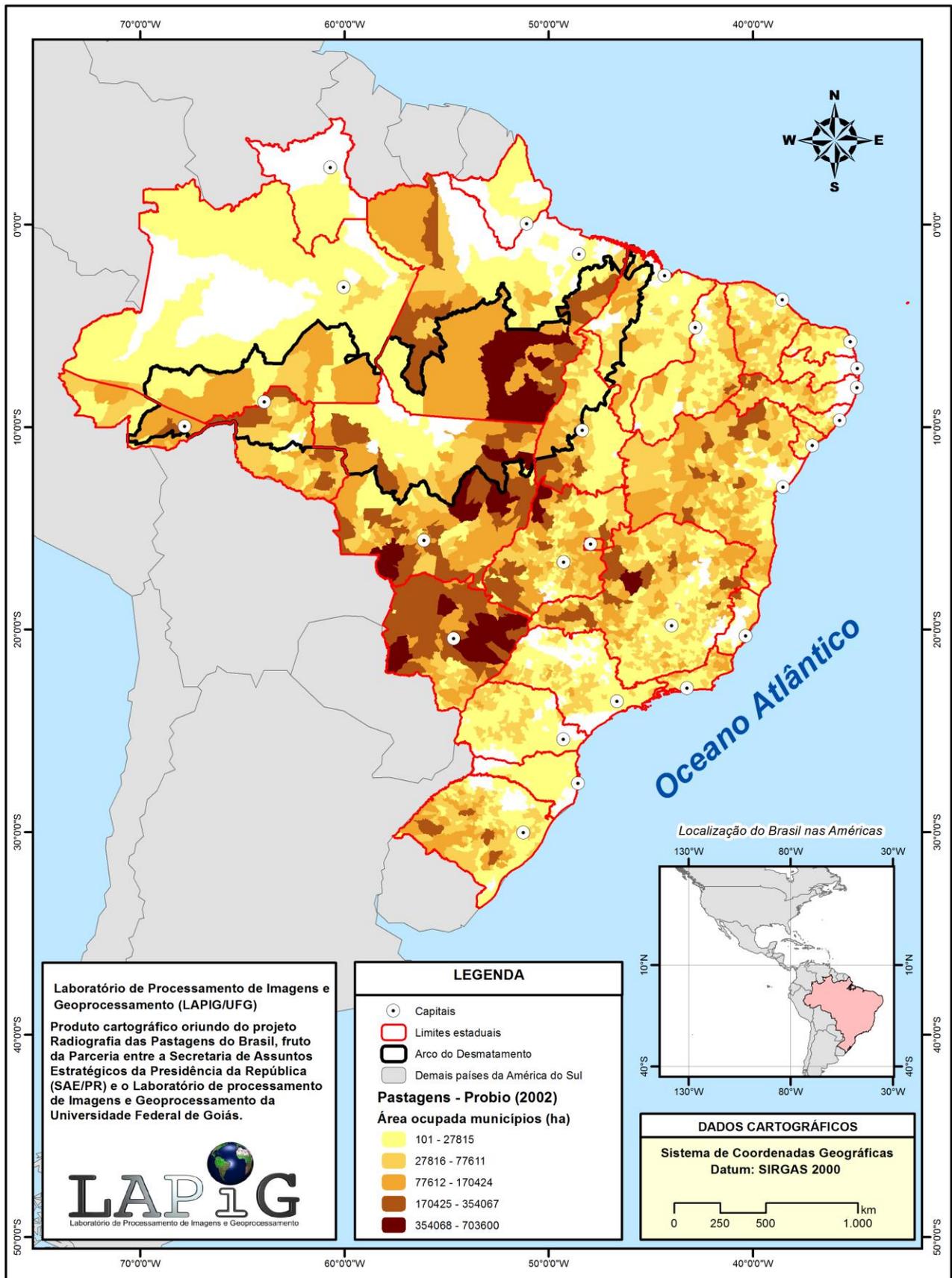


Figura 35: Área ocupada por pastagens cultivadas, conforme os limites municipais – PROBIO (2002).

Do ponto de vista da densidade, se pode comentar que as pastagens estão concentradas em um eixo que tem seu início (Norte) na área de transição entre o Bioma Cerrado e o Amazônico no Sudeste Paraense, passando pelo Leste de Mato Grosso, Norte e Leste do Mato Grosso do Sul. Pode-se falar em uma interiorização das Pastagens no Brasil, fato incentivado desde a época colonial, já que a coroa portuguesa proibia a criação de gado em uma faixa de até 80 quilômetros da costa.

Igualmente importante é saber qual a porcentagem do território municipal que é ocupado por pastagens, isto porque é grande a diferença de áreas entre os municípios brasileiros. Assim, e paradoxalmente, municípios sem expressividade quanto à área ocupada com pastagens, podem ter nestas suas principais formas de uso das terras. A figura 36 apresenta a cobertura relativa de pastagens nos municípios brasileiros, o que pode ser um indício sobre a importância da pecuária na economia municipal, bem como sobre as condições socioambientais existentes para o desenvolvimento de outras atividades. Para algumas regiões (ver Figuras 35 e 36), notadamente o Sul do Pará, o noroeste Goiano e o Nordeste do Mato Grosso do Sul, há uma boa correlação entre valores absolutos e ocupação relativa por pastagens. Da mesma forma, também chamam atenção o Leste de Minas Gerais e o norte do Rio Grande do Sul, regiões em que as pastagens chegam a corresponder a 90% da área municipal, ainda que apresentando baixos valores absolutos.

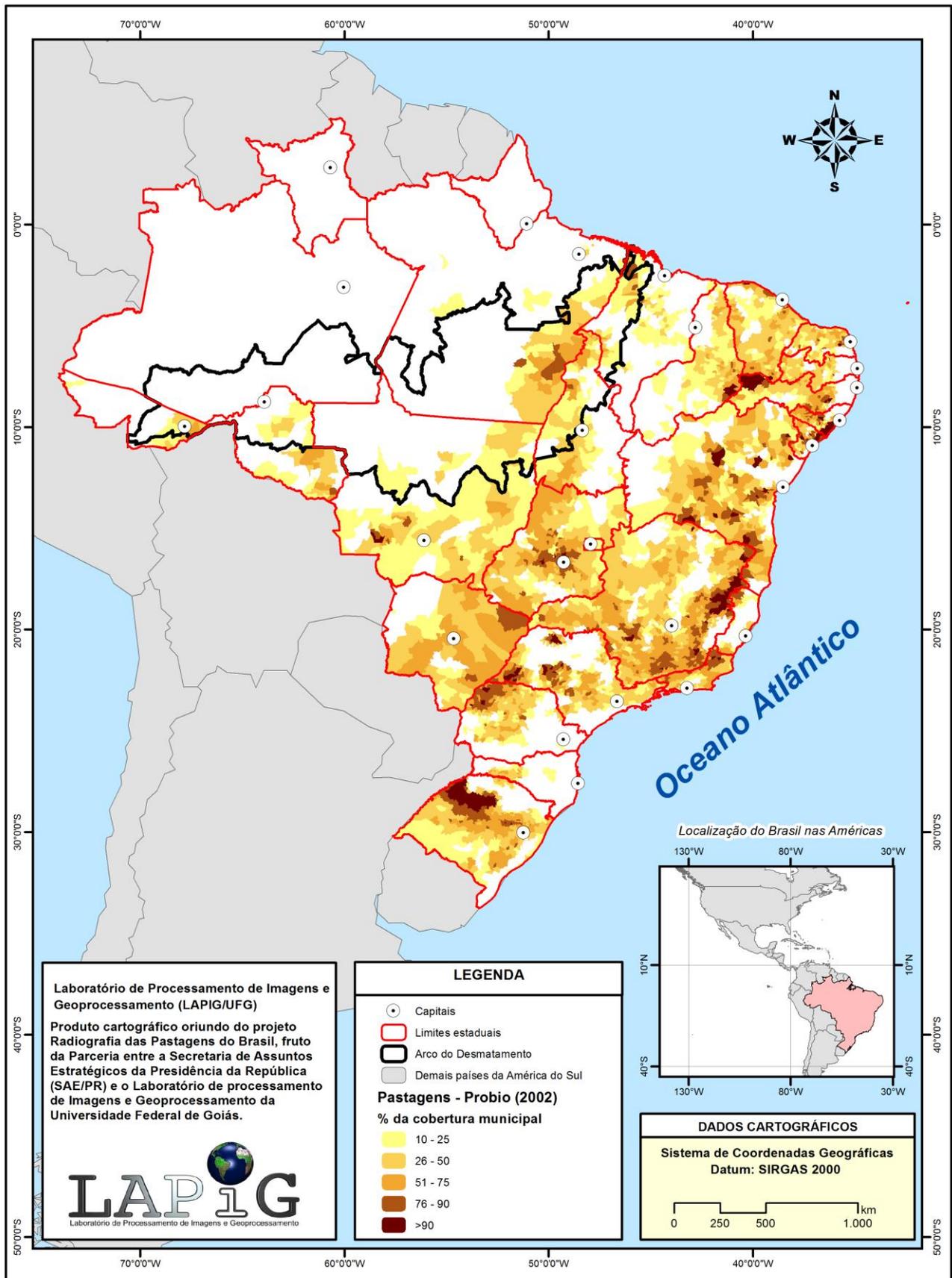


Figura 36: % de cobertura de pastagens (PROBIO 2002) em relação à área municipal.

O mapa da distribuição municipal do rebanho bovino, elaborado a partir dos dados do Censo Agropecuário – IBGE, 2006 (Figura 37), mostra clara relação entre áreas ocupada por pastagens e o efetivo bovino, principalmente em relação ao eixo norte-sul interiorano já notado em outros mapas. Portanto, é possível dizer que municípios com maior concentração de pastagens tendem a possuir um maior efetivo bovino. Esta afirmativa se destaca principalmente para os municípios de São Félix do Xingu (PA), Altamira (PA), Corumbá (MS), Ribas do Rio Pardo (MS), Paranatinga (MT) e Nova Crixás (GO). Esses municípios se destacam quanto ao rebanho bovino e quantidade de pastagens, e apresentam em torno de 3% do rebanho bovino de 176.147.501 cabeças levantadas pelo IBGE em 2006.

O município de Francisco de Sá em Minas Gerais é o único município que apresenta rebanho bovino de destaque 1.112.934 cabeças (0,63% do total) e está fora do eixo interiorano da Pecuária. Tais dados o colocam entre o 3º município com o maior rebanho bovino do Brasil em 2006, antecedido por Corumbá (MS) com 1.142.112 (0,65%) e São Félix do Xingu (PA) com 1.624.425, que correspondem a 0,92% do total de cabeças no Brasil. Com exceção de Francisco de Sá, todos os municípios com maiores rebanhos se localizam nos estados do Pará, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A título de comparação, e ainda abordando a questão de rebanho bovino, o IBGE em 2012, por meio de sua Pesquisa Produção da Pecuária Municipal (PPM, 2012), aponta um aumento de 35.131.581 de cabeças em relação à 2006, registrando um total de 211.279.082 cabeças de gado para o Brasil. Tais dados apontam para um crescimento significativo do rebanho bovino brasileiro, apontando para uma prática pecuária ainda em forte expansão. Dados do AnualPEC 2014, ainda que apresentando números menos significativos, também projetam crescimento do rebanho bovino no Brasil, o registro para o ano de 2013 é de 194.843.839 cabeças, e a projeção para 2014 alcança 198.695.689 cabeças.

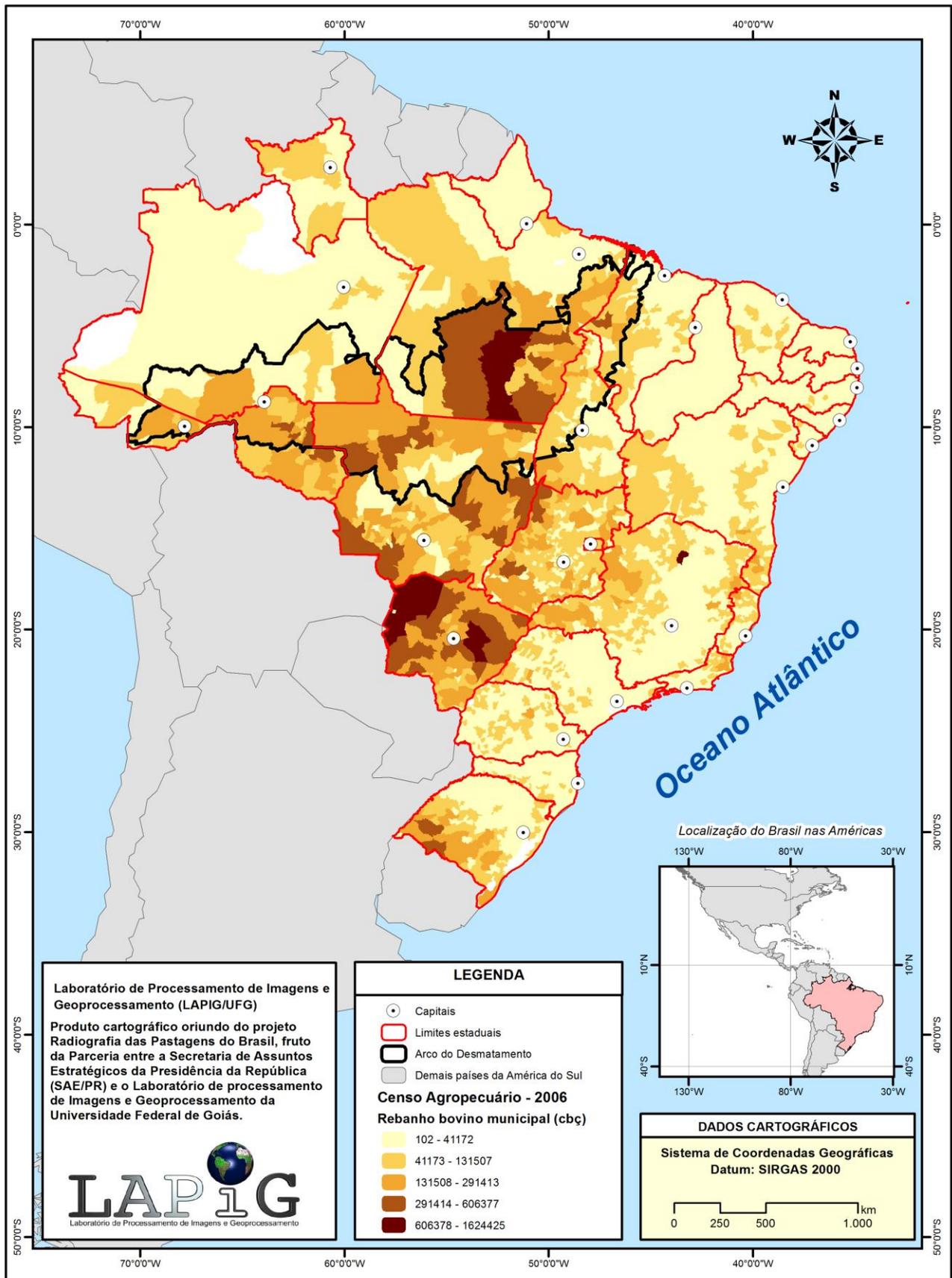


Figura 37: Distribuição municipal do rebanho bovino brasileiro – IBGE (2006).

Com o intuito de validar esta modelagem de distribuição da atividade pecuária/pastagens no Brasil, buscamos observar o padrão espacial das lavouras temporárias do Brasil. O raciocínio assume que existe uma distribuição espacial do trabalho, ainda que uma mesma região ou município possa desenvolver concomitantemente agricultura e pecuária.

Conforme observamos na figura 38, é possível perceber o padrão concentrado das lavouras temporárias no Brasil em 2006. Vê-se que as regiões destacadas como grandes detentoras de pastagens, não apresentam a mesma concentração de lavouras temporárias, portanto, as atividades não são desenvolvidas conjuntamente em larga escala (i.e. não há aparente conflito de atividades). No mesmo sentido, esse padrão de produção de cultivares temporários valida nossas informações da cobertura de pastagens, na medida em que se percebe que as áreas de produção agrícola temporária estão concentradas no Bioma Cerrado, conforme aponta Jepson (2005), em particular, nas chamadas fronteiras agrícolas (Silva et. al., 2013).

Ainda citando o trabalho de Silva et al., (2013), é importante dizer que estas fronteiras agrícolas se instalaram no Cerrado a partir da década de 1970, tendo primeiro ocupado o sudoeste Goiano, e em um segundo momento o centro do Mato Grosso e Oeste Baiano. Por meio de análises de classificações digitais de imagens da série Landsat, tendo como recorte temporal o intervalo entre 1975 até 2010 (35 anos), a autora mostrou o quão rápido e intenso foi o processo de ocupação destas áreas e apropriação para o plantio de monoculturas.

O Censo Agropecuário (IBGE, 2006) registrou uma área colhida para lavoura temporária de 50.307.217 hectares, uma área 3,5 vezes menor que a destinada à utilização com pastagens (160.041.942 hectares). Portanto, no bojo das questões de utilização das terras em relação ao agronegócio, as pastagens além não estarem concentradas em municípios com tradição em grãos, ocupam uma extensão de área muito maior em relação as lavouras.

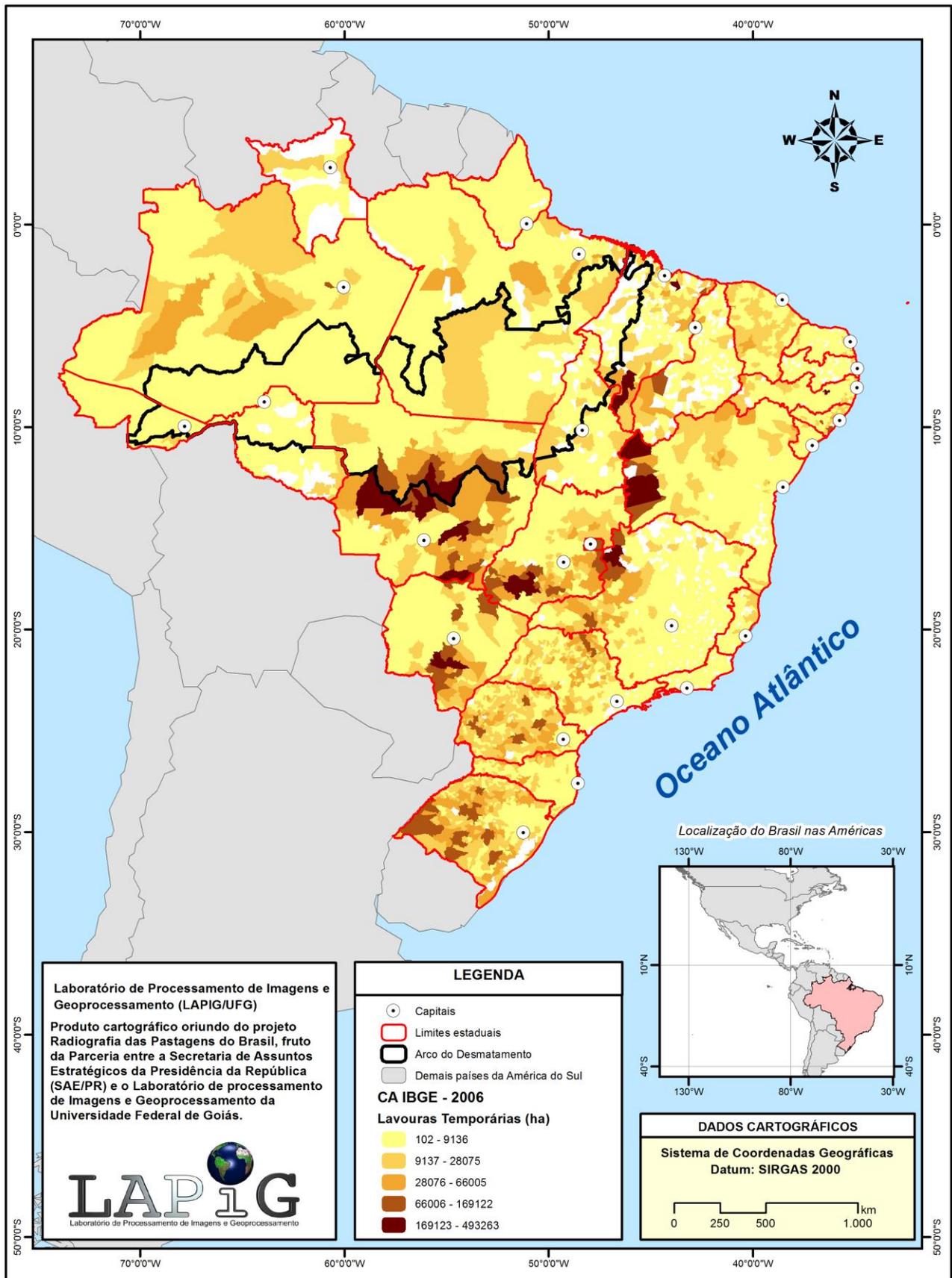


Figura 38: Área ocupada por lavouras temporárias por municípios do Brasil – IBGE (2006).

Quanto aos dados de abate (Figura 39) e produção de leite (Figura 40), também oriundos da pesquisa Produção da Pecuária Municipal (PPM) do IBGE (2012), estes são bem correlacionados à distribuição espacial das áreas de pastagens. Estas relações espaciais são também observadas, ainda que com pequena discrepância (em função da unidade de análise – estados – e escala), nos dados gerados e disponibilizados pela FNP em seu AnualPEC (Figuras 41 e 42).

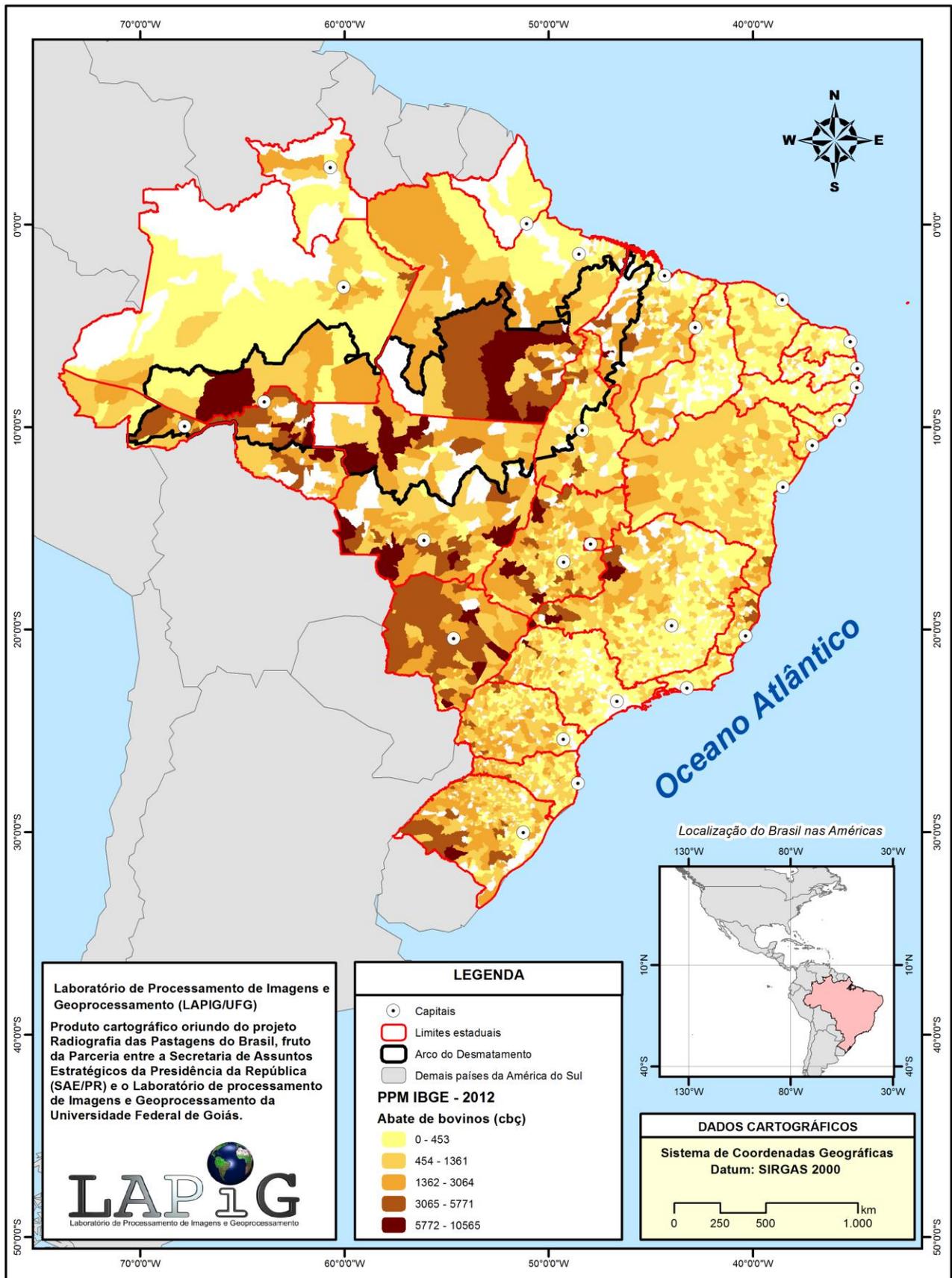


Figura 39: Abate de bovinos por municípios do Brasil – IBGE (2012).

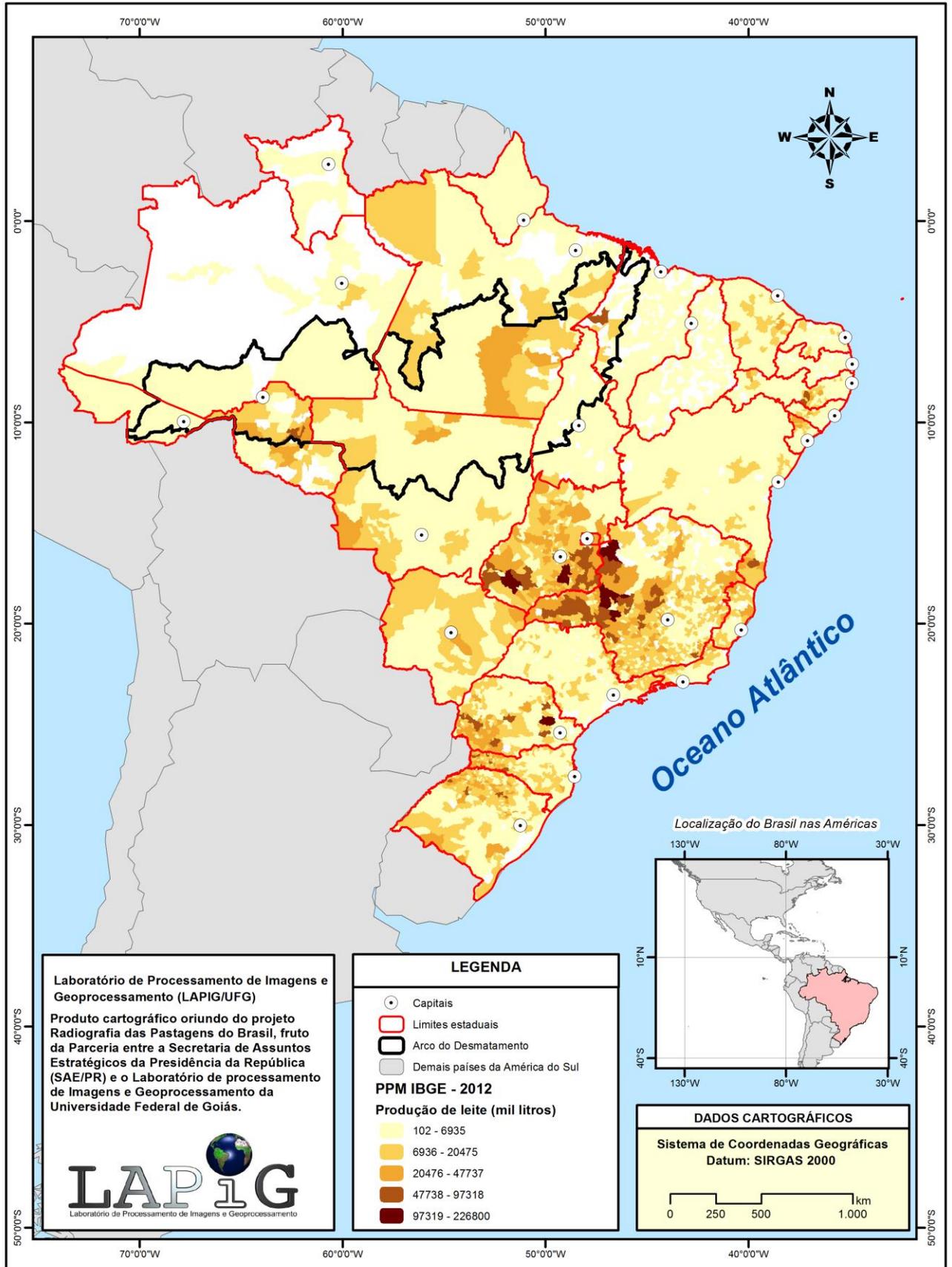


Figura 40: Produção leiteira por município – IBGE (2012).

Ainda em relação aos mapas apresentados pelas figuras 40 e 41, é interessante observar a clara divisão entre as atividades voltadas para o corte e leite no Brasil. O que podemos tipificar como uma divisão Leste/Oeste, na medida em que se destaca claramente o Oeste de Minas Gerais e o Leste de Goiás como áreas de concentração de produção de leite. Ressalta-se, contudo, que alguns municípios com altos valores de cobertura de pastagens, número significativo de abate e de rebanho bovino, também podem apresentar certo destaque quanto à produção de leite, como por exemplo, o Sudeste do Pará.

Os dados estatísticos também apontam para uma expansão da pecuária de corte e de leite no Brasil. A produção leiteira registrada pelo IBGE em 2006, é de 20.567.868 mil litros de leite. Para 2012, temos uma taxa de crescimento de 36,3%, no qual foi registrada uma produção leiteira de 32.304.421 mil litros de leite. Para a pecuária de corte, o AnualPEC 2014 apresenta um número de 42.945.473 abates e, uma projeção para 2014 de 43.269.775 abates.

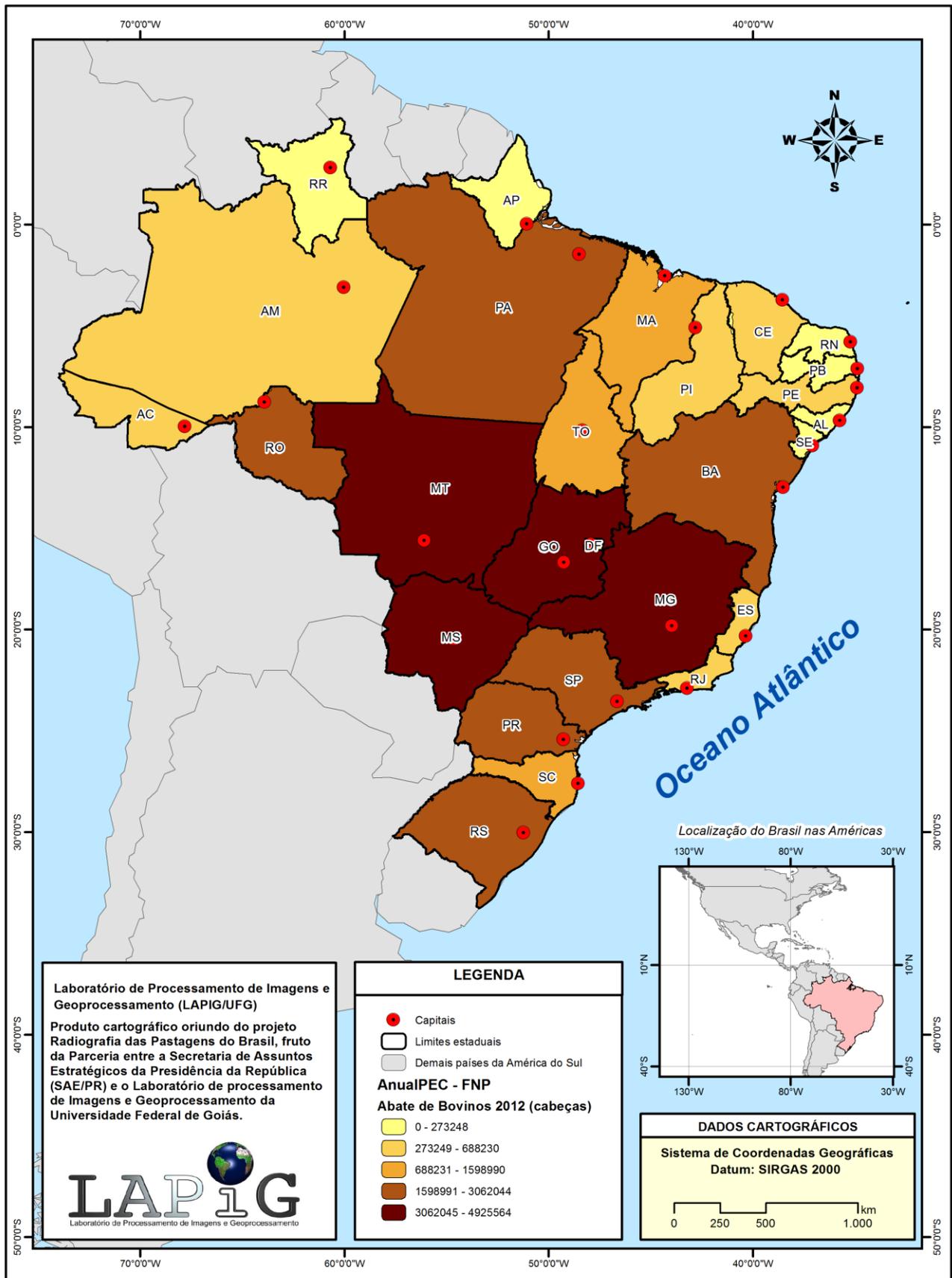


Figura 41: Abate de bovinos por estado do Brasil (2012) – *Informa Economics FNP* (2014).

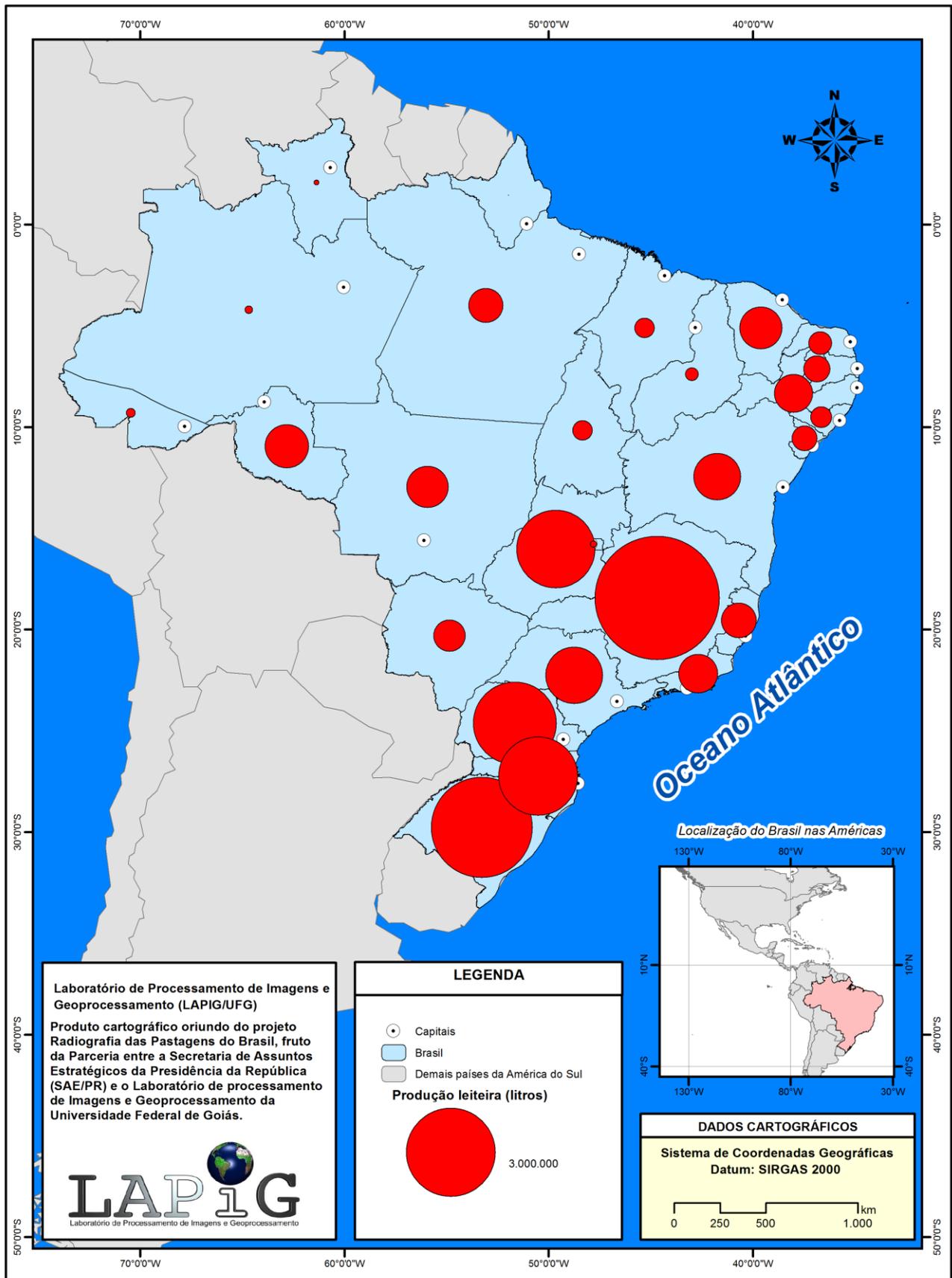


Figura 42: Produção leiteira por estado do Brasil (2012) – *Informa Economics FNP* (2014).

Ainda no que concerne à análise da pecuária de corte/leite, os dados FNP apontam para uma predominância da pecuária de corte em detrimento da leiteira para os estados brasileiros, com exceção de Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, os quais possuem significativa produção leiteira. Ademais, isso não significa que sua pecuária de corte seja insignificante (Figura 43). O estado de Minas Gerais tem destaque no cenário nacional quanto à produção leiteira, bem como, maior tonelagem para produção de carne, o que faz dele o principal estado na produção de produtos oriundos da atividade pecuária. Em 2012, o estado respondeu por 12% dos abates (4.925.564 cabeças), e 24% da produção de leite do país (6.015.127 mil litros). Por quanto todos os estados da macrorregião Centro-Oeste se destaquem quanto aos abates bovinos (GO, MS e MT respondem por 28,7%), os estados de São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Pará também se colocam como grandes abatedores de bovinos, cada um com aproximadamente 7% do total de abates. Estes oito estados concentram aproximadamente 68,7% dos abates, restando 31% de contribuição para os outros 19 estados e o distrito federal.

Para a produção leiteira, o cenário é ainda mais concentrado, partindo de Minas Gerais com 24% da produção, temos em sequência: Rio Grande do Sul (14%), Paraná (10%), Goiás (9,2%), Santa Catarina (8,2%) e São Paulo (5,5%). Estes seis estados concentram 70,9% de toda produção leiteira do país. Para os demais estados do norte e nordeste, são percebidos valores baixos de abate e produção de leite, o que mostra uma dinâmica local de produção e consumo.

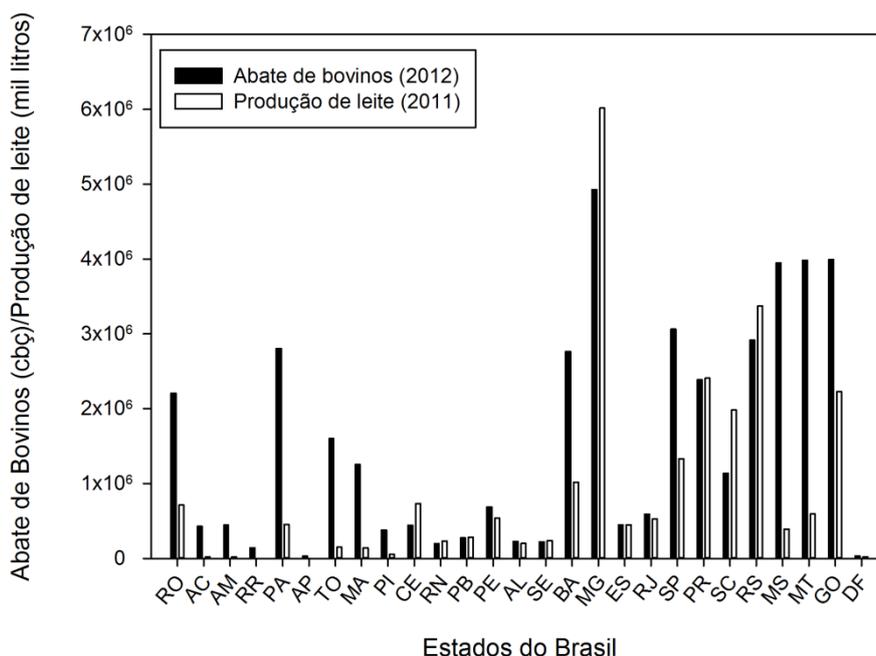


Figura 43: Abate de bovinos (cabeça) e Produção de leite por estado da federação, Brasil - *Informa Economics FNP* (2014).

Da produção de carne bovina do Brasil em 2013, apenas 14,5% foi exportada, segundo dados da FNP (2014). Destes 14,5%, apenas 1,25% foram exportados na forma industrial, prevalecendo a exportação do produto *in natura*. O estado de São Paulo aparece como principal exportador de carne bovina, tendo sido responsável por 30% das exportações em 2013. Da mesma forma, Mato Grosso (21%), Goiás (16,5%) e Mato Grosso do Sul (13%), tem posição de destaque entre os estados exportadores (Figura 35). É interessante observar que o Pará, ainda que detendo grande cobertura de pastagens, extenso rebanho bovino e 7% da produção de carne bovina, não figura como exportador de carne bovina, nem *in natura* e nem industrial. Em fato, o único estado exportador na região norte é o estado de Rondônia, o qual exportou 11% de sua produção em 2013. Minas Gerais, mesmo sendo o estado de maior produção, exporta apenas 9% de sua produção. O destaque aqui fica para São Paulo, que exporta em torno de 64% da quantidade de sua produção, sendo 52,9% *in natura* e 10,8% na forma industrial.

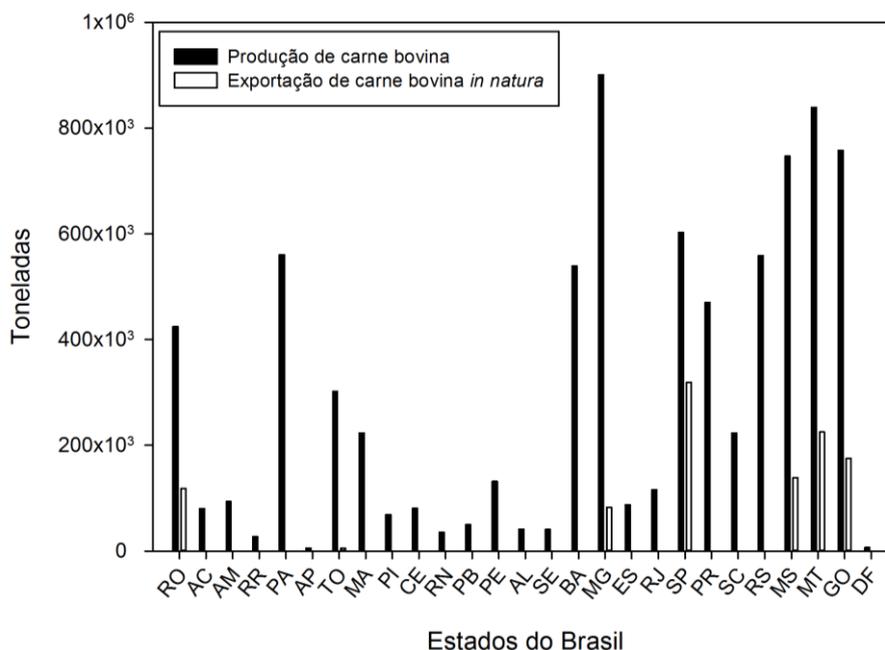


Figura 44: Produção de carne bovina e exportação de carne bovina *in natura* por estado da federação, Brasil - *Informa Economics FNP* (2014).

O mapa mostrado na Figura 45 representa uma modelagem de síntese cartográfica, construído a partir das classes de valores para cada uma das seguintes variáveis: cobertura média de pastagens (média aritmética simples IBGE, 2006; PROBIO e FUNCATE, 2002); rebanho bovino (2012); produção leiteira (2012); número de vacas ordenhadas (2012) e número de abates (2006). Para cada uma destas distribuições de valores (histogramas) foram definidas cinco quebras naturais, com base nas quais, os municípios foram definidos como de: Baixa Produtividade Pecuária (para todas as variáveis, o município se situa na primeira quebra natural do histograma); Média Produtividade Pecuária (município que está entre a segunda e a terceira quebra natural); Alta Produtividade Pecuária (município com valores que o posicionam nas duas últimas quebras naturais de todas variáveis). Assim, cada município possui atributos produtivos comuns para todas as variáveis, e estes atributos possuem referência em relação ao conjunto de dados para os mais de 5570 municípios brasileiros.

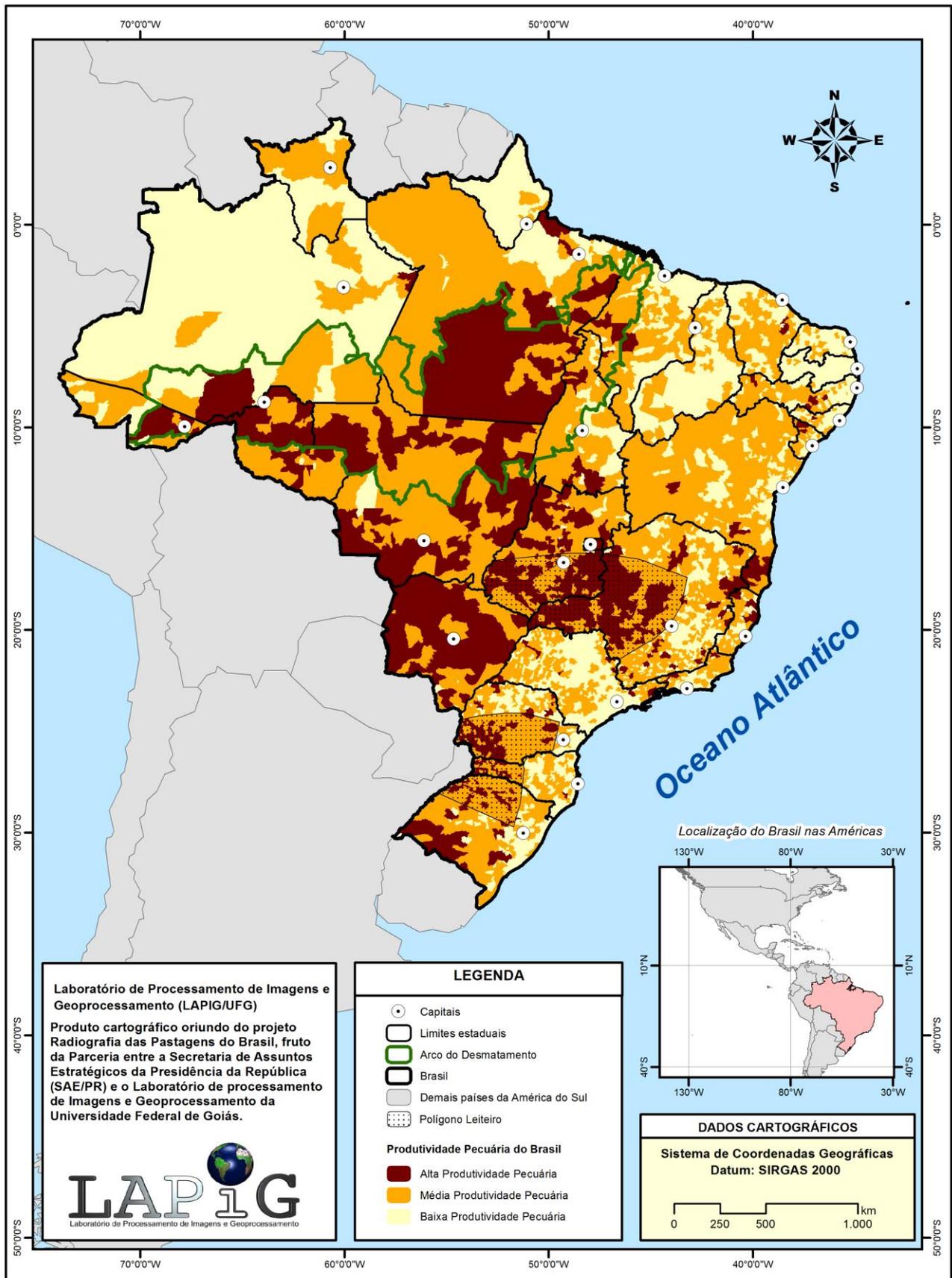


Figura 45: Produtividade pecuária dos municípios do Brasil, conforme área média de pastagem, rebanho bovino, produtividade leiteira, número de vacas ordenhadas e número de abates.

Os valores definidos pelas quebras naturais e que foram utilizados para criar a tipologia discutida acima são apresentados na tabela 5. Cabe-se ressaltar que um município para que seja classificado como de baixa produtividade pecuária, deve possuir valores baixos para todas as cinco variáveis selecionadas, isto é, estar no conjunto de valores anteriores a primeira quebra natural, tal critério demonstra que o município não possui nenhuma especificidade em relação à pecuária de corte ou leiteira.

Tabela 5: Valores adotados como referência para a classificação dos municípios quanto à produtividade pecuária (definidos por quebras naturais nas respectivas distribuições de valores).

Classe	Pastagens (ha)	Bovinos (cbç)	Prod. leiteira (mil litros)	Vacas ordenhadas (cbç)	Abates (cbç)
Baixa	< 35.000	< 60.000	< 7.000	< 3.700	< 656
Média	35.000 - 234.170	60.000 - 442.851	7.000 - 20.475	3.700 - 20.607	655 - 3065
Alta	> 234.171	> 442.852	> 20.476	> 20.608	> 3.065

A análise da figura 45 de certa forma o caráter interiorano da pecuária no Brasil. A Alta Produtividade Pecuária se encontra nos municípios do estado do Pará, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, além de registros nos estados de Rondônia, Acre, Maranhão e Amazonas (dentro do polígono do Arco do Desmatamento da Amazônia). No total, 464 municípios foram considerados como de Alta Produtividade Pecuária, enquanto 3181 municípios apresentaram Baixa Produtividade Pecuária (Tabela 6). Estes municípios, além de apresentarem reduzida cobertura de pastagens, não apresentaram nenhum valor significativo para nenhuma das outras variáveis consideradas no modelo. Municípios com esse perfil foram identificados por todo o país, todavia concentram-se principalmente nos estados do Amazonas, Piauí, São Paulo, Rio Grande do Norte e Paraíba.

Municípios identificados como de Média Produtividade Pecuária (1925, ao todo) são unidades que apresentam valores significativos somente para algumas variáveis, porém em nenhuma delas apresentou valores mínimos (primeira quebra natural). Estão concentrados principalmente nos estados da Bahia, Rio Grande do Sul, Pará e Minas Gerais. Curiosamente, mesmo que em menor quantidade que os municípios de baixa produtividade (3181), ocupam aproximadamente 45,5% do território nacional. Portanto, 67,6% do território nacional estão constituídos de municípios com Média ou Alta Produtividade Pecuária, o que configura um cenário otimista para o território brasileiro e já identifica áreas que merecem atenção no ponto de vista de incentivo para a

atividade (intensificação e aumento de produtividade) e ações voltadas à melhor organização territorial (ex. provimento de subsídios e créditos).

Tabela 6: Estatísticas do produto síntese Produtividade Pecuária do Brasil.

Produtividade	Qtd. Municípios	%	Área (ha)	%	Concentração
Alta	464	8,3	190688729	22,1	PA, MS, MT, MG
Média	1925	34,6	392080974	45,5	BA, RS, PA, MG
Baixa	3181	57,1	278660083	32,3	AM, PI, SP, RN, PB

Dados secundários e auxiliares ajudam a observar como se dão as relações nestes recortes definidos pela tipificação de produtividade. É possível perceber uma relação positiva entre Alta Produtividade Pecuária, infraestrutura e governança, o que de certa forma nos mostra consistência na metodologia adotada na classificação dos municípios quanto à sua produtividade e aponta determinações para o setor pecuário no Brasil. Por meio de dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) referentes às propriedades georreferenciadas no Brasil, constata-se que as áreas de alta produtividade apresentam propriedades com maior tamanho médio (1359 hectares) em relação ao conjunto de propriedades que se encontram nas zonas de Média (1021 hectares) e Baixa (624 hectares) Produtividade Pecuária.

Quanto à localização dos matadouros e frigoríficos do Brasil, 87% (225) dos estabelecimentos cadastrados pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 2014 concentram-se as zonas de Média e Alta Produtividade Pecuária. Dos 259 estabelecimentos registrados, apenas 34 (13%) se encontram em zona de baixa produtividade pecuária, em geral em situação limítrofe aos municípios de alta e média produtividade, em conformidade ao traçado das ferrovias e principais rodovias e/ou próximos a grandes mercados consumidores⁶, como exemplo, os três complexos existentes em Novo Gama e Cidade Ocidental no estado de Goiás, no entorno de Brasília (Figura 46).

Da mesma forma, frigoríficos e matadouros nas zonas de Alta e Média Produtividade Pecuária tendem a se concentrar ao longo das rodovias pavimentadas e próximo aos mercados consumidores (Figura 47). Como exemplo, podemos citar, o entorno de Brasília (cinco complexos), Região Metropolitana de Goiânia, o trecho ao

⁶ Esses grandes mercados consumidores aqui citados dizem respeito às cidades. É notória a polarização exercida por estas áreas em seu entorno/região, formando uma área concentradora de fluxos. A localização de frigorífico e matadouros nestas regiões, mesmo em municípios de baixa produtividade pecuária, atende as premissas para a instalação de indústrias, como abundância de mão de obra, infraestrutura e proximidade de mercado consumidor.

longo das rodovias BR 267 e BR 163 que ligam a macrorregião Sudeste ao Norte do país, a Região Metropolitana de Porto Alegre e o eixo da BR 364, entre o trecho que liga Cuiabá (MT), Porto Velho (RO) e Rio Branco (AC). No total, os matadouros e frigoríficos cadastrados pelo MAPA, se distribuem por 17 estados, com destaque para o Mato Grosso, com 37 estabelecimentos (14%), seguido por Mato Grosso do Sul (13%), São Paulo (11%), Minas Gerais (11%) e Goiás (10%). Tais dados reforçam novamente a posição da Macrorregião Centro-Oeste com uma das principais regiões de pecuária do Brasil, já que possui três dos cinco estados com maior número de matadouros/frigoríficos do Brasil (Tabela 7).

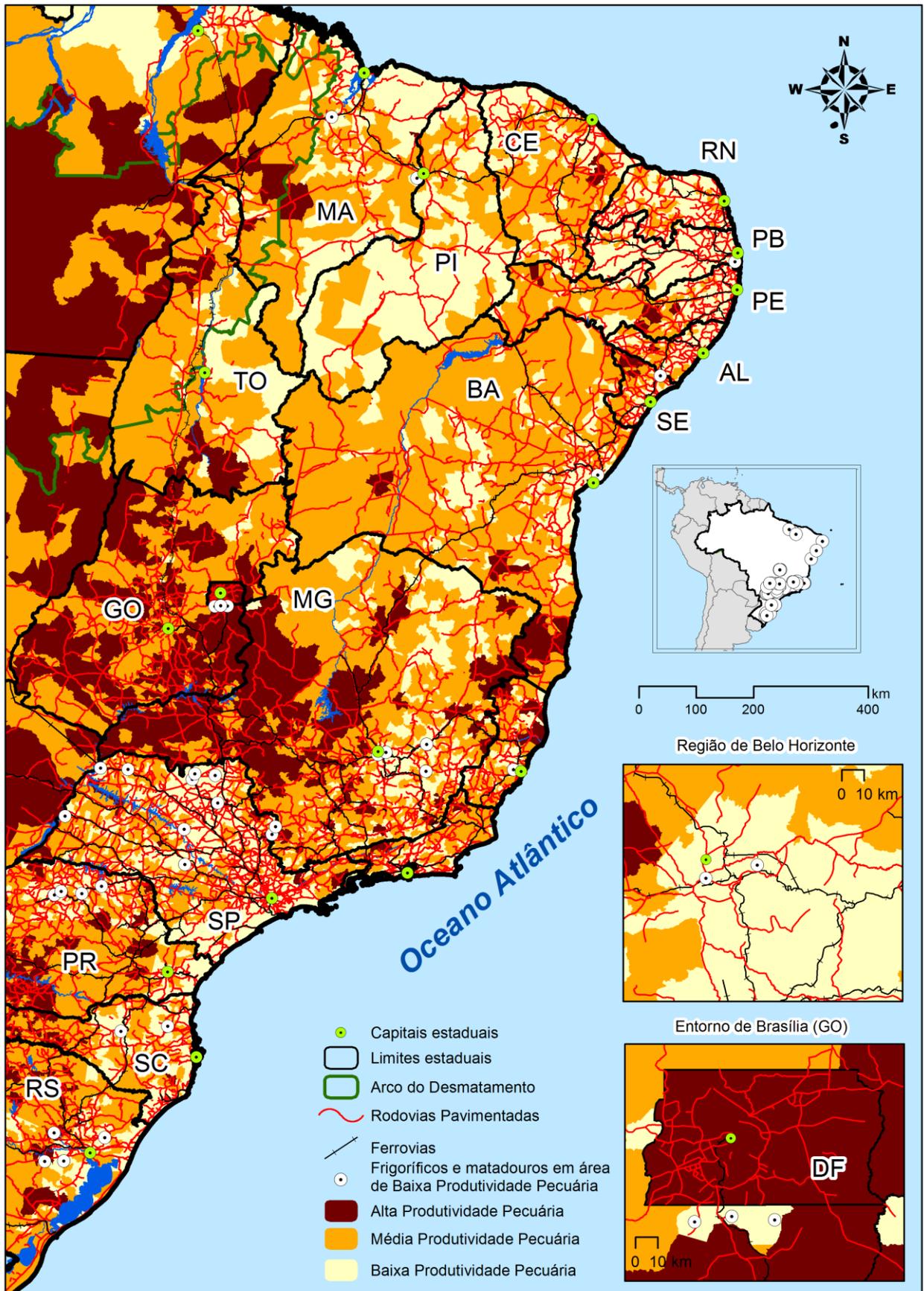


Figura 46: Localização de matadouros e/ou frigoríficos em zona de Baixa Produtividade Pecuária.

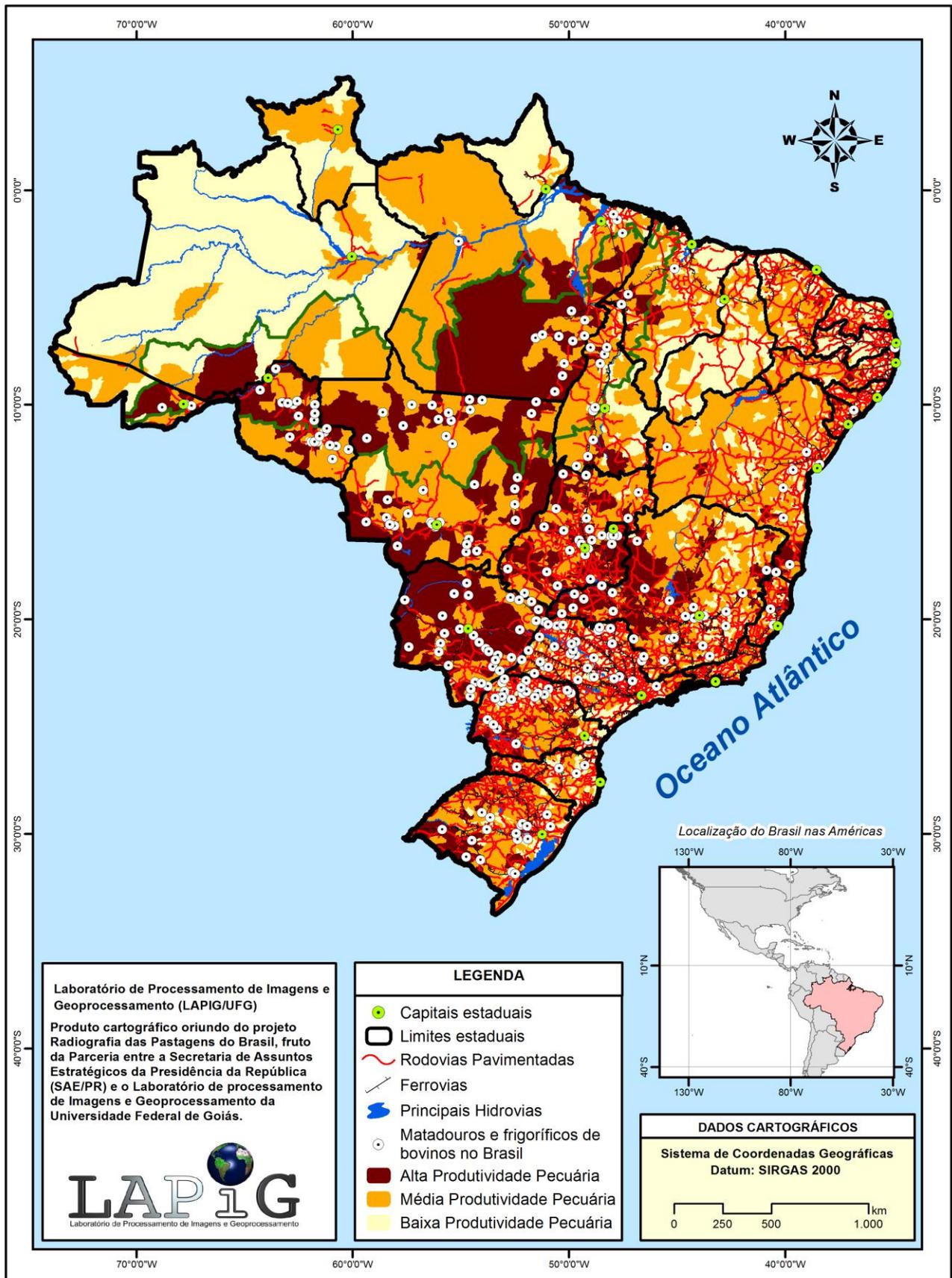


Figura 47: Localização dos 259 matadouros e/ou frigoríficos no Brasil (cadastrados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA).

Para esboçar uma relação da densidade de frigoríficos e matadouros por estado, efetuamos o cálculo da razão entre o número de população e a quantidade de estabelecimentos (Tabela 7). É possível perceber que estados com características agrárias apresentam maior densidade de estabelecimentos. Por exemplo, para o estado do Mato Grosso existe um estabelecimento para cada 87.145 habitantes, realidade similar ao estado do Mato Grosso do Sul, que possui 79.384 habitantes para cada estabelecimento. Cabe-se ressaltar que dentre os dados de matadouros e frigoríficos do MAPA, não são considerados pequenos estabelecimentos, como por exemplo, os geridos pelos próprios municípios.

Tabela 7: Distribuição e proporção dos matadouros e ou frigoríficos nos estados brasileiros

Número de estabelecimentos	Estado	% do total	População estadual estimada (2014)	População/nº estabelecimentos
37	MT	14	3.224.357	87.145
33	MS	13	2.619.657	79.384
29	SP	11	44.035.304	1.518.459
28	MG	11	20.734.097	740.503
26	GO	10	6.523.222	250.893
22	PR	8	11.081.692	503.713
21	RO	8	1.748.531	83.263
17	RS	7	11.207.274	659.251
14	PA	5	8.073.924	576.709
9	TO	3	1.496.880	166.320
7	BA	3	15.126.371	2.160.910
4	MA	2	6.850.884	1.712.721
4	SC	2	6.727.148	1.681.787
3	AC	1	790.101	263.367
3	ES	1	3.885.049	1.295.016
1	PB	0,4	3.943.885	3.943.885
1	SE	0,4	2.219.574	2.219.574
Total: 259	-	100	-	-

No que diz respeito aos investimentos do Plano ABC especificamente para a recuperação de pastagens degradadas, estes se concentram principalmente em regiões com Alta e Média Produtividade Pecuária (Figura 48). Dos 1404 municípios brasileiros que receberam em 2013 créditos para recuperação de pastagens, 305 são considerados de Alta Produtividade Pecuária e 768 de Média. Portanto, 76% (1073) dos municípios que receberam investimentos do Plano ABC Recuperação apresentam uma “indústria” pecuária consolidada (Figura 48). Entre estes municípios podemos destacar Nova Crixás

(GO) onde foram investidos R\$ 18.589.360,00 (1,3% do total de R\$ 1.428.529.273,00 investidos em recuperação de pastagens em todo o Brasil em 2013), o que o coloca como o município que mais recebeu investimentos para recuperação de suas pastagens; Ribas do Rio Pardo e Água Clara (MS), segundo e quinto em captação de investimentos com R\$ 14.159.897,00 e R\$ 11.340.544,00 respectivamente. Em Minas Gerais, temos destaque para João Pinheiro (R\$ 12.671.021,00) e Paracatu (R\$ 8.977.890,00), e no Mato Grosso para Cáceres (R\$ 8.613.598,00) e Nova Ubiratã (R\$ 8.371.976,00). No Oeste Baiano temos uma série de municípios que receberam os investimentos do ABC Recuperação, inclusive São Desidério, quarto em captação de recursos, que somaram, em 2013, a quantia de R\$ 11.673.399,00 (0,82%). É interessante observar que esta região, especializada em produção de monoculturas (lavouras temporárias), também se destaca como de Média Produção Pecuária.

O padrão geral observado para os investimentos do Plano ABC apontam para uma consolidação das atividades no território, isto por que, grande parte dos investimentos estão priorizando áreas já convertidas (remoção da cobertura vegetal e apropriação para atividades antrópicas). Portanto, não é possível afirmar que os créditos estão sendo utilizados para expansão da cobertura de pastagens no país. A distribuição dos investimentos, mostrada na figura 48, aponta novamente na direção da formulação de políticas públicas. É clara a concentração em algumas regiões dos estados brasileiros, como é o exemplo da Bahia, com investimentos concentrados no Oeste Baiano; no Piauí, que grande parte de seus municípios foram classificados como de Baixa Produtividade Pecuária, os investimentos do Plano ABC concentram-se em sua porção sul. Os estados de Minas Gerais e São Paulo, apresentam uma tendência de concentração de investimentos nas suas regiões Oeste, com mais destaque o Oeste de Minas Gerais. Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, por sua vez, apresentam uma distribuição mais equânime dos investimentos, bem como, municípios com produtividade de destaque em todas suas mesorregiões.

Portanto, é claro que ações de consolidação e intensificação da atividade pecuária estão em curso no interior do Brasil. Porém, ainda se faz necessário uma melhor organização territorial, que priorize também o desenvolvimento de áreas com concentração de municípios muito pouco produtivos.

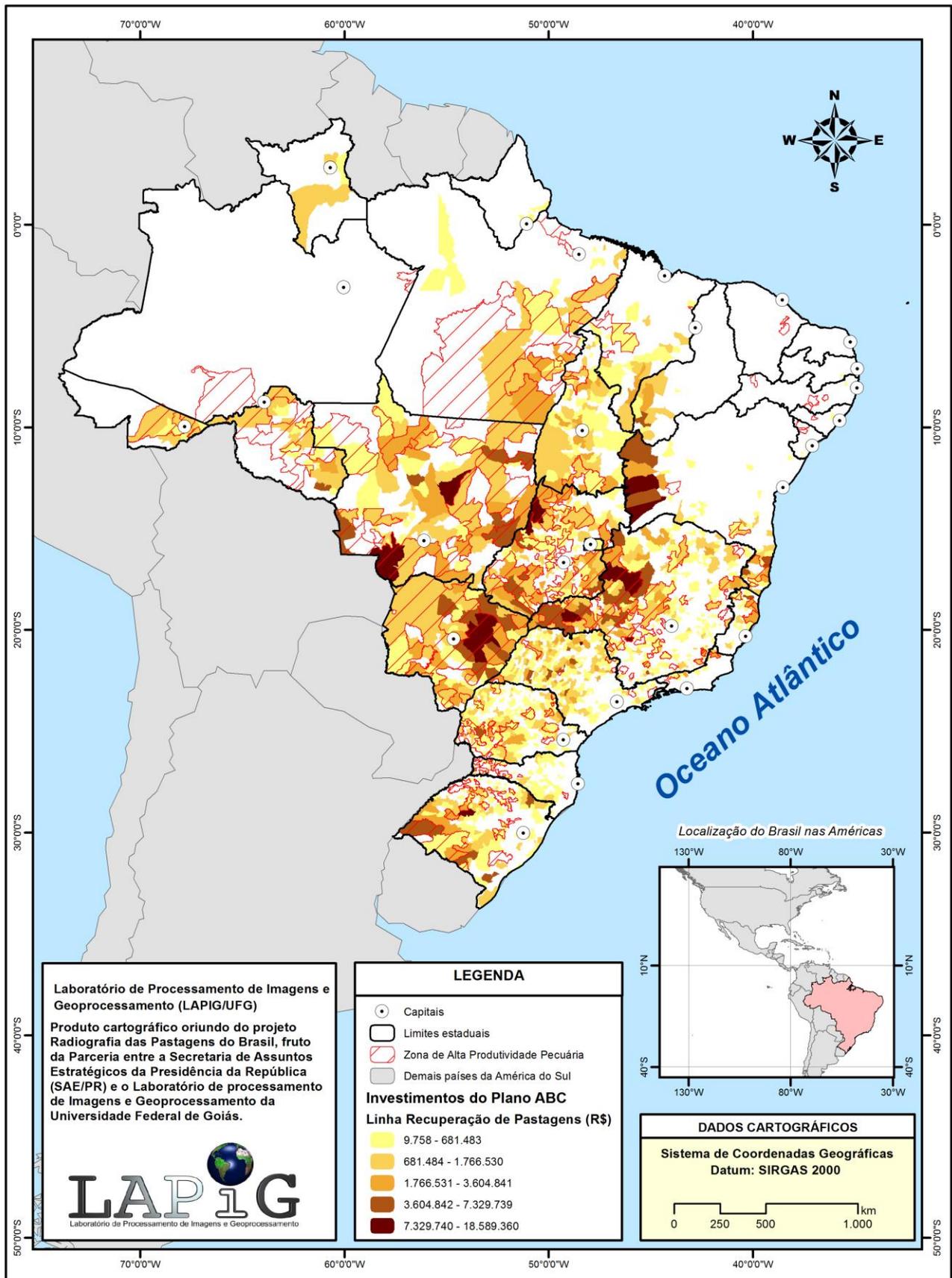


Figura 48: Investimentos do Plano ABC em 2013 (recuperação de pastagens) por municípios do Brasil.

No que diz respeito à expansão das pastagens no Brasil, os dados existentes apontam para uma cobertura ao mesmo tempo consolidada e em expansão, principalmente em direção à Amazônia. Dados do PROBIO, que apresenta a cobertura de pastagens em 2002, em contra ponto com o mapeamento executado no projeto TerraClass 2010 e pela FUNCATE (Bioma Cerrado) tendo como referência também imagens do Satélite *Landsat* e o ano 2010, apontam para um expansão considerável, principalmente no norte do Mato Grosso, no centro do Maranhão e, avanços significativos nos estados de Rondônia e do Pará (Figura 49). Esta dinâmica de expansão se mostra muito coerente, principalmente se observarmos os dados de pastagens em conjunto com as localizações dos matadouros e frigoríficos pertencentes ao banco de dados do MAPA em 2014, bem como com os limites das terras indígenas e unidades de conservação (Figura 50).

De fato, o único limite ainda não rompido pela expansão das pastagens é o estado do Amazonas. Este é o único estado que ainda possui grandes áreas de vegetação natural protegidas por terras indígenas ou por unidades de conservação. Os demais estados brasileiros apresentam cobertura de pastagens na maior parte das áreas disponíveis para conversão, na maioria das vezes circundando terras indígenas e unidades de conservação, fato constatado principalmente no Sul do Estado do Pará, em todo estado de Rondônia e no Oeste do estado do Mato Grosso. Na figura 50, é possível conferir a mancha de pastagens do PROBIO (2002) mais a atualização (expansão) nas áreas da Amazônia Legal (TerraClass 2010) e no bioma Cerrado (FUNCATE 2010), com os limites das terras indígenas e das Unidades de Conservação. Neste cenário, considerando a expansão mapeada, bem como, a estagnação desta expansão nas regiões de Mata Atlântica, é de aproximadamente 171.979.547 hectares a área de pastagens do Brasil em 2010. Um aumento de cerca de 23 milhões de hectares em relação ao PROBIO (2002), que indicou cerca de 149 milhões de hectares.

Este cenário é um tanto preocupante, do ponto de vista da conservação da floresta amazônica. A expansão de 23 milhões de hectares em apenas oito anos, aponta para um desmatamento tão acelerado quanto ao que ocorreu no bioma Cerrado. Mesmo com um número significativo de áreas protegidas na Amazônia, é necessário se perguntar sobre o quanto que esta conversão/desmatamento já afeta os serviços ecossistêmicos desempenhados por sua cobertura vegetal. Além, é claro, da própria pressão desta expansão das pastagens sobre as áreas indígenas e as unidades de conservação, o que pode resultar no recrudescimento de conflitos territoriais na região.

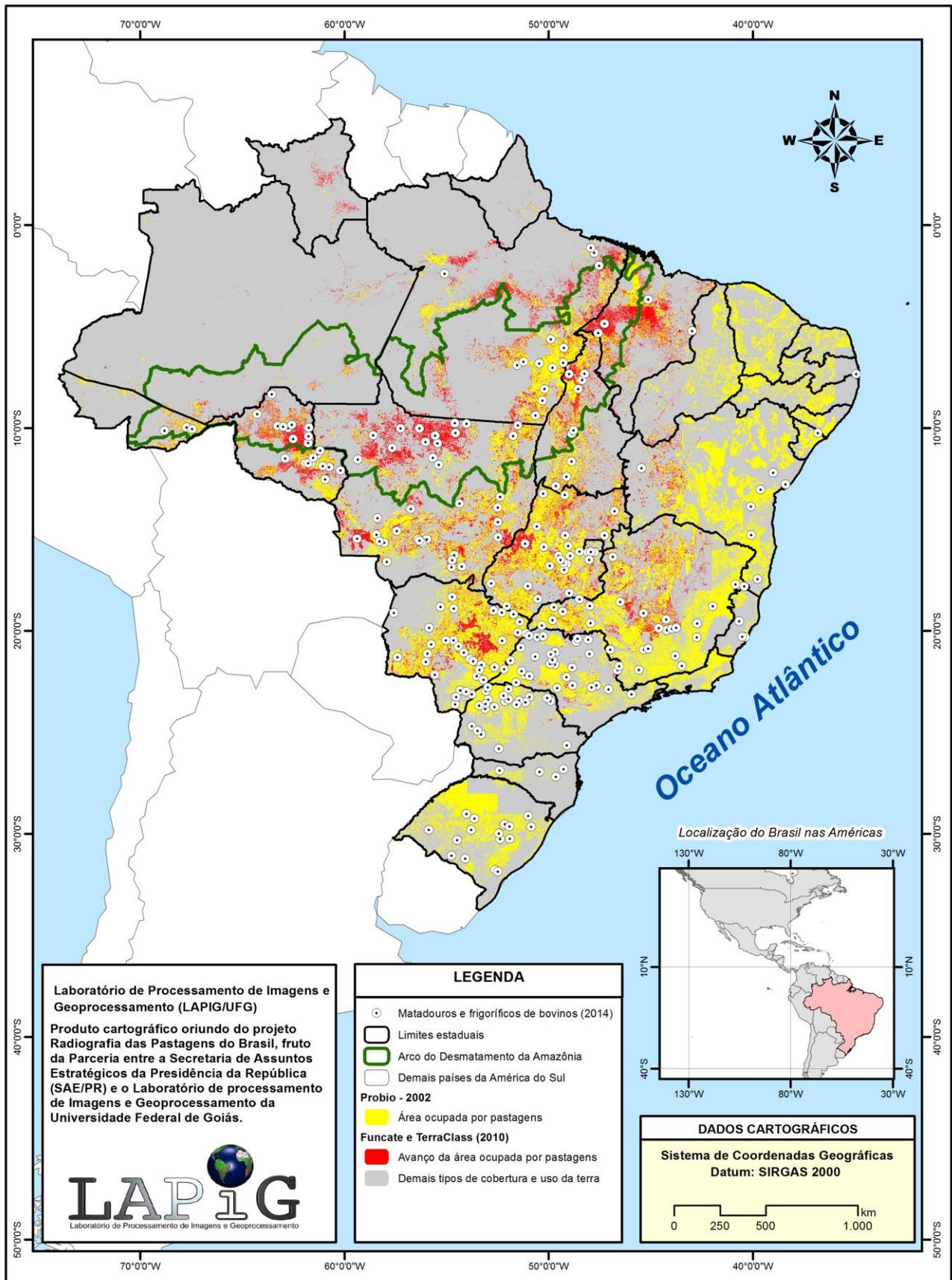


Figura 49: Expansão das pastagens, entre 2002 e 2010, na Amazônia Legal e Bioma Cerrado. Dados Síntese gerados a partir do PROBIO (2002) para os Biomas Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, FUNCATE (2010) para o Bioma Cerrado e TerraClass (2010) para a Amazônia Legal.

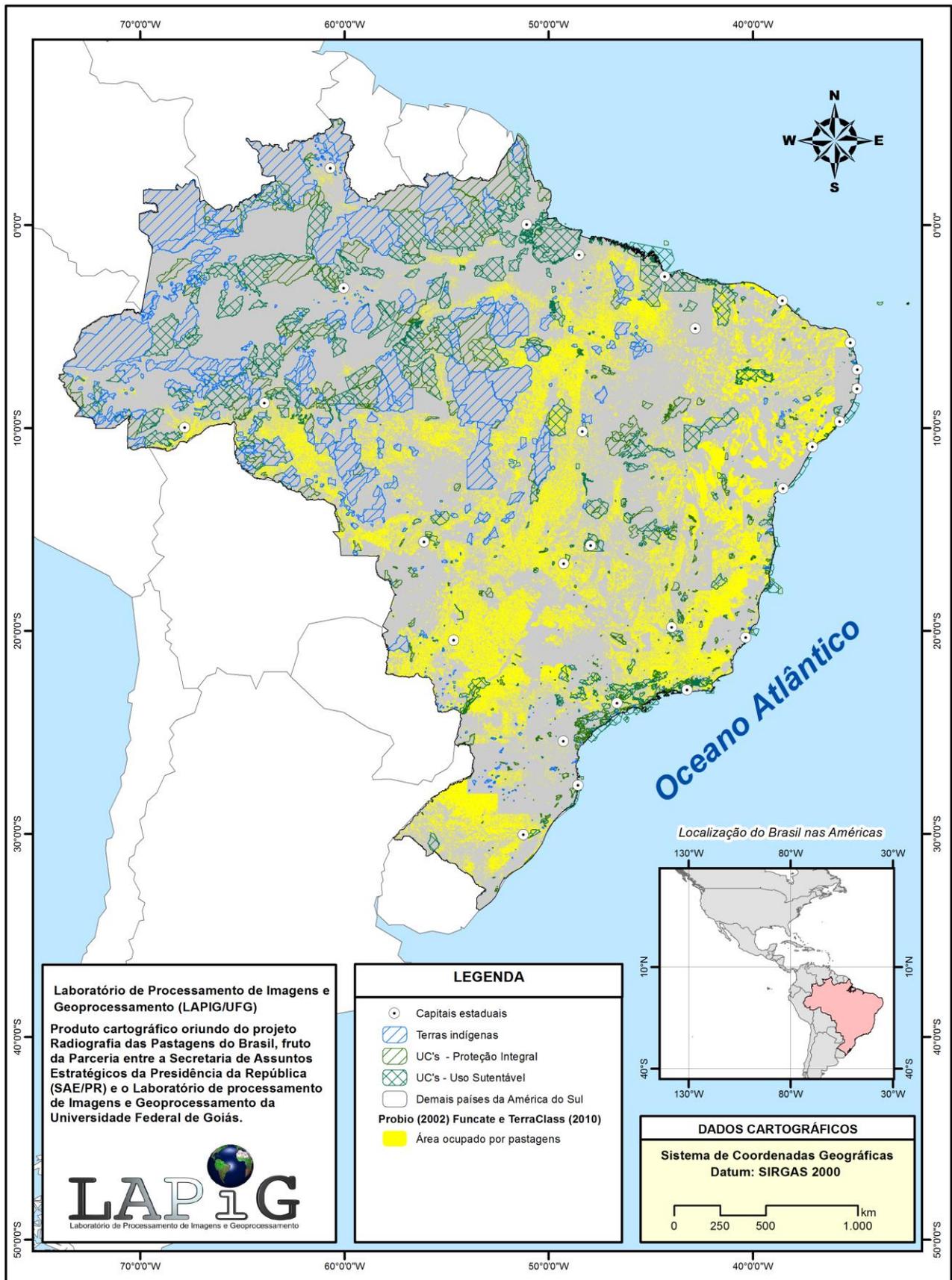


Figura 50: Área ocupada por pastagens (dato síntese: PROBIO 2002, FUNCATE 2010 e TerraClass 2010) em relação à distribuição de terras indígenas e Unidades de Conservação.

3.2.3 Modelagem e estimativa dos tipos de relevo das pastagens brasileiras

Em geral, as pastagens no Brasil se encontram distribuídas em relevos planos a suave ondulados (Figuras 51 e 52). Aproximadamente 75% das pastagens do Brasil ocupam relevos com valores que vão de 0 até 8% de declividade (Tabela 8). Esta informação nos conduz a acreditar que mesmo as terras ocupadas por pastagens, são em sua grande parte compatíveis com a produção agrícola de grãos mecanizada, a qual tende a priorizar áreas com valores de declividade de até 8%. Entre os tipos de relevo, destacam-se os suaves ondulados (2 – 8%), concentrando 53% das pastagens brasileiras.

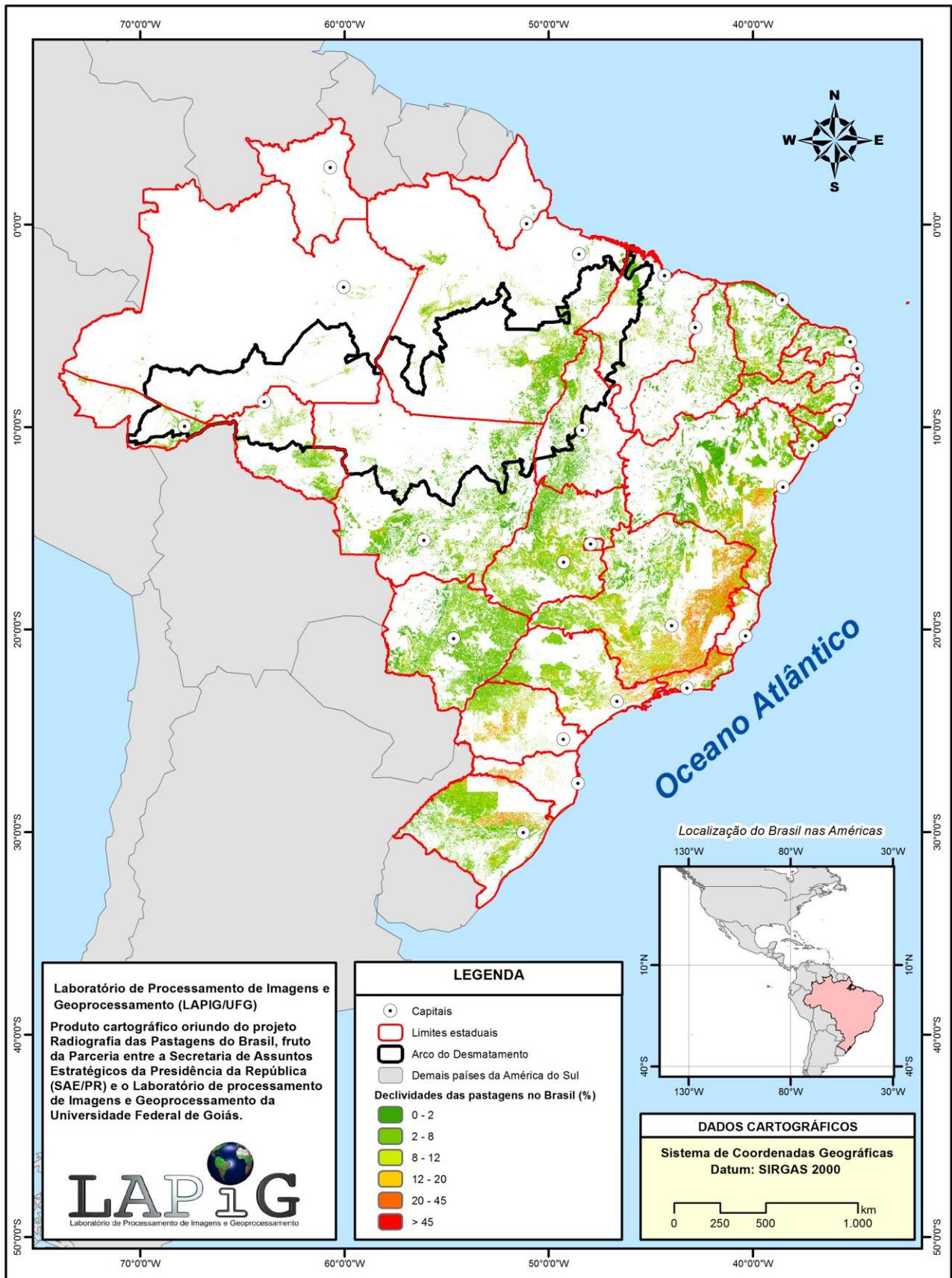


Figura 51: Distribuição das áreas de pastos no Brasil em relação às classes de declividades.

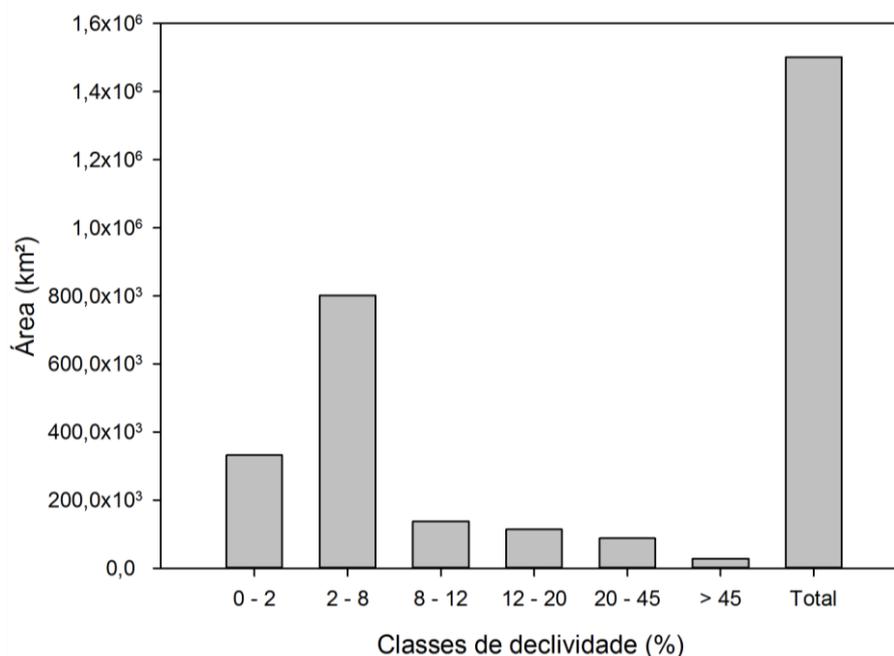


Figura 52: Distribuição das áreas ocupadas por pastagens no Brasil por classe de declividade.

Os demais tipos de relevo, com declividades maiores que 8%, são menos ocupados por pastagens; 9,2% das pastagens estão localizadas em relevo com 8 a 12% de declividade, 7,6% entre 12 e 20%, 5,8% entre 20 e 45 e, apenas 1,9% em áreas com declividade maior que 45%. Especificamente para esta última classe (> 45%), os dados relativos podem parecer pouco expressivos, porém, 1,9% representam uma área aproximada de 28,373 km² (para se ter uma ideia, é área similar a toda área urbanizada do Brasil em 2002), eventualmente em conflito com a legislação, que assegura a preservação de áreas com declividade elevada (geralmente topos de morros) (Lei nº 12.651/2012)⁷.

Tabela 8: Distribuição das áreas de pastagens por classes de declividade

Classe	Tipo	Área (km ²)	%
0 a 2	Plano	332087,7	22,1
2 a 8	Suave Ondulado	801252,6	53,4
8 a 12	Moderadamente Ondulado	138092,2	9,2
12 a 20	Ondulado	114193,5	7,6
20 a 45	Fortemente Ondulado	87722,9	5,8
> 45	Montanhoso	28373,7	1,9
Total		1501722,7	100

⁷ Com a instituição do novo Código Florestal (Lei nº 12.621/2012) foram alterados os parâmetros para definições das Áreas de Preservação Permanente em topos de morros. Conforme orienta o inciso IX do art. 4º do novo código, esta definição agora está baseada na relação entre o topo (que deve ter altura superior a dez metros) e a base (ponto de sela), com declividade média maior que 25°.

Em relação aos limites estaduais, Minas Gerais destaca-se com a maior quantidade de pastagens em relevo movimentado, seguido à distância por Rio de Janeiro, Bahia e Santa Catarina. Aproximadamente 51% (122,167 km²) das pastagens de Minas Gerais estão em áreas com declividade acima de 8%, todavia, o que chama a atenção são 42.166 km² de pastagens em relevos fortemente ondulados (20 – 45%), os quais representam 17% dos pastos do estado⁸. Estes pastos em áreas movimentadas se encontram principalmente na região leste do estado de Minas Gerais, com relevos bastante acidentados, conhecidos como Domínio dos Mares de Morros (Ab’Saber, 2003). Os demais estados do Brasil apresentam, de forma predominante, suas pastagens em áreas planas (até 8%).

Quando observamos as distribuições das pastagens em relação aos biomas brasileiros (Figuras 53, 54 e 55), percebemos o mesmo padrão, isto é, preferência por relevos aplainados (até 8%). Os Biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal apresentam respectivamente 87,8%, 85,9%, 82,3%, 85,3%, 98,5% de suas pastagens em relevos até 8% de declividade (Tabela 9). Portanto, a máxima sempre difundida pelos cientistas e pelo senso comum de que a agricultura prefere relevos planos também vale para as áreas de pastagens. Tais resultados, poderiam ser esperados para biomas como o Pantanal (questões naturais - uma das maiores planícies inundáveis do mundo) e Amazônia (questões naturais e sociais – relevo plano e forma de ocupação seletiva), porém, não com tanta expressividade para biomas como o Cerrado e Caatinga, que já são ocupados por forte pecuária extensiva.

⁸ Em outros estados as áreas de pastagens em relevo fortemente ondulados é bastante reduzida. Em Goiás, por exemplo, apenas 1,5% das pastagens ocupam este tipo de relevo.

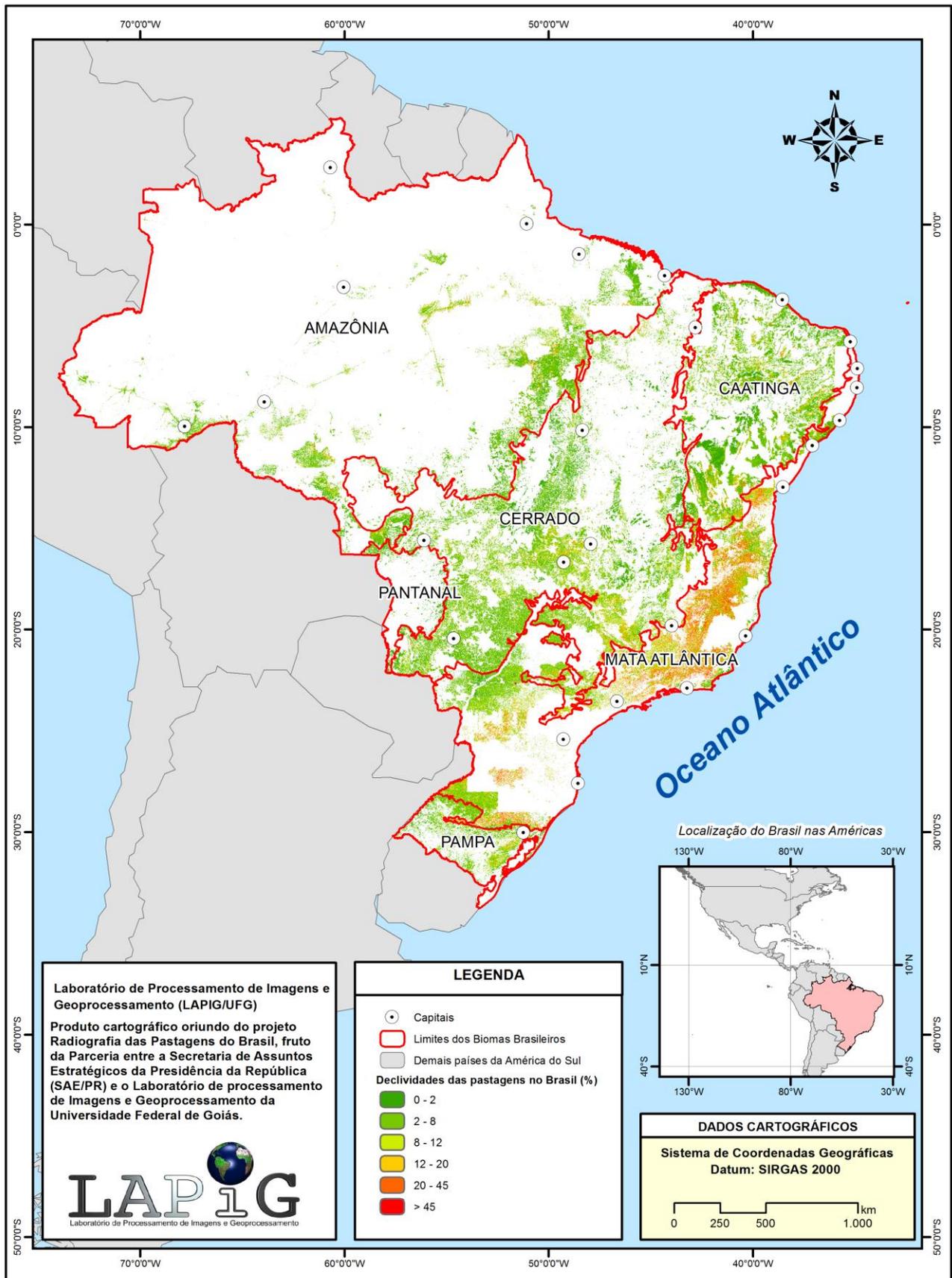


Figura 53: Distribuição das áreas de pastagens nos diferentes biomas Brasileiros, conforme as classes de declividades principais.

Tabela 9: Distribuição das áreas de pastagens por classe de declividade nos Biomas Brasileiros.

Classe	Amazônia		Caatinga		Cerrado		Mata Atlântica		Pampa		Pantanal	
	km ²	%										
0 a 3	67183	27	82793	31	129253	23	28493	8	12374	22	11992	73
3 a 8	147371	60	146763	55	338542	60	129426	37	34938	63	4213	26
8 a 12	16249	7	17112	6	46655	8	52402	15	5557	10	117	1
12 a 20	9383	4	12871	5	24094	4	65579	19	2192	4	74	0
20 a 45	4164	2	7195	3	7021	1	68898	20	405	1	40	0
> 45	146	0	447	0	22756	4	5017	1	4	0	3	0
Total	244496	100	267181	100	568320	100	349815	100	55471	100	16440	100

Para o bioma Mata Atlântica, ainda que também predomine a classe 2 a 8% (a qual compreende 37% das pastagens), ressalta-se a expressiva utilização de áreas com relevo fortemente ondulado (20 a 45%) para a constituição das pastagens (20% ou 68.898,2 km²).

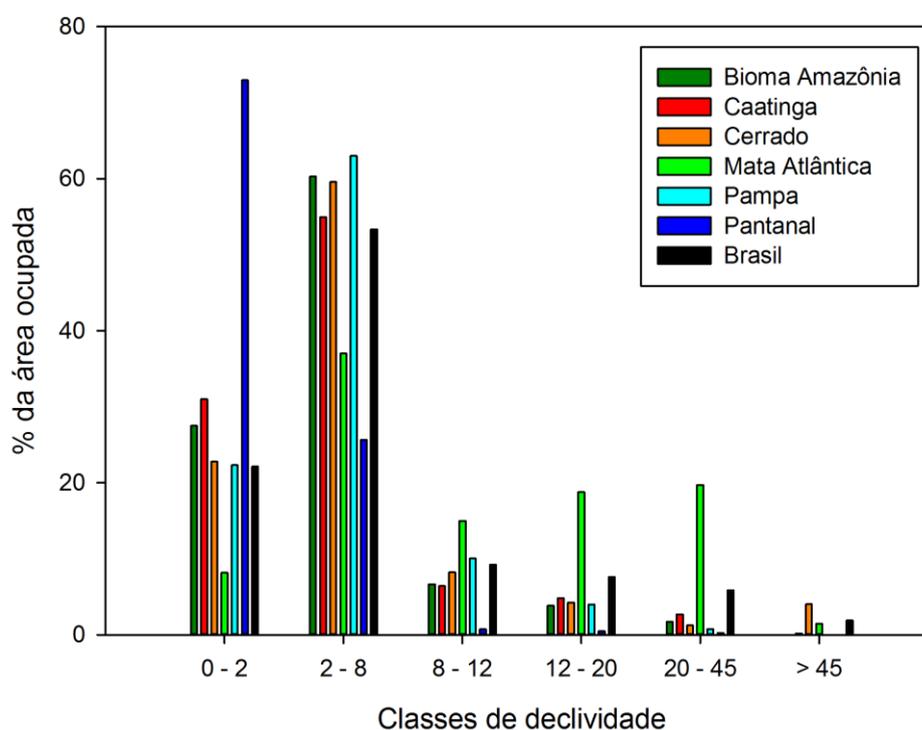


Figura 54: Distribuição relativa das áreas ocupadas por pastagens nos Biomas brasileiros.

Ainda em relação às pastagens no bioma Mata Atlântica, os tipos de relevo fortemente ondulados (20 – 45%) se destacam mais uma vez, pois os valores relativos de pastagens para os relevos moderadamente ondulados (8 – 12%) e ondulados (12 – 20%) são menores, 15 e 18,7%, respectivamente, algo que não ocorre com os outros cinco biomas brasileiros. Em fato, aproximadamente 55% das áreas de pastagens no bioma Mata Atlântica situam-se em terrenos com declividades superiores à 8%. Este

padrão de ocupação de áreas com declives elevados pode ter relação com o histórico de ocupação do território nacional, inicialmente litorâneo e com intensa conversão das coberturas naturais para uso antrópico. Estimam-se em apenas 8% os remanescentes da cobertura vegetal original da Mata Atlântica (PROBIO, 2002), o qual é também o bioma mais urbanizado do país. É interessante observar a pujança econômica deste bioma tanto no que diz respeito à produção industrial (regiões Sul e Sudeste), quanto à maior produção pecuária, à exemplo do estado de Minas Gerais – destaque no abate bovino e produção de leite.

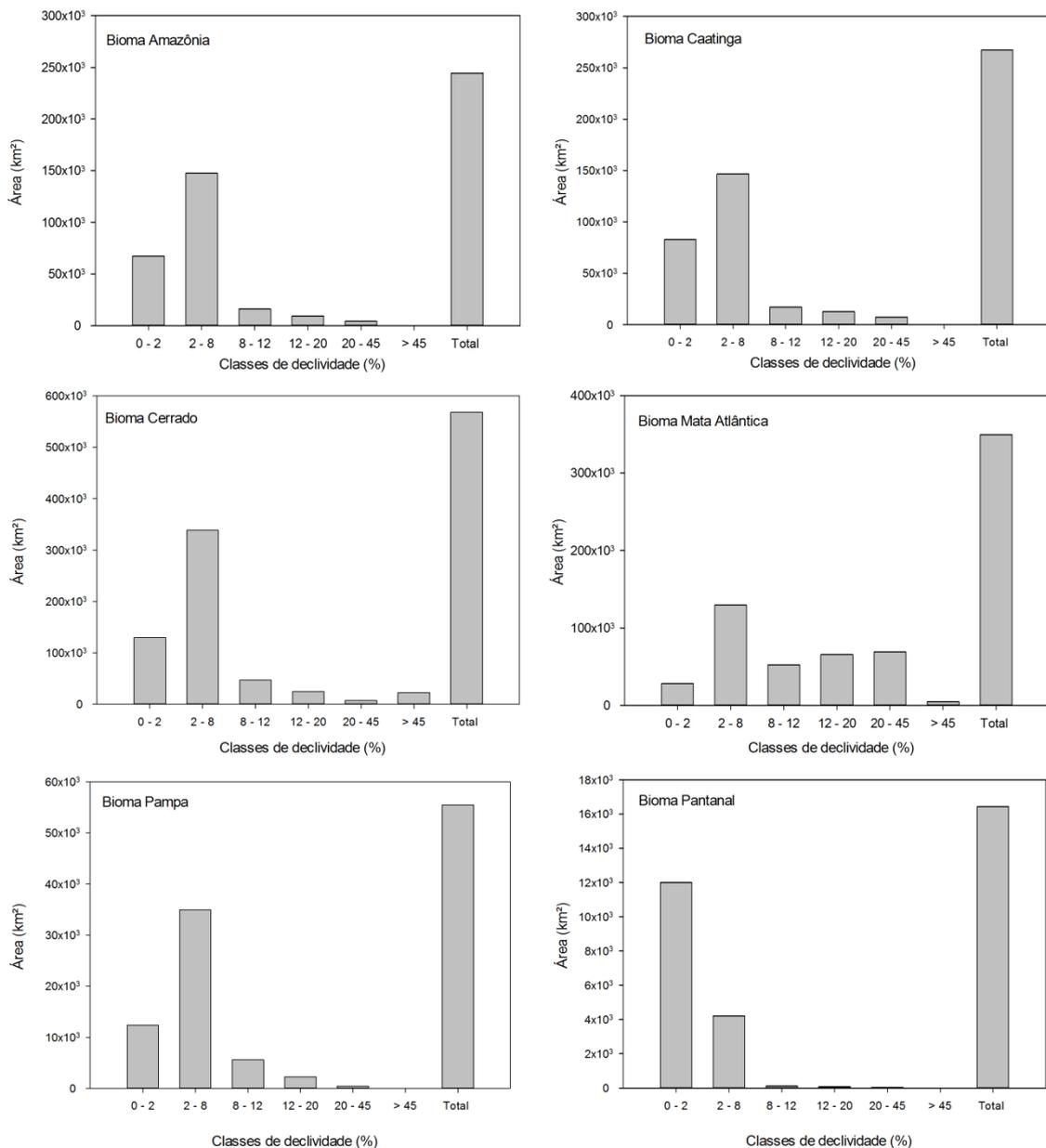


Figura 55: Distribuição das pastagens nos biomas brasileiros (km²), conforme classes de declividade.

3.2.3.1 Análises da Declividade e Pastagens em Áreas de Interesse e Intensa Produção Pecuária

As áreas de interesse aqui consideradas para análise das declividades, são municípios de destaque quanto à produção pecuária e cobertura de pastagens (Conforme Censo Agropecuário 2006 - IBGE), além de outros fatores de destaque, tais como os 20 municípios que receberam maior valor de crédito do Plano ABC, especificamente na linha de recuperação de pastagens.

Em linhas gerais, todos os municípios que possuem expressiva produção pecuária possuem mais de 90% de suas pastagens em relevos planos a suave ondulados (0 até 8% de declividade). Pode-se observar este fato a partir dos dados do Censo Agropecuário 2006 com os 20 municípios com maior rebanho bovino, no qual 95,2% das pastagens situam-se em terrenos com até 8% de declividade; valores semelhantes são encontrados para os 20 maiores municípios com cobertura de pastagens (93,8%) e, os 20 maiores em questão de abate de bovinos (90,2%). Não só para os municípios de destaque em 2006 são encontrados esses valores; os 20 municípios com maior rebanho bovino em 2012 também apresentam 92,5% de suas pastagens com declividades de até 8%, no Arco do desmatamento 85,3% e 93,1% nos 20 principais municípios que receberam créditos do Plano ABC (Figura 56).

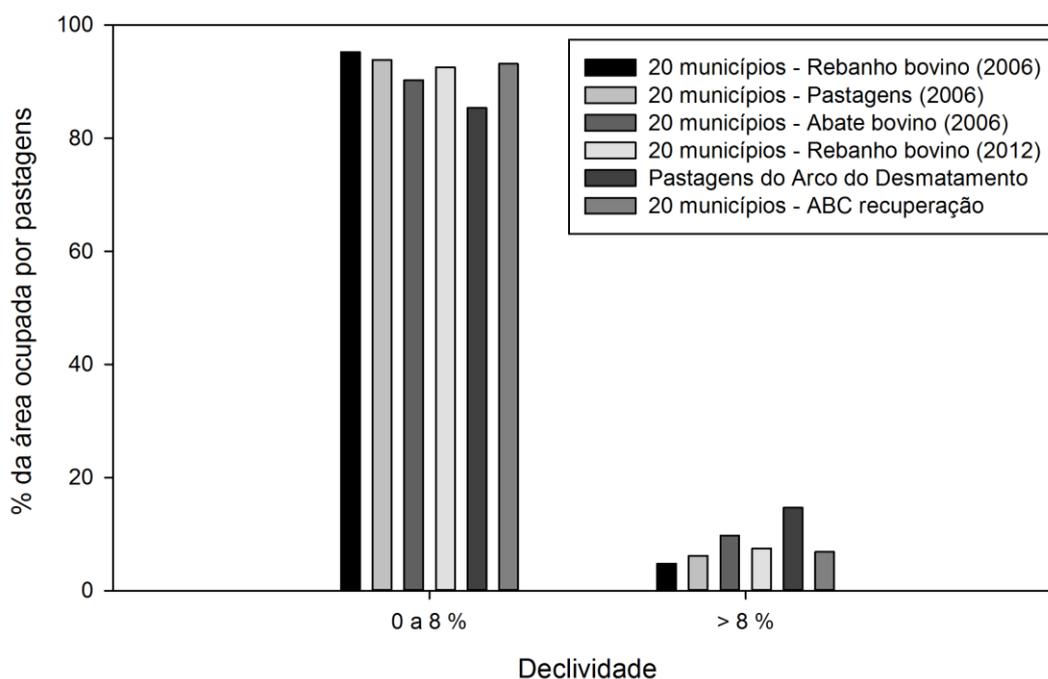


Figura 56: Distribuição das pastagens em áreas de interesse e alta produtividade pecuária, segundo classes de declividades.

3.2.4 Queimadas em áreas de pastagens

Entre 2000 e 2013, foram contabilizados 1.945.171 de focos de calor sobre a totalidade das pastagens brasileiras, correspondendo a 18% do total de focos registrados no território brasileiro para o mesmo período (i.e. 10.681.732 focos). Ao analisarmos anualmente a proporção de focos de calor em áreas de pastagens, temos, em média, para o intervalo entre 2000 e 2013, aproximadamente 25% do total de focos. Entre 2004 e 2013, esta proporção decresce, em média, para 17% (Figura 57). Cabe salientar que para o ano 2000 encontra-se disponibilizado dados de anomalias termais somente para os meses de novembro e dezembro.

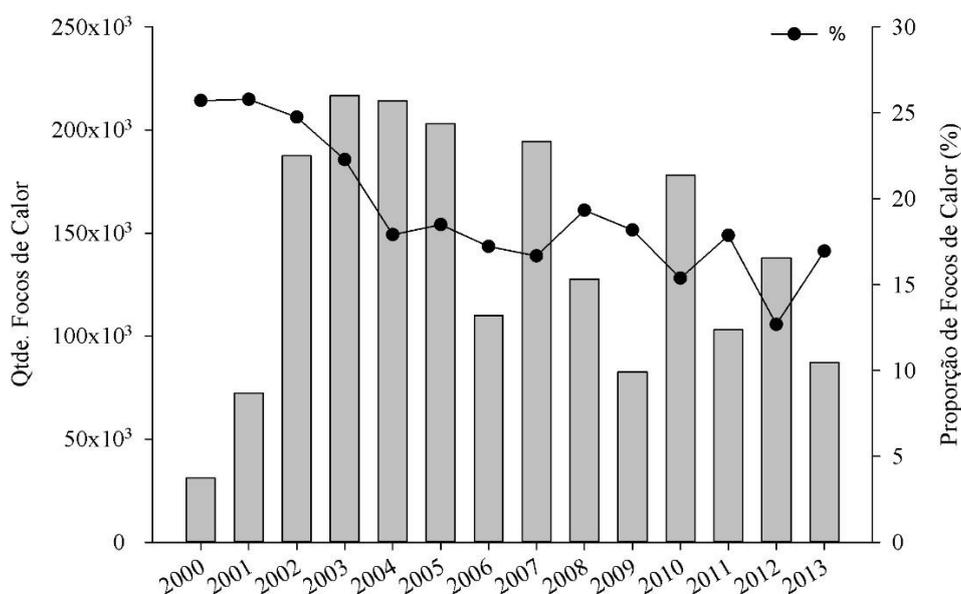


Figura 57: Distribuição da quantidade de focos de calor anual sobre as áreas de pastagens e a sua proporção (%) em relação ao total detectado no Brasil (entre 2000 a 2013).

A figura 57 mostra uma queda na quantidade de focos de calor sobre as áreas de pastagens quando comparado ao total registrado no território brasileiro, principalmente para os anos de 2007, 2010 e 2012, ainda que estes tenham sido os períodos com as maiores extensões de cicatrizes de queimadas. Em média, foram registrados anualmente 138.941 mil focos sobre as pastagens, correspondendo a cerca de 19% dos focos de calor anuais registrados.

Em relação ao focos de calor totais mapeados sobre áreas de pastagens na série temporal analisada, destacam-se os anos de 2003 e 2004 com os maiores registros, ambos correspondendo a 11% do total, respectivamente. Para os anos de 2002, 2005 e 2007 temos praticamente a mesma proporção de focos de calor registrado, sendo 9,6%,

10,4% e 10%, respectivamente. Posteriormente a 2007, há uma tendência de queda tanto no total de focos detectados, quanto na proporção destes em relação à totalidade do território brasileiro.

A densidade de focos de calor sobre as pastagens brasileiras se apresentou baixa, em média 0,021 focos por hectare. Do total de 57.422 fragmentos de pastagem cultivada (≥ 50 ha), em apenas 37.905 (66% do total, com área média de 3.802 ha) foi identificado ao menos um foco de calor. Por sua vez, somente em 2.473 fragmentos (com área média de 436 ha) foi observada uma densidade de focos por hectare $\geq 0,1$. As figuras 58 e 59 mostram a espacialização da densidade de focos de calor por fragmentos de pastagem e por municípios, respectivamente.

Os maiores valores de densidade de focos de calor estão localizados nas regiões Norte e Nordeste do território brasileiro. Nessas regiões ocorre um processo de intensificação das práticas agrícolas e do pastoreio e uma estrutura da paisagem com menor grau de fragmentação, ao contrário da região Centro-Sul do país, que configura um cenário de grandes fragmentos de pastagem cultivada e o setor agropecuário consolidado (Figura 58). Considerando a distribuição das pastagens em nível municipal, a densidade média foi de 0,01 focos por hectare (Figura 59). Os Estados que apresentaram as maiores médias de densidade de focos de calor entre os seus municípios foram Maranhão (0,038), Rondônia (0,035), Mato Grosso (0,031), Pará (0,03), Acre (0,022), Piauí (0,021) e Tocantins (0,02), respectivamente (Figura 59).

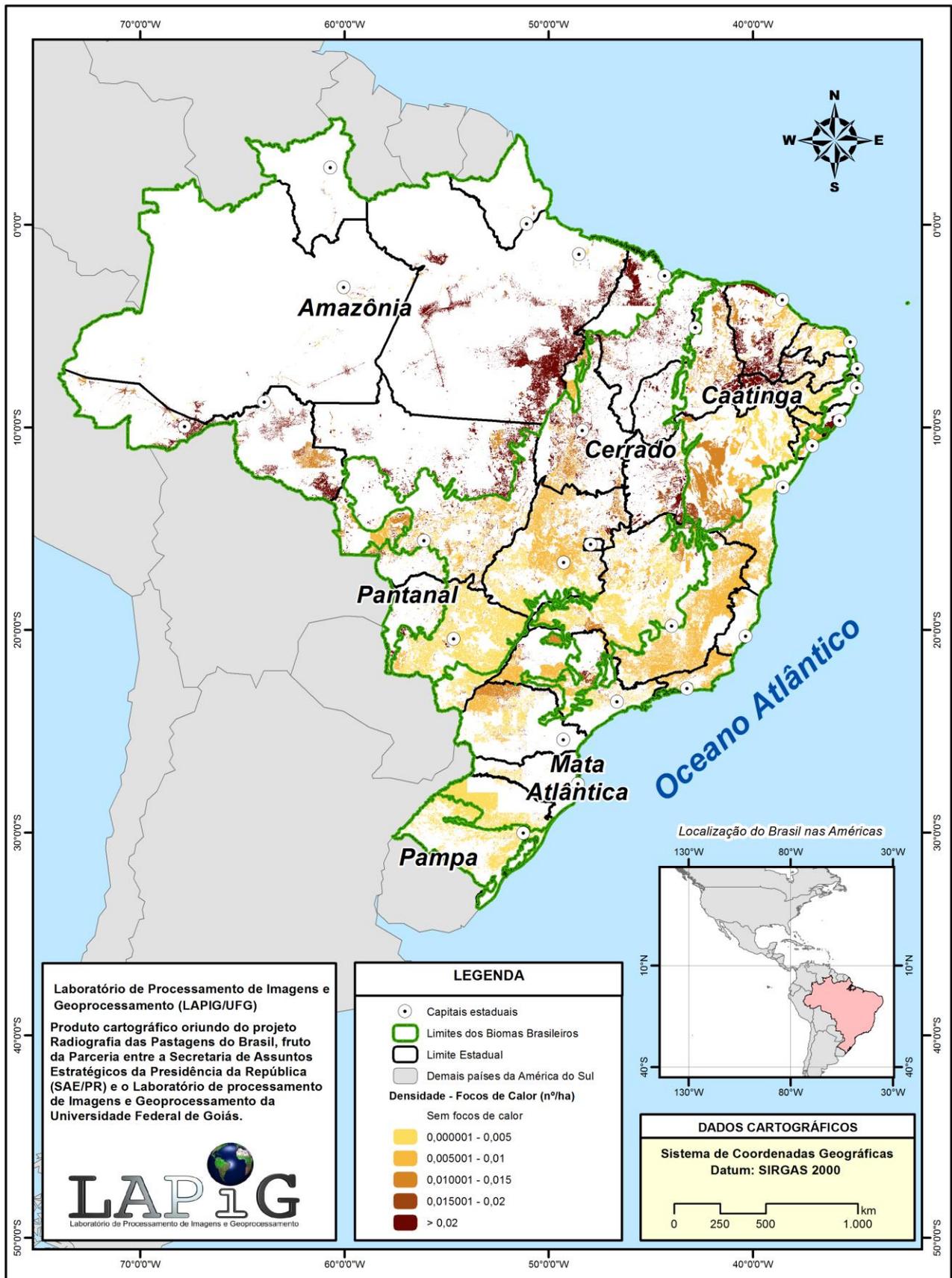


Figura 58 – Densidade de focos de calor total (2000 a 2013) sobre as áreas de pastagens no Brasil (fragmentos).

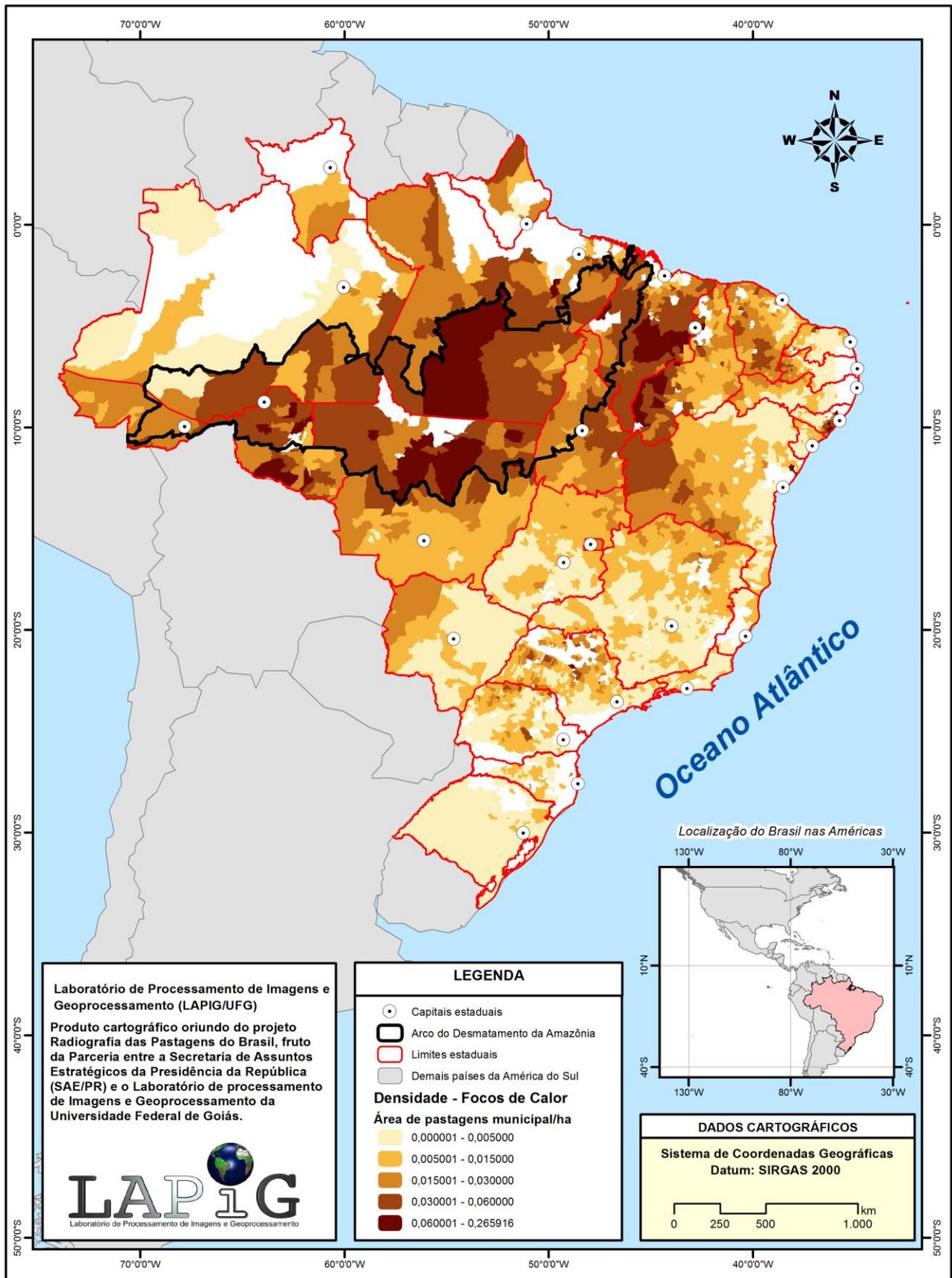


Figura 59 – Densidade de focos de calor total (2000 a 2013) sobre as áreas de pastagens no Brasil (municípios).

Em uma análise comparativa entre os limites dos biomas brasileiros (IBGE, 2004), 99% do total de focos de calor sobre as pastagens estão localizados nos biomas Amazônico, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, sendo 43%, 29%, 16% e 10%, respectivamente. 1% dos focos estão localizados sobre os biomas Pampa e Pantanal. Por outro lado, a quantidade de fragmentos de pastagens aparece invertida, i.e. Cerrado com 40%, Mata Atlântica com 26% e Amazônia com 22%.

A densidade de focos de calor sobre as áreas de pastagem nos biomas brasileiros também se mostrou baixa, sendo o maior valor de densidade média de focos por fragmento (0,054 por hectare) encontrado no bioma Amazônico. Entre os demais biomas, a densidade registrada foi de 0,019, 0,014, 0,012, 0,006 e 0,001, correspondendo, respectivamente, ao Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa (Figura 58). As maiores densidades de focos de calor estão localizadas nas zonas de transição entre os biomas Cerrado-Amazônia e Cerrado-Caatinga, as quais apresentam atualmente uma intensificação das práticas antrópicas, tais como agricultura e o pastoreio extensivo sobre grandes áreas. Para essas regiões, ainda em processo de consolidação, o fogo é utilizado como método de manejo para a limpeza dos restos vegetais sobre o solo e renovação do pasto, já que se constitui uma prática de baixo custo econômico para o proprietário da terra (Coutinho, 1990; Jepson, 2005).

Uma baixa densidade de focos de calor também é observada ao nível local, i.e. nas áreas de pastagens dos municípios do Arco do Desmatamento, do *Rally* da Pecuária, do Plano ABC e polígonos PAVAN (Figura 60). É interessante observar que a variação média de focos por fragmento de pastagem mostra uma padrão de distribuição anual (2000 a 2013) semelhante à variação na densidade de focos.

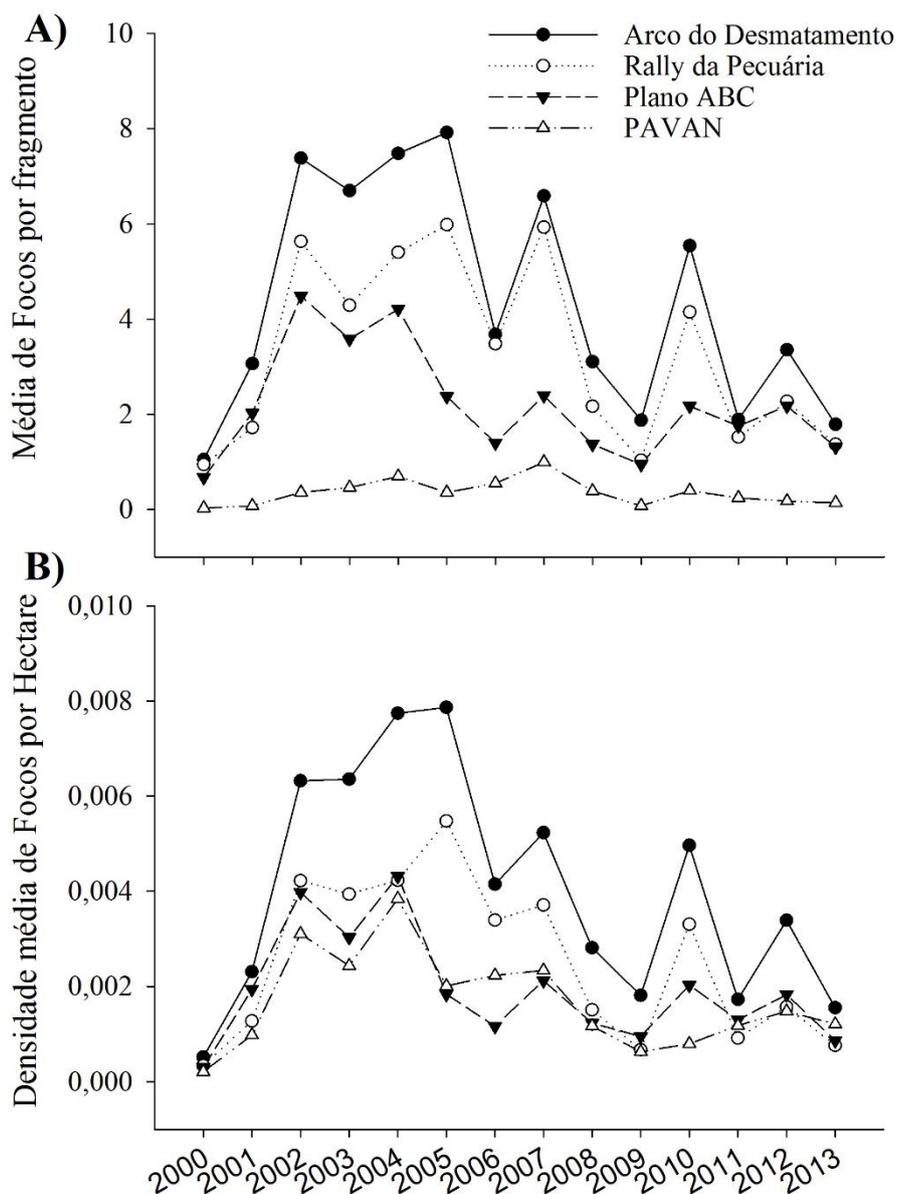


Figura 60 – Distribuição da quantidade média de focos de calor por fragmento de pastagem (A) e densidade de focos por hectare (B) (entre 2000 a 2013).

Na figura 60A destaca-se a semelhança na oscilação anual da quantidade de focos de calor registrados sobre fragmentos de pastagem para as regiões do Arco do Desmatamento, *Rally da Pecuária* e Plano ABC, sendo a média de focos para o período analisado (i.e. 2000 a 2013) de 4,4, 3,3 e 2,2 por fragmento de pastagem, respectivamente. Os polígonos do PAVAN, por sua vez, apresentaram valor médio anual de focos sobre pastagens muito menor (0,4 focos), bem como um padrão de oscilação anual menos pronunciado.

Considerando a quantidade total de focos de calor, entre 2000 e 2013, sobre os fragmentos de pastagem para as quatro regiões geográficas analisadas, temos, em média, 61, 46, 31 e 5 focos de calor para as regiões do Arco do Desmatamento, *Rally da*

Pecuária, Plano ABC e PAVAN, respectivamente. Quanto a recorrência anual dos focos de calor (i.e. fragmentos que voltaram a registrar focos de calor em ao menos dois anos na série temporal analisada) esta se mostrou particularmente elevada para a região do Arco do Desmatamento, afetando aproximadamente 91% das suas manchas de pastagens (i.e. 10.098 fragmentos), assim como para as regiões do *Rally* da Pecuária (80% ou 1.128 fragmentos) e do Plano ABC (72% ou 1.025 fragmentos). Ao contrário, para os fragmentos do PAVAN, a recorrência se mostrou significativamente mais baixa, afetando 42% do total de fragmentos analisados (i.e. 89).

Para estas regiões de interesse, ainda que com altos valores de recorrência, observa-se uma baixa densidade de focos de calor, principalmente em comparação com a análise regional, sendo a densidade média anual no período inferior a 0,01 focos de calor (Figura 60B). É interessante também observar que a densidade de focos sobre os polígonos do PAVAN foi próxima àquela registrada para as pastagens do Plano ABC e *Rally* da Pecuária ao longo de oito anos do período em análise (i.e. 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 e 2011). Em 2013, esta densidade também se aproxima àquela do Arco do Desmatamento, região atualmente no território brasileiro com os maiores registros de focos de calor no ano.

3.3 Fluxos de água e energia das pastagens Brasileiras

Na vegetação, os fluxos de água e energia estão intimamente ligados à produtividade primária líquida (*net primary productivity* - NPP), a qual corresponde ao carbono acumulado pelas plantas (através da fotossíntese) menos o que é usado na respiração (Feng et al., 2007), i.e. a biomassa produzida e disponível para ser consumida por outros organismos (Rosa e Sano, 2013). Especificamente, durante a fotossíntese, a perda de vapor de água para atmosfera e o sequestro de CO₂ ocorrem simultaneamente por meio da abertura dos estômatos da planta.

A transpiração da planta combinada com a evaporação da água interceptada pela planta e no solo é denominada de evapotranspiração (ET), a qual é relacionada aos processos de transferência / balanço de energia e água entre a superfície e a atmosfera, principalmente das regiões tropicais (onde corresponde a cerca de 60% da precipitação média) (Trenberth et al., 2009; Chen et al., 2014). A intensidade da evapotranspiração depende de fatores meteorológicos (radiação, temperatura e umidade do ar e vento), da planta (espécie, distribuição e número de estômatos, a fase de crescimento da planta, a

altura e a profundidade do sistema radicular), do solo (teor de umidade e profundidade do lençol freático) e manejo deste solo (Li et al., 2009). A evapotranspiração, o segundo maior componente do ciclo hidrológico e que tem um papel fundamental na dinâmica climática global e nos processos de produtividade primária dos ecossistemas, constitui-se em relevante serviço ecossistêmico (Malhi et al., 2010).

De particular importância é o papel que as pastagens desempenham quanto aos ciclos de água e energia (Meirelles et al., 2011; Lathuillière et al., 2012; Arantes et al., 2014). Pastagens (ex. *Brachiaria Brizantha*), caracterizadas por um sistema radicular pouco profundo, são particularmente suscetíveis à variação de umidade nas camadas superficiais do solo, respondendo rapidamente à disponibilidade e/ou déficit hídrico (Meirelles et al., 2011; Ferreira et al., 2013), o que pode ser bem identificado e caracterizados através de dados de evapotranspiração (Arantes et al., 2014).

Especificamente para este projeto, e através da Análise de Componentes Principais (Ferreira e Huete, 2004), aproximadamente 96% de toda a informação contida nas 168 imagens de evapotranspiração normalizadas foi concentrada em três novas imagens, PC1, PC2 e PC3, as quais correspondem, respectivamente, à evapotranspiração acumulada durante todo um ciclo hidrológico, ao padrão sazonal principal (funcionamento evapotranspirativo / atividade fotossintética entre novembro e maio), o qual compreende grande parte das pastagens situadas no Arco do Desmatamento, biomas Cerrado e Pantanal e municípios do *Rally da Pecuária* e ao padrão sazonal secundário (janeiro a junho) (ex. pastagens do bioma Caatinga) (Figura 61). Estes padrões são bem corroborados através da análise dos pesos dos respectivos auto-vetores (mostrados no gráfico da figura 61B). Pesos equilibrados do auto-vetor 1 indicam que a imagem resultante (PC1) mostra, *pixel a pixel*, a água total transferida para a atmosfera durante um ciclo hidrológico completo. Da mesma forma, os pesos associados aos auto-vetores 2 e 3 nitidamente indicam padrões sazonais regionais (principal e secundário, respectivamente) consistentes com os padrões associados às chuvas (auto-vetores 2 e 3, tracejados no gráfico da figura 61B).

Na composição colorida RGB / PC1, PC2, PC3 (Figura 61A), pastagens com bom nível de vigor vegetativo aparecem em tons de magenta, enquanto pastagens com vigor intermediário e baixo (possivelmente em condições de *stress* hídrico), aparecem em tons de amarelo e verde, respectivamente.

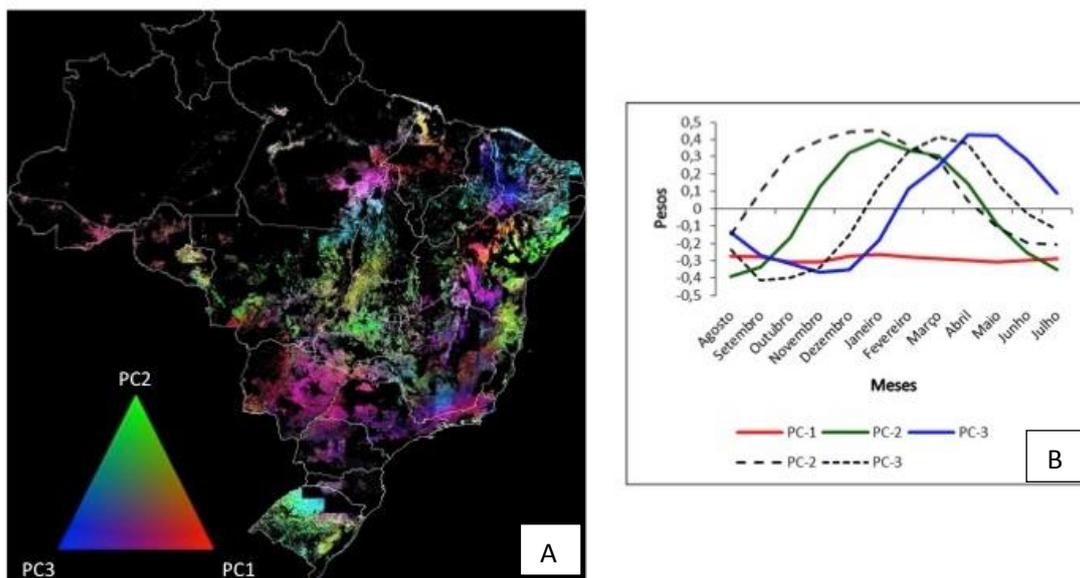


Figura 61 Composição colorida RGB / PC1, PC2 e PC3, onde diferentes tons indicam o respectivo vigor vegetativo e respostas sazonais (a) e distribuição dos pesos dos auto-vetores (b) (curvas tracejadas --> imagens componentes principais de precipitação).

As respostas médias mensais da evapotranspiração normalizada para as pastagens de referência neste estudo (i.e. localizadas na BHRV), pastagens de propriedades certificadas pela Aliança da Terra e pastagens dos municípios incluídos no *Rally* da Pecuária são mostradas nos gráficos da figura 62. A similaridade entre as respostas sazonais associadas às pastagens BHRV e Aliança da Terra sugere condições climáticas, padrões de manejo e níveis de produtividade bastante próximos, ao mesmo tempo que corrobora os dados de referência adotados para este projeto. Da mesma forma, é interessante observar que os valores de evapotranspiração normalizada obtidos para as áreas de pastagens do *Rally* da Pecuária são sistematicamente mais elevados, uma indicação robusta de que estas áreas apresentam maiores níveis de forragem / produtividade.

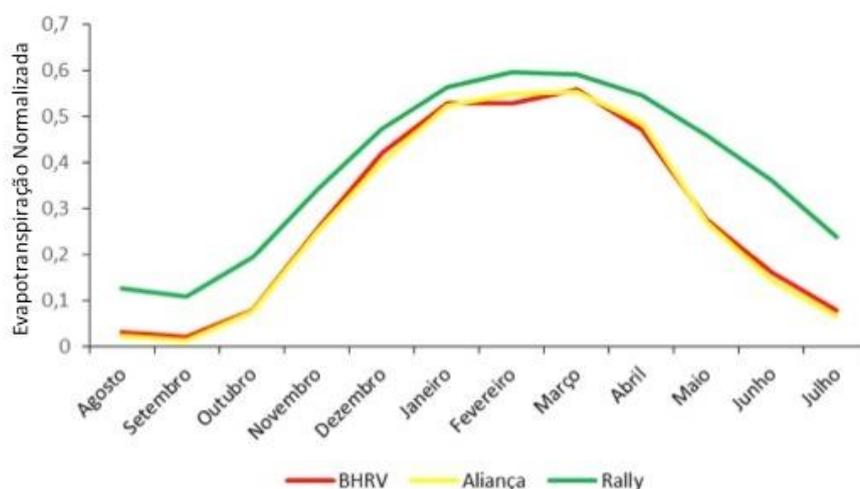


Figura 62: Evapotranspiração (mm) média mensal (14 anos) para áreas de pastagens na bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - Goiás, dados de referência), pastagens de 175 propriedades certificadas pela Aliança da Terra e pastagens localizadas nos 24 municípios situados no âmbito do chamado *Rally* da Pecuária 2013 (detentores de aproximadamente 75% do rebanho bovino nacional).

As imagens de evapotranspiração normalizada acumulada para as estações de chuva e seca, indicativas, respectivamente, do vigor vegetativo e da resistência das pastagens à seca, são mostradas na figura 63. Especificamente em relação à imagem “vigor vegetativo”, é interessante notar a concentração de pastagens com boa capacidade fotossintética nas regiões do Arco do Desmatamento e bioma Cerrado, além dos municípios visitados durante o *Rally* da Pecuária. Ao todo, e tendo por referência as pastagens BHRV, estimamos que ao menos 40% das pastagens Brasileiras, concentradas nestas regiões, apresentam excelente nível de forragem. Por outro lado, ao menos 12% destas pastagens (localizadas principalmente no Semi-Árido, i.e. fora das principais regiões de atividade pecuária) apresentam vigor vegetativo muito abaixo do limite de referência.

Quanto à resistência à seca, aproximadamente 26% das pastagens, incluindo áreas significativas do bioma Cerrado, são severamente impactadas durante o período de senescência. Contudo, é interessante observar que, dos 624.271 focos de queimada diários detectados sobre áreas de pastagens (> 50 hectares) em todo o território nacional, entre 2000 e 2013, apenas 8% encontram-se nestas áreas de maior vulnerabilidade. Em fato, a maior parte destes focos está concentrada no Arco do Desmatamento (~ 45%) e bioma Cerrado (~ 32%), indicando que predomina ainda no país, em particular em áreas de pastos produtivos, práticas de manejo ambientalmente pouco sustentáveis. Quanto às áreas de pastagens relacionados ao *Rally* da Pecuária, estas concentram apenas 4,5% do total da ocorrência de fogo, o que sugere que áreas

altamente produtivas (no caso, responsável por 85% da produção de carne no país) podem ser alinhadas à práticas ambientais mais sustentáveis.

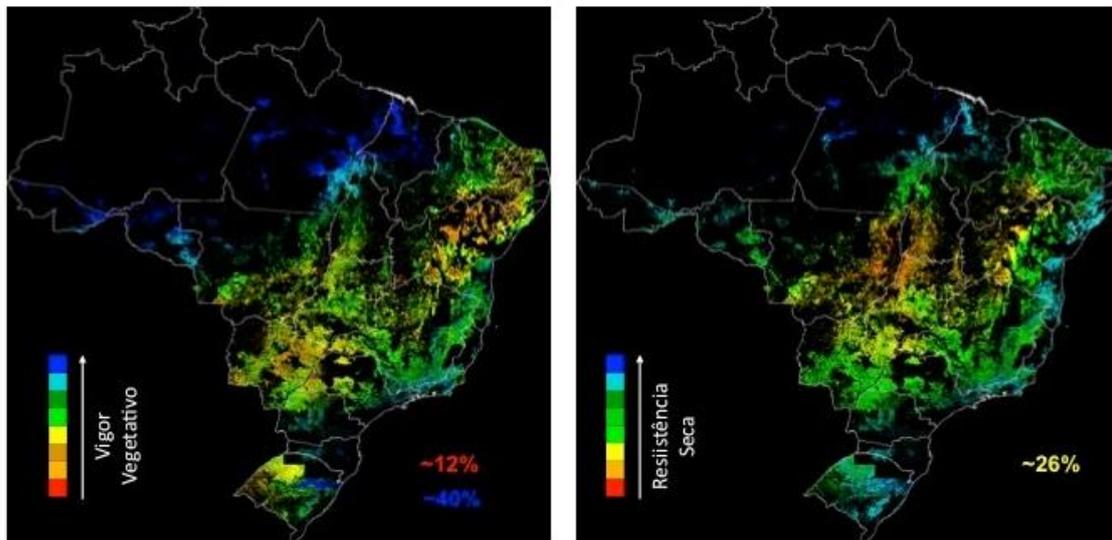


Figura 63: Imagens de evapotranspiração média (14 anos) acumulada durante o período de crescimento vegetativo (indicativa do vigor vegetativo) e senescência (indicativa da resistência à seca).

De acordo com as distribuições de frequências mostradas na figura 64, as áreas de pastagens situadas no Arco do Desmatamento e Mata Atlântica apresentam valores de evapotranspiração acumulada durante a estação de crescimento predominantemente acima dos valores de referência. Ao contrário, as pastagens localizadas no bioma Cerrado apresentam valores médios (e dominantes) abaixo daqueles indicativos de bons níveis de forragem. Ao contrário, ao longo da estação seca, as pastagens do Arco do Desmatamento apresentam, em média, valores de evapotranspiração abaixo dos valores de referência, possivelmente um desdobramento da elevada concentração de focos de queimada observados (Figura 65).

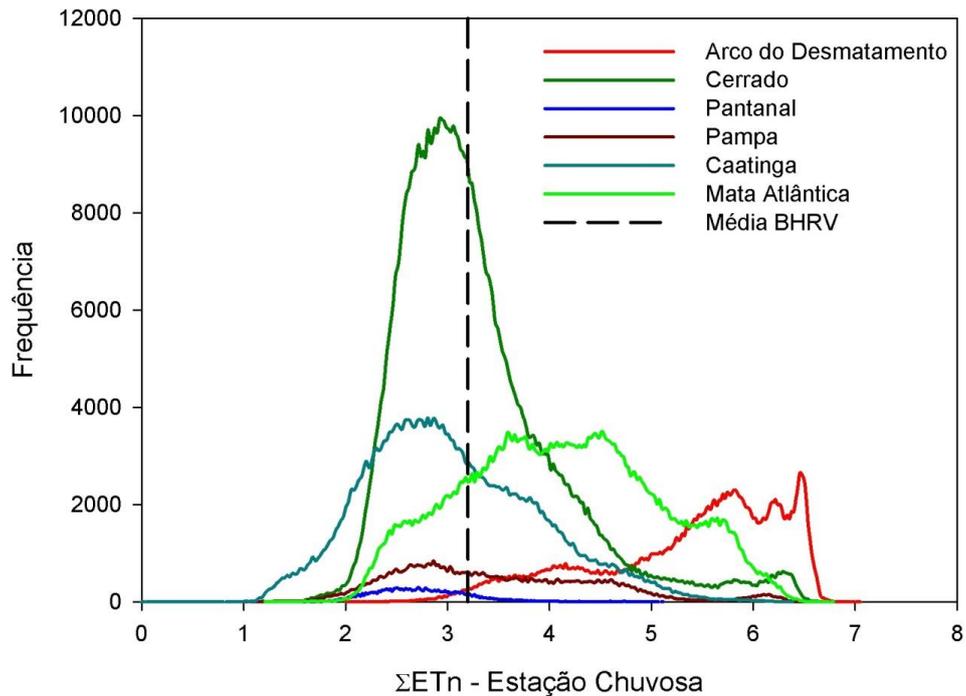


Figura 64: Distribuições de frequência da evapotranspiração normalizada acumulada (médias mensais) durante a estação chuvosa (período de crescimento vegetativo) para os biomas Brasileiros. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada (novembro a junho) para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência).

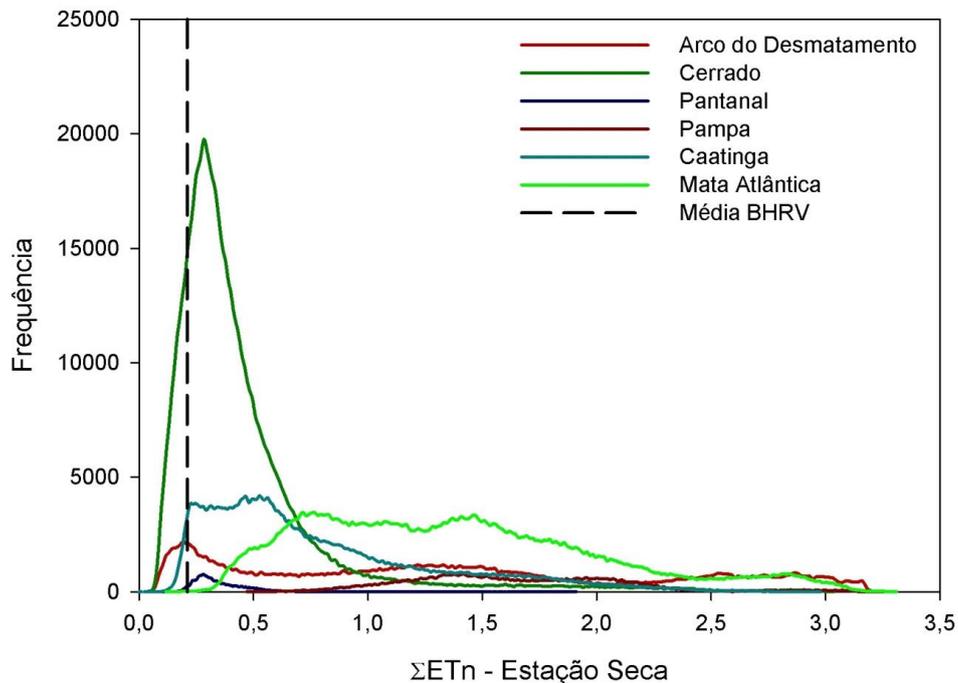


Figura 65: Distribuições de frequência da evapotranspiração normalizada acumulada (médias mensais) durante a estação seca (período de senescência) para os biomas Brasileiros. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada (julho a outubro) para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência).

No caso das áreas de pastagens altamente produtivas (i.e. incluídas no *Rally da Pecuária*), os valores de evapotranspiração acumulada são predominantemente e

significativamente acima dos valores de referência (Figura 66).

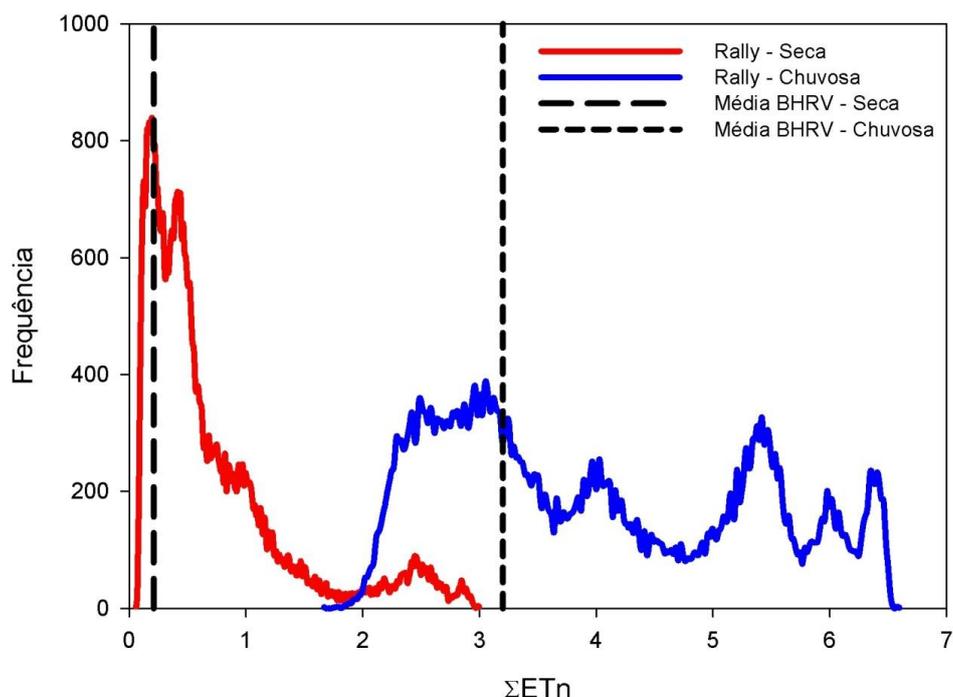


Figura 66 – Distribuições de frequência da evapotranspiração acumulada (médias mensais) durante as estações chuvosa (período de crescimento vegetativo) e seca (senescência) para as áreas de pastagens dos 24 municípios visitados pelo *Rally* da Pecuária. Linha tracejada indica evapotranspiração normalizada (valores médios) acumulada para as pastagens da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV - valores de referência) durante os dois períodos considerados.

3.4 Aplicação de métricas fenológicas às pastagens do Brasil

Conforme mostrado na figura 61 as pastagens apresentam comportamentos sazonais distintos conforme a dinâmica climática de cada região do Brasil. A resposta das áreas de pastagens à sazonalidade climática também pode ser retratada em imagens índices de vegetação realçadas conforme parâmetros fenológicos, que mostram a rapidez do aumento do verdor após o início das chuvas (taxa de rebrota) e a redução deste com o fim das chuvas (taxa de senescência), e o total acumulado do início ao fim do período chuvoso, correspondente à produtividade primária líquida (NPP). Na figura 67 percebe-se que, em geral, a taxa de rebrota das pastagens do Brasil varia de Baixa a Alta (80%), principalmente para as pastagens localizadas na porção Norte, Centro-Oeste e Nordeste do país (Tabela 10). As pastagens com menores taxas de rebrota encontram-se na região Centro-Oeste no estado do Mato Grosso do Sul, e nas regiões Sul e Sudeste, nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 67).

Tabela 10: Taxa de rebrota das pastagens do Brasil com as suas respectivas áreas e porcentagens.

Taxa de Rebrota	Área (ha)	Porcentagem
Muito Baixa	19849967	13%
Baixa	47014613	32%
Média	36407383	25%
Alta	34633884	23%
Muito Alta	10622835	7%
Total	148528682	

É interessante notar que a taxa de senescência tem comportamento inverso à taxa de rebrota, variando de Muito Baixa a Média, particularmente para as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste (Figura 68). Os estados com as pastagens com as menores taxas de senescência são Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Paraíba e Minas Gerais. As maiores taxas de senescência (Alta a Muito Alta) encontram-se na região Norte e Sul do país, nos estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Roraima, Pará e Rio Grande do Sul (Figura 68).

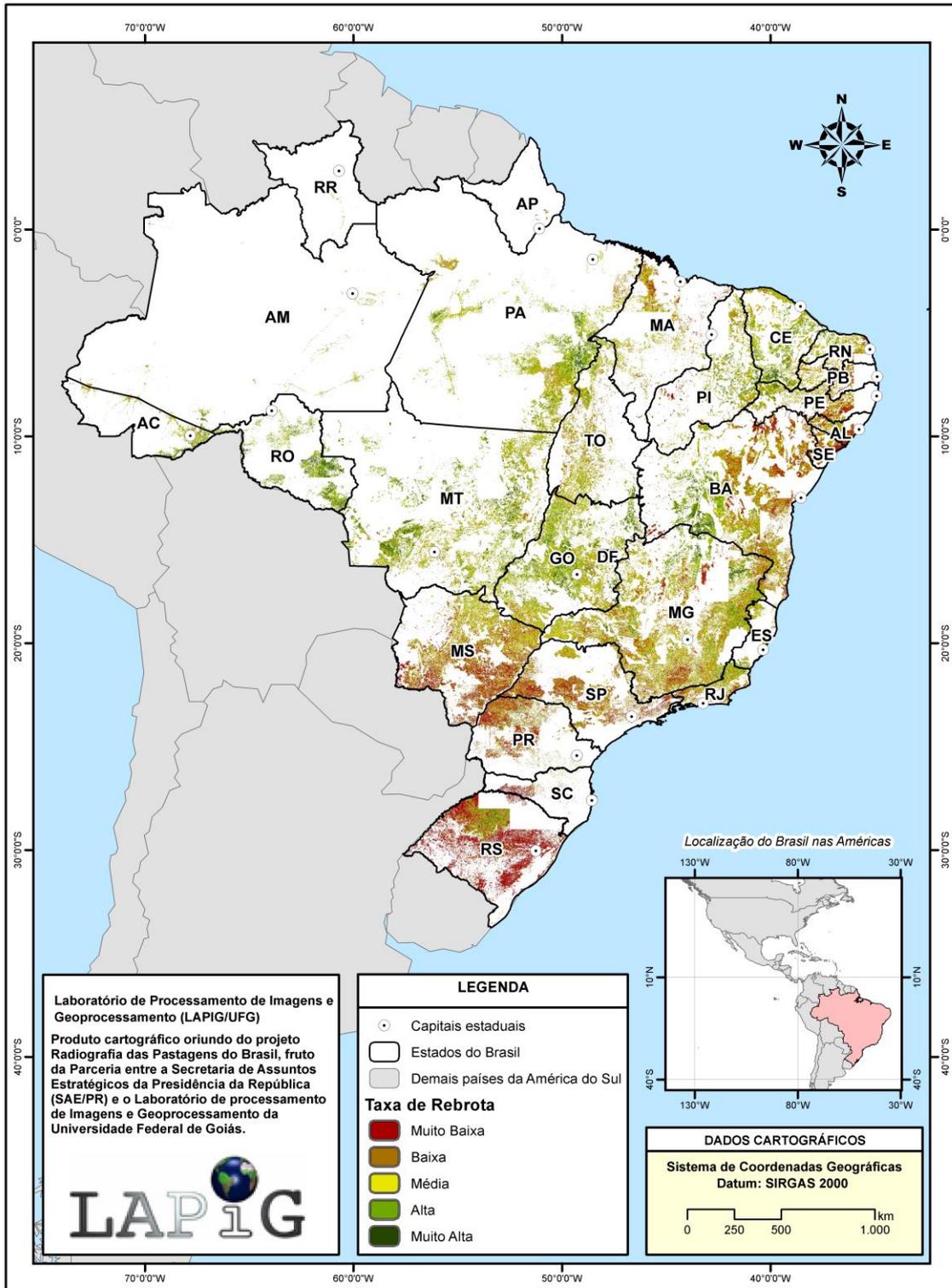


Figura 67: Taxa de rebrota média (2000 a 2013) para as pastagens do Brasil (conforme o mapa PROBIO 2002).

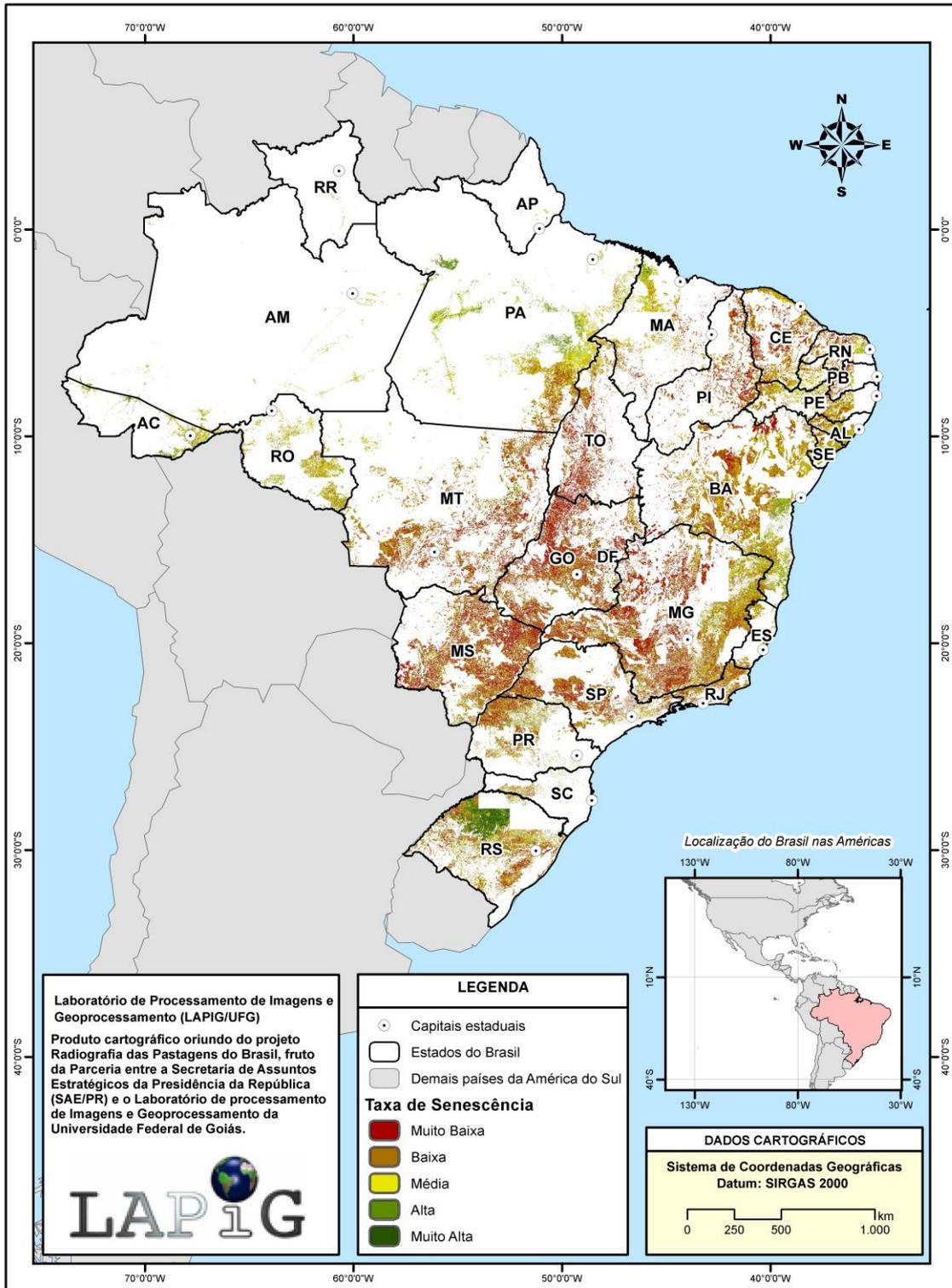


Figura 68: Taxa de senescência média (2000 a 2012) para as pastagens do Brasil (conforme o mapa PROBIO 2002).

Partindo de uma abordagem mais detalhada, utilizando a rede de pontos do PAVAN sobre as regiões de maior atividade pecuária (Arco do Desmatamento e Cerrado) e 100 pontos aleatórios sobre os municípios do *Rally* da Pecuária, nota-se que as áreas de pastagem do Arco do Desmatamento apresentam maior produtividade primária líquida comparativamente às do Cerrado e do *Rally* (Figura 69a e 69d). As pastagens localizadas nos municípios do *Rally* da Pecuária apresentaram as menores produtividades, bem como uma tendência de queda a partir de 2007. Está mesma tendência ocorre para as pastagens do Arco do Desmatamento e Cerrado, mas em menor magnitude. Com relação à taxa de rebrota há uma alta variação interanual nos valores de todas as pastagens analisadas, o que se deve a sensibilidade desta métrica a variabilidade climática (Figura 69b).

Mesmo assim, ao calcular-se a média para todos os anos, as pastagens do Cerrado apresentam maior taxa de rebrota, seguido das do Arco do Desmatamento e do *Rally* da Pecuária (Figura 69d). Já a taxa de senescência apresenta menor variação interanual e entre as regiões analisadas, com valores ligeiramente maiores para as pastagens do Arco do Desmatamento e menores para as do *Rally* da Pecuária (Figura 69c e 69d). Em geral, as áreas de pastagem localizadas nestas três regiões (Arco do Desmatamento, Cerrado e *Rally* da Pecuária) apresentam comportamento semelhante quanto a sua resposta a rebrota e senescência, o que se devem em parte ao mesmo regime climático destas áreas.

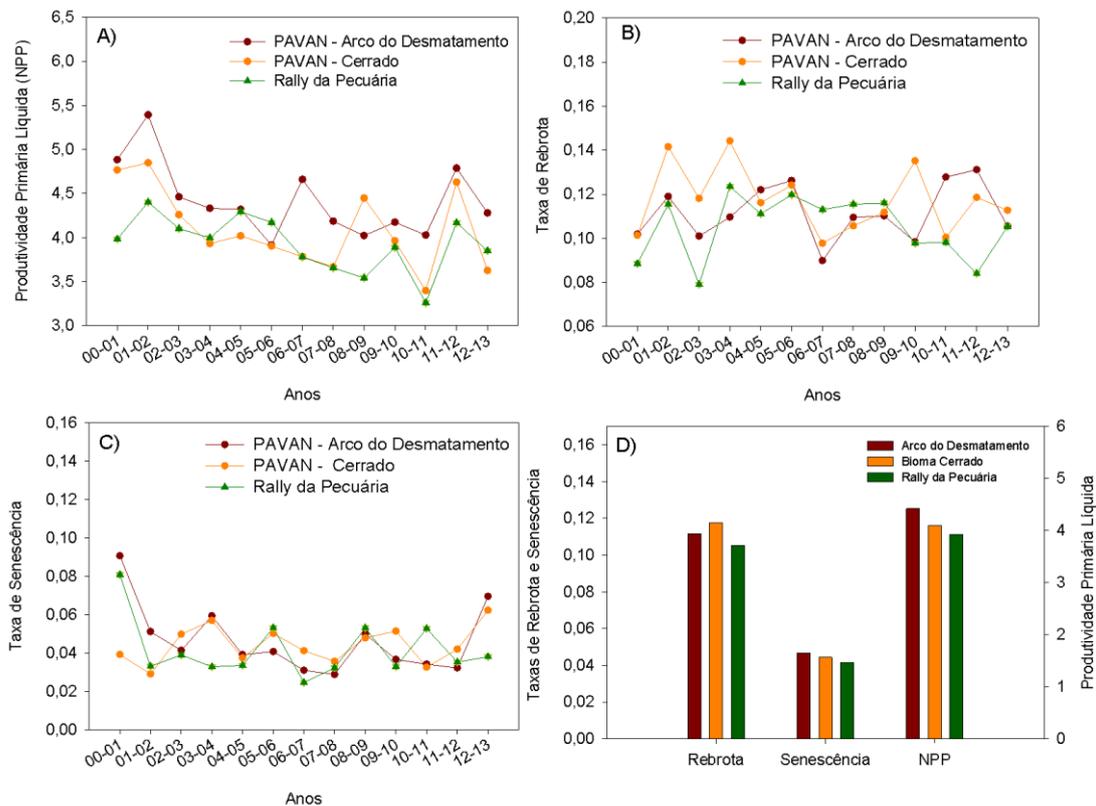


Figura 69: a) Produtividade primária líquida (NPP), b) taxa de rebrota, c) taxa de senescência média para as amostras do PAVAN, do Arco do Desmatamento, Cerrado e *Rally da Pecuária*, d) média de 14 anos da taxa de rebrota, senescência e NPP.

As análises das métricas sazonais para os principais biomas mostraram que as áreas de pastagens no Brasil apresentam diferentes respostas de vigor (alta atividade fotossintética) conforme o regime climático. Para entender como a atividade fotossintética das pastagens varia conforme o manejo ou pastejo é necessário isolar o componente climático e ambiental, a fim de poder comparar as condições das pastagens localizadas sobre regimes climáticos e características ambientais distintas. Para isso, é necessário analisar o “*time lag*”, i.e. o intervalo entre a ocorrência das chuvas e a resposta da vegetação ano a ano e observar os padrões temporais do máximo índice de vegetação e precipitação de toda a série temporal.

A produtividade sazonal é uma métrica adequada como indicativo da qualidade das pastagens, quando não há muito ruído nas imagens, isso porque está incluído tanto o valor máximo do índice de vegetação como a duração da estação de crescimento na sua concepção e apresentou dentre todas as métricas a menor variabilidade temporal. Para melhor compreender se a resposta da produtividade sazonal está relacionada a uma estação de crescimento de maior duração ou a uma vegetação com maior atividade fotossintética é necessário obter o valor máximo do índice de vegetação para cada

estação de crescimento e analisar a sua tendência ao longo de todos os anos. Esta análise de tendência é algo que pode auxiliar na eliminação de ruídos, bem como “isolar” a variabilidade interanual do clima, possibilitando extrair informações sobre o manejo e possivelmente sobre o pastejo.

3.5 Produtividade das pastagens do Mato Grosso, bioma Cerrado e Arco do Desmatamento

Para a análise da produtividade das pastagens localizadas em áreas de alta produtividade de pecuária do Brasil (Mato Grosso, bioma Cerrado e o Arco do Desmatamento) foram utilizadas as áreas de pastagem do PROBIO (2002) e a média da produtividade primária líquida (NPP) (2000 a 2012), classificada em três categorias, tendo por referência média os valores de produtividade das pastagens da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

No Mato Grosso, nota-se o predomínio de pastagens de alta (40%) a média (26%) produtividade (40%) (Quadro 1). As pastagens de produtividade alta e média encontram-se principalmente no bioma Cerrado na porção Sudeste do estado (Figura 70). Já as com baixa produtividade, que correspondem a 34% das áreas de pastagem do Mato Grosso, estão na porção Norte do estado sobre o domínio do bioma Amazônico (Quadro 1 e Figura 70). Algumas áreas de pastagem no Norte do Mato Grosso são atualmente ocupadas com culturas agrícolas, segundo o mapa de agricultura do Mato Grosso de Spera et al. (2014).

No bioma Cerrado as pastagens apresentam produtividade alta (45%) e média (20%), sendo que as pastagens com maior produtividade encontram-se na porção sul do bioma, nos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e São Paulo (Quadro 1 e Figura 70). As áreas de pastagem com baixa produtividade correspondem a 35% das pastagens do bioma e concentram-se predominantemente na porção Central, Oeste e Norte, nos estados de Goiás (entorno de Goiânia), Bahia e Maranhão (Quadro 1 e Figura 70).

No Arco do Desmatamento as pastagens são de produtividade média (43%) e baixa (45%), totalizando 88%, sendo que estas estão localizadas nas porções Nordeste e Noroeste nos estados do Acre, Rondônia e Pará (Quadro 1 e Figura 70). As pastagens com alta produtividade (12%) encontram-se no limite do bioma Cerrado nos estados do Tocantins e Mato Grosso (Quadro 1 e Figura 70). É importante ressaltar que os menores valores de produtividade das pastagens do Arco do Desmatamento é em parte resultado

da maior presença de nuvens e ruídos nesta região nas imagens originais utilizadas para geração da NPP. Também nota-se que devido a resolução espacial das imagens, muitos fragmentos menores de pastagem são ignorados, o que associado a baixa estimativa das áreas de pastagem do PROBIO para o Arco do Desmatamento elimina boa parte das áreas de pastagem existentes atualmente.

Quadro 1: Porcentagem das classes de produtividade das pastagens do Mato Grosso, Bioma Cerrado e Arco do Desmatamento.

Produtividade Primária Líquida-Pastagem			
		Área (ha)	Porcentagem
Mato Grosso	Alta Produtividade	5494011	40%
	Média Produtividade	3556129	26%
	Baixa Produtividade	4731812	34%
	Total	13783845	
Cerrado	Alta Produtividade	25134366	45%
	Média Produtividade	11103650	20%
	Baixa Produtividade	19576797	35%
	Total	55850536	
Arco do Desmatamento	Alta Produtividade	2162939	12%
	Média Produtividade	8019169	43%
	Baixa Produtividade	8294876	45%
	Total	18476984	

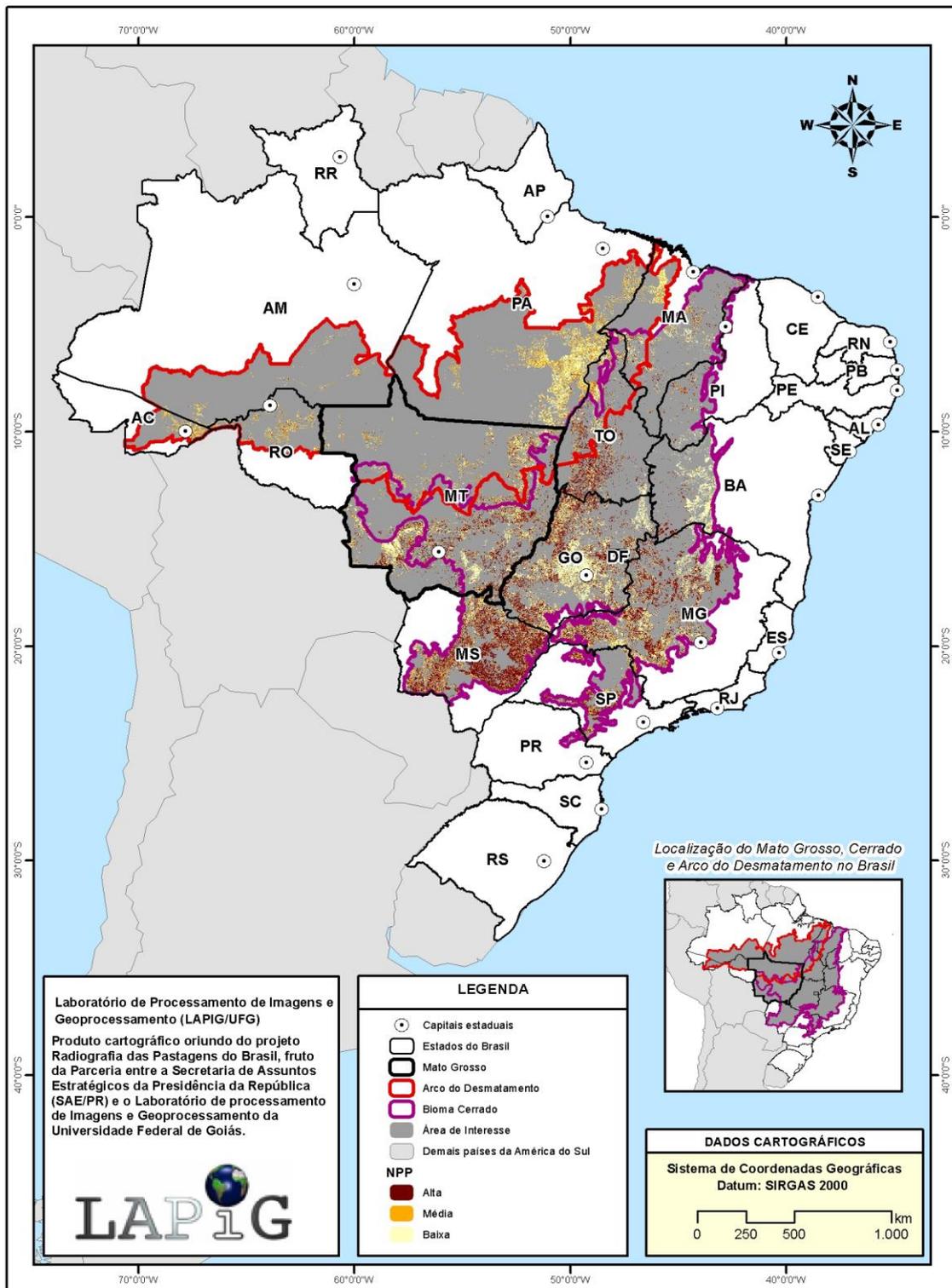


Figura 70: Classes de produtividade primária líquida (NPP) das pastagens cultivadas localizadas no Mato Grosso, no Arco do Desmatamento e no bioma Cerrado.

4. Considerações & Recomendações

O projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, de caráter exploratório e fruto da parceria entre a Sub-Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SSDS-SAE) e o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG – UFG), envolveu uma equipe de 22 pesquisadores e o processamento e análise de centenas de bases satelitárias, cartográficas e censitárias.

Especificamente em relação à localização das áreas de pastagens, ressaltamos a lacuna e inconsistências entre as várias bases existentes, em particular PROBIO 2002, FUNCATE 2002 e dados do Censo Agropecuário IBGE 2006. A opção em utilizar os mapas de cobertura e uso da terra PROBIO 2002 como referência às análises dos produtos e sensoriamento remoto, mostrou-se acertada quanto à consistência de uma base única para todo o país, ainda que problemática, principalmente para o chamado Arco do Desmatamento, importante região pecuária, marcada por uma expansão significativa das áreas de pastagens nos últimos 10 anos. Em fato, para os 50 municípios com os maiores rebanhos (dados IBGE, 2012) e considerando os dados PROBIO 2002, FUNCATE 2002, IBGE 2006 e um mapa síntese, resultante da integração PROBIO 2002, TerraClass 2010 (Amazônia) e FUNCATE 2010 (Cerrado), temos as seguintes áreas totais: 145.673, 113.469, 216.120 e 205.625 km².

A análise dos dados censitários (inclusive dados históricos, referentes aos Censos Agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006) e sócio-econômicos, nos permitiu entender a dinâmica de expansão e atual configuração das áreas de pastagens e indústria pecuária no Brasil, cujos padrões de distribuição estão intimamente associados aos padrões climáticos dominantes (ver apêndice 1). Aliás, é importante ressaltar a prevalência das pastagens em áreas predominantemente planas (declividades < 8%), o que vai contra o senso comum de pastagens ocupando terrenos menos favoráveis à mecanização, e por esta razão, de pouca competitividade à agricultura de grãos.

O manejo das pastagens brasileiras ainda está bastante associado ao uso do fogo, o qual, nos últimos 14 anos, chegou a corresponder à cerca de 25 % das queimadas no país, proporção esta que mostra, a partir de 2007, uma tendência de queda. Curiosamente, a prática de queimar os pastos, com vistas à sua renovação, é comum tanto nas áreas reconhecidas de alta produtividade pecuária (ex. municípios incluídos no chamado *Rally da Pecuária*) quanto nos municípios mais beneficiados com

recursos subsidiados pelo Programa ABC em 2013 para recuperação de suas pastagens degradadas.

Para a análise e validação dos dados satelitários, foi constituída uma rede de propriedades, denominada PAVAN (*Pasture Validation Network*), a qual conta até o momento com 216 fazendas cadastradas em um banco de dados com informações diversas (ex. tamanho do rebanho, áreas dos pastos). Em algumas destas propriedades, situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (Goiás) e nos municípios de Uberlândia e Prata (Minas Gerais), estabelecemos, no âmbito deste projeto, protocolos para medições biofísicas (ex. Biomassa, % de verde) (ver apêndices 2 e 3). Com base nestes dados de campo, coletados mensalmente, foi possível estimar, de forma preliminar, fluxos de água e carbono, bem como categorizar as pastagens conforme suas condições e vigor vegetativo. Do ponto de vista dos fluxos de água / energia, os nossos resultados sugerem que ao menos 40% das pastagens brasileiras, concentradas principalmente em 24 municípios, encontram-se em boas condições de forragem / manejo, enquanto ao menos 12% das pastagens demandam atenção imediata quanto a sua vulnerabilidade as secas prolongadas. Quanto aos fluxos de carbono (produtividade primária líquida), estimamos que 37, 26 e 37% das pastagens localizadas no Mato Grosso, no Arco do Desmatamento e no Cerrado encontram-se em condições de baixa, média e boa qualidade. A totalidade destes dados, informações e resultados estão disponibilizados, de forma pública e facilmente acessível, através do portal pastagem.org (ver apêndice 4).

Um uso mais eficiente das pastagens, que ocupam $\frac{1}{4}$ da superfície do país, é certamente o fator isolado mais importante para o Brasil atingir suas metas de redução de GEE, simultaneamente à redução da perda de habitats, desenvolvimento de estratégias voltadas à segurança alimentar e aumento das exportações de *commodities* agrícolas e adaptação às mudanças climáticas. Assim, e como um importante resultado e desdobramento do projeto que ora se encerra, a *Gordon and Betty Moore Foundation* (GBMF) aprovou, em 27 de outubro, a nossa proposta ***Spatial metrics and baselines of degradation patterns and provision of ecosystem services by pastures in Brazil***, cujos objetivos, entre outros, incluem: 1) elaboração de um novo mapa de pastagens para o Brasil (esforços neste sentido já foram iniciados, tendo o estado do Mato Grosso como área piloto – ver apêndice 5); 2) identificação, à escala 1:250.000, de áreas degradadas e classificação das pastagens brasileiras quanto às suas tendências de produtividade e

declínio e 3) Estimativa dos impactos ambientais e serviços ecossistêmicos associados às pastagens brasileiras.

Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A. N. Os domínios de natureza no Brasil, Ateliê Editorial, 152 p., 2003.
- Andrade, M.C. de. **A terra e o homem no Nordeste**. São Paulo: Brasiliense, 1963.
- ANUALPEC. **Anuário Estatístico da Agricultura e Pecuária**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2014.
- Arantes, A.E., Ferreira, L.G., Coe, M.T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. **Remote Sensing of Environment** (submetido).
- Araújo, F.M., Ferreira, L.G., Arantes, A.E. Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002-2010 Period. **Remote Sensing**, v. 4, pp.1929-1946, 2012.
- Assad, E.; Pinto, H.S.; Nassar, A.; Harfuch, L.; Freitas, S.; Farinelli, B.; Lundell, M.; Erick, C. M.; Hilton S. Pinto. Impacts of Climate Change on Brazilian Agriculture. **World Bank Report**, 2013.
- Beckage, B.; Platt, W. J.; Gross, L. T. Vegetation, fire, and feedbacks: a disturbance-mediated model of savannas. **American Naturalist**, Vol. 174, 2009. p. 805–818.
- Beurs, K. M. & Henebry, G. M. Spatio-temporal Statistical Methods for Modelling Land Surface Phenology. In: **Phenological Research**, Ed: Springer, 2010.
- Boldrini, I. L.. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/campossulinos_parte1_14.pdf>. Acesso em: 25 out. 2014.
- Boulos, M.; & Honda, K. Web GIS in practice IV: publishing your health maps and connecting to remote WMS sources using the Open Source UMN MapServer and DM Solutions MapLab. **International Journal of Health Geographics**, v. 5, 2006.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia produtiva da carne bovina**. Brasília: MAPA / Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, 2007. (série agronegócios, v. 8). Disponível em: <<http://www.iica.org.br/Docs/CadeiasProdutivas/Cadeia%20Produtiva%20da%20Carne%20Bovina%20c%20capa.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2012.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: **plano ABC** (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República – Brasília : MAPA/ACS, 2012.

Brossard, Michel; Barcellos, Alexandre de O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de Latossolos. In: **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, jan./abr. 2005, p. 153-168.

Bustamante, M.M.C.; Nobre, C.; Smeraldi, R.; Aguiar, A.P.D.; Barioni, L.G.; Ferreira, L.G.; Longo, K.; May, P.; Pinto, A.S.; Ometto, J.P.H.B. Estimating Greenhouse Gas Emissions from Cattle Raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, pp. 559-577, 2012.

Camarão, A. P.; Sousa Filho, A. P. da Silva; Marques, J. R. F. Gramíneas forrageiras nativas e introduzidas de terras inundáveis da Amazônia. **Documentos**, **264**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/888951>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

Cadish, G.; Schunke, R. M.; Giller, K. E. Nitrogencycling in a puregrasspastureand a grass-legume mixture on a redlatosol in Brazil. *Tropical Grasslands*, Brisbane, v. 28, n. 1, p. 43-52, 1994. Disponível em: <http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_28_1994/Vol_28_01_94_pp43_52.pdf>. Acesso em: 20 out. 2014.

Cândido, M. J. Duarte et al. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. S. 1., **Informe Rural** (Banco do Nordeste do Brasil S.A.), Fortaleza, ano VII, n.1, 2013. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ire_ano7_n3.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

Chen, T.; de Jeu, R.A.M.; Liu, Y.Y.; van der Werf, G.R.; Dolman, A.J. Using satellite based soil moisture to quantify the water driven variability in NDVI: A case study over mainland Australia. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, pp. 330-338, 2014.

Coutinho, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G.(ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, pp. 82-105, 1990.

Deng, F.; Su, G.; Liu, C. Seasonal variation of MODIS vegetation indices and their statistical relationship with climate over the subtropics evergreen forest in Zhejiang, China. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 2, pp. 236-240.

Dias, B. F. S.; Miranda, H. S. O Projeto Fogo. In **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: projeto fogo**. Miranda, H. S. (Org). Brasília: IBAMA, 2010. p. 15-22.

Dias-Filho, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Documentos**, **401**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102203/1/DOC-402.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2014

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

Estevam, L., **Tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás**. Goiânia: Ed. do Autor, 1998.

Feng, X.; Liu, G.; Chen, J.M.; Liu, J.; Ju, W.M.; Sun, R.; Zhou, W. Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model driven by remote sensing. **Journal of Environmental Management**, v. 85, n.3, p. 563-573, 2007.

Ferreira, L.G.; Fernandez, L.; Sano, E.E.; Field, C.; Sousa, S.B.; Arantes, A.E.; Araújo, F.M. Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data. **Remote Sensing**, v. 5, p. 307-326, 2013.

Ferreira Jr., L.G. ; SANO, E. E. ; Fernandez, L. ; Araújo, F. M., Biophysical characteristics and fire occurrence of cultivated pastures in the Brazilian savanna observed by moderate resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing** (Print), v. 34, p. 154-167, 2013.

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.

Fitz, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de texto. 160 p. 2008.

Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S.V.; Goetz, S.J.; Loveland, S.J.; Kommareddy, A.; Egorov, A.; Chini, L.; Justice, C.O.; Townshend, J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, n. 6160, pp. 850-853, 2013.

Huete, A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, 1988, p. 295-309.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodrigues, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, 2002, p. 195-213.

Inocêncio, M. E., **As tramas do poder na territorialização do capital no Cerrado: o Prodecer**. 2010. 272 f. Tese (doutorado em geografia). Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2010.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censos agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**: Primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Acesso em: www.ibge.gov.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2014. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.

Jank, L. B., Sanzio C. Valle, C. B. do; Simeão, R. M.; Alves, G, F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, Victoria, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014.

Jepson, W. A disappearing biome? Reconsidering land cover change in the Brazilian savanna. **Geographical. Journal**, v. 17, pp. 99–111, 2005.

Jiang, Z.; Huete, A.; Didan, K.; Miura, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, 2008.

Jönsson, P. & Eklundh, L. Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, 2002.

Jönsson, P. Eklundh, L. TIMESAT – a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, pp. 833-845, 2004.

Justice, C.O.; Giglio, L.; Boschetti, L.; Roy, D.P.; Csiszar, I.; Morisette, J.; Kaufman, Y. **MODIS Fire Products—Algorithm Technical Background Document, Version 2.3**. Outubro 2006. Disponível online: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf. Acesso em: 17 de Janeiro de 2012.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, 1998.

Lambin, E.F.; Gibbs, H.K.; Ferreira, L.G.; Grau, R.; Mayaux, P.; Meyfroidt, P.; Morton, D.C.; Rudel, T.K.; Gasparri, I.; Munger, J. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. **Global Environmental Change**, v. 23, 2013, p. 892-901.

Lapola, D.M.; Martinelli, L.A.; Peres, C.A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferreira, M.E.; Nobre, C.A.; Aguiar, A.P.D.; Bustamante, M.M.C.; Cardoso, M.F.; Costa, M.H.; Joly, C.A.; Leite, C.C.; Moutinho, P.; Sampaio, G.; Strassburg, B.B.N.; Vieira, I.C.G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, 2013, p. 27-35.

Lathuillière, M.J.; Johnson, M.S.; Donner, S.D. Water use by terrestrial ecosystems: temporal variability in rainforest and agricultural contributions to evapotranspiration in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 7, 2012, p.1-12.

Li, Z.L.; Tang, R.; Wan, Z.; Bi, Y.; Zhou, C.; Tang, B.; Yan, G.; Zhang, X. A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration from Remotely Sensed Data. **Sensors**, v. 9, 2009, p. 3801-3853.

Malhi, Y.; Roberts, J.T.; Betts, R.A.; Killeen, T.J.; Li, W.; Nobre, C.A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, 2010, p. 169-172.

Meirelles, M.L.; Franco, A.C.; Farias, S.E.M.; Bracho, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a *Brachiaria brizantha* pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**, v. 66, 2011. p.206-213.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2014. **Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>. Acesso em: 08/02/2014.

Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A.; Harudasan, M.; Morais, H. C. Queimadas de Cerrado: Caracterização e Impactos. In **Cerrado: Ecologia e Caracterização**; Aguiar, L. M. S., Camargo, A. J. A. (Eds.); Embrapa Cerrados: Planaltina, Brazil, 2004. p. 69–123.

Miranda, H. S.; Bustamante, M.M.C.; Miranda, A. C. The Fire Factor. In **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (Eds); Columbia University Press: New York, USA, 2002. p. 51-68.

Moreira, R., A Nova Divisão Territorial do Trabalho e as Tendências de Configuração do Espaço Brasileiro. In: Ester Limonad, Rogério Haesbaert da Costa, Ruy Moreira. (Org.). **Brasil Século XXI: por uma nova regionalização? Agentes, Processos e Escalas**. Niterói: Max Limonad, 2004, p. 123-152.

Mu, Q., Zhao, M., Running, S.W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, 2011, p. 1781-1800.

OGC – Open Geospatial Consortium. **Standards and Specifications**. Disponível em: <http://www.opengeospatial.org/standards>. Acesso em: 31 de Outubro 2014.

Oliveira, P. E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. In Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Org.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa, 1998. p. 193-230.

Palacin, L.; Moraes, M. A. de S. **História de Goiás**. 7 ed. rev. Goiânia: Ed. da UCG, Ed. Vieira, 2008.

Parente, L.L.; Medeiros, L.C.; Ferreira, L.G.; Ferreira, M.E. Uma Plataforma de Pesquisa para o Cerrado: Disseminando e Promovendo Dados e Conhecimento Científico sobre um Bioma Ameaçado. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013, p. 2509-2516.

Pivello, V.R.; Coutinho, L.M. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. **Forest Ecology and Management**, v. 87, 1996, p. 127–138.

Pivello, V.R.; Coutinho, L.M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). **Journal Tropical Ecology**, v. 8, 1992, p. 457–497.

Ramos-Neto, M. B. & Pivello, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, vol. 26, n°. 6. 2000. p. 675-684.

Rivera-Lombardi, R.J. **Estimativa de Áreas Queimadas com Produtos MODIS como Subsídio à Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa pela Queima de Biomassa na Amazônia e Cerrado Brasileiros**. Dissertação (mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil, 2009.

Ribeiro, C. W. **A ordem ambiental internacional**. São Paulo, Contexto, 2001.

Rocha, G.F.; Ferreira, L.G.; Ferreira, N.C.; Ferreira, M.E. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, 2011, p. 341-349.

Rocha, G.L. da. **A evolução da pesquisa em forragicultura e pastagens no Brasil**. An. Esalq, Piracicaba, 45 (parte 1), 1988, p. 5-55,.

Rosa, R.; Sano, E.E. Determinação da Produtividade Primária Líquida (NPP) de Pastagens na Bacia do Rio Paranaíba, Usando Imagens MODIS. **GeoFocus**, v. 13, 2013, p. 367-395.

Ruhoff, A.L. Sensoriamento Remoto Aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais. **Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

Schunke, R. M., **Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento do nitrogênio do solo**. Campo Grande: Embrapa, 2001.

Silva, E.B.; Ferreira Jr., L.G.; Anjos, A.F.; MIZIARA, F. Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006. **Revista IDEAS**, v. 7, 2013, p. 174-209.

Silva, J. G. da. **Progresso técnico e relações de trabalho na agricultura**. São Paulo: Hucitec, 1981.

Spera, S.A.; Cohn, A.S.; VanWey, L.K.; Mustard, J.F.; Rudorff, B.F.; Risso, J.; Adami, M. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. **Environmental Research Letters**, v. 9, 2014.

Miranda, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

The Free Software Foundation. **Categories of Free and Non-Free Software**. Disponível em: <<http://www.gnu.org/philosophy/categories.html>>. Acesso em: 01 de Novembro de 2014.

Trenberth, K.E.; Fasullo, J.T.; Kiehl, J. Earth's global energy budget. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 90, n. 3, 2009, p. 311-323.

Valverde, O. Geografia da pecuária no Brasil. **Revista portuguesa de Geografia**, Lisboa, v. 2, n. 4, 1967, p. 244-261. Disponível em: <http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/1967-04/04_04.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

Wang, D.; Morton, D.; Masek, J.; Wu, A.; Nagol, J.; Xiong, X.; Levy, R.; Vermote, E.; Wolfe, R. Impact of sensor degradation on the MODIS NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 119, 2012, p. 55-61.

Xu C.J.; Zou L.J.; Shen X.H. **Web Service Based WebGIS**. **Bulletin of Surveying and Mapping**, v. 1, 2003.

APÊNDICES

Apêndice 1

Distribuição e caracterização das áreas com concentração de pastagens no Brasil: uma análise a partir de dados censitários e satelitários⁹

Antonio Fernandes dos Anjos ¹
Elaine Barbosa da Silva ¹
Laerte Guimarães Ferreira Júnior ¹

¹Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG
Campus II, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia - GO, Brasil

antonio.dosanjos.ufg@gmail.com
elainesilvaufg@gmail.com
laerte@ufg.br

Abstract. Although Brazil has significant agricultural production, supplying domestic consumption and yet much of the world's grain exports, 72% of its land use are intended to pasture. This paper aimed at analyzing the climatic factors related to the distribution of pasturelands in the country, based on data from the Brazilian Estatistical Agency (IBGE) agricultural census for the years 2006 and 2007 and data from the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM). It was identified that the cultivated pastures predominate where annual rainfall extends for at least eight months, with peaks above 200 mm. On the other hand, the natural pastures tend to concentrate where the rains are constant during the year or prevents soil moisture loss and water stress, or even where rainfall does not guarantee the eight rainy months and insolation is too much. Our results confirm the importance of using orbital meteorological data in support of cattle ranching studies, in view of the growing concern brought by degraded pastures, low cattle stocking and deforestation fronts induced by livestock expansion.

Palavras-chave: pasturelands, precipitation patterns, pasture intensification, cattle ranching.

1. Introdução

O Censo Agropecuário 2006 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006) indicou que o uso das terras no Brasil para agropecuária era de aproximadamente 206 milhões de hectares. Destes, um percentual de 72% é destinado às pastagens, representados em números absolutos por aproximadamente 148 milhões de hectares.

Desde o início da década de 1980 as pastagens naturais foram sendo substituídas gradativamente por pastagens cultivadas, e, atualmente estas representam aproximadamente 62% das pastagens brasileiras. Dentre outros, as pastagens no Brasil são um fator importante para o atual cenário de exportação de carne bovina, ao ponto de o país ser classificado internacionalmente como o maior produtor comercial e exportador de carne bovina (Brasil, 2007; Anualpec, 2014).

Entretanto, a agricultura brasileira, especializada na produção de *commodities* para a exportação, também possui alta demanda por terras em boas condições de fertilidade, facilidade de mecanização e escoamento. A criação de gado bovino, por sua vez, tem maior facilidade de se adequar a áreas menos valorizadas e, assim, a pastagem é deslocada para regiões interioranas do país. Este contexto de grande disponibilidade de

⁹ Trabalho submetido ao XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

terras não ocupadas pela agricultura, portanto mais baratas, faz com que a produção bovina brasileira ainda mantenha o tradicional padrão extensivo, pulverizada em grandes e médias propriedades, responsáveis por grande parte da produção nacional. Essa criação extensiva é cada vez mais acompanhada de melhorias técnicas nos suplementos, na genética e no tratamento das pastagens, sobretudo onde o preço da terra impossibilita a baixa lotação. A produção rudimentar em pequenas propriedades, por sua vez, enfrenta dificuldades na disputa pelo mercado de carne, cuja comercialização é cada vez mais intermediada pelos grandes frigoríficos, levando esses produtores a se concentrarem na produção de leite para consumo nos centros urbanos próximos.

A elevação do padrão técnico na pecuária e o alto custo de manutenção das pastagens fez com que muitas propriedades brasileiras não tivessem como arcar com a correta manutenção das suas pastagens nesse cenário de concorrência acirrada. Assim, proprietários que haviam adquiridos terras pouco férteis para o cultivo de pastagens não conseguiram o lucro suficiente para o bom manejo, levando-os a abandonar a atividade ou a adquirir novas terras para continuar a produzir de forma rudimentar. Isto, aliado à expansão das grandes propriedades de alto padrão técnico nas regiões Centro-Oeste e Norte, fez com que aí houvesse uma constante frente de ocupação por pastagens, ao passo que as pastagens degradadas eram abandonadas nas áreas de ocupação mais antiga (Barcellos, 1996).

Neste contexto, faz-se necessária ampliação dos monitoramentos de fatores ambientais que influenciam na qualidade das pastagens no Brasil, a fim de se apontar possibilidades de melhoria na gestão ambiental e econômica. Para isto, propõe-se neste trabalho a identificação de padrões espaciais da ocupação do país pelas pastagens e os padrões dominantes de precipitação nestas regiões. Especificamente, demonstramos a distribuição espacial das pastagens naturais e cultivadas, identificando zonas homogêneas do ponto vista técnico e ambiental. Dados censitários foram utilizados para o zoneamento e dados de uma série histórica (2000 a 2013) de estimativas de precipitação do Satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram coletados em pontos centrais das áreas ocupadas por pastagens nos principais estados, possibilitando identificar os padrões dominantes de regime pluviométrico dessas áreas.

2 Metodologias de Trabalho

Visando à compreensão da distribuição espacial das pastagens cultivadas no Brasil, foram utilizados dados censitários, adquiridos junto ao IBGE. Em função da variedade de dimensões dos municípios, o mapeamento temático zonal pelo método coroplético – que atribui a cada polígono uma cor de classe – pode gerar falsas impressões de proporção, pois o leitor tende a considerar que um polígono maior representa elevada concentração do fenômeno especializado, ao passo que um polígono menor da mesma classe é considerado como baixa concentração do fenômeno. Uma das soluções para diminuir essa dificuldade é correlacionar a área municipal com o fenômeno. Assim, as pastagens naturais e cultivadas foram mapeadas considerando-se o percentual da área municipal ocupada por estas.

Tendo em vista que as pastagens estão presentes em quase todo o país, optou-se por eliminar os municípios onde as pastagens são pouco significantes e mapear o conjunto de municípios que detém 85%, 80% e 75% em números absolutos. Esses mapas evidenciaram as zonas de intenso uso de pastagens, para as quais foram analisados os fatores econômicos e ambientais ligados à pecuária. A lotação bovina, por sua vez, foi mapeada para todos os municípios, tendo em vista que este é um mapa que apenas auxilia na análise. O fluxograma da Figura 1 sintetiza as etapas metodológicas.

3. Resultados e Discussão

A história das pastagens e do gado *vacum* no Brasil confundem-se com a história da expansão territorial e econômica dos colonizadores pelo vasto país. Independentemente da economia predominante e da região onde ela se dava, a principal fonte de proteína da população foi o boi, pois assim como a pastagem também o animal resistiu ao calor, frio e fome, entrando mesmo para as culturas locais tradicionais em todo o país. As criações de gado estiveram ao lado dos engenhos e das plantações de algodão do Nordeste colonial, ao mesmo tempo que eram a principal atividade nos campos sulinos. Foi uma das poucas fontes de alimentos dos mineradores de ouro por todo o interior brasileiro e serviu de base à economia cafeeira paulista e carioca. Também a industrialização e urbanização do país não se deu sem a pecuária bovina, que hoje representa uma parte significativa da economia nacional. Ainda que cerca de 78% da produção de carne bovina seja consumida pelo próprio país nos últimos dez anos (Anualpec, 2014), a exportação dessa menor parte faz do Brasil o maior exportador mundial desse produto (Fao, 2014). Como alimento tradicional para o gado, as pastagens naturais, presentes em quase todo os ambientes naturais, foram gradativamente substituídas pelas pastagens cultivadas, em grande parte exótica, de origem africana, como as espécies *Panicum*, *Pennisetum*, *Andropogon* e principalmente *Brachiaria*, que elevaram substancialmente a produtividade (Brossard; Barcellos, 2005) e fizeram do Brasil o quarto país do mundo em quantidade de pastagens (Fao, 2014).

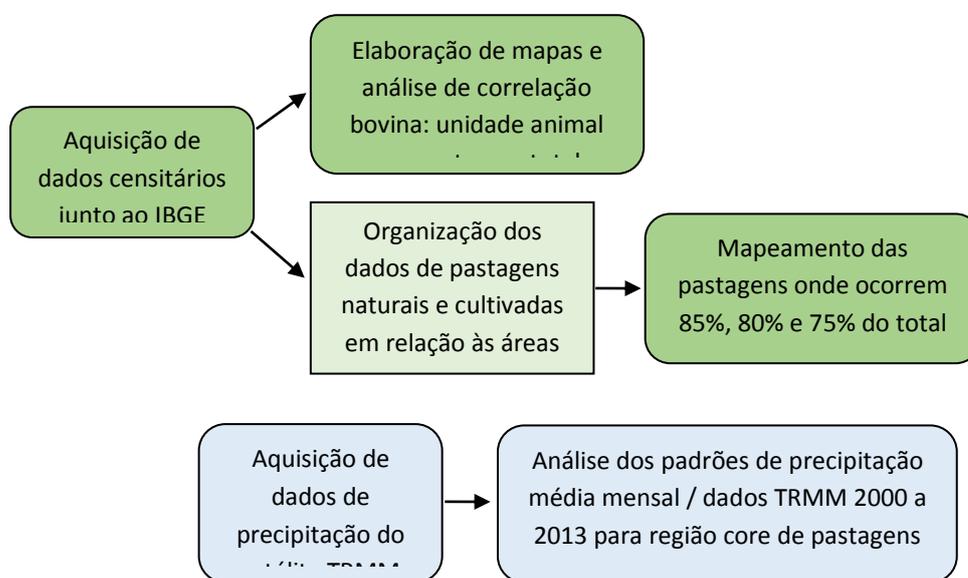


Figura 1. Etapas de organização e processamento dos dados

O IBGE (2006) conceitua como pastagem natural as áreas de pastos não plantados, mesmo que fossem objetos de limpeza, gradeação ou outras intervenções, utilizadas ou destinadas ao pastoreio de animais. As pastagens cultivadas são aquelas áreas plantadas com espécies vegetais específicas, destinadas ao pastoreio dos animais existentes no estabelecimento.

As Figuras 2 e 3 mostram que as pastagens naturais são pouco representativas quando comparadas com as pastagens cultivadas. As áreas com maior ocorrência estão ao sul do país, nos estados das Regiões Sul e Sudeste, onde os períodos de seca não ultrapassam quatro meses, possibilitando o uso das pastagens cultivadas em alternância com as naturais, que são mais resistentes às secas. O limite quase exato do Pantanal aparece como uma área de intenso uso de pastagem natural, que é explicado não pelo

regime de precipitação, que é praticamente igual ao de toda a Região Centro Oeste, mas pela disponibilidade de água no solo argiloso e constantemente encharcado, onde plantas naturalmente adaptadas brotam o ano todo. A Região Nordeste também conta com quantidade expressiva de pastagem natural, já que as pastagens cultivadas não resistem ao clima semiárido. Assim, se até a década de 1960 quase toda a pecuária utilizava as pastagens naturais, inclusive no interior do país, atualmente o uso mais intenso das pastagens naturais está intimamente ligado ao clima, seja onde as chuvas são abundantes, como nos campos sulinos, seja onde os períodos de secas castigam mais as espécies de gramíneas não nativas. Contudo, se é verdade que o uso das pastagens naturais diminuiu ao longo do tempo, também é válido salientar que seu uso continua

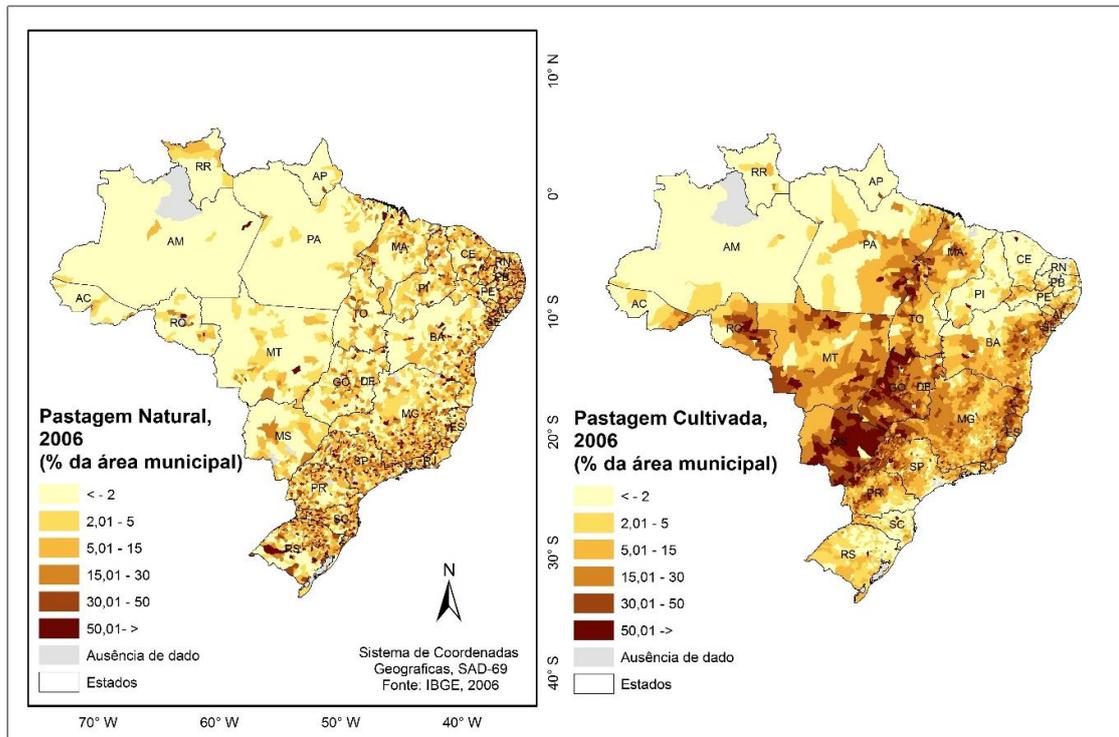
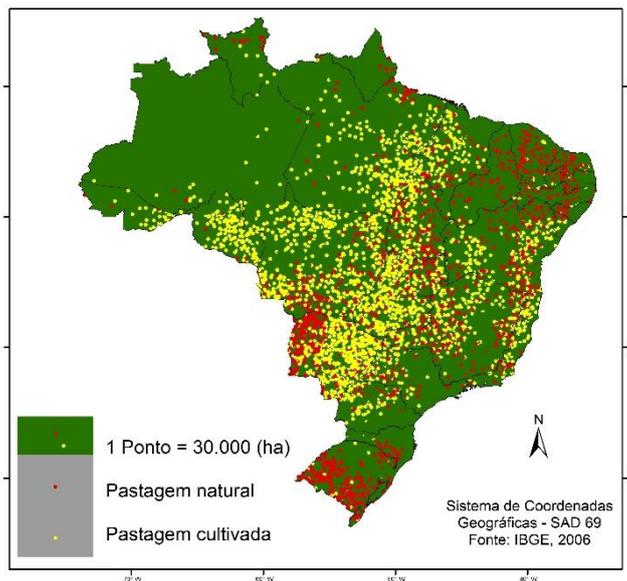


Figura 2. Espacialização das pastagens naturais e cultivadas no Brasil (dados do censo agropecuário do IBGE, 2006).

ocorrendo mesmo na área *core* das pastagens cultivadas (Centro-Oeste), notadamente por produtores que contam com menos recursos para suplementar a alimentação do gado nos quatro meses de estresse hídrico das pastagens cultivadas, quando a vegetação natural ainda pode alimentar os animais até que a chuva renove o pasto cultivado da mesma propriedade. É também importante notar que mesmo algumas pastagens cultivadas foram originadas de sementes de espécies nativas, o que reforça o valor da adaptação da planta aos solos e aos climas locais.



Nota: Cada ponto no mapa representa 30.000 hectares de pastagem no município, podendo haver mais de um ponto no mesmo município. Por outro lado, municípios com menos de 30.000 hectares de pastagem não são representados.

Figura 3. Distribuição das pastagens cultivadas e naturais no Brasil.

A lotação bovina tem sido utilizada como indicativo de produtividade das pastagens (Assad, 2014). Nesta perspectiva, correlacionou-se a área ocupada por pastagens e o quantitativo de bovinos em cada um dos municípios brasileiros (Figura 4). Em todo o território nacional observam-se baixas lotações. O coeficiente de correlação entre essas duas variáveis (0,87) mostra que apenas uma pequena parte dos municípios brasileiros tem lotação razoável, i. e. acima de uma cabeça por há (Figura 4B).

A fim de identificar padrões de expansão das pastagens no Brasil, o presente estudo toma, por ora, apenas as pastagens cultivadas, bem como desconsidera os municípios onde a ocorrência é menor (Figura 5). Observa-se que partes da Região Centro-Oeste e da região conhecida como “Arco do Desflorestamento” concentram a maior parte das pastagens cultivadas. Do ponto de vista ambiental, a opção pelo cultivo das pastagens se dá por haver condições edafoclimáticas propícias às plantas exóticas, o que não ocorre no semiárido, ao mesmo tempo em que nesse ambiente as pastagens naturais não se dão por extensas áreas e nem tem a boa qualidade das pastagens encontradas nos campos sulinos ou na região do Pantanal, que mesclam o uso de pastagens naturais e cultivadas e apresentam lotação (Figura 5) semelhante às do Centro-Oeste e do Arco do Desflorestamento. Os frigoríficos e matadouros estão localizados estrategicamente nas áreas de maior concentração de rebanho, mas também tendem a se concentrar nas áreas mais urbanizadas do país, como nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais, neste caso muito mais em função da demanda pelo produto final.

A fim de identificar padrões de expansão das pastagens no Brasil, o presente

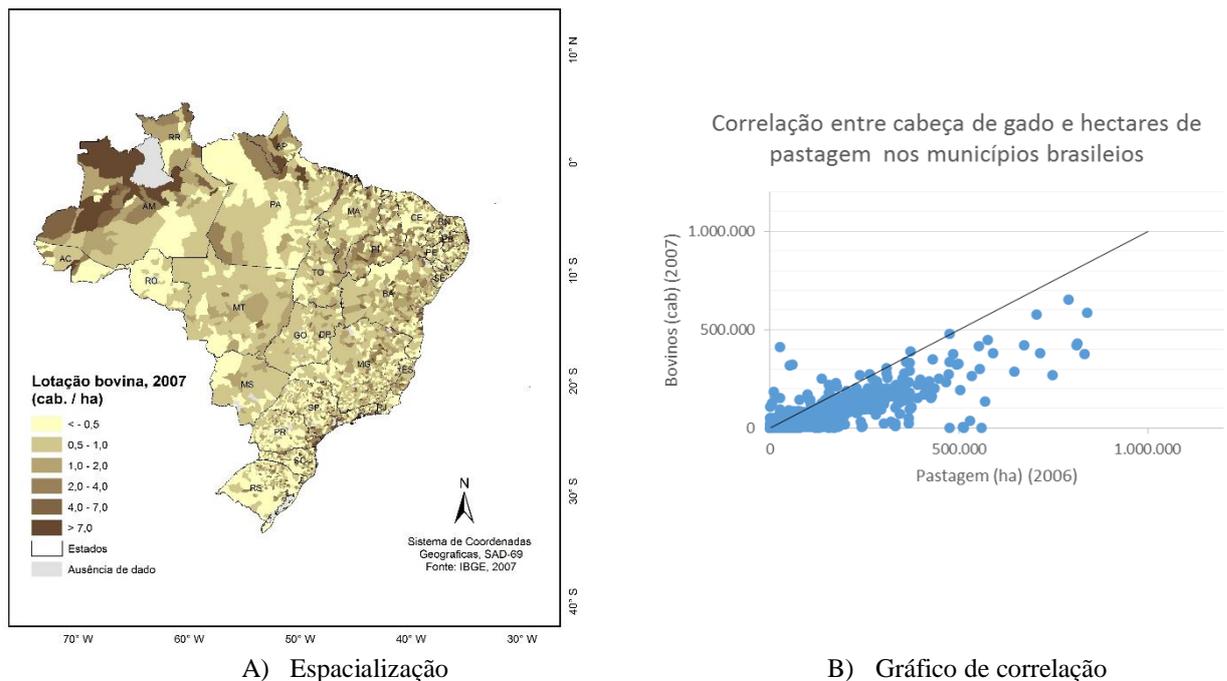


Figura 4. Lotação bovina e correlação entre cabeças de gado bovino e pastagens (naturais e cultivadas) nos municípios brasileiros.

estudo toma, por ora, apenas as pastagens cultivadas, bem como desconsidera os municípios onde a ocorrência é menor (Figura 5). Observa-se que partes da Região Centro-Oeste e da região conhecida como “Arco do Desflorestamento” concentram a maior parte das pastagens cultivadas. Do ponto de vista ambiental, a opção pelo cultivo das pastagens se dá por haver condições edafoclimáticas propícias às plantas exóticas, o que não ocorre no semiárido, ao mesmo tempo em que nesse ambiente as pastagens naturais não se dão por extensas áreas e nem tem a boa qualidade das pastagens encontradas nos campos sulinos ou na região do Pantanal, que mesclam o uso de pastagens naturais e cultivadas e apresentam lotação (Figura 5) semelhante às do Centro-Oeste e do Arco do Desflorestamento. Os frigoríficos e matadouros estão localizados estrategicamente nas áreas de maior concentração de rebanho, mas também tendem a se concentrar nas áreas mais urbanizadas do país, como nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais, neste caso muito mais em função da demanda pelo produto final.

Arantes et al. (2014), ao analisarem o comportamento das pastagens utilizando dados do satélite TRMM, concluíram que o volume anual de precipitação é fundamental para a compreensão geral das respostas do funcionamento e fenologia da vegetação, uma vez que as pastagens cultivadas, apresentam maiores taxas de fotossíntese, evapotranspiração e produtividade durante a estação chuvosa. Portanto, os dados de precipitação favorecem o estabelecimento de índices de qualidade de pastagens baseados em métricas sazonais.

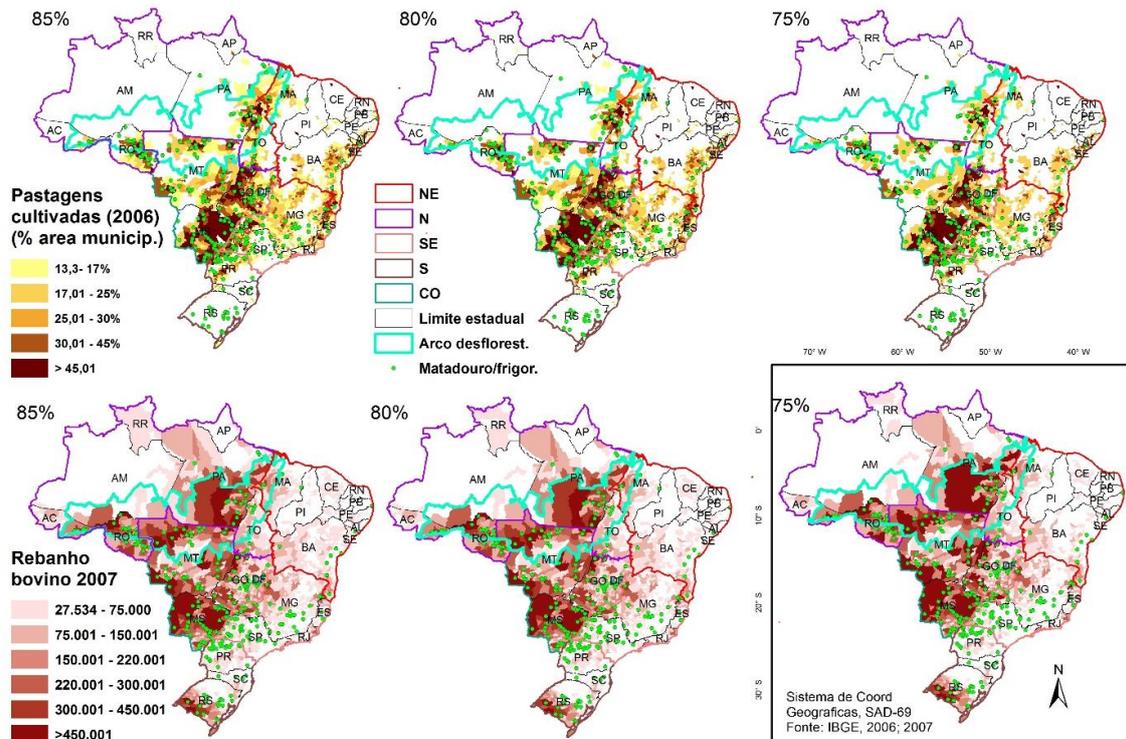


Figura 5. Espacialização da concentração das pastagens cultivadas, do rebanho bovino e dos frigoríficos e matadouros no Brasil. Fonte: IBGE (2006; 2007).

Do ponto de vista ambiental, a distribuição espacial das pastagens no Brasil está intimamente relacionada com o regime de chuvas. Por possuírem raízes pouco profundas, as gramíneas respondem rapidamente tanto ao início quanto ao fim do período chuvoso. Todavia, suportam mais de quatro meses com precipitação mínima. No Brasil, a área *core* das pastagens cultivadas mantém certa homogeneidade no regime de chuvas, como mostra a Figura 6. Em todas as localidades analisadas houve pelo menos oito meses chuvosos em cada ano, formando ambientes propícios ao cultivo de pastagens. Contrapondo-se a este ambiente de duas longas estações, uma seca e outra chuvosa, tem-se os ambientes onde se prefere manter as pastagens naturais (Figura 7). O estado do Rio Grande do Sul mantém precipitação quase sempre próxima a 200 mm, não contando com período de estiagem durante o ano. Esse ambiente propicia, assim, a existência de vigorosas gramíneas, que dão melhor resposta à pecuária, comparativamente às pastagens exóticas. A desvantagem dessa condição ambiental é a baixa insolação e a umidade constante, propícia à disseminação de doenças do gado. O estado de Pernambuco, representando uma vasta área da Região Nordeste, apresenta um regime de chuvas com curva similar à da área *core* de pastagens cultivadas, no entanto conta com dois meses a menos de precipitação e um pico que raramente ultrapassa os 200 mm. À essa precipitação insuficiente soma-se a intensa insolação, que força a evapotranspiração, e os solos arenosos, que não conseguem reter a água que recebem e, por isso, são ineficientes na nutrição da planta. Assim, fica evidente que zona onde o cultivo das pastagens mais se intensificou no Brasil mantém condições climáticas muito semelhantes. Essa homogeneidade climática é um dos fatores que criaram os próprios biomas aí predominantes, o Cerrado e a Amazônia. Do ponto de vista pedológico este ambiente também é minimamente homogêneo, pois há o predomínio de latossolos e outros de granulometria pouco arenosa.

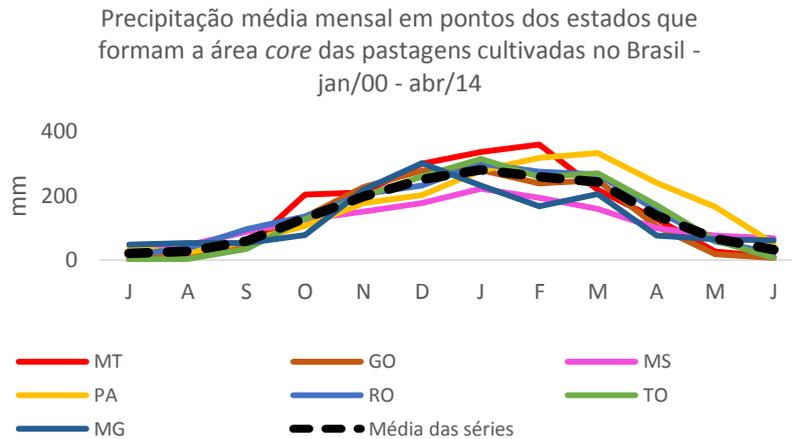


Figura 6. Precipitação média na área *core* das pastagens com base em dados médios mensais TRMM (2000 a 2013)

Nota: Os números se referem a um pixel localizado no centro da mancha de ocorrência das pastagens. Fonte: Nasa (2014)

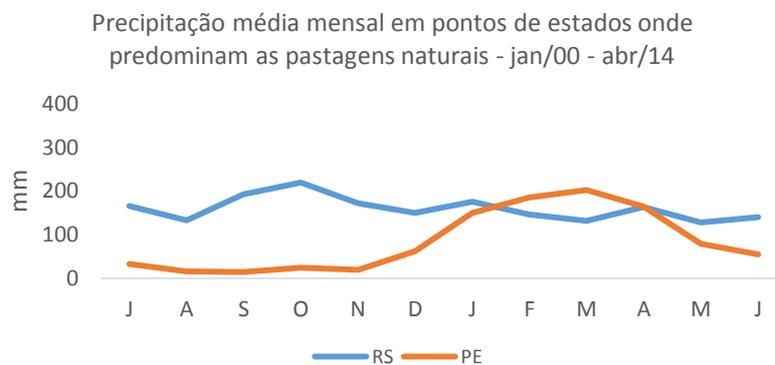


Figura 7. Precipitação média mensal (2000 a 2013) em estados com predomínio de pastagem natural com base em dados TRMM. Fonte: Nasa (2014).

5 Considerações finais

Dada a importância da pecuária na economia brasileira, e considerando a alta demanda que este setor apresenta em relação à melhoria de gestão econômica e ambiental, estudos como este apontam para caminhos que podem e devem ser aprofundados. Os dados climatológicos, antes muito escassos e imprecisos, foram revolucionados com os dados orbitais, dentre os quais se destacam os do satélite TRMM, que deram boas respostas às nossas questões de pesquisa e ampliaram o alcance dos dados censitários, que durante muito tempo foram os únicos disponíveis.

Durante as últimas quatro décadas os estudos brasileiros em relação às pastagens tendiam a se restringir às práticas agrônomicas. Atualmente o grande passivo ambiental da pecuária, i. e. as pastagens degradadas, além da permanência da baixa lotação enquanto o país já sente os efeitos do desmatamento, fazem ganhar espaço na política e na economia as perspectivas de melhoria de gestão do espaço rural como forma de duplo ganho: econômico e ambiental.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa concedidas ao primeiro e terceiro autores, respectivamente. Suporte financeiro para esta pesquisa também foi obtido junto à Superintendências de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG / PRONEX, processo 201200766130154, chamada pública nº 007/2012).

Todas as publicações e dados finais gerados nesta pesquisa estão disponibilizados no portal pastagem.org: < <http://pastagem.org/>>

Referências

Anualpec. **Anuário Estatístico da Agricultura e Pecuária**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2014.

Arantes, A. et al. **The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: past, present, and future influences of land cover and land use**. Submetido. 2014.

Assad, E. D. **Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma**. S. l.: FGV, 2014. Disponível: <http://gvces.com.br/arquivos/275/abc_novoparadigma_completo.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2014.

Barcellos, A. de O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: Simpósio sobre o Cerrado, 8., Brasília, 1996. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1996. p.130-136.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia produtiva da carne bovina**. Brasília: MAPA / Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, 2007. (série agronegócios, v. 8). Disponível em: <<http://www.iica.org.br/Docs/CadeiasProdutivas/Cadeia%20Produtiva%20da%20Carne%20Bovina%20%20capa.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

Fao (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **The Statistics Division of the Fao**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 20 maio 2014.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo agropecuário de 2006**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo agropecuário de 2006**. Segunda apuração (2012). Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

Nasa (National Aeronautics and Space Administration). **Download de dados TRMM**. Disponível em: <<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/lapig-maps>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

Apêndice 2
PROTOCOLO DE CAMPO PARA QUALIFICAÇÃO DAS PASTAGENS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO – GOIÁS

Manuel E. Ferreira, Janete R. Silva, Leomar R. Alves Jr.,
Pedro A. Vieira, Laerte G. Ferreira Jr.

Universidade Federal de Goiás – UFG
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – IESA
Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento – LAPIG
Campus Samambaia, 74001-970, Goiânia – GO, Brasil
mferreira.geo@gmail.com

1. Introdução

As áreas de pastagens representam hoje a classe de uso de solo mais abrangente do Brasil, ocupando uma vasta porção do território, com cerca de 190 milhões de hectares ou equivalente a 22% do país (MMA et al., 2014). Ainda que presente em todos os 6 biomas brasileiros, com pastos cultivados (maioria, com presença de gramíneas exóticas) e nativos (vegetação natural com fisionomia herbáceo-graminosa), é no bioma Cerrado que esta atividade antrópica se destaca, tanto em termos econômicos/PIB, como em área ocupada e diversidade de cultivares, já bem adaptada ao clima sazonal (seco e chuvoso), tipos de solos (de maior a menor fertilidade/teor de argila) e relevos (de plano a ondulado).

Ainda que razoavelmente mapeada por dois grandes projetos nacionais (RadamBrasil - década de 1970/80, e MMA/PROBIO – meados da década de 2000), por meio de interpretação visual de fotografias aéreas (no primeiro momento) e interpretação/classificação de imagens de satélite (no segundo momento), ainda persiste no país a necessidade de se melhor compreender e mapear as áreas de pasto, trazendo à tona o viés de sua qualidade em termos de biomassa acumulada/lotação bovina, resistência à seca e resiliência (i.e., tempo de recuperação do teor vegetativo com a chegada da estação chuvosa). Tal esforço a ser empreendido, diga-se gigantesco, reside na busca de uma melhor orientação e aproveitamento das áreas transformadas em pastagem (por alguns, já considerada como um novo e proeminente ecossistema), evitando-se, ao máximo possível, novos desmatamentos/queimadas sobre a vegetação nativa, principalmente nos biomas Cerrado e Amazônia (políticas para a redução das emissões de gases-estufa estariam na base destas ações).

Com uma ampla base de dados satelitária, sobretudo no aspecto temporal, e técnicas avançadas de classificação de imagens, tais áreas com pastagem podem ser

classificadas como “ótimas”, “regulares” e “ruins ou degradadas” (esta última seria representada por aquelas pastagens com irregular manutenção da biomassa ao longo tempo, maior exposição do solo e, por consequência – mas não necessariamente –, menor rendimento/suporte bovino). Em tese, com este mapeamento, os pastos mais debilitados (em vários aspectos) poderiam ser foco de políticas de recuperação, visando prepará-los para receber outras atividades agrícolas, como o cultivo de soja ou cana-de-açúcar, ou simplesmente destinados à regeneração natural e conservação do ambiente.

É neste contexto que surge em 2014 o projeto “Radiografia das Pastagens do Brasil” (www.pastagens.org), fruto do convênio entre o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG/UFG) e a Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE), ligada à Casa Civil do Governo Federal. Dentre as várias iniciativas deste projeto, destacam-se **neste relatório** as atividades de campo realizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), na porção oeste do estado de Goiás, mais precisamente nos municípios de Goiás e Britânia. O principal objetivo destas atividades de campo, no momento conduzidas de forma sistemática nestes municípios (com periodicidade mensal), é o registro de uma série de parâmetros biofísicos em pastos representativos e considerados como de boa qualidade, com os quais será possível um entendimento mais amplo e aprofundado das propriedades que assim os caracterizam, para então extrapolar este conhecimento para outras regiões do país.

2. Materiais e Métodos

Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa é constituída por cinco propriedades rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), sendo quatro no município de Goiás, e uma nas proximidades do município de Britânia (Figura 1). Nestas propriedades rurais foram escolhidas áreas de pastagem com grande representatividade do gênero *Brachiaria*. Com uma área de 11.000 km², atualmente 54% da BHRV são ocupados pela classe de uso pastagem (Vieira, 2013).

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do estado de Goiás (SEMARH), a Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho está inserida na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia, porção Centro-Oeste do Estado de Goiás.

A nascente do Rio Vermelho está a 17 km do município de Goiás, nos contrafortes da Serra Dourada, e tem a direção noroeste como a predominante em seu curso. Os principais afluentes do Rio Vermelho são, pela margem esquerda, Rio Uvá e Rio Água Limpa, e pela margem direita recebe o Rio Ferreira.

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho é delimitada ao norte e a nordeste pela Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe; a sudeste pela Serra Dourada e pela Bacia do Rio dos Bois; a sudoeste pela Serra da Bocaina e pela Bacia do Rio Claro, desaguando no Rio Araguaia, no município de Aruanã. A BHRV tem uma área de drenagem de aproximadamente 11.000 km², o que representa aproximadamente 3,23% da área total do estado de Goiás.

Dos 246 municípios goianos, onze estão total ou parcialmente inseridos na Bacia, sendo estes Aruanã, Britânia, Buriti de Goiás, Goiás, Faina, Fazenda Nova, Itapirapuã, Jussara, Matrinchã, Novo Brasil e Santa Fé de Goiás. Na figura 1 é indicada a localização dos pontos de coleta de dados nas cinco propriedades elencadas para o trabalho de campo. A figura 2 traz o registro das paisagens encontradas nas propriedades rurais visitadas nesta atividade de campo, onde foram coletadas as amostras de pastagem.

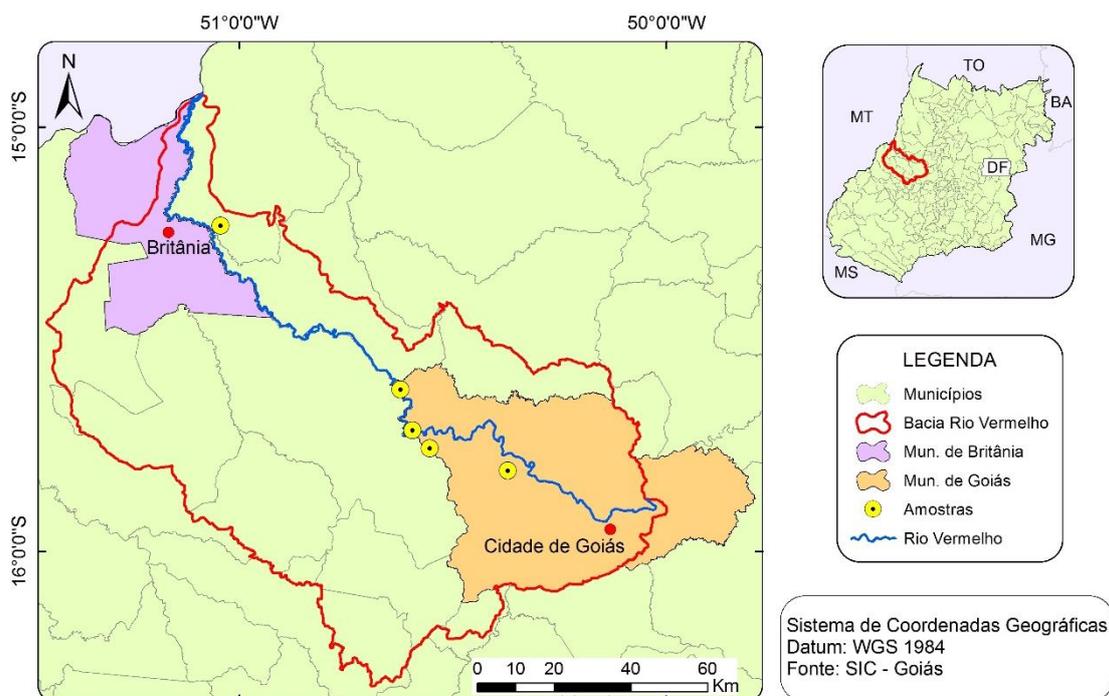


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem de pastagens na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, estado de Goiás.



Figura 2. Paisagem típica nas 5 propriedades na BHRV selecionadas neste estudo.

Bases de dados/instrumentos

Os instrumentos utilizados nos procedimentos de coleta de dados são: trena de 50 metros, utilizada para a implantação do transecto; trena de 3 metros, utilizada para a medição da altura da pastagem; pin-point, utilizado na amostragem dos alvos (Figura 3 - a, b, c); espectrorradiômetro, modelo SM-3500 - marca Spectral Evolution, para coleta das assinaturas espectrais das amostras de pastagem; câmera fotográfica (RGB), para a tomada das fotografias verticais da pastagem; Veículo Aéreo Não Tripulado, modelo Swinglet CAM - marca SenseFly, utilizado no imageamento da área de estudo e acompanhamento de algumas pastagens ao longo do ano (Figura 4 - a, b, c); para a coleta da biomassa são utilizados facão e tesoura de jardinagem, e sacos de nylon para armazenagem da biomassa (Figura 5 - a, b, c).



Figura 3a. Trena de 50 m



Figura 3b. Trena de 3 m



Figura 3c. Pin-Point



Figura 4a. Espectrorradiômetro



Figura 4b. Câmera fotográfica (RGB)



Figura 4c. VANT Swinglet CAM



Figura 5a. Tesoura de jardinagem



Figura 5b. Facão



Figura 5c. Sacos de nylon

Procedimentos de análise

Os procedimentos para a coleta dos dados em campo estão apresentados na figura 6. O primeiro passo realizado é a determinação de uma direção com bússola, normalmente um azimute de 180° (em referência ao Norte Magnético). Em seguida é implantado um transecto representado por uma trena de 50 metros, esticada rente à pastagem. Após a implantação do transecto, iniciam-se as etapas de coleta de dados. A coleta é realizada a cada 2 metros, totalizando 26 pontos de coleta ao longo de cada transecto/propriedade visitada.

A sequência de coleta destas informações não interfere nos dados coletados; no entanto, convencionou-se a seguinte ordem de coleta de dados: uso do

espectrorradiômetro, utilizando-se uma lente de 8°, a uma altura média de 1,40 m (em geral, altura do ombro do analista, com o braço esticado), cobrindo uma área no solo aproximada de 0,025 m² (ou 254 cm²) nesta etapa obtêm-se as assinaturas espectrais de cada espécie/condição de pastagem. Em seguida é realizada a medição da altura da pastagem com uma trena, seguida pela amostragem dos alvos com o pin-point (haste metálica lançada sobre a vegetação – seca ou verde, solo ou rocha, conforme característica do local), fechando com a tomada de fotografias verticais sobre cada ponto amostrado no transecto, também a uma altura média de 1,4 m.

Após sequência detalhada acima, volta-se para a coleta da biomassa em 3 pontos do transecto, representam o seu início, meio e fim (0, 26 e 50 m), referente a uma área de 0,5 m² para cada um dos 3 pontos, empregando-se um esquadro de madeira. Por último, para três propriedades, é realizado o imageamento da área de estudo com o VANT, assegurando-se uma resolução espacial de 10 cm por pixel. Todas as etapas estão ilustradas na figura 6.



Figura 6. Etapas do procedimento de coleta dos dados em campo, com os referidos instrumentos.

Após os trabalhos de campo, são iniciadas as etapas de laboratório, compreendidas pela separação das amostras de pasto em volumes de sacos de papel (pastagem seca e verde), pesagem, secagem e nova pesagem destes volumes. Estas etapas compreendidas na secagem e pesagem da biomassa (verde e seca) estão ilustradas na figura 7.

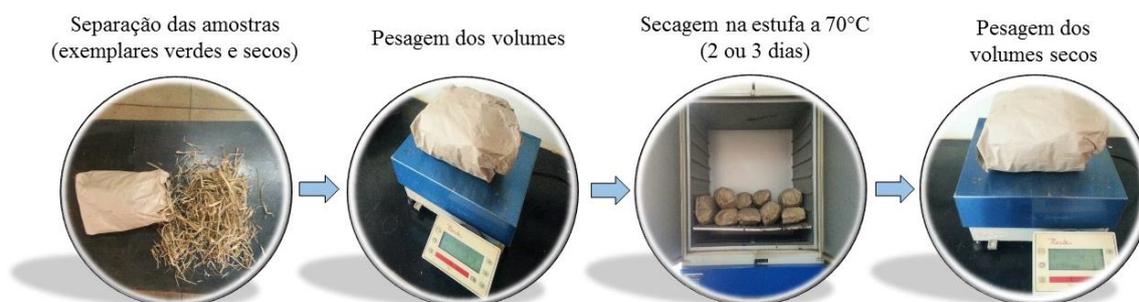


Figura 7. Etapas do procedimento de secagem e pesagem das amostras de biomassa verde e seca.

3. Resultados e discussões

No âmbito do projeto “Radiografia das Pastagens do Brasil”, cinco atividades de campo foram conduzidas pelo grupo de pesquisadores do LAPIG (média de 1 campo por mês), de julho a novembro de 2014, em geral com datas coincidentes com a passagem do satélite Landsat 8 (visando futuras comparações espectrais, etc.).

Neste período, várias propriedades rurais com pastagens foram visitadas na BHRV, de forma a se obter bons pontos amostrais representativos para pastos com elevada produtividade/bem manejados. Entretanto, apenas a partir de outubro de 2014 é que as 5 localidades/propriedades rurais citadas na metodologia (e ilustradas nas figuras 1 e 2) foram definidas de forma sistemática; por isso, parte dos resultados aqui tratados refere-se aos meses de outubro e novembro do corrente ano. Nas próximas atividades de campo (até setembro de 2015, com o fechamento de um ciclo hidrológico), estas serão as propriedades visitadas, garantindo-se um banco de dados consistente para esta pesquisa.

Vale mencionar que, cada propriedade visitada em campo foi pré-avaliada por meio de imagens de satélite (Landsat 5 e 8), garantindo-se amostras de pastagem representativas, com uma área de no mínimo 900 m² para posterior análise/comparação com dados satelitários (resolução espacial de 30 m, do Landsat). Outros critérios de seleção adotados compreendem a presença de propriedades em diferentes unidades geoambientais da BHRV (Vieira, 2013; Santos, 2014), tal como ocorre com a propriedade Dois Córregos, inserida na alta porção da bacia, com solos rasos e uma vegetação de Cerradão, ou a propriedade Nossa Senhora das Graças, na média porção da bacia, com Latossolo e terrenos mais planos (solos mais profundos). Outro fator considerado é a logística de acesso às propriedades, garantindo sempre que possível um fácil acesso às mesmas por rodovias pavimentadas ou próximas destas; tais elementos

otimizam a atividade de campo, em geral realizada em apenas dois dias (após a idealização e teste deste protocolo).

O primeiro resultado desta pesquisa, de caráter estritamente qualitativo, refere-se aos vôos sistemáticos realizados com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) sobre duas das cinco propriedades. O uso do VANT, como parte deste protocolo de campo, é voltado para uma caracterização da área de estudo em alto detalhe, favorecendo a localização de pontos de controle, coleta de amostras e percepção das diferenças aparentes entre os pastos avaliados, ao longo do tempo. A figura 8 traz uma comparação temporal entre alguns sobrevôos com o VANT, realizados a uma altitude de 100 metros, com 4 cm de resolução espacial, onde é possível observar a diferença de comportamento da vegetação (pasto) entre os meses de agosto (auge da estação seca) e novembro (início da estação chuvosa). A diferença no padrão de textura e cor são notáveis nas fazendas Jatobá e Nossa Sra. das Graças, no município de Goiás.

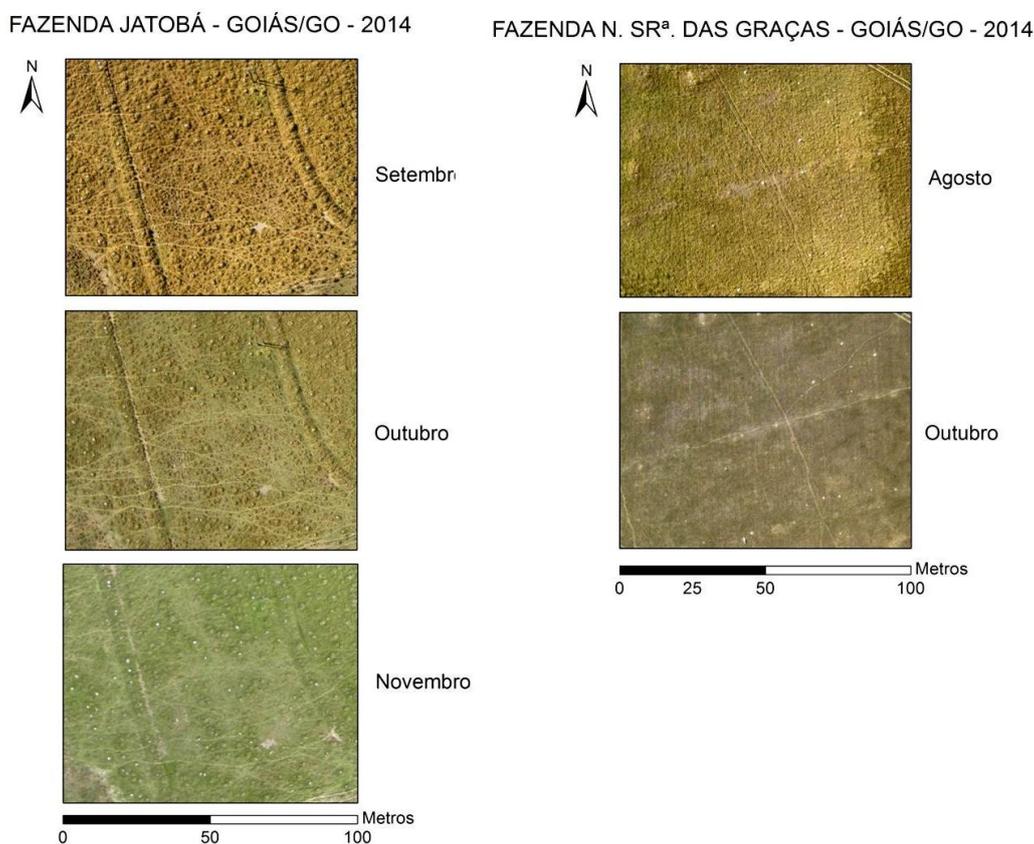


Figura 8. Sobrevôos com o VANT (Swinglet Cam, 4 cm) nas áreas de pastagens amostradas na BRHV, entre os meses de agosto e novembro de 2014.

Na fase de pesagem das amostras de pasto (realizada antes e após a secagem em estufa), foi possível estimar o volume de biomassa total (BT) disponível para o gado (nas cinco propriedades), trazendo também, de forma indireta, uma informação sobre a

umidade presente nas amostras, permitindo inferir sobre a resistência à seca, ou resiliência (recuperação) destas áreas após o início das chuvas.

Na 2ª semana de outubro, as medidas sistemáticas obtidas para cinco propriedades (referente ao final do período de estiagem e início das chuvas) demonstraram pastagens com pouca umidade, conforme descrito na literatura, ainda que com uma quantidade de biomassa seca razoável em alguns casos (a perda média de peso foi de 0,01 kg após a secagem). A tabela 1 ilustra a catalogação destas informações (i.e., secagem de amostras de biomassa seca e verde), padronizada para todos os meses de campo.

Já a partir da visita de campo realizada em novembro de 2014 (a última até este momento), dando sequência à visita de outubro, pode-se perceber uma recuperação da biomassa nas respectivas áreas de estudo, respondendo bem ao início do período chuvoso na região, ainda que um tanto desigual, dada as diferenças de solo, espécie e manejo do pasto. Com estas duas avaliações, reunidas no gráfico da figura 9 (outubro e novembro de 2014, antes e após secagem), é notável a variação de biomassa na seca e na chuva entre as localidades, indicando que algumas áreas se recuperaram mais rápido, em função de sua resistência (ex. Jatobá) e resiliência (ex. Ajuricaba), respectivamente.

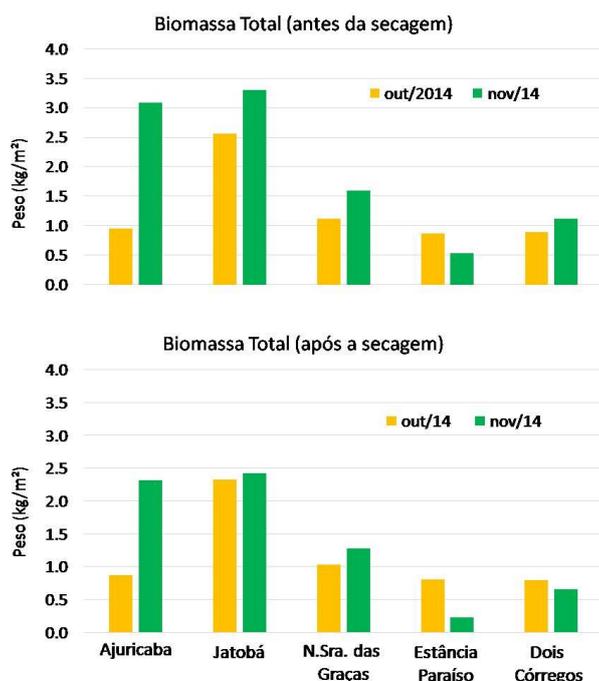


Figura 9. Comparação da biomassa total (antes e após a secagem) entre as propriedades visitadas com pastagens, em outubro e novembro de 2014.

Tabela 1. Exemplo de tabela com dados de pesagem da biomassa coletada em campo entre 07 e 09 de Outubro de 2014.

TABELA DE SECAGEM E PESAGEM DA BIOMASSA				
Nome da Fazenda:		Ajuricaba	Proprietário: Paulo Ceroni / Aliete Ceroni	
Amostra	Volume	Peso Antes da Secagem (kg)	Peso Após a Secagem (kg)	Perda de Peso (kg)
I	I	0,099	0,091	0,008
	II	0,078	0,072	0,006
II	-	-	-	-
III	-	-	-	-
Nome da Fazenda:		Dois Córregos	Proprietário: Alcion Martins dos Santos (Xuca)	
Amostra	Volume	Peso Antes da Secagem (kg)	Peso Após a Secagem (kg)	Perda de Peso (kg)
I	I	0,101	0,093	0,008
II	I	0,167	0,148	0,019
III	I	0,178	0,154	0,024
Nome da Fazenda:			Proprietário: Vanderlei Kok	
Amostra	Volume	Peso Antes da Secagem (kg)	Peso Após a Secagem (kg)	Perda de Peso (kg)
I	I	0,154	0,144	0,010
II	I	0,142	0,130	0,012
III	I	0,139	0,129	0,010
Nome da Fazenda:		N. Srª. das Graças	Proprietário: Leonan	
Amostra	Volume	Peso Antes da Secagem (kg)	Peso Após a Secagem (kg)	Perda de Peso (kg)
I	I	0,123	0,114	0,009
	II	0,109	0,099	0,010
II	I	0,090	0,083	0,007
	II	0,082	0,076	0,006
III	I	0,157	0,146	0,011
Nome da Fazenda:		Jatobá	Proprietário: Frederico/Vanir/Sandro	
Amostra	Volume	Peso Antes da Secagem (kg)	Peso Após a Secagem (kg)	Perda de Peso (kg)
I	I	0,194	0,176	0,018
	II	0,174	0,154	0,020
	III	0,101	0,090	0,011
	IV	0,112	0,101	0,011
II	I	0,140	0,130	0,010
	II	0,136	0,124	0,012
	III	0,084	0,077	0,007
III	I	0,130	0,121	0,009
	II	0,115	0,106	0,009
	III	0,093	0,086	0,007

Outra variável importante e correlacionada com os dados de biomassa é a altura da pastagem, medida com uma trena durante as campanhas de campo, a cada dois metros ao longo do transecto (Figura 10). Novamente, três grupos de pastagens na área de estudo se destacam: o primeiro com maior produtividade, representado pela fazenda Jatobá, o segundo representado pelas fazendas Ajuricaba e N. Sra. das Graças, e o terceiro, e mais comprometido com o período de seca (ainda que com uma recuperação gradual com o início das chuvas), representado pelas fazendas Estância Paraíso e Dois Córregos.

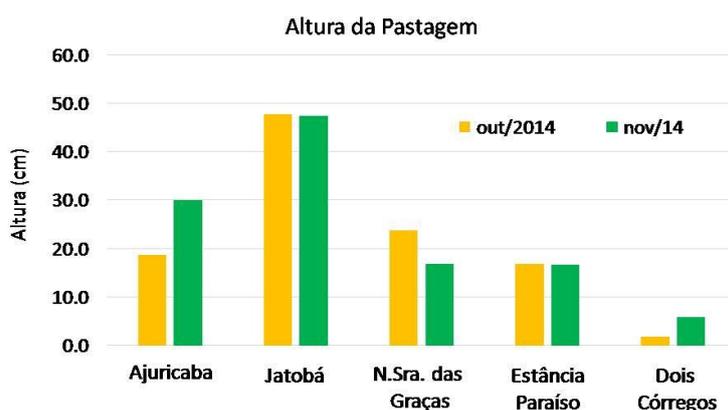


Figura 10. Altura da pastagem obtida para as pastagens analisadas na BRHV, entre outubro e novembro de 2014.

Semelhantemente aos dados de biomassa e altura do pasto, os dados de espectrorradiometria de campo também estão organizados em tabelas dinâmicas com hiperlinks (Tabela 2), na qual todas as amostras (obtidas com lente de 8°, a 1,20 m do solo) estão relacionadas com as fotos digitais verticais da cobertura do solo (obtidas também a 1,20 m do solo) e com os dados obtidos pelo método pin-point/observações pontuais. Desta forma, por exemplo, qualquer espectro pode ser analisado em função das características do pasto amostrado, onde a predominância de cobertura verde, seca ou solo exposto irão moldar a resposta espectral, em última instância vinculada à qualidade da pastagem.

Tabela 2. Exemplo de tabulação dos dados de campo com valores obtidos com o espectrorradiômetro, juntamente com dados do pin-point e fotografias RGB na vertical.

CADERNETA DE CAMPO ESPECTRORRADIOMETRIA							
Nome da Fazenda				Jatobá			
Proprietário:				Frederico/Vanir/Sandro			
Data	Horário de Início:	14:35	Horário de Término:	15:20	Fuso	Azimute	Tipo da Pastagem
03/10/2014	Coordenada Inicial:	15°36'47.12"S	Coordenada Final:	15°36'47.77"S	22	280°	Brachiaría
		50°36'43.61"W		50°36'45.15"W			
Fotografias da Paisagem							
Norte:		DSC00550		Sul:		DSC00551	
				Leste:		DSC00552	
						Oeste: DSC00553	
Distância (m)	Nome do Arquivo (Espectrorradiômetro)	Nome da Fotografia	Pinpoint		Altura (cm)	Observações	
0	1418085_00278	DSC00554	x	Verde	39		
				Seco			
				Outros			
2	1418085_00279	DSC00555	x	Verde	35		
				Seco			
				Outros			
4	1418085_00280	DSC00556	x	Verde	30		
				Seco			
				Outros			
6	1418085_00281	DSC00557	x	Verde	58		
				Seco			
				Outros			
8	1418085_00282	DSC00558	x	Verde	42		
				Seco			
				Outros			
10	1418085_00283	DSC00559	x	Verde	45		
				Seco			
				Outros			
12	1418085_00284	DSC00560	x	Verde	43		
				Seco			
				Outros			
14	1418085_00285	DSC00561	x	Verde	33		
				Seco			
				Outros			
16	1418085_00286	DSC00562	x	Verde	40		
				Seco			
				Outros			
18	1418085_00287	DSC00563	x	Verde	42		
				Seco			
				Outros			
20	1418085_00288	DSC00564	x	Verde	60		
				Seco			
				Outros			
22	1418085_00289	DSC00565	x	Verde	51		
				Seco			
				Outros			
24	1418085_00290	DSC00566	x	Verde	40		
				Seco			
				Outros			
26	1418085_00291	DSC00567	x	Verde	58		
				Seco			
				Outros			
28	1418085_00292	DSC00568	x	Verde	63		
				Seco			
				Outros			
30	1418085_00293	DSC00569	x	Verde	40		
				Seco			
				Outros			
32	1418085_00294	DSC00570	x	Verde	46		
				Seco			
				Outros			
34	1418085_00295	DSC00571	x	Verde	52		
				Seco			
				Outros			
36	1418085_00296	DSC00572	x	Verde	51		
				Seco			
				Outros			
38	1418085_00297	DSC00573	x	Verde	59		
				Seco			
				Outros			
40	1418085_00298	DSC00574	x	Verde	51		
				Seco			
				Outros			
42	1418085_00299	DSC00575	x	Verde	49		
				Seco			
				Outros			
44	1418085_00300	DSC00576	x	Verde	56		
				Seco			
				Outros			
46	1418085_00301	DSC00577	x	Verde	49		
				Seco			
				Outros			
48	1418085_00302	DSC00578	x	Verde	51		
				Seco			
				Outros			
50	1418085_00303	DSC00579	x	Verde	57		
				Seco			
				Outros			

Destaca-se também, dentre os resultados, a classificação das imagens obtidas com a câmera RGB posicionada na vertical, voltada para o reconhecimento e quantificação da cobertura vegetal verde, através de uma rotina automática de processamento no software ENVI / IDL (*Interactive Data Language*). Neste processo são aplicados dois índices de vegetação, semelhantes em seus propósitos, o qual é realçar a vegetação fotossinteticamente ativa. O primeiro destes índices, conhecido como MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*), é apresentado pela equação 1 (YANG, et al., 2008). O segundo, identificado como VARI (*Visible Atmospheric Resistant Index*), é apresentado pela equação 2 (GITELSON et al., 2002).

$$\text{MPRI} = (B1 - B2) / (B1 + B2) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{VARI} = (B1 - B2) / B1 + (B2 - B3) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: B1 corresponde à banda do verde, B2 à banda do vermelho e B3 à banda do azul, bandas estas obtidas por uma câmera digital RGB convencional.

A definição do limiar para separação da cobertura verde e seca, com base nestes índices, tem sido testada na referida pesquisa, pois o mesmo pode variar em função do período de coleta dos dados (estação climática); assim, no período seco, o limiar estabelecido foi de valores maiores que 0,05 (MPRI e VARI), e na estação chuvosa o mesmo poderá ser de valores maiores que 0,15 (MPRI e VARI), propiciando a identificação apenas da biomassa verde nas fotografias. A figura 11 ilustra uma comparação entre limiares de corte após a aplicação do índice MPRI; a figura 12 representa a mesma análise, mas com limiar de corte definido em 0,05 (selecionando-se os pixels com valores acima deste limiar). As diferenças entre os limiares de corte são sutis, mas podem ser observadas na figura 11, onde o limiar 0,05 capta melhor a presença de cobertura verde, com menor mistura com a cobertura seca (a ser quantificada e comparada entre as amostras de pastos, ao longo do tempo).



Figura 11. Comparação de limiares de corte (da esquerda para direita: 0, 0,05 e 0,1) aplicados sobre imagem resultante do MPRI (Índice de verde) para o pasto.

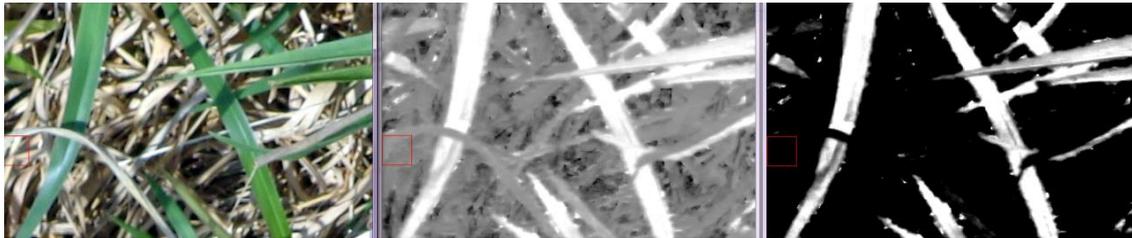


Figura 12. Resultado do MPRI (Índice de verde) aplicado sobre uma das fotografias de campo (pasto), com limiar de corte 0,05.

Com base nos dados de classificação das fotografias digitais, obtidas nas 5 amostras de pastagens visitadas em outubro e novembro de 2014 na BHRV, gerou-se um índice de vegetação baseado no MPRI (Figura 13 A), onde se observa uma variação na atividade fotossintética destas pastagens, tanto em termos espaciais quanto temporais, refletindo pequenas diferenças e aptidão de cada uma das áreas. Outra variável avaliada foi a de porcentagem de cobertura verde (Figura 13 B), calculada com base nas classificações com o MPRI.

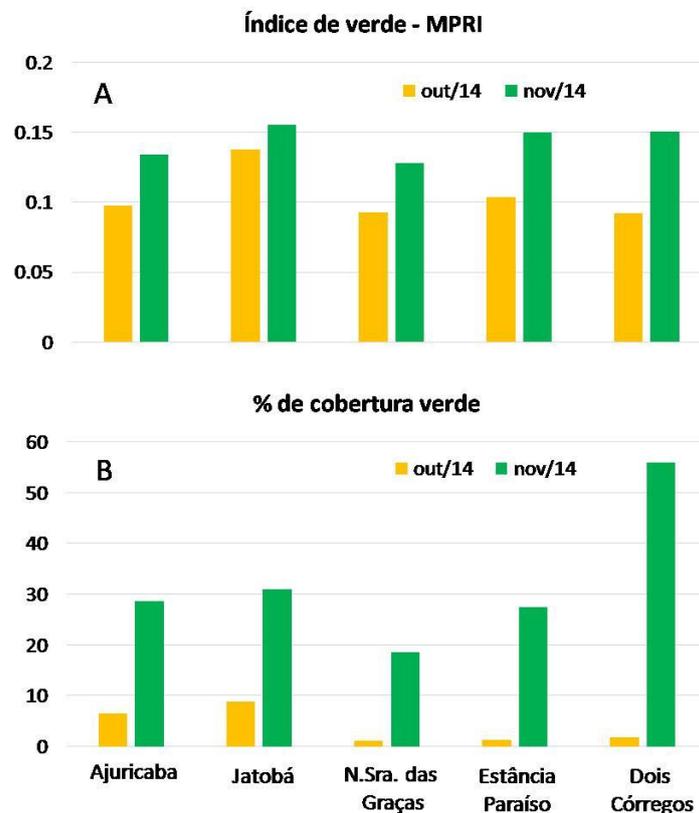


Figura 13. Índice de vegetação MPRI (A) e porcentagem de cobertura verde (B) obtidos para as pastagens analisadas na BRHV, entre outubro e novembro de 2014.

Interessante observar que tal comportamento (gráficos da figura 13 A e B) difere substancialmente daquele observado na análise de biomassa (Figura 9), sugerindo que em termos de cobertura verde a diferença entre os pastos fica mais restrita à influência das chuvas/resiliência, enquanto que a biomassa total entre estes segue fatores

edáficos/fertilidade e variedade de espécie/forrageiras. Nesta linha, a rebrota de alguns pastos avaliados ocorre de forma bastante intensa, como no exemplo da propriedade Dois Córregos, o que pode trazer certa vantagem nutricional, mas não em termos de volume, questões que devem ser avaliadas em estudos complementares.

Outra frente promissora para análise dos dados gerados nas campanhas de campo é a geração de assinaturas espectrais obtidas ao longo dos transectos de pastagens, com o uso do espectrorradiômetro (Tabela 2). Tais dados podem ser utilizados para a criação de bibliotecas espectrais, na identificação de pastagens semelhantes em imagens de satélite (com múltiplas resoluções espaciais e espectrais), bem como na correlação da qualidade dos pastos com variações biofísicas na paisagem em geral (incluindo diversidade de solos, clima e práticas de manejo).

Neste caso, muitas particularidades destas amostras de pastagem são captadas pelo espectrorradiômetro, com o qual bandas espectrais de outros sensores podem ser simuladas, visando, por exemplo, a geração de índices de vegetação, afim de comparação com dados orbitais (ex. Landsat 8). As figuras 14 e 15 ilustram a média espectral de cada um dos pastos gerados no mês de outubro e novembro de 2014, respectivamente; já a figura 16 traz um gráfico de NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo, bastante comum nas análises de sensoriamento remoto) referente a todas as amostras de pasto, para o mesmo período.

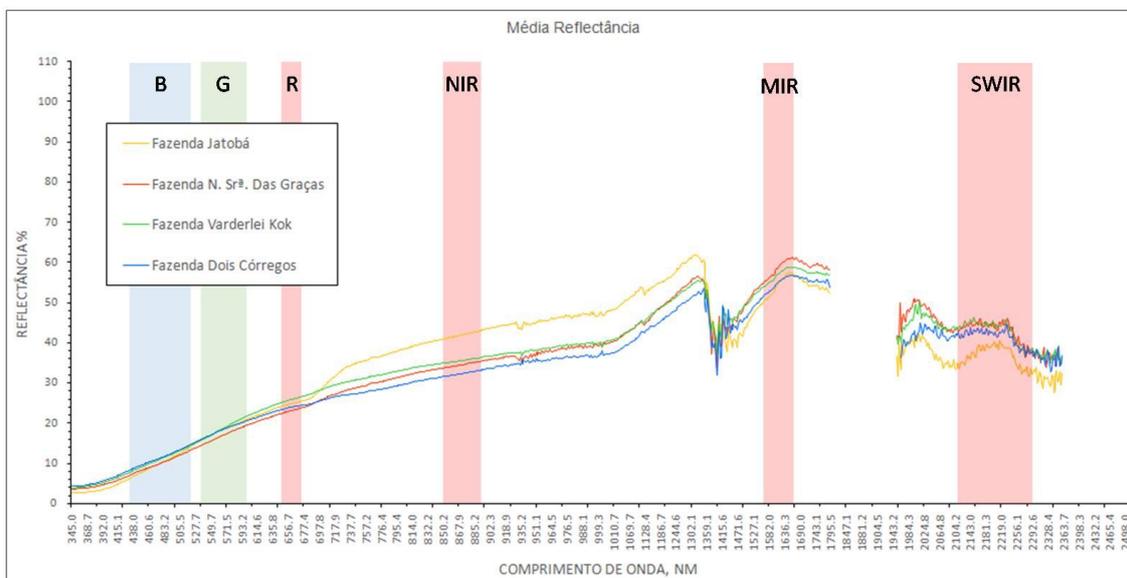


Figura 14. Médias espectrais obtidas as amostras de pastagem na BHRV (exceto Faz. Ajuricaba), referente ao mês de outubro de 2014, sobrepostas com as faixas espectrais do sensor Landsat 8.

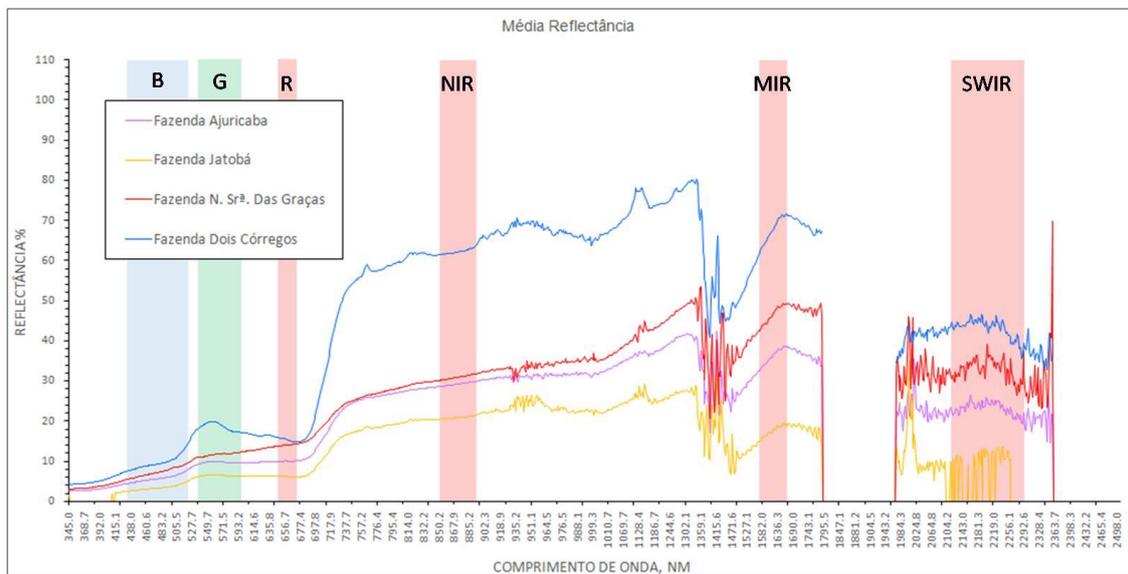


Figura 15. Médias espectrais obtidas para as amostras de pastagem na BHRV (exceto Faz. Estância Paraíso), referente ao mês de novembro de 2014, sobrepostas com as faixas espectrais do sensor Landsat 8.

Na figura 14, a medida na fazenda Ajuricaba foi excluída da análise espectral, devido ao excesso de ruídos na resposta do espectrorradiômetro em algumas faixas no infravermelho, devido à elevada umidade no solo/vapor d'água no momento de registro dos dados. O mesmo ocorreu na figura 15, onde a medida na fazenda Estância Paraíso (propriedade de Vanderlei Kok) foi excluída da análise espectral, devido ao excesso de ruídos.

Além de evidenciar comportamentos distintos entre os pastos amostrados, causados por fatores biofísicos e antrópicos diversos, os espectros apresentados nas figuras 14 e 15 evidenciam a influência climática na vegetação; enquanto em outubro todas as amostras indicam uma menor atividade fotossintética, com maior presença de cobertura seca e solo exposto (evidenciada por valores de reflectância mais baixos na faixa do infravermelho próximo/NIR, e mais altos nas faixas no infravermelho médio/MIR e distante/SWIR), em novembro nota-se um variação do comportamento da vegetação, com maior porcentagem de cobertura verde e menos exposição do solo (condição evidenciada pelo aumento significativo da reflectância no infravermelho próximo/NIR, com uma redução da reflectância nos comprimentos de onda mais longos/MIR e SWIR). Tais análises devem ser realizadas para as demais atividades de campo, ao longo de um ciclo hidrológico (até setembro de 2015), permitindo uma compreensão aprofundada sobre as qualidades destes pastos frente ao manejo e clima.

Por fim, com base na média espectral ao longo das faixas do visível e infravermelho próximo (dados captados pelo espectrorradiômetro de campo), e conforme as faixas do sensor Landsat 8 simuladas nas figuras 14 e 15, aplicou-se o índice de vegetação NDVI $((NIR - RED) / (NIR + RED))$.

Os dados de NDVI, assim como aqueles obtidos pelo índice MPRI, confirmam um aumento da cobertura verde no mês de novembro, em resposta à chegada das chuvas e florescência do estrato graminoso; algumas amostras de pasto apresentaram uma resposta mais intensa do NDVI, indicando uma vegetação mais saudável em termos de atividade fotossintética, mas sem garantia de uma maior biomassa ao longo do ciclo hidrológico (aspecto vinculado a outras características da planta e do manejo), caso da pastagem na fazenda Dois Córregos.

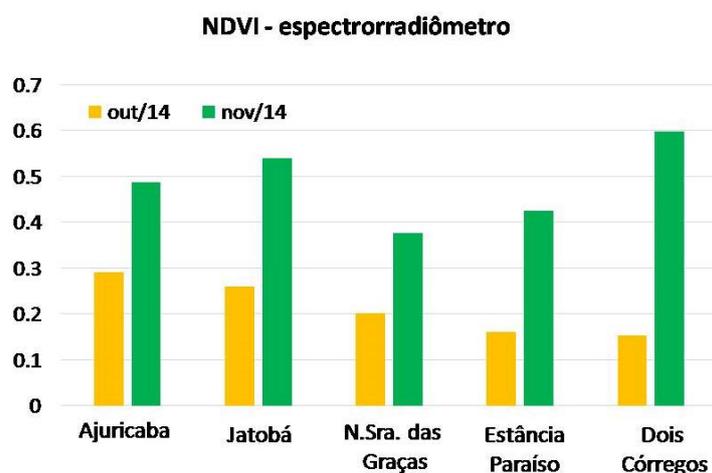


Figura 16. Médias espectrais obtidas para 4 amostras de pastagem na BHRV, mês de novembro de 2014, sobreposto com faixas simulando as bandas do sensor Landsat 8.

4. Considerações finais

O presente relatório buscou detalhar os protocolos de campo realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), ao longo dos meses de julho a novembro de 2014, visando a um melhor entendimento sobre as diferenças entre as pastagens desta região, em termos de biomassa total, resistência à seca e capacidade de recuperação com a estação chuvosa no Cerrado. Tais informações estão sendo subsidiadas com a coleta de dados *in loco*, incluindo a medição da altura de pasto, coleta de biomassa e assinatura espectral, dentre outros levantamentos.

Novas atividades estão previstas ainda para o ano de 2014 (dezembro) e 2015 (até setembro), em geral coincidentes com a data de passagem do sensor Landsat 8 OLI, de forma a registrar informações no período seco e chuvoso. Ao final, espera-se

conseguir uma relação entre os dados satelitários de médio-alta resolução espacial, temporal e espectral com os dados de campo, como forma de extrapolar as informações para outras regiões do país.

O protocolo de campo aqui descrito vem sendo adotado de forma sistemática, mostrando-se suficiente para a apreensão de informações acerca das diferentes pastagens encontradas na BHRV, podendo ser empregado em outras pesquisas com finalidades semelhantes.

Ainda para o 1º semestre de 2015, é aguardado um sobrevôo na área de estudo com um sensor aerotransportado, equipado com LIDAR (*Light Detection And Ranging*), sobre alguns pontos amostrais de pastagens selecionados nesta pesquisa. Estas informações serão essenciais para relacionar medidas de biomassa da pastagem, obtidas com este instrumento, com as informações registradas nas atividades de campo.

5. Agradecimentos

À FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), pelo apoio a esta pesquisa (PRONEX, processo 201200766130154, chamada pública no. 007/2012; Universal, processo 201210267000966, chamada pública no. 05/2012). À SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE-PR), pela parceria com a Universidade Federal de Goiás/LAPIG, no âmbito do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil.

6. Referências Bibliográficas

GITELSON, A. A.; STARK, R.; GRITS U.; RUNDQUIST D.; KAUFMAN Y.; DERRY, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n. 13, 2537-2562, 2002.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2014. Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>. Acesso em: 08/02/2014.

SANTOS, P. S. Otimização do pré-processamento e investigação de processos de classificação automática como alternativa para a identificação de pastagens. Tese (doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. 148 p.

VIEIRA, P. A. Dinâmica de Ocupação, vulnerabilidades e cenários para a bacia hidrográfica do rio Vermelho. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013. 101 p.

YANG, Z.; WILLIS, P., MUELLER, R. Impact of band-ratio enhanced awifs image on crop classification accuracy. In: Pecora 17 – The Future of Land Imaging Going Operational, NASS/USDA, Denver, Colorado, 18-20, 2008. http://www.nass.usda.gov/Education_and_Outreach/Reports,_Presentations_and_Conferences/Presentations/Yang_Pecora17_BandRatio.pdf

Apêndice 3

Utilização de fotografias imagens aéreas de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) para estimativa de cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais no município de Uberlândia - MG¹⁰

Jorge Luís Silva Brito¹
Laerte Guimarães Ferreira²
Janete Rêgo Silva²
Arielle Elias Arantes²

¹Universidade Federal de Uberlândia – UFU/IG
Caixa Postal 593 -38408-100 - Uberlândia - MG
jbrito@ufu.br

² Universidade Federal de Goiás
Instituto de Estudos SócioAmbientais – IESA/LAPIG
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
janetegt25@gmail.com, aearantes@gmail.com, laerte@ufg.br

Abstract: The objective of this research is to evaluate the potential of aerial photographs of high spatial resolution (mean 10 cm), obtained from a digital camera of 12 megapixels, on board an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) of the Sensefly brand, model Swingle CAM to monitor cultivated pastures green cover in two experimental areas, located in the municipality of Uberlândia, state of Minas Gerais. These two areas were surrounded and isolated to avoid grazing during the experiment. Measures of pasture height and percent green cover were obtained between the months of November 2013 and August 2014. In this period aerial photographs covering the area of the experiments were acquired for four different dates during the experiment period. From the photographs in the spectral intervals of green and red the MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index) vegetation index was calculated. The MPRI values for the four dates in the two experimental areas were compared with measures of green cover of the pasture. The results indicate a high correlation between the pasture MPRI vegetation index values and the percent green cover in the two sample areas, confirming the potential of aerial images to monitor pasture green cover.

Palavras-chave : remote sensing, UAV, pasture, sensoriamento remoto, VANT, pastagem.

1. Introdução

A definição de métodos que possam determinar a qualidade das pastagens é de grande importância para auxiliar os programas governamentais de recuperação de pastagens abandonadas ou de baixa produtividade.

A medida da porcentagem de cobertura verde é um dos principais indicadores do processo de degradação das pastagens, pois a diminuição da cobertura do solo ocorre devido a redução no número de plantas novas (provenientes da ressemeadura natural), presença de plantas invasoras e cupins (Coser, 1989; Meirelles, 1993). A estimativa da cobertura das pastagens, associada às medidas de altura podem ser utilizadas para estimar a matéria seca das pastagens.

Linhares et al (2013) utilizaram imagens aéreas obtidas com VANT e dados orbitais como indicadores da “saúde” da vegetação e obtiveram altas correlações entre

¹⁰ Trabalho submetido ao XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

o índice MPRI, derivado das imagens aéreas e valores de NDVI obtidas por meio de imagens do satélite Landsat 5 sensor TM.

O reconhecimento das técnicas mais adequadas para a avaliação quantitativa da cobertura do solo em áreas de pastagens é de grande importância para a geração de modelos que relacionem essas estimativas com os valores de refletância registrados pelos sensores remotos. A obtenção de resultados consistentes dos valores da cobertura do solo nos trabalhos de campo possibilita a interpretação correta dos dados obtidos por aerofotogrametria, ou seja, a validação para uso destes dados em maiores áreas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do uso de imagens obtidas com câmeras digitais a bordo de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para monitoramento da cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais, localizadas no município de Uberlândia, estado de Minas Gerais.

2. Materiais e Métodos

Para a realização da pesquisa foram selecionadas duas áreas experimentais: a primeira da Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, em área de relevo plano a suave ondulado e solo argiloso, e a outra na fazenda do Sr. Carlos Augusto, implantada em área de relevo plano e solo arenoso, ambas localizadas no município de Uberlândia (Figura 1).

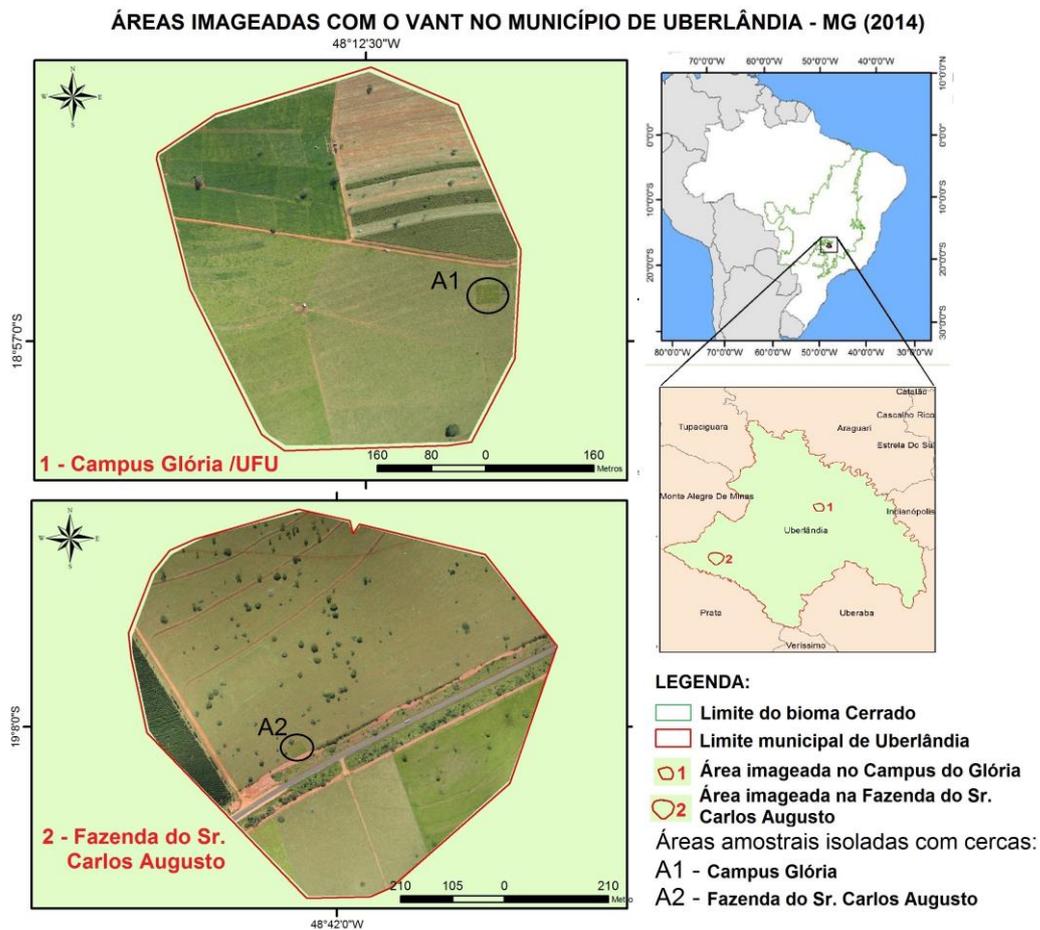


Figura 1 - Localização das áreas experimentais do campus Glória (1) e da fazenda do Sr. Carlos Augusto (2) no município de Uberlândia, onde foram obtidas as imagens das parcelas experimentais e as imagens aéreas com VANT.

As duas áreas foram cercadas e isoladas para impedir a presença de gado durante todo o experimento. Na área da fazenda do Glória, foi cercado um retângulo de 30 x 30m (900m²), (Figura 2) e na área da Fazenda do Sr. Carlos Augusto foi cercado um retângulo de 30 x 24 m (720m²).



Figura 2 - Área experimental de pastagem cercada na fazenda experimental do campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia.



Figura 3 - Área experimental de pastagem cercada na fazenda do Sr. Carlos Augusto.

Para a estimativa da porcentagem de cobertura verde foram obtidas imagens verticais de oito parcelas de 1m², em 4 épocas (11/2013, 02/2014, 04/2014 e 08/2014), nas duas áreas experimentais, totalizando 64 amostras, delimitadas por um quadrado de ferro de 1mx1m, distribuídos aleatoriamente em cada área experimental e tomando-se o cuidado para não repetir o local da amostragem nas datas posteriores.

As imagens foram obtidas com uma câmara digital suspensa manualmente a uma altura de 1,5m, tomando-se o cuidado de obter as fotos das parcelas amostrais, delimitadas pelo quadrado de ferro, o mais próximo possível da vertical em relação ao solo. As imagens obtidas foram classificadas para a confecção de “cartas de cobertura” de acordo com o método descrito por Ippoliti (2002). A estimativa da porcentagem de cobertura de cada área foi calculada pela média aritmética das 8 parcelas.

Nas mesmas épocas da coleta de amostra de pastagem foram adquiridas as imagens aéreas por uma câmara digital de 12 megapixels, a bordo de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), da marca Sensefly, modelo Swinglet CAM, as imagens tiveram resolução espacial de 10 cm e cada voo teve uma altitude média de 130 metros.

A porcentagem de cobertura verde nas imagens verticais ao solo das áreas amostrais foi determinada através da classificação não supervisionada das imagens dos quadrados das áreas amostrais, utilizando o algoritmo K-médias (Figura 4). Para melhorar a precisão da classificação, utilizou-se a imagem diferença normalizada entre as bandas do verde e vermelho. Com o objetivo de correlacionar as imagens de campo com as imagens aéreas determinou-se o índice MPRI, conforme a equação 01 (YANG, 2012):

$$MPRI = \frac{(G - R)}{(G + R)} \quad (1)$$

Onde: G é o número digital da imagem na faixa espectral do verde e R o número digital da imagem na faixa espectral do vermelho.

a) Foto da amostra 08 (1m²) da área da Fazenda do Sr. Carlos Augusto

b) Classificação das folhas verdes (% de cobertura verde = 55,18%),.

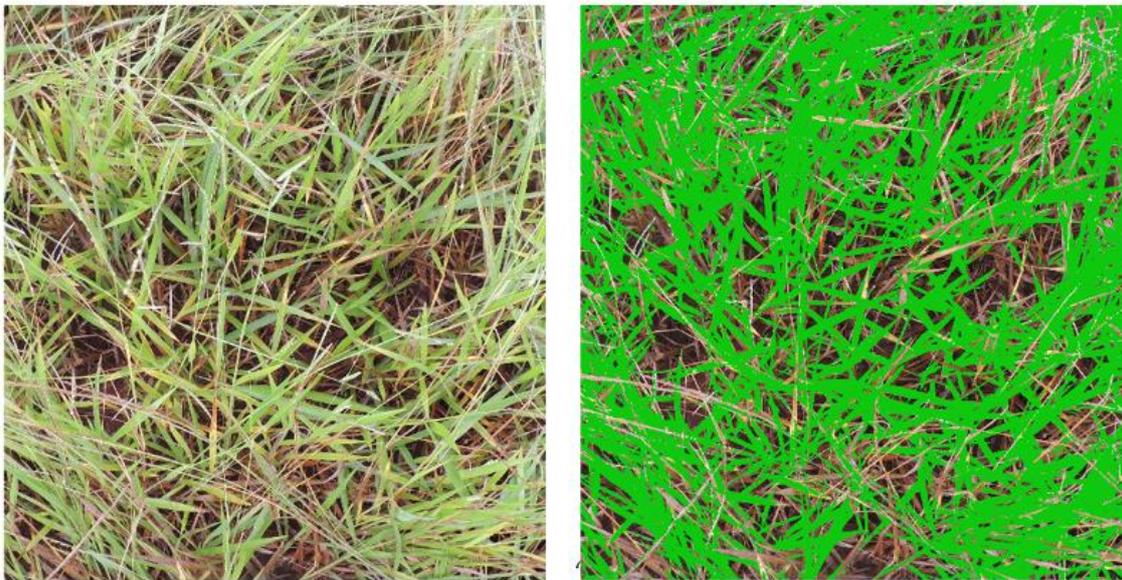


Figura 4 - Fotografia da amostra 08 (1m²) da área da Fazenda Carlos Augusto adquirida em 23 de abril de 2014 (a) e o resultado da classificação não supervisionada da % de cobertura verde da pastagem (b).

3. Resultados

As imagens aéreas foram mosaicadas e referenciadas no programa Pix4d Mapper, sendo que o resultado destes mosaicos recobriu uma área de aproximadamente 8 hectares em cada região dos experimentos. As imagens aéreas foram georreferenciadas utilizando um conjunto de 9 pontos de controle (Tabela 1) para cada área, cujas coordenadas UTM foram determinadas com receptores geodésicos de dupla frequência e precisão inferior a 1 cm. O registro das imagens foi executado com ótima precisão, obtendo-se erro quadrático médio de 0,3 pixels para imagem do Campus Glória (Figura 5) e 0,2 pixels para a imagem aérea da Fazenda do Sr. Carlos Augusto (Figura 6).

Tabela 1 - Coordenadas UTM dos pontos de controle utilizado para o registro das imagens aéreas, determinadas com receptor GPS Geodésico com precisão inferior a 1 cm.

Nº do ponto de Controle	Coordenadas UTM do Campus Glória / UFU		Coordenadas UTM da fazenda do Sr. Carlos Augusto	
1	789192,362	7902458,479	742256,895	7882057,098
2	789191,956	7902479,862	742230,247	7882043,133
3	789158,255	7902485,389	742216,709	7882067,394
4	789158,928	7902458,279	742243,179	7882081,427
5	789121,557	7902491,135	742194,438	7882022,176
6	789122,042	7902456,846	742180,944	7882047.858
7	789124,103	7902426,872	742159,011	7882096.658
8	789160,173	7902427,485	742189.925	7882114,761
9	789193,655	7902428,927	742215.301	7882130,538

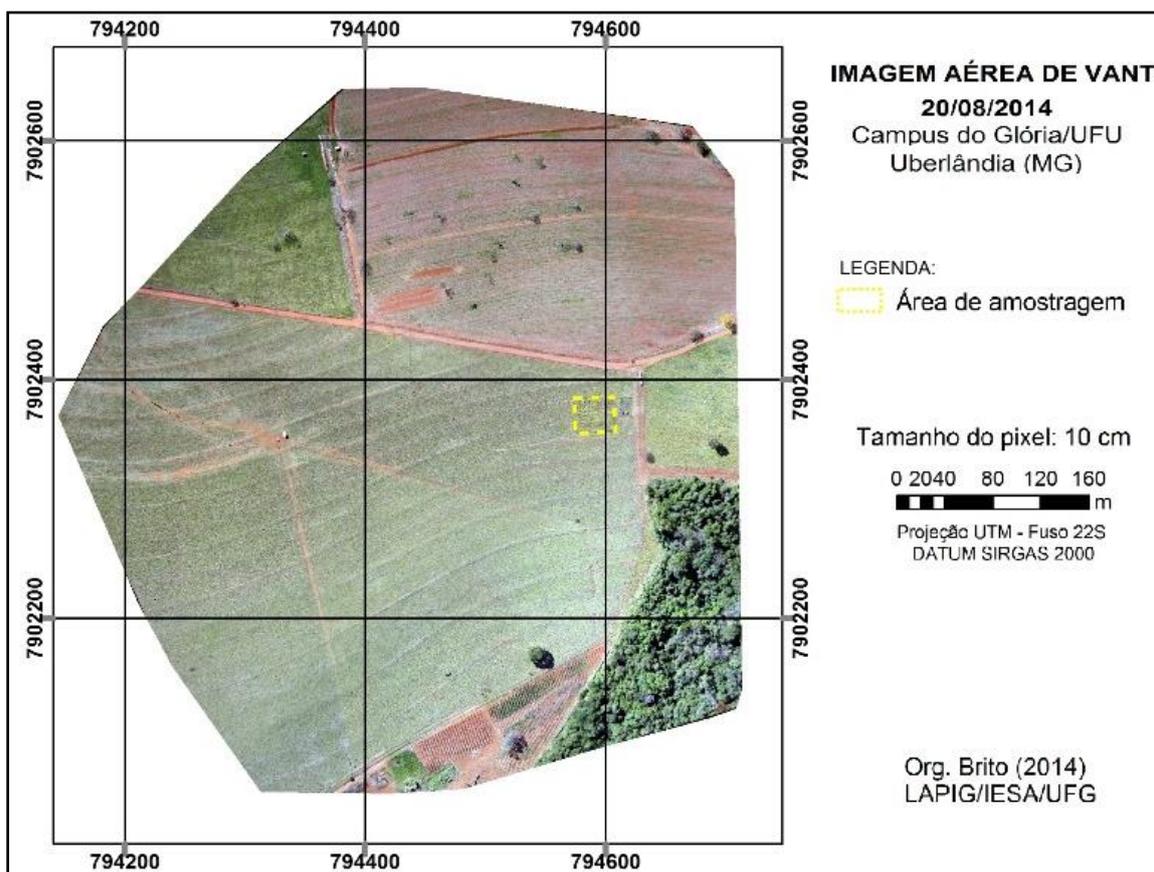


Figura 5 - Imagem aérea georeferenciada da Fazenda experimental do Glória, obtida com câmera digital a bordo do VANT em 20 de agosto de 2014, com resolução espacial de 10 cm.

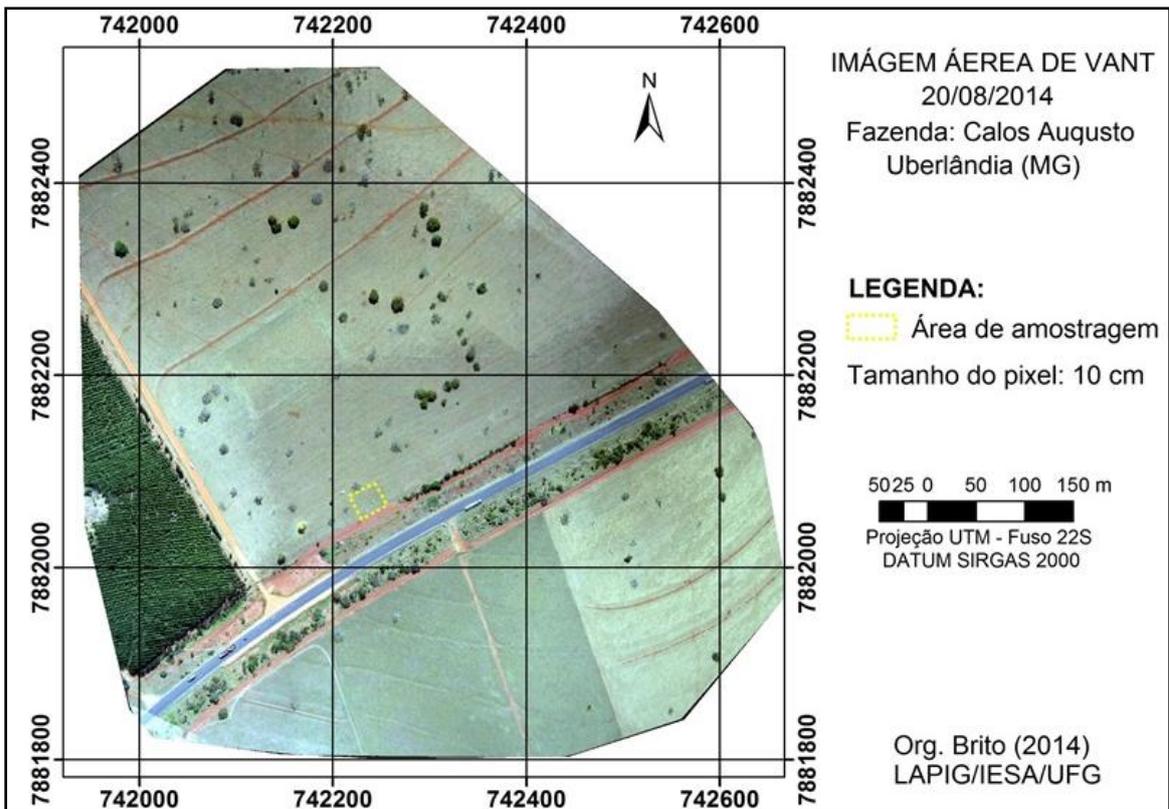


Figura 6 - Imagem aérea georeferenciada da Fazenda do Sr. Carlos Augusto, obtida com câmera digital a bordo do VANT em 20 de agosto de 2014, com resolução espacial de 10 cm.

A figura 7 mostra o recorte das áreas amostrais das imagens aéreas obtidas com o VANT em 4 épocas nas duas áreas experimentais. Para as duas áreas, a pastagem apresentou maior vigor vegetativo no mês de abril, com a porcentagem de cobertura verde de 74,2% para a área experimental do campus Glória e 60,4% para a área experimental da Fazenda do Sr. Carlos Augusto (Tabela 2). É interessante observar que há um padrão de comportamento da vegetação nestas imagens, contudo uma alteração climática, conhecida como veranico, ocorrida no final do mês de Janeiro e início de Fevereiro causou nestas gramíneas uma rápida perda de umidade e por conseguinte estas se mostraram mais secas, o que não era esperado para tal data.

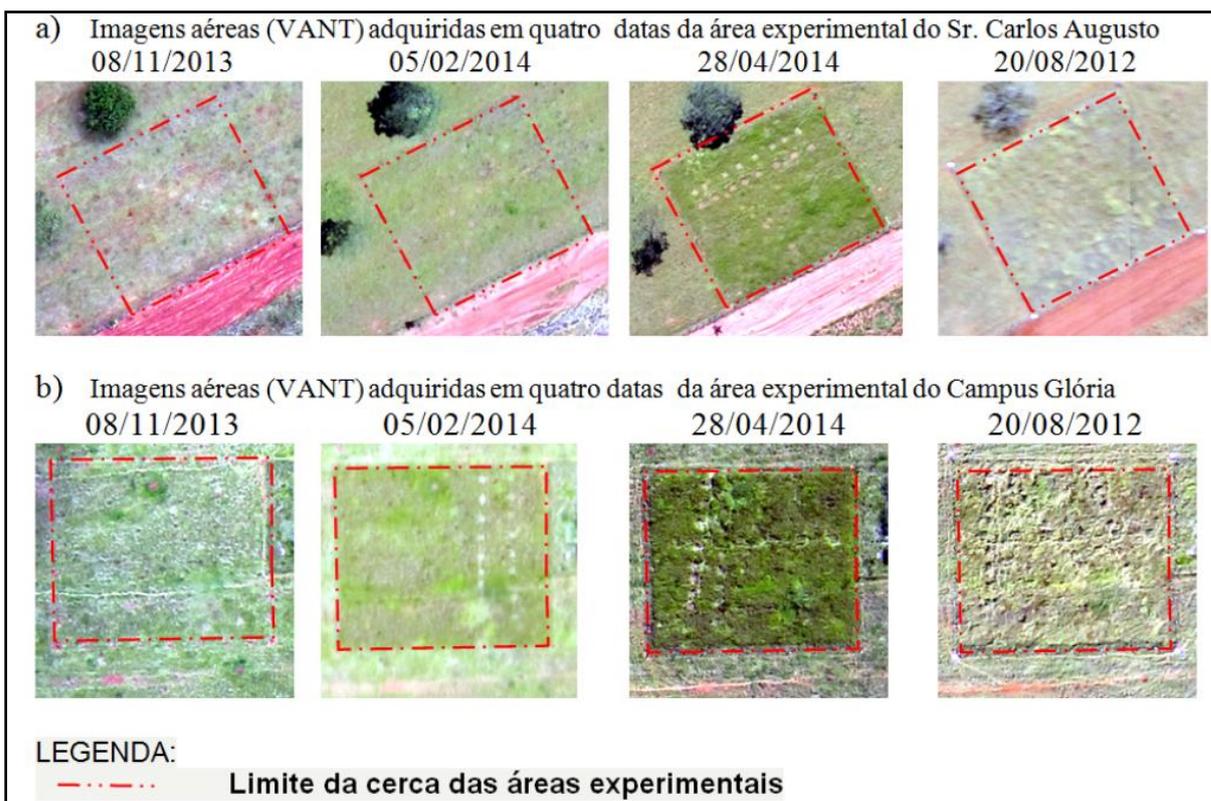


Figura 7 – Recorte das imagens aéreas obtidas com câmera digital a bordo do VANT, adquiridas em 08/11/2013, 05/02/2014 e 28/04/2014 e 20/08/2014 nas duas áreas experimentais localizadas do município de Uberlândia: a) Fazenda Do Sr. Carlos Augusto (25 x 24m); b) Fazenda do Campus Glória (30m x 24 m).

Tabela 2 - Valores médios de porcentagem de cobertura verde das áreas amostrais e os valores de MPRI para as quatro datas, nas duas áreas experimentais.

Área Experimental		Campus Glória				Fazenda Carlos Augusto			
		11/2013	02/2014	04/2014	08/2014	11/2013	02/2014	04/2014	08/2014
Mês/ ano		37,42	52,9	74,2	33,47	21,5	42,5	60,4	16,36
% de Cobertura Verde		37,42	52,9	74,2	33,47	21,5	42,5	60,4	16,36
Número digital da imagem	Vermelho	156,17	144,63	112,48	160,64	156,79	156,16	130,866	146,63
	Verde	160,08	142,58	123,73	150,81	148,42	148,27	130,345	126,95
	Azul	103,91	78,23	60,03	101,71	110,34	110,28	72,697	97,68
MPRI		0,012	-0,007	0,048	-0,032	-0,027	-0,026	-0,002	-0,072

A figura 8 mostra o gráfico de dispersão dos dados e a equação de regressão linear com o coeficiente de determinação.

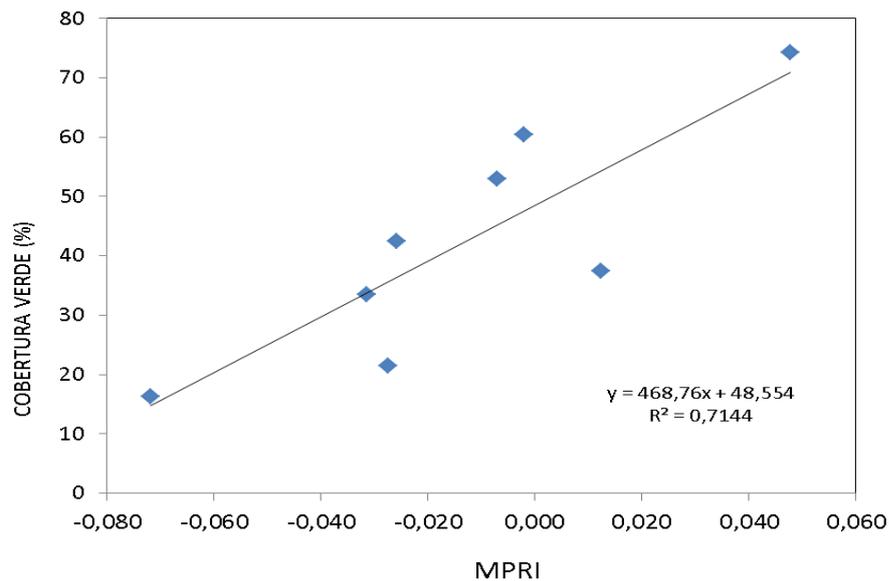


Figura 8 – Valores de correlação entre o MPRI e a porcentagem de cobertura verde da áreas amostrais de pastagem do Campus Glória e Glória e da Fazenda do Sr. Carlos Augusto.

O coeficiente de correlação entre a porcentagem de cobertura verde e o MPRI, para as 4 datas (Tabela 2) foi de 0,85, indicando uma forte correlação positiva entre imagens digitais de campo e imagens áreas obtidas com o VANT.

4. Conclusões

O método de classificação das imagens verticais pode ser utilizado para estimar a porcentagem de cobertura verde do solo. A alta correlação entre valores de porcentagem de cobertura verde e MPRI indicam o alto potencial do uso de imagens aéreas para estimativa da cobertura verde de pastagens. Espera-se que futuramente sejam obtidas imagens aéreas da região no intervalo infravermelho próximo, as quais deverão apresentar resultados ainda melhores, os quais poderão ser escalonados para o nível orbital.

Agradecimentos:

Agradecemos ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás por ter cedido o VANT para a obtenção das imagens aéreas. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto Sócioambientais da Universidade Federal de Goiás (IESA/UFG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa do Programa Nacional de Pós- doutorado (PNPD). Suporte financeiro para esta pesquisa também foi obtido junto à Superintendências de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE).

Citações e Referências

Cogo, N. P.; Levien, R.; Schwarz, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

Ippoliti, G. **Uso de geoprocessamento para análise da distribuição de unidades biofísicas da microbacia do córrego Ipiúna (MG)**. 2002. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, M.G, 2002

Linhares, M.A.; Rocha, N.C.C.; Amaral, B.A.S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 16., 2013, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 8254-8260. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1190.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

Meirelles, N.M.F. Degradação de pastagens: critérios de avaliação. In: Paulino, V.T.; Alcântara, P.B.; Beisman, D.A.; Alcântara, V.B.G. (eds.).In: **Encontro sobre recuperação de pastagens**, 1, Nova Odessa, 1993. *Anais...*Noca Odessa: IZ, 1993. p. 27-48.

Yang, Z.; Willis, P.; Mueller, R. **Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy**. In: Pecora – The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. Proceedings... Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em:<<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>> . Acesso em: 15 nov. 2012.

Apêndice 4

MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PORTAL PASTAGEM.ORG

1 - Introdução

O portal de pastagem (pastagem.org) tem como objetivos principais a divulgação de dados geográficos vetoriais e *raster*, e documentais, gerados no âmbito do projeto “Radiografia das Pastagens do Brasil”, bem como dados de outras fontes referentes ao tema pastagem. O portal foi elaborado no intuito de se firmar como uma importante e consolidada base para pesquisa de dados e informações sobre o tema pastagem / pecuária e agronegócio em geral.

O portal foi estruturado buscando facilitar o acesso, por parte do usuário, aos módulos Mapa Interativo e Bases Documentais (cuja instruções de acesso estão neste documento) da plataforma de pesquisa do portal. Este portal está disponível para acesso desde setembro de 2014.

A plataforma Bases Documentais é responsável por disponibilizar dados textuais, tais como, apresentações, publicações e outros documentos referentes ao tema pastagem. O Mapa Interativo foi desenvolvido, a partir de um conjunto de *softwares* livres (*Open Source*), para disponibilizar dados geográficos.

Este manual traz uma visão geral da página pastagem.org e de seus dois módulos da plataforma de pesquisa, Mapa Interativo e Bases Documentais, abordando os principais pontos de suas estruturas e conteúdo.

2 - Explorando o Conteúdo do Portal

2.1 - Acesso

O portal pastagem está disponível na internet através do seguinte endereço:
<http://pastagem.org>

2.2 - Página Inicial

A página inicial é estruturada em duas colunas: à esquerda temos os ícones Apresentação, Equipe, Mapa Interativo e Bases Documentais sendo que, cada ícone leva ao acesso direto aos dados (exceto Mapa Interativo, que primeiramente traz uma página com sua descrição e *link* de acesso); à direita temos as notícias relacionadas ao conteúdo de pastagem divulgadas no portal (Figura 1).



Figura 1: Interface da página inicial do portal pastagem.org.

2.3 - Apresentação

Traz uma breve descrição da situação da pastagem no Brasil, bem como informações sobre o projeto Radiografia das Pastagens no Brasil (Figura 2).



Figura 2: Conteúdo do ícone Apresentação.

Ao acessar um dos ícones, a página aberta traz um *menu*, onde é possível acessar qualquer um dos outros ícones disponíveis no portal (Figura 3).



Figura 3: Barra de menus do portal pastagem.org.

2.4 - Mapa Interativo

Todas as bases cartográficas e imagens de satélite utilizadas no âmbito do projeto "Radiografia das Pastagens no Brasil" podem ser facilmente visualizadas, consultadas e recuperadas (download) através do "Mapa Interativo".

Os dados *raster* compreendem imagens de qualidade, índices de vegetação e imagens de evapotranspiração e precipitação. Estas imagens compreendem séries temporais, com frequência quinzenal ou mensal, para o período de 2000 a 2013. Quanto aos dados cartográficos (formato vetorial / "*shapefiles*") estes compreendem, além de bases diversas (ex. limites estaduais; focos de calor sobre áreas de pastagens), a rede de pontos PAVAN (*Pasture Validation Network*), bases relacionadas à governança e infraestrutura (ex. investimentos Plano ABC) e bases de dados da socioeconomia (ex. rebanho bovino em 2012).

2.5 - Bases Documentais

Todo conteúdo de publicações, apresentação e outros documentos referentes ao projeto "Radiografia das Pastagens no Brasil", produzidos pelos integrantes do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), estão disponibilizados na plataforma "Bases Documentais"¹¹.

Os documentos são organizados em uma hierarquia de categorias na qual os usuários podem navegar e acessar facilmente todo o conteúdo disponibilizado. Cada documento possui um conjunto de metadados com campos específicos, como por exemplo, ano, autoria, *abstract* e fonte. Esses campos podem variar de acordo com a categoria do documento. A plataforma dispõe de uma ferramenta de busca capaz de pesquisar por uma ou mais palavras chaves desses metadados.

Entre os principais documentos disponibilizados estão os "Relatórios", divulgados periodicamente e que apresentam o desenvolvimento das etapas do projeto

¹¹ As "Bases Documentais" também incluem artigos técnicos e científicos (de interesse à atividade pecuária) publicados por outros autores (externos ao LAPIG e ao projeto Radiografia das Pastagens do Brasil).

“Radiografia das Pastagens no Brasil”. Nesta plataforma também é disponibilizado publicações de outras fontes referentes ao tema “Pastagens”, com os devidos créditos.

3 - Mapa Interativo: Interface, ferramentas de acesso e *download* de dados

Para acessar o Mapa Interativo, basta clicar no ícone correspondente na página inicial do portal pastagem.org ou na barra de *menus* disponível quando se está em qualquer outra área do portal. Abrirá a página inicial da plataforma, com uma breve descrição sobre o conteúdo da mesma além do ícone de acesso ao mapa (Figura 4).



Figura 4: Página inicial do Mapa Interativo com ícone de acesso.

Ao clicar no ícone de acesso, o usuário é direcionado para a plataforma do Mapa Interativo, cuja interface inicial é demonstrada na figura 5. Por padrão, a plataforma é carregada inicialmente tendo como Mapa Base o *Google Satellite* e habilitadas as camadas Arco do Desmatamento, Limites Estaduais do Brasil e área ocupada por pastagens nos municípios brasileiros.



Figura 5: Interface inicial do Mapa Interativo.

A tela inicial do Mapa Interativo está subdividida em “Camadas”, no lado esquerdo da página, e “Mapa”, no lado direito. A primeira, onde é possível visualizar as camadas (arquivos), conta com as ferramentas para *download* e metadados. Em “Mapas” há uma barra de ferramentas para manipular e navegar no mapa interativo (Figura 6).



Figura 6: Ferramentas de Camadas e Mapa.

Segue uma descrição de cada uma das ferramentas:

- Camadas: Acessa o banco de dados (*raster* e vetorial) do Mapa Interativo, onde é possível selecionar e adicionar o arquivo desejado ao mapa (ver item 3.1);



- *Download*: Ferramenta para download das camadas habilitadas no Mapa Interativo. Ao clicar na seta, a ferramenta permite fazer o download apenas da camada selecionada ou de todas as camadas habilitadas no mapa (Figura 7).

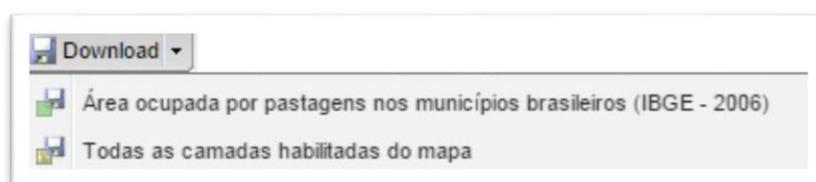
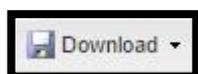


Figura 7: Opções de download do mapa interativo.

Mais detalhes sobre como fazer *download*, ver item 3.1.

- Metadados: Demonstra os metadados de uma camada selecionada, quando disponíveis (Figura 8).



Metadados - ET BRASIL 2000 M01

Content Citation
Title of Content: ET_Brasil_2000_M01.tif
Type of Content: Downloadable Data
Content Publisher: Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG-UFG).
Publication Date: 31/10/2012

Content Description
Content Summary: Imagens de evapotranspiração total (mm), com resolução espacial de 1 km, disponível para o Brasil, mensalmente, no período de 2000 a 2011.

Time Period of Content
Date: 2000

Content Status
Progress: Complete
Update Frequency: As needed

Spatial Domain
West Coordinate: -73.995415
East Coordinate: -32.394500
North Coordinate: 5.272231
South Coordinate: -33.749116
Coverage Area: Brasil

Content Keywords
Theme Keywords: Produto, MODIS, 16A2, Evapotranspiração, mm
Place Keywords: Brasil

Spatial Data Information
Data Type: remote-sensing image
Data Format: Raster Dataset
Data Projection: Geographic
Data Scale: 1:100.000

Access and Usage Information
Use Constraints: Toda informação obtida através do portal de dados do LAPIG, caso venha a ser utilizada pelo usuário em pesquisas, textos de divulgação acadêmica e/ou jornalística, em apresentações em geral ou outras formas de divulgação, deverá ter sua fonte divulgada, respeitando-se todos os direitos autorais.

Figura 8: Exemplo de um metadado para uma camada selecionada no mapa.

Importante ressaltar que essas duas últimas ferramentas da área "Camadas" (*Download* e *Metadados*) só são atividades se houver pelo menos uma camada adicionada ao mapa e a mesma estiver selecionada (para tal, basta clicar em cima do nome da camada habilitada a esquerda do mapa, conforme figura 9).

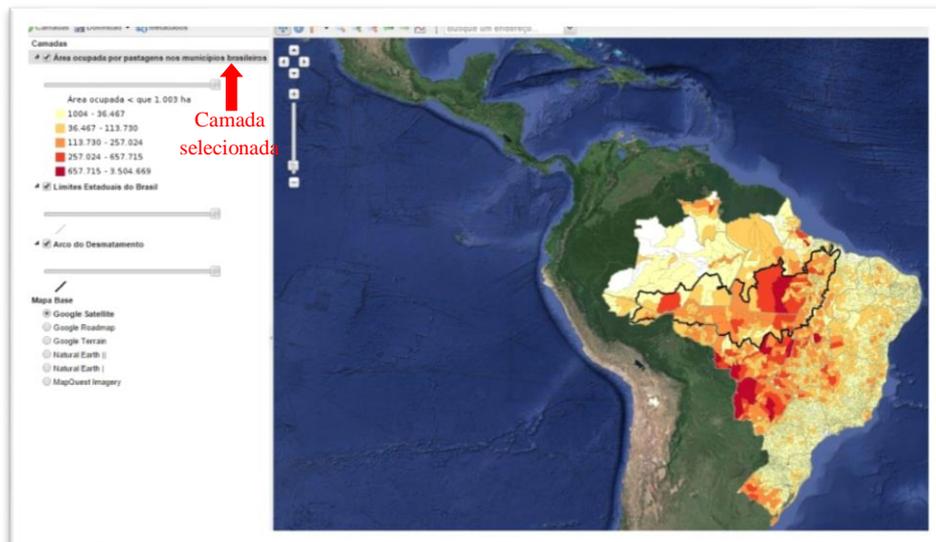


Figura 9: Exemplo de uma camada selecionada.

- Ferramenta Pan-Map: utilizada para movimentação, deslocamento pelo mapa interativo permitindo posicioná-lo na página conforme desejado.



- Informações das Feições: permite obter informações sobre as camadas adicionadas no mapa interativo.



Ao clicar nesta tecla, aparece uma janela com informações básicas referentes à área clicada (Figura 10).



Figura 10: Janela com informações de uma camada ativa no mapa interativo.

- *Measure*: ferramenta de medida do Mapa Interativo. Permite medir a distância (opção “*Length*”) e a área.



Para medir distâncias, basta selecionar a ferramenta na barra de ferramentas (*Length*) e clicar de um ponto a outro onde se deseja medir a distância (Figura 11). Para medir a área, basta ligar os pontos da área desejada, desenhando um polígono (Figura 12). Enquanto faz a medição, uma janela informa o valor da área em km² e em m² (para área) e em km e mi (para distância).

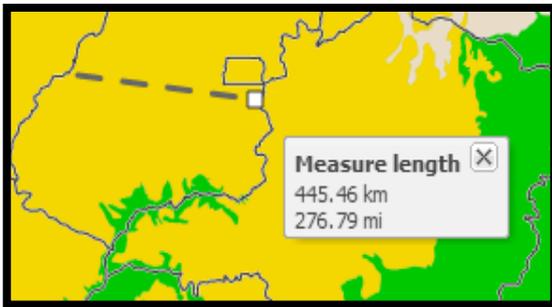


Figura 11: Medindo distâncias.

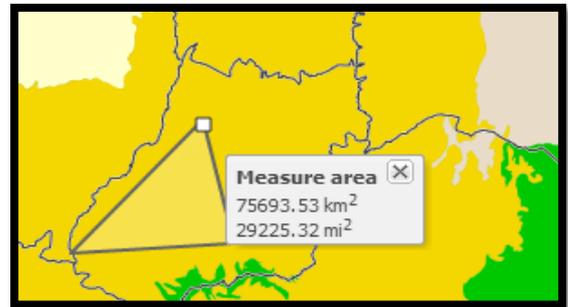


Figura 12: Medindo área.

Para encerrar, dê um duplo clique no ponto final e desabilite a ferramenta clicando nela novamente.

- *Zoom by dragging a box*: esta ferramenta permite que o usuário possa executar um zoom (aumentar o detalhe do mapa) em uma determinada área específica, desenhando um retângulo na área correspondente a que se deseja ampliar.



- *Zoom in*: Aumenta o *zoom* em uma área desejada no mapa.



- *Zoom out*: Diminui o *zoom* em uma área desejada no mapa.



- *Zoom To Previous Extent*: Retorna uma imagem, anteriormente manipulada em *zoom*.



- *Zoom To Next Extent*: Avança uma imagem, anteriormente manipulada em *zoom*.



- Análise de Séries Temporais, ativa a ferramenta correspondente.



Também é possível ativar essa ferramenta clicando em "Análise de Séries Temporais" no rodapé do mapa interativo.

Esta ferramenta permite analisar séries temporais satelitárias (índices de vegetação, precipitação, evapotranspiração, entre outros), para um ponto geográfico de interesse e períodos específicos. Ela demonstra, por meio gráfico, os valores de cada *pixel* selecionado, conforme as características do parâmetro escolhido. O gráfico pode ser gerado nos formatos linha ou barra (Figura 13).



Figura 13: Opções para geração do gráfico.

Com a ferramenta ativada, é possível escolher um ou dois parâmetros para visualização/comparação (Figura 14).

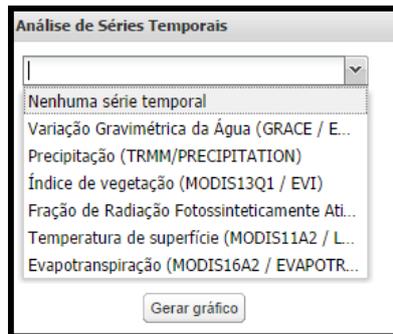


Figura 14: Parâmetros disponíveis em série temporal.

Em "Coordenadas Geográficas" pode-se inserir as coordenadas da região desejada ou clicar em "Tipo" e depois em alguma região no mapa interativo. O gráfico gerado será correspondente a região geográfica definida.

Na figura 15 temos um gráfico representando dados de precipitação (em milímetro) para o período 2012 - 2013, analisado para um ponto PAVAN (*Pasture Validation Network*) uma rede de propriedades espalhadas pelo Brasil, organizada no âmbito do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, com informações diversas, como área, características de manejo, etc.), na região oeste de Minas Gerais.

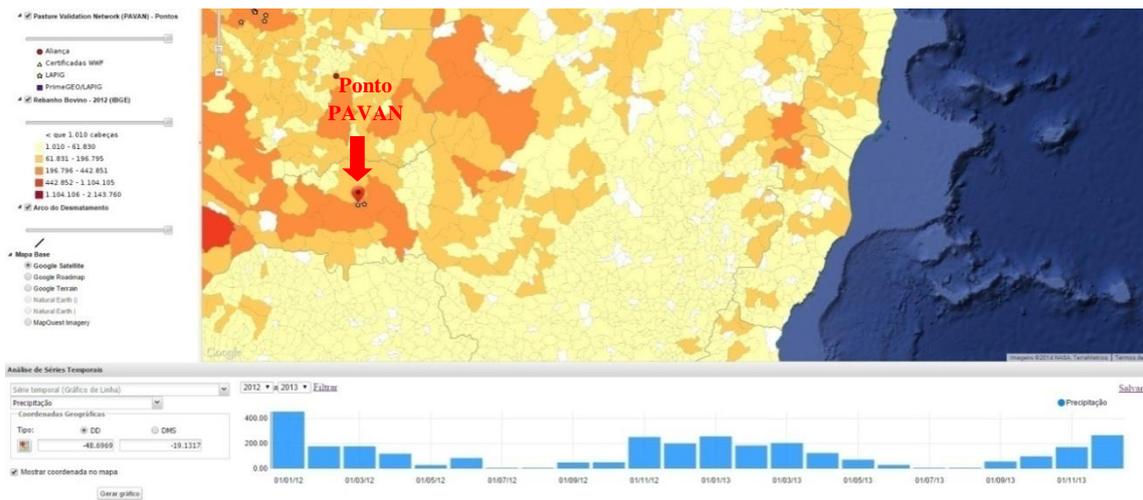


Figura 15: Exemplo de uso da ferramenta Análise de Séries Temporais do portal pastagem.org.

O período definido pode ser modificado conforme a disponibilização de cada série, e o gráfico gerado pode ser salvo no formato .csv (arquivo de valores separados por vírgulas, comum à várias planilhas eletrônicas), importando as coordenadas do ponto definido e os valores de *pixel* do dado analisado para essa região. Também é

possível visualizar duas séries temporais simultaneamente, comparando diferentes parâmetros (ex. precipitação e evapotranspiração).

- Adicionar coordenadas: abre uma janela onde é possível adicionar coordenadas geográficas ou selecionar qualquer ponto no mapa interativo e obter as coordenadas do mesmo.



Para inserir uma coordenada, digite as informações de longitude e latitude nos campos correspondentes, escreva um nome ou descrição na área específica e clique no botão a direita do campo (Figura 16). As coordenadas informadas são adicionadas e aparecem logo abaixo na ferramenta.



Figura 16: Exemplo de coordenada inserida na ferramenta.

É possível remover as coordenadas inseridas clicando em Remover coordenada, botão vermelho a direita da descrição da coordenada adicionada.

Para importar coordenadas de um ponto específico, basta clicar no botão Tipo e depois no ponto desejado dentro do mapa, as coordenadas do ponto escolhido aparecerão nos campos Longitude Latitude (Figura 17).

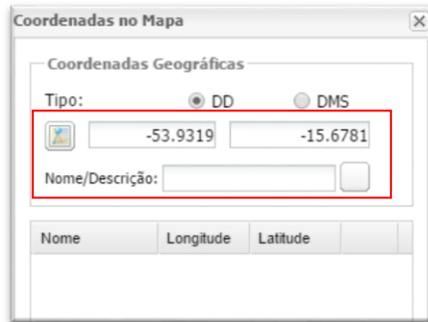


Figura 17: Exemplo de uma coordenada carregada de um ponto qualquer do mapa interativo.

- **Buscar endereço:** Busca um endereço diretamente no diretório do *Google Maps*.



Algumas dessas ferramentas também podem ser acessadas clicando com o botão direito sobre o título da camada, no lado esquerdo da página (Figura 18).



Figura 18: Sequência de ferramentas sobre camada do Mapa Interativo.

3.1 - Adicionando camadas e fazendo download

Os conteúdos de dados geográficos do Mapa Interativo estão disponibilizados para visualização como camadas que podem ser adicionadas ao mapa para análise e download. Essas camadas estão organizados numa hierarquia conforme figura 19.

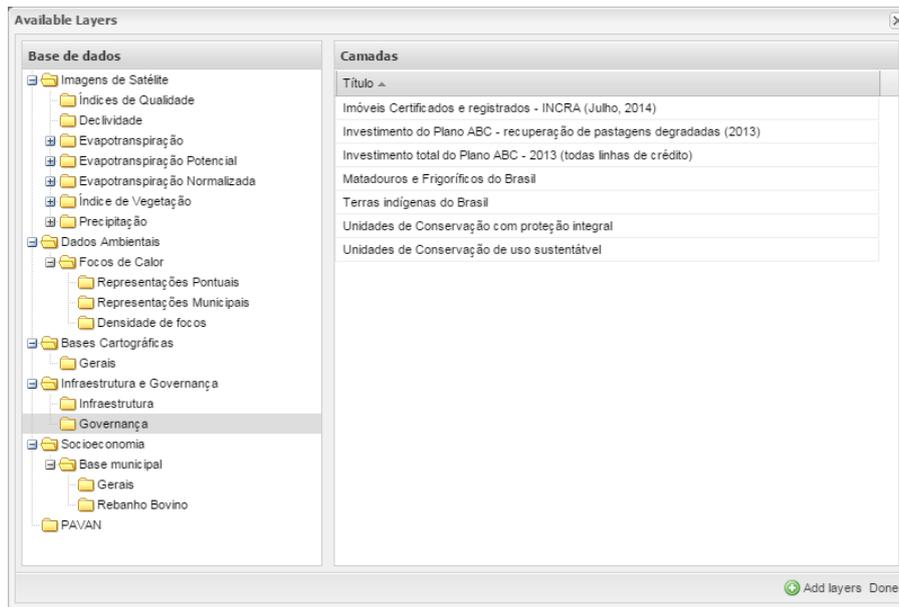


Figura 19: Hierarquia das camadas dos dados geográficos atualmente disponíveis no Mapa Interativo.

A base de dados geográficos do projeto Radiografia das Pastagens do Brasil é constituída por arquivos vetoriais e arquivos *raster*. Arquivos vetoriais são entidades matematicamente definidas, representadas por vértices e um par de coordenadas, possuindo a feição de ponto, linha ou polígonos. Por sua vez, arquivos *raster* são dados matriciais (linhas e colunas) constituídos de pontos individuais (células) chamadas de *pixel*. Cada *pixel* possui informação (valor – atributo) que pode descrever algum fenômeno na superfície terrestre.

Através do mapa interativo do portal pastagem.org é possível acessar o que está se tornando o maior banco de dados espacial sobre pecuária do Brasil. O limite espacial dos dados compreende todo o território brasileiro, abrangendo desde variáveis obtidas e estimadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto (em geral, disponíveis para o período de 2000 a 2014, com frequência mensal ou anual) como índices de vegetação e evapotranspiração, até estatísticas georreferenciadas, como é o caso de planos de informação com dados censitários (IBGE) e de outras fontes, tais como o Banco do Brasil (que disponibiliza, periodicamente, os créditos subsidiados no âmbito do Programa Agricultura de Baixo Carbono / recuperação de pastagens). O quantitativo de dados e suas características podem ser conferidas no quadro 1.

Categoria	Quantidade de Arquivos	Descrição/principais dados
Imagens de Satélite	962	Índices de qualidade das pastagens brasileiras; Evapotranspiração estimada, potencial e normalizada; Índices de vegetação (EVI 2); Precipitação (TRMM)
Dados Ambientais	48	Focos de calor, sua densidade nas áreas de pastagens e quantidade de focos por município; Declividades das pastagens para os biomas brasileiros e para o Brasil
Bases Cartográficas	7	Arco do Desmatamento da Amazônia; Capitais estaduais do Brasil; Limite da Amazônia Legal; Limites Estaduais do Brasil; Terrenos Sujeitos a Inundação (IBGE) e Áreas ocupadas por pastagens no Brasil (PROBIO)
Infraestrutura e Governança	13	Aeroportos Internacionais do Brasil; Malha viária; Investimentos municipais do Programa ABC; Matadouros e frigoríficos; Terras indígenas; Unidades de conservação; Portos do Brasil; Usinas Hidrelétricas do Brasil e Imóveis Certificados e registrados (INCRA)
Socioeconomia	53	Rebanho bovino (1973 - 2012); número de abates de bovinos por município e área ocupada por pastagens (IBGE e PROBIO)
PAVAN (<i>Pasture Validation Network</i>)	2	Pontos coletados e polígonos das pastagens amostradas

Quadro 1: Características e quantitativo dos dados disponibilizados no mapa interativo do portal *pastagem.org*.

Para adicionar uma camada ao mapa interativo, é necessário selecionar a mesma entre as opções da base de dados. Como exemplo, selecionamos um dado de Pastagem Cultivada 2006, seguindo o caminho ilustrado na figura 20.

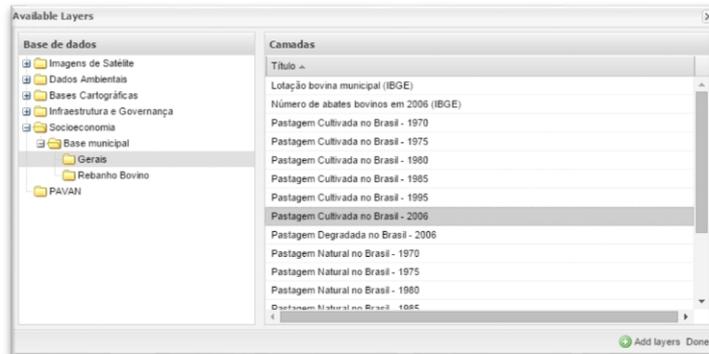


Figura 20: Estruturação das pastas e arquivos para o arquivo “Pastagem Cultivada no Brasil - 2006”.

Para adicionar a camada, basta dar um duplo clique sobre o título da camada, ou clicar em “Add layers” (Figura 21).

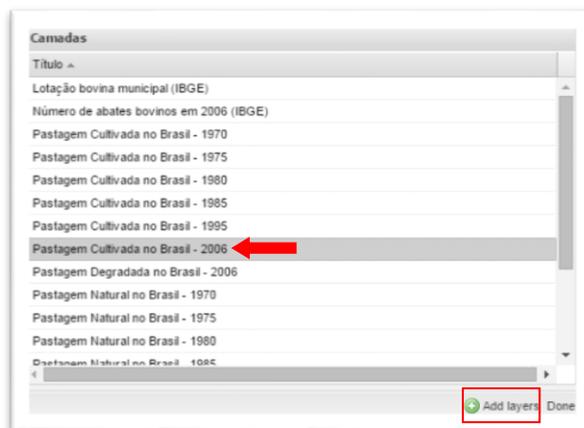


Figura 21: Arquivo escolhido na janela “Camadas” do Mapa Interativo.

Para sair basta clicar em “Done” (ao lado de “Add layers”) ou fechar a janela. A camada selecionada estará adicionada ao mapa com a respectiva legenda a esquerda da página e na escala correspondente ao dado (Figura 22).

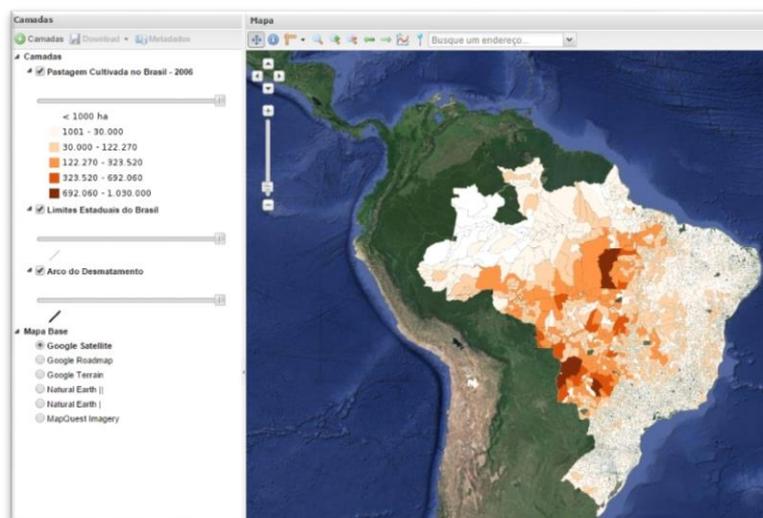


Figura 22: Dado de Pastagem Cultivada (camada) adicionado ao Mapa Interativo.

Para fazer o *download* da camada, primeiro é necessário selecionar a camada clicando sobre o título da mesma no lado esquerdo da página (legenda). Ao clicar no título, a tecla “*Download*” ativa-se, permitindo baixar o arquivo. Outra opção é clicar com o botão direito sobre o título da camada e escolher, dentre as opções que aparecem, a opção *Download*.

Independente da opção escolhida aparecerá uma janela com o Termo de Disponibilização dos Dados do LAPIG (Figura 23), que descreve normas e orientações a respeito dos dados disponibilizados pelo LAPIG. Após ler o termo, basta marcar a opção “Aceito as condições acima” que a tecla “*Download*” logo abaixo se ativa, permitindo prosseguir com o processo.

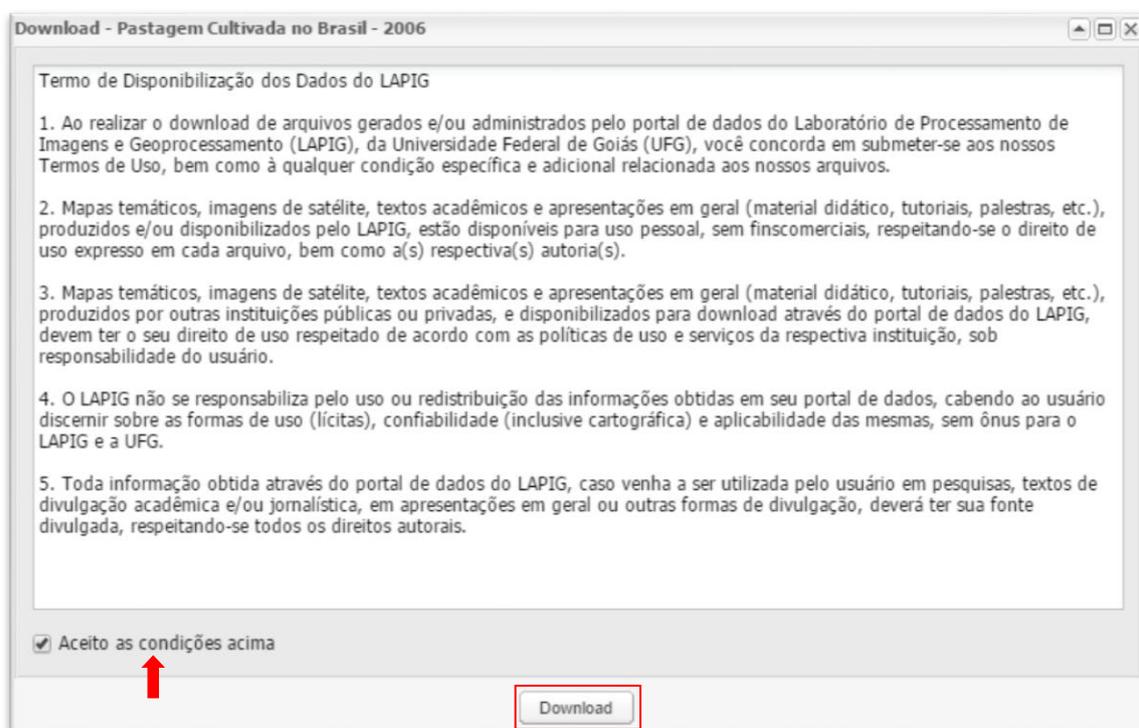


Figura 23: Termo de Disponibilização dos Dados do LAPIG.

O Termo de Disponibilização é o mesmo utilizado no portal LAPIG, considerando que o portal *pastagem.org* está integrado ao acervo de dados do laboratório.

Ao clicar em *Download*, aparecerá a seguinte mensagem:

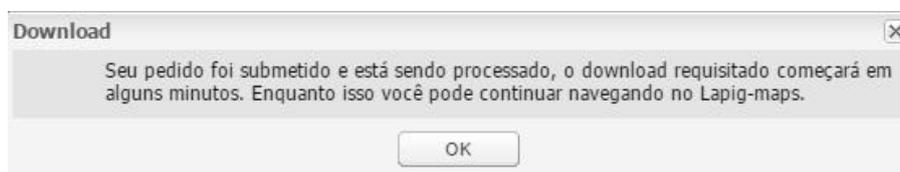


Figura 24: Mensagem de submissão do pedido de download.

Clicar em OK que o download prosseguirá automaticamente (Figura 24). O arquivo baixado é constituído de uma pasta, com uma série de arquivos, entre eles o arquivo de imagem para ser aberto e manipulado em ambiente SIG, um “Leia-me”, com informações inerentes a constituição do dado, entre outras informações textuais sobre o dado e sua utilização.

4 - Acessando a Base de Dados Documentais: ferramentas de acesso, categorias

O primeiro acesso a plataforma se dá pela tela inicial onde é demonstrada as categorias de publicações disponibilizadas, suas subcategorias e a quantidade de arquivos correspondente a cada uma (Figura 25).

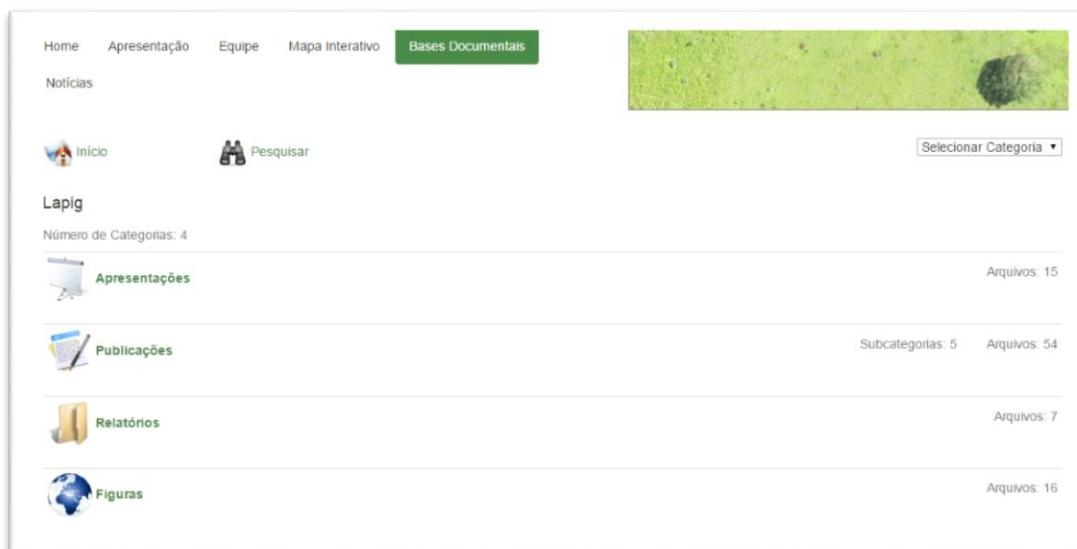


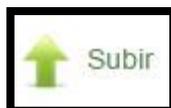
Figura 25: Tela inicial da plataforma Bases Documentais, categorias de publicações

Para facilitar o acesso, existem ferramentas específicas, cuja descrição segue:

- Tecla “Início”: Permite voltar à tela inicial de Bases Documentais, a partir de qualquer ponto.



- Tecla “Subir”: Ao acessar alguma categoria do Lapig-Database, esta tecla permite voltar à página anterior.



- Tecla “Voltar”: Mesma função da tecla “Subir”, retornando à página anterior.



- Tecla “Pesquisar”: Possibilita pesquisar, através de palavras-chaves, no título ou na descrição, por determinados arquivos.



Clicando na tecla “Pesquisar”, aparece uma página com uma breve orientação sobre a forma de realizar a pesquisa, opções de pesquisa (por título ou descrição) e o campo onde é inserida a palavra-chave (Figura 26).

A imagem mostra a interface de pesquisa de uma plataforma. No topo, há links para "Início" e "Pesquisar" (com ícone de binóculos), e um menu "Selecionar Categoria". O título da seção é "Pesquisar". Abaixo, há um texto orientando o usuário: "Por favor, procure separar os termos da pesquisa com espaços em branco e não use pontuação. Ele é procurado por cada palavra-chave de busca. O topo da lista de resultados aparece os downloads com a maioria hits." Segue um campo de entrada de texto com um botão "Pesquisar" ao lado. Abaixo do campo, há uma seção "Categoria:" com um menu suspenso. Mais abaixo, há duas opções de pesquisa com caixas de seleção: "Pesquisar no Título" (selecionada) e "Pesquisar na Descrição" (selecionada). No canto inferior esquerdo, há um link "Voltar".

Figura 26: Tela de pesquisa da plataforma Bases Documentais.

Para realizar a pesquisa, basta digitar uma palavra-chave e clicar em Pesquisar. É possível selecionar a categoria para a pesquisa, bastando selecionar a mesma logo abaixo do campo da palavra-chave. O sistema mostrará todos os arquivos relacionados à palavra-chave inserida, abrangendo todas as categorias (ou apenas a selecionada), por ordem alfabética. Nessa busca inicial aparecem informações básicas do arquivo (diferentes de acordo com a categoria) além de mencionar caso o arquivo em questão esteja apenas citado (Figura 27).

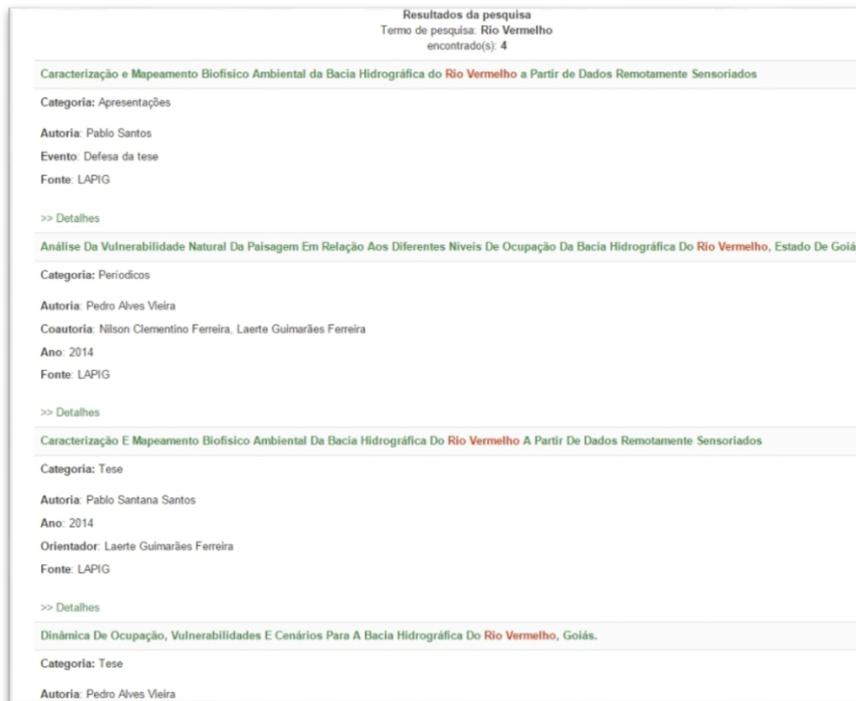


Figura 27: Tela com o resultado da pesquisa e seus respectivos arquivos listados.

- Tecla “Selecionar Categoria”: Outra forma de pesquisa de Bases Documentais, que permite pesquisar por categoria e subcategoria (Figura 28).

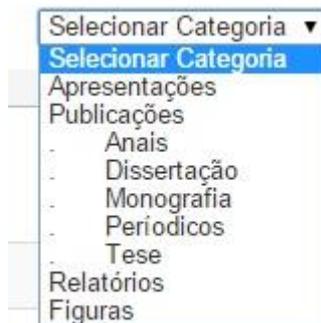


Figura 28: Opções de pesquisa em “Selecionar Categoria”.

Diferente da opção "Categoria" dentro de "Pesquisar", aqui o sistema mostrará todo o conteúdo relacionado a categoria escolhida.

O conteúdo de Bases Documentais está dividido em categorias conforme descrição a seguir:

- Publicações: Contém as publicações acadêmicas relacionadas ao tema pastagem e afins, produzidas pelos colaboradores do LAPIG e por outras fontes, com as devidas citações. As publicações estão divididas nas subcategorias Anais, Dissertação, Monografia, Periódicos e Teses (Figura 29).

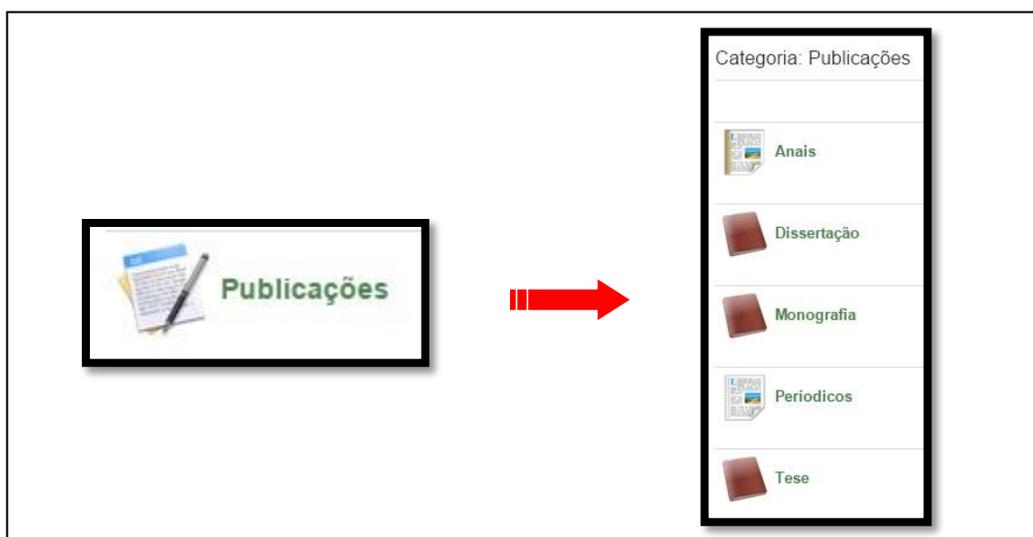


Figura 29: Subcategorias de “Publicações”.

Ao clicar em cada uma das subcategorias, aparecem todos os arquivos relacionados à subcategoria selecionada, listados por ordem de inserção (Figura 30).

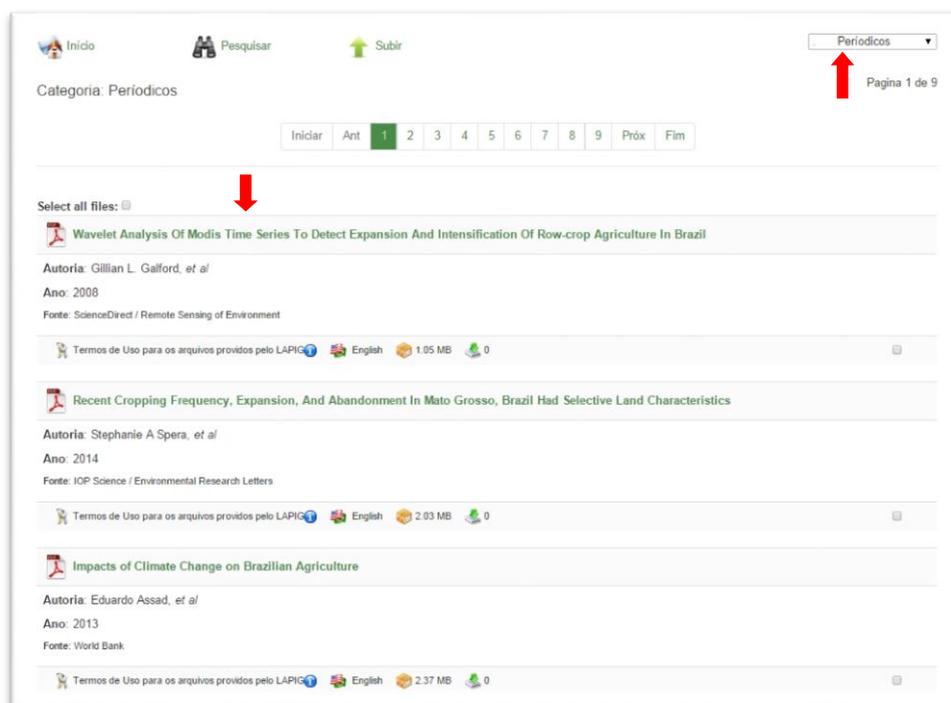


Figura 30: Conteúdo da subcategoria “Periódicos”, com as publicações referentes listadas.

- **Apresentações:** Contêm os arquivos de apresentações realizadas pelos colaboradores do LAPIG e de outras instituições, dentro do tema do projeto, para demonstração em eventos, aulas, cursos, etc.



- Figuras: Contém figuras relacionadas ao tema pastagem, disponibilizadas individualmente.



- Relatórios: Contém relatórios sobre o projeto Radiografia das Pastagens do Brasil, trazendo informações sobre o mesmo e apresentando a evolução do projeto.



4.1- Selecionando arquivos e fazendo *download* em Bases Documentais

Para exemplificar o processo de selecionar um arquivo e fazer o *download* dentro de Bases Documentais, optou-se por demonstração por meio de seleção de categorias.

Inicialmente, seleciona-se a categoria/subcategoria (Figura 31).

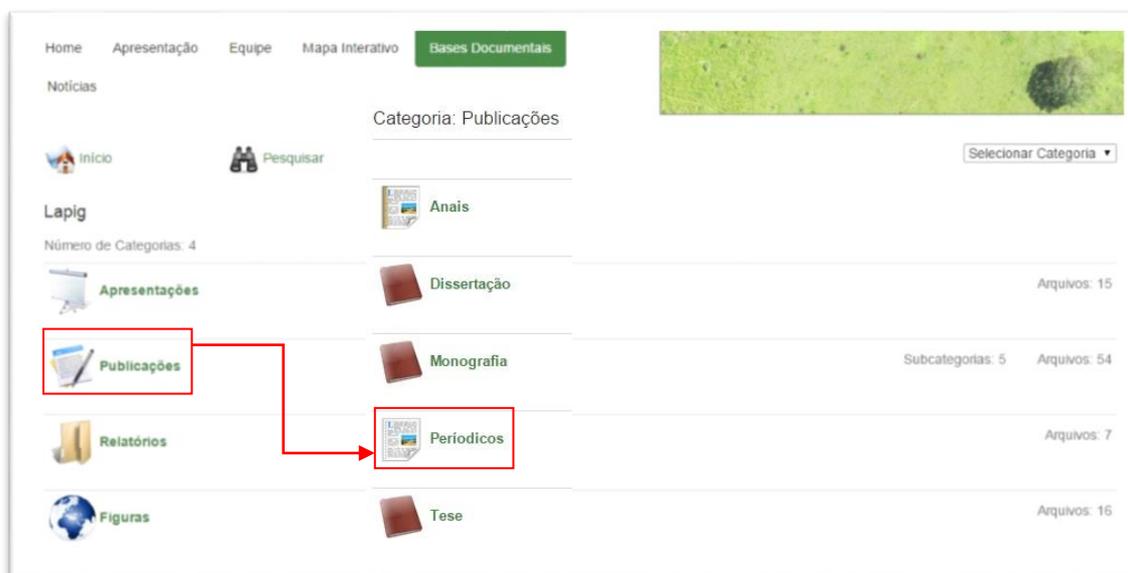


Figura 31: Forma de visualização dos arquivos pela seleção da categoria e subcategoria.

Após, são listados os arquivos relacionados à categoria escolhida, bastando clicar no arquivo desejado para seguir com o download (Figura 32).



Figura 32: Arquivo selecionado da subcategoria “Periódicos”, para *download*.

Após clicar no arquivo selecionado, aparecerá uma janela com informações básicas iniciais sobre o arquivo, que variam de acordo com a categoria, além da tecla “Download” (Figura 33).



Figura 33: Página inicial de um arquivo selecionado na subcategoria “Periódicos”.

Ao clicar em “*Download*”, aparecerá o “Contrato de licença”, que expõe os termos de uso para os arquivos providos pelo LAPIG e também para o portal *pastagem.org*. Para realizar o *download*, basta marcar a opção “Aceito as condições acima” e clicar em “*Download*”, logo abaixo (Figura 34).

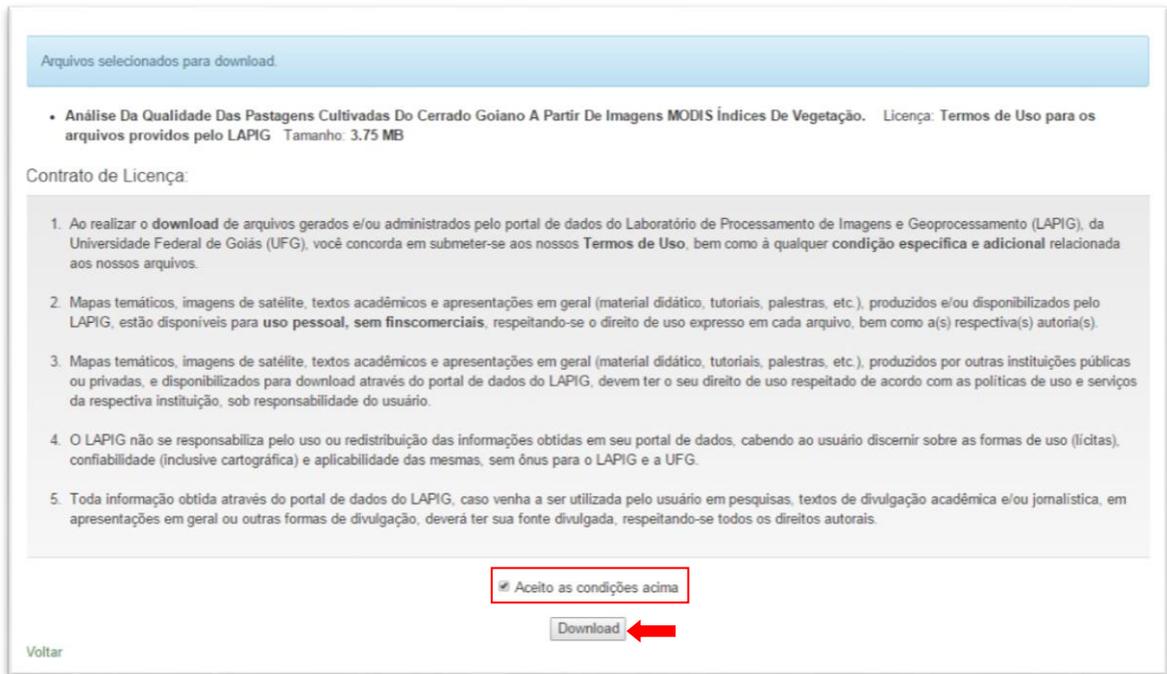


Figura 34: Contrato de Licença para download dos arquivos de Bases Documentais.

Em seguida, aparecerá o arquivo em PDF para *download*, ou o usuário será redirecionado para o portal que disponibiliza o arquivo *online*. Nos casos de arquivos apenas citados, o usuário será redirecionado para o *link* do Lattes do respectivo autor.

É importante ressaltar que esta página encontra-se em processo de contínuo aprimoramento. Assim, periodicamente, novas bases de dados, produtos e ferramentas serão disponibilidades.

5 - Referências

Portal pastagem.org. Disponível em < <http://pastagem.org/> >. Acesso em: 10 nov. 2014.

Portal LAPIG. Disponível em < <http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/> >. Acesso em: 10 nov. 2014.

Manual de utilização do Lapig-Maps. Disponível em < http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/manual/manual_de_utilizacao_do_lapig-maps.pdf >. Acesso em: 11 nov. 2014.

Manual de utilização do Lapig-Database. Disponível em < http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/manual/manual_de_utilizacao_do_lapig-database.pdf > Acesso em: 11 nov. 2014.

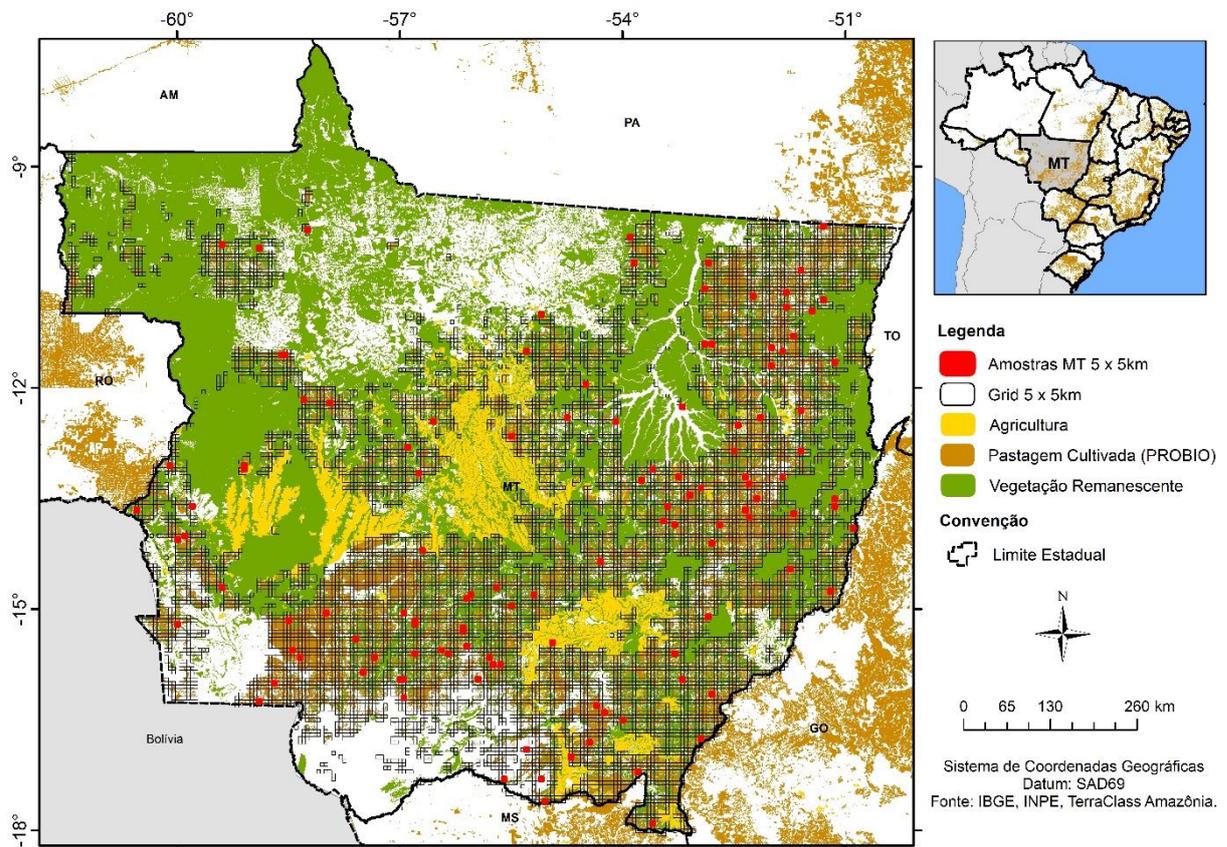
Manual de utilização da Página Web do LAPIG. Disponível em < http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/manual/manual_de_utilizacao_da_pagina_web_do_lapig.pdf >. Acesso em: 11 nov. 2014.

Apêndice 5

Relatório de geração de amostras (classes de uso da terra) para o Estado do Mato Grosso (MT).

1. Materiais e Metodologia

Com o objetivo de elaborar o mapeamento das áreas de pastagens cultivadas para o estado do Mato Grosso (MT), ano de 2014, foi estabelecido para o primeiro estágio a obtenção de amostras representativas de áreas de pastagem (e outras classes de uso da terra) sobre pontos aleatórios do estado, as quais auxiliaram na classificação supervisionada. A área amostral é de 5x5km. Os grids 5x5km foram gerados sobre a área de pastagem do PROBIO Cerrado (base Landsat – 2002) (MMA, 2014) e selecionados aleatoriamente (Figura 1).



A metodologia para a classificação das classes de uso da terra e vegetação remanescente para as 125 amostras sobre o Estado do Mato Grosso (MT) apresenta duas partes, sendo a primeira referente a aquisição das imagens Landsat 8 para o ano de 2014, conversão para refletância aparente com correção do ângulo solar e segmentação,

enquanto, a segunda parte temos a interpretação visual e classificação manual dos diferentes alvos que compõe a paisagem a partir das seguintes classes: água, agricultura, áreas urbanas, mineração, outros, pastagem, reflorestamento, vegetação mista e vegetação remanescente.

1.1. Aquisição imagens Landsat 8 OLI

As imagens do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), foram adquiridas no sítio web plataforma *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS). O período de aquisição foi o seco (maio a outubro), com prioridade para os meses de julho a setembro de 2014, período no Cerrado e zonas de transição entre biomas (Cerrado-Amazônia e Cerrado-Pantanal) com baixa formação de nuvens. Na tabela 1 temos a síntese das imagens Landsat 8 adquiridas e utilizadas para a classificação das 125 amostras. Ao todo foram utilizadas 35 imagens.

Tabela 1 – Imagens Landsat 8 (órbita/ponto) 2014 utilizadas para a classificação do uso da terra e cobertura vegetal remanescente referente as amostras (5x5km) localizadas no Estado do Mato Grosso (MT).

Landsat 8 Sensor	Órbita/ponto	Data (Juliano)	Qtde. imagens
OLI	223/69	179	1
	223/70	179	1
	224/67	234	1
	224/68	186	1
	224/69	141/186	2
	224/70	186/234	2
	224/71	234	1
	224/72	218	1
	225/67	225	1
	225/68	225	1
	225/69	145/225	2
	225/70	241/193	2
	225/71	193	1
	225/73	193	1
	225/74	241	1
	226/69	232	1
	226/70	232	1
	226/71	232/248	1
226/72	248	1	

	227/69	255	1
	227/70	223	1
	227/71	239	1
	228/67	230	1
Landsat 8 Sensor	Orbita/ponto	Data (Juliano)	Qtde. Imagens
	228/68	182/230	2
	228/70	182	1
	228/71	262	1
OLI	229/67	221	1
	229/69	157	1
	229/70	157	1
	229/71	221	1

Cada imagem Landsat 8 utilizada tiveram os seus valores de pixels em níveis de cinza (16bits – 65.536 níveis) convertidos para valores de refletância do Topo da Atmosfera (TOA – valores entre 0 e 1) com correção do ângulo solar (LANDSAT, 2014), sendo:

$$\rho\lambda' = \mathbf{M}_p \mathbf{Q}_{cal} + \mathbf{A}_p \quad (1)$$

onde:

$\rho\lambda'$ = refletância TOA planetária, sem correção do ângulo solar;

\mathbf{M}_p = fator de redimensionamento multiplicativo da banda específica do metadado (*Reflectance_Mult_Band_x*, onde x é o número da banda);

\mathbf{Q}_{cal} = fator de redimensionamento aditivo do metadado (*Reflectance_Add_Band_x*, onde x é o número da banda);

\mathbf{A}_p = valores dos pixels quantizados e calibrados (número digital – DN).

Após essa conversão, os valores da refletância TOA são corrigidos com base no ângulo solar, sendo:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{se})} \quad (2)$$

Onde:

$\rho\lambda$ = refletância TOA planetária;

θ_{se} = ângulo de elevação solar local. Ângulo de elevação solar no centro da cena em graus (*Sun_Elevation*).

Todos os dados utilizados para a conversão dos valores de níveis de cinza em refletância aparente estão disponíveis no arquivo de metadado (MTL) de cada imagem Landsat 8 adquirida.

1.2. Segmentação dos alvos – amostras (5x5km)

O processo de segmentação foi realizado no *software* ENVI 5 utilizando a ferramenta *Feature Extraction*, módulo *Segmentation image*. Para a segmentação de cada amostra (5x5km) foram utilizadas todas as bandas espectrais do sensor OLI, i.e. 7 bandas espectrais (tabela 1).

Tabela 1 – características das bandas espectrais do sensor OLI do satélite Landsat 8.

Bandas Espectrais	Comprimentos de onda (micrometros)	Resolução (metros)
Coastal Aerosol	0.43 - 0.45	30
Azul	0.45 - 0.51	30
Verde	0.53 - 0.59	30
Vermelho	0.64 - 0.67	30
Infravermelho próximo (NIR)	0.85 - 0.88	30
SWIR 1	1.57 - 1.65	30
SWIR 2	2.11 - 2.29	30

A seguir temos os passos para a realização da segmentação das amostras para o Mato Grosso utilizando a ferramenta *Feature Extraction* do *software* ENVI, sendo:

- Acesse a Caixa de ferramentas “*Toolbox*” - depois em “*Feature Extraction - Segment Only Feature Extraction*”, clique em “*Browse*” e selecione a imagem Landsat 8 convertida para valores de refletância aparente TOA – opção “*Open File*” (Figura 2).

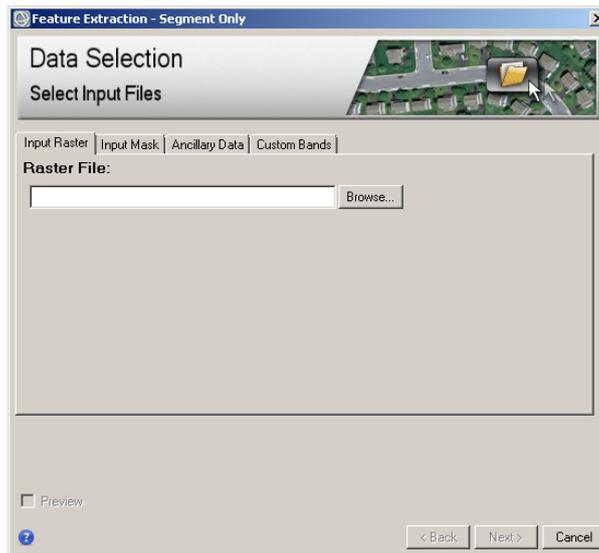


Figura 2 – Janela inicial da ferramenta *Feature Extraction* para seleção da imagem Landsat 8 para o processo de segmentação.

- Para selecionar o limite do grid (5x5km) como área a ser segmentada (i.e. não é preciso segmentar toda imagem), clique em “*Subset by File*” – selecione o arquivo do grid .shp – clique em “*OK*” – e novamente “*OK*”. Na tela *Data Selection* – clique em “*Next*” (Figura 3).

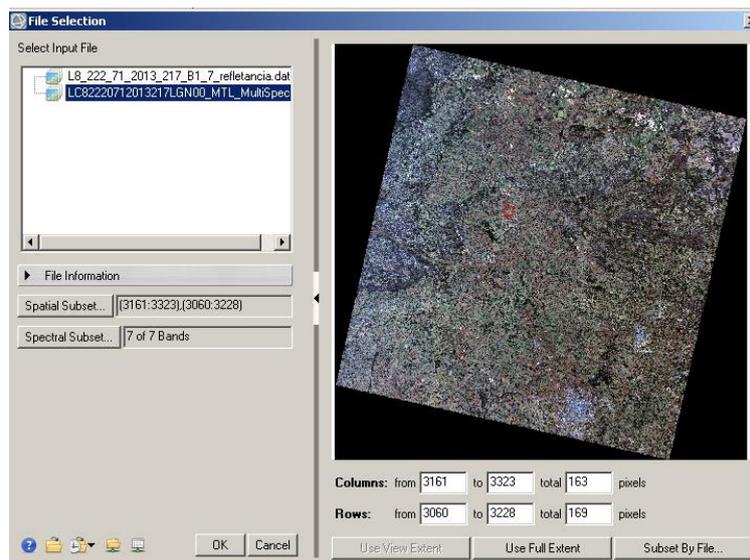


Figura 3 – Janela para seleção das bandas espectrais e limite espacial da amostra a serem utilizados durante o processo de segmentação.

- Na janela seguinte, “*Object Creation*”, temos as opções de “*Segment e Merge*”. Os valores de escala para ambas opções são variáveis para cada amostra, dessa forma, não são fixos, pois busca-se segmentações detalhadas para distinção das classes de uso da terra. Após seleção dos níveis de tamanho do segmento e união dos segmentos, Clique em *Next* (Figura 4);

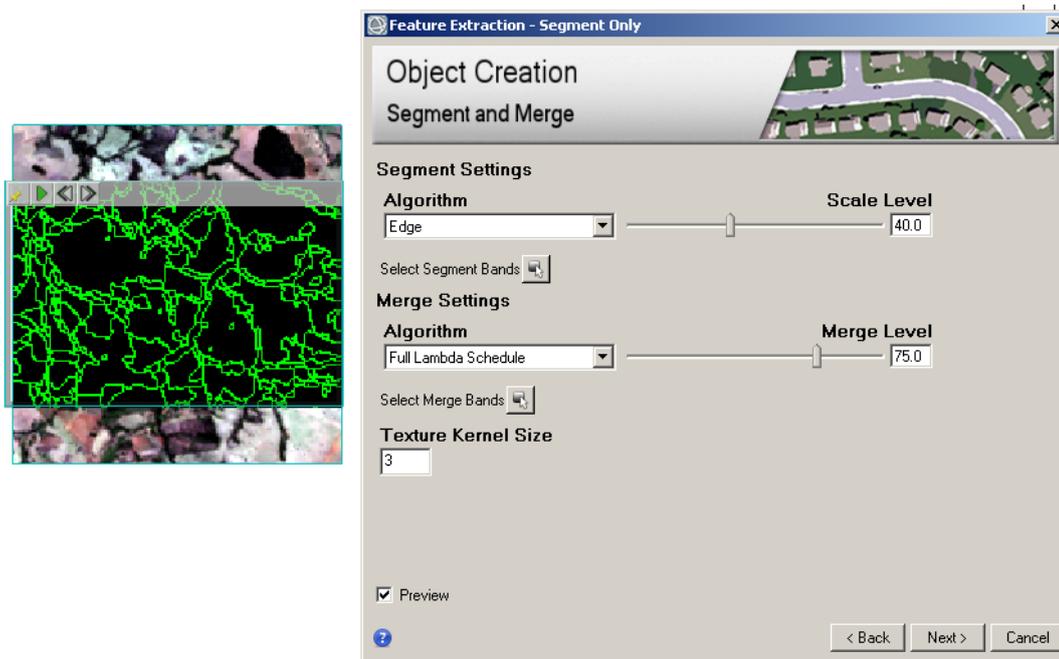


Figura 4 – Janela para seleção dos parâmetros de segmentação dos alvos da imagem Landsat 8 para cada amostra.

A figura 4 mostra a janela de parâmetros (*Segment e Merge*) dos algoritmos a serem utilizados durante o processo de segmentação. No campo *Segment Settings* temos duas opções de algoritmo, *Edge* (melhor para detectar as bordas entre os polígonos adjacentes e semelhantes) e *Intensity* (melhor para segmentação de imagens com gradientes sutis, como modelo de elevação digital ou imagens com campo eletromagnético). O campo *Merge Settings* é utilizado para combinar segmentos com informações espectrais similares, e também possui duas opções de processamento, sendo o *Full Lambda Schedule* (une pequenos segmentos dentro de grandes áreas texturizadas, como remanescentes e nuvens) e *Fast Lambda* (une segmentos adjacentes com cores similares e tamanho de bordas) (Jin, 2012). Para esta análise foram utilizados para ambas opções os padrões de saída do módulo, conforme figura 4.

Por último temos a opção *Texture Kernel Size*, apresentando valores entre 3 (padrão) e 19. Selecione altos valores de tamanho de *Kernel* (ex. 19) para segmentar grandes áreas com pequenas variações de textura, enquanto que, para segmentar pequenas áreas com grandes variações na textura selecione um valor de *Kernel* menor (Jin, 2012). O valor utilizado para todas as segmentações é 3 (Figura 4).

- Ao termino da segmentação, indique o local para exportar o arquivo vetorial (.shp) e marque a opção de exportar atributos.

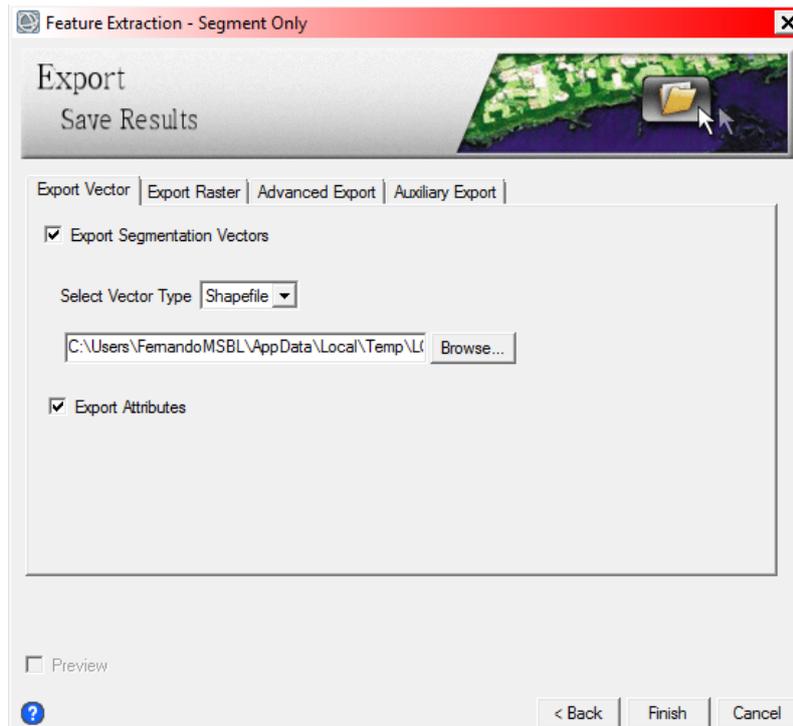


Figura 5 – janela para salvar o arquivo vetorial da segmentação dos alvos para cada amostra a partir de imagens Landsat 8.

Na figura 6 temos o exemplo da segmentação de uma amostra (grid 5x5km) ao final do processo de segmentação utilizando a ferramenta *Feature Extraction*. Para essa amostra, são identificados classes de agricultura, pastagem cultivada (maior proporção) e vegetação remanescente.

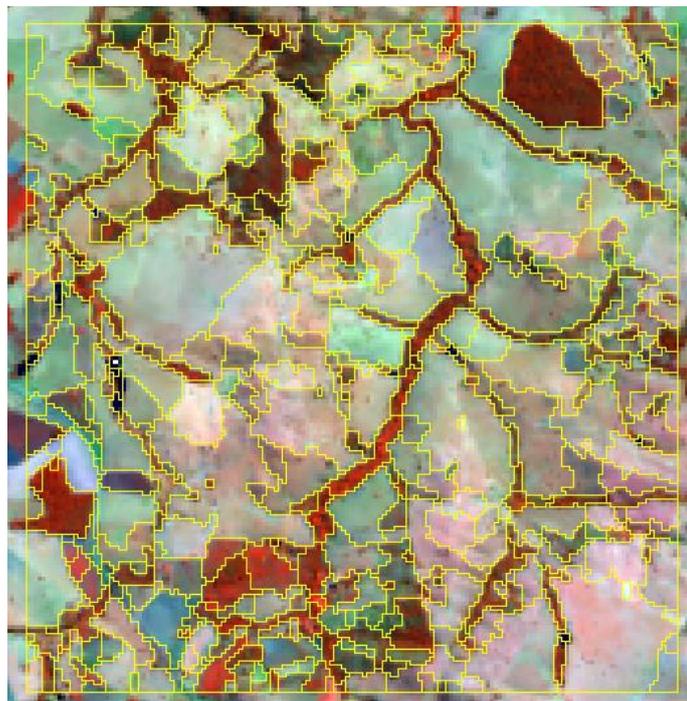


Figura 6 – Exemplo de segmentação dos alvos utilizando imagem Landsat 8 para o limite de uma amostra (grid 5x5km) localizada no estado do Mato Grosso.

1.3. Classificação de uso da terra

A classificação dos polígonos gerados ao final do processo de segmentação das amostras foi realizada a partir da interpretação visual e sem edição manual de polígonos, ou seja, seleção e classificação manual. Como material de apoio para identificação e classificação das classes antrópicas e remanescente utilizou-se as chaves de interpretação elaboradas pelos mapeamentos do PROBIO (MMA, 2014) referente aos seis biomas brasileiros. Também foram utilizadas imagens de alta resolução espacial disponíveis pela plataforma *Google Earth*, o que confere maior acuidade para a classificação do segmento. Ao término da classificação das amostras, as mesmas são repassadas para um especialista em classificação em ambientes do Cerrado utilizado dados orbitais para realizar a triagem final das classificações e validação.

A classe “Outros” é atribuída a usos da terra que não estão inclusos nas classes de mapeamentos predefinidas para as amostras, tais como banco de areia, áreas industriais etc.; enquanto a classe “Vegetação Mista” é atribuída a segmentos que possuem proporções de vegetação natural, reflorestamento, pastagem e/ou agricultura.

2. Resultados

A área total mapeada para as 125 amostras foi de 386.637 hectares, com área média por amostra de 3.093 ha. A classe vegetação remanescente apresentou a maior área mapeada entre as demais predefinidas, sendo 220.217 ha (56%), seguida da pastagem cultivada (99.685 ha – 26%), agricultura (37.703 ha – 10%), vegetação mista (22.511 ha – 6%), outros (3.534 ha – 1%), água (2.549 ha – 1%), reflorestamento (298 ha – 0,07%) e área urbana (140 ha – 0,03%), respectivamente (Figura 7). A área total mapeada para a classe pastagem cultivada representa 45% da área discriminada para a vegetação remanescente.

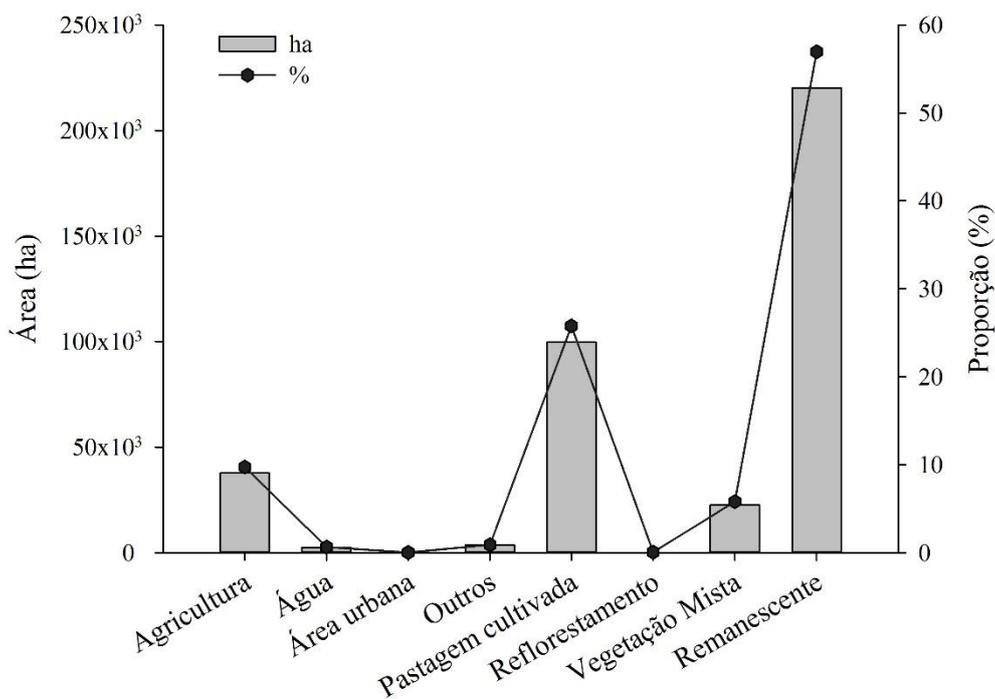


Figura 7 – Distribuição da área mapeada segundo as classes de uso da terra e vegetação remanescente e suas respectivas proporções (%) de acordo com as 125 amostras.

Como a grade das amostras (5x5km) foram criadas sobre a área de pastagem do mapeamento do PROBIO, referente ao mapeamento dos seis bioma brasileiros, esperava-se maior proporção da classe pastagem cultivada entre as amostras, já que a priori, estaríamos eliminando áreas de agricultura e vegetação remanescente, as quais possuem grandes proporções no estado do Mato Grosso (Figuras 1 e 7). Contudo, deve ressaltar-se que o mapeamento do PROBIO foi realizado com base em imagens Landsat de 2002, e que nesse período de 13 anos, grandes proporções de pastagem foram convertidas para a agricultura, enquanto as áreas remanescentes foram classificadas erroneamente como pastagem.

Em 66% das amostras (82) a classe de vegetação remanescente apresenta maior proporção em relação aos demais classes de uso da terra, enquanto as classes de pastagem e agricultura apresentam maior proporção para 24% (30) e 10% (13) das amostras, respectivamente. A classe pastagem não foi identificada para 15% (19) das amostras.

A Figura 8 temos o exemplo da classificação dos segmentos para duas amostras localizadas no Mato Grosso, nas quais, basicamente, temos a predominância das classes de pastagem cultivada e vegetação remanescente. A classe vegetação mista se encontra localizada basicamente nas zonas de transição das classes remanescente e

pastagem cultivada, sendo que esse padrão é encontrado para as demais amostras (Figura 8).

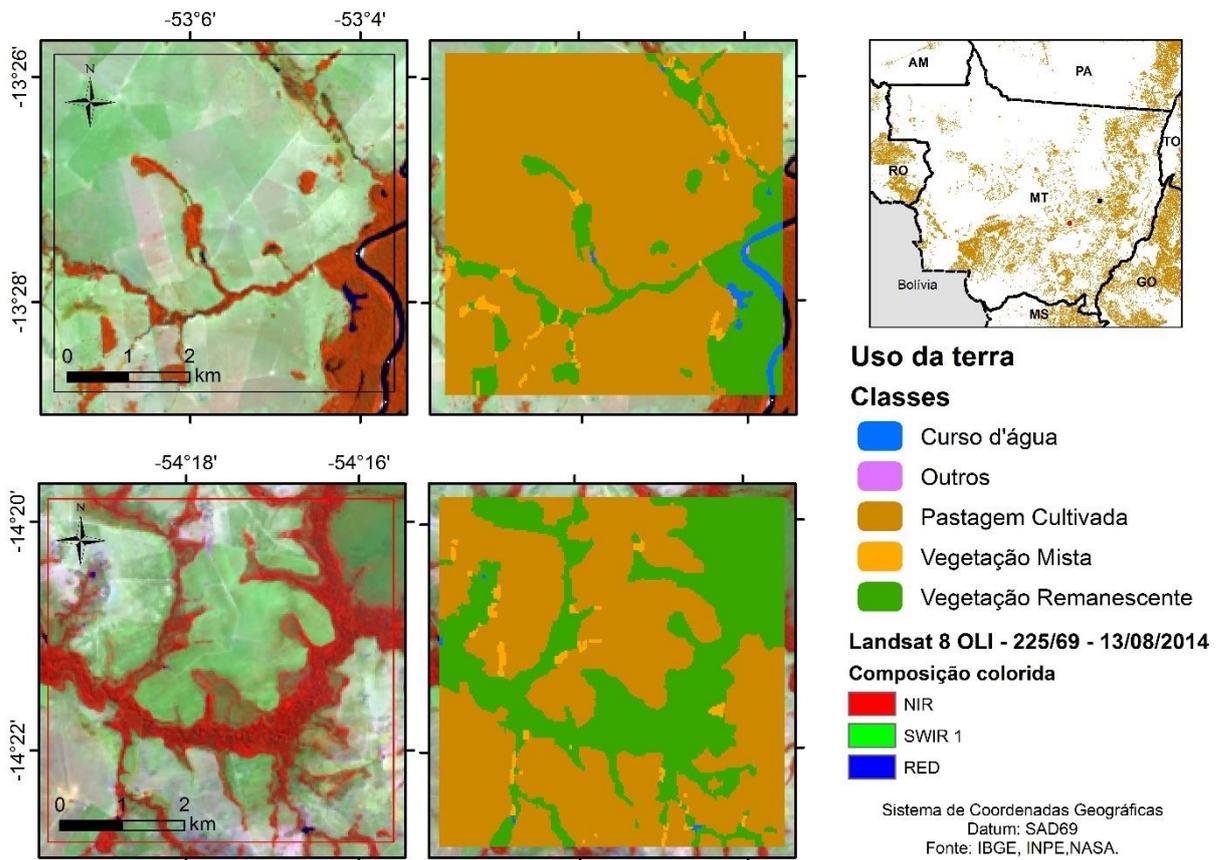


Figura 8 - Classificação do uso da terra e cobertura vegetal remanescente referente a duas amostras (grid 5x5km) localizadas no Mato Grosso (MT).

A figura 9 temos dois exemplos de polígonos com as maiores proporções da classe agricultura. Para o primeira amostra (contorno preto), a classe agricultura ocupa 78% da área total, seguida da classe remanescente, 19%. A segunda amostra (contorno vermelho), a agricultura ocupa 80% da área mapeada, seguido da vegetação remanescente e pastagem, 12% e 5%, respectivamente.

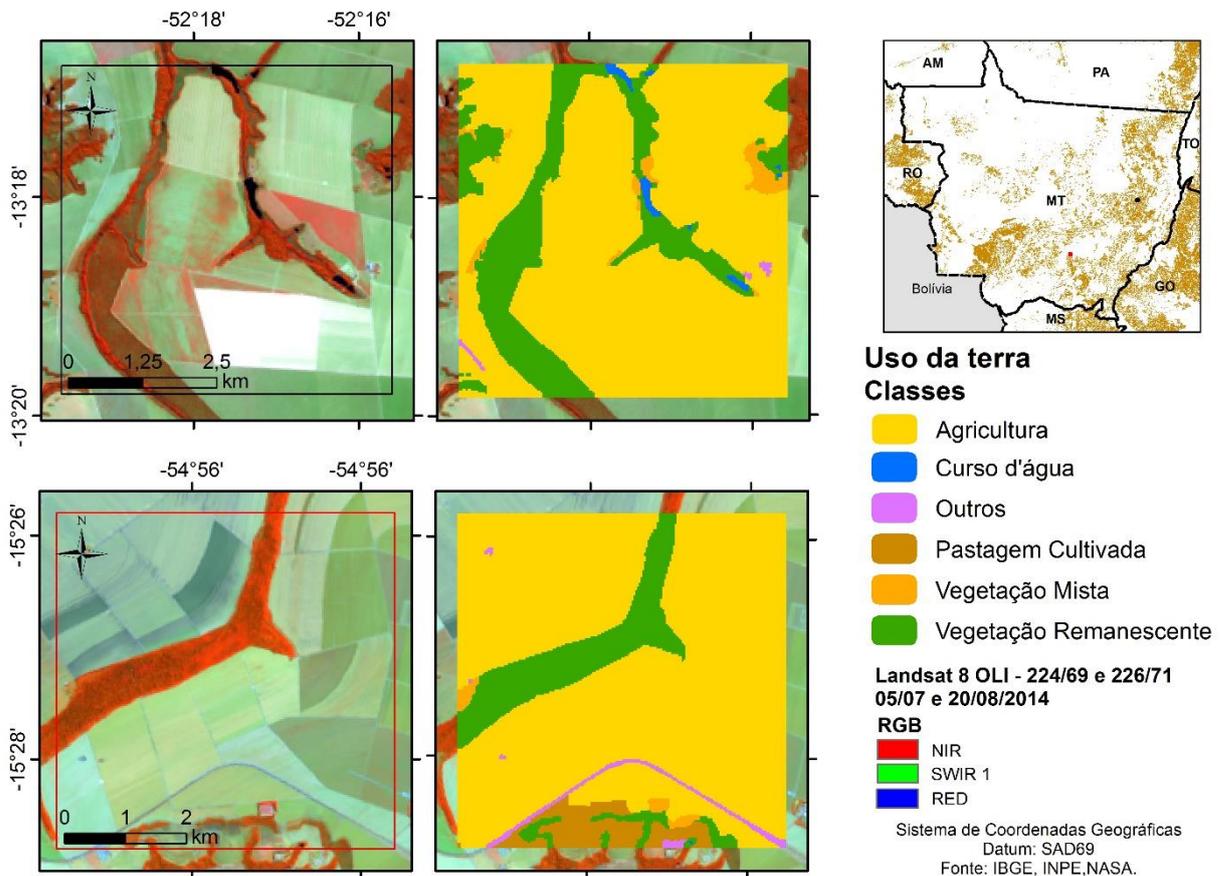


Figura 9 - Classificação do uso da terra e cobertura vegetal remanescente referente a duas amostras (grid 5x5km) localizadas no Mato Grosso (MT).

A figura 10, por sua vez, temos exemplos de amostras com as maiores proporções de vegetação remanescente, sendo para a primeira amostra (contorno preto), essa classe ocupa 99% do mapeamento, e 1% para a classe vegetação mista. A segunda amostra (contorno vermelho), a vegetação remanescente corresponde a 98%, enquanto os 2% restantes são áreas de vegetação mista.

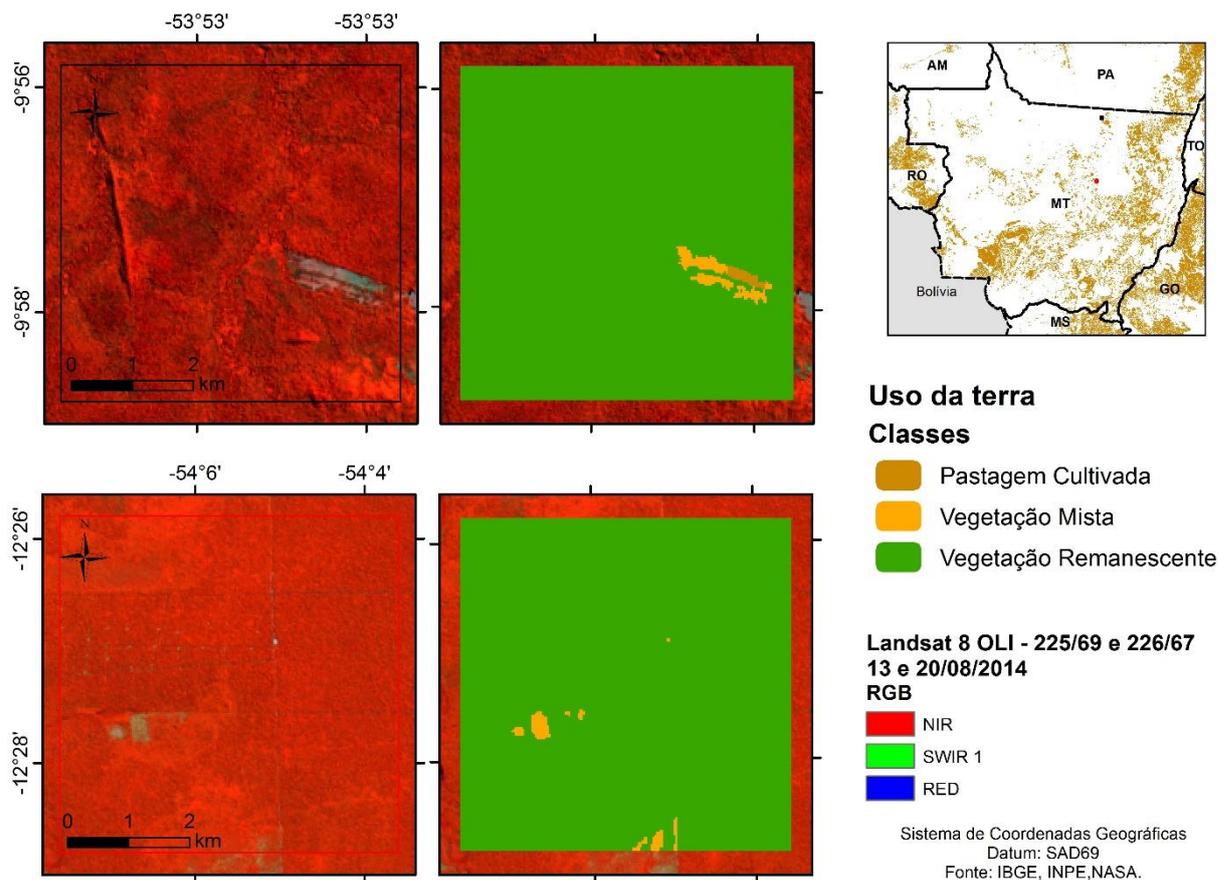


Figura 10 - Classificação do uso da terra e cobertura vegetal remanescente referente a duas amostras (grid 5x5km) localizadas no Mato Grosso (MT).

3. Considerações Finais

O mapeamento da cobertura do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para 125 pontos distribuídos aleatoriamente pelo estado do Mato Grosso (MT) se mostra importante para a aquisição de amostras com baixos erros de comissão e omissão, sobretudo como amostras de treinamento para classificadores automáticos, afim de obter mapeamentos mais acurados espacialmente, tais como a pastagem cultivada.

Além da precisão do mapeamento das amostras, fica evidente a falta de mapeamentos oficiais com boa acuidade para o território brasileiro, sobretudo para os biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, já que esses mapeamentos são referentes ao ano de 2002, pois no intervalo de 2002 a 2014 temos profundas modificações no uso da terra nesses biomas, principalmente conversões da vegetação remanescente para as práticas agrícolas e da pecuária. O bioma Amazônico, por sua vez, possui mapeamentos constantes por meio dos monitoramentos do PRODES e TerraClass, os quais conferem boa acuidade espacial.

Referências bibliográficas

Jin, X. **Segmentation-based image processing system**. U.S. Patent 8,260,048. filed Nov. 14, 2007. 2012.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>>. Acesso em: 08.fev.2014.

Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT). LANDSAT 8. U.S. Geological Survey (USGS) e National Aeronautics and Space Administration (NASA). Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em 15.jul.2014.