



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS- PPGCA
UFPA/MPEG/EMBRAPA**

Larissa Melo de Sousa

**ESTOQUES DE CARBONO RESULTANTES DE MUDANÇAS DE USO
E COBERTURA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM OS INDICADORES
SOCIOECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS DE PARAGOMINAS E
ULIANÓPOLIS, PARÁ**

BELÉM - PARÁ

2016

LARISSA MELO DE SOUSA

**ESTOQUES DE CARBONO RESULTANTES DE MUDANÇAS DE USO E
COBERTURA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM OS INDICADORES
SOCIOECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS DE PARAGOMINAS E ULIANÓPOLIS,
PARÁ**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica socioambiental

Orientador: Prof. Dr. Marcos Adami

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

BELÉM - PARÁ

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Sousa, Larissa Melo de, 1990-

Estoques de carbono resultantes de mudanças de uso e cobertura do solo e sua relação com os indicadores socioeconômicos nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, Pará / Larissa Melo de Sousa. - 2016.

Orientador: Marcos Adami;

Coorientadora: Aline Maria Meiguins de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2016.

1. Solo - Uso - Pará, Sudeste. 2. Biomassa - Pará, Sudeste. 3. Indicadores econômicos - Pará, Sudeste. 4. Indicadores sociais - Pará, Sudeste.
I. Título.

CDD 22. ed. 333.7313098115

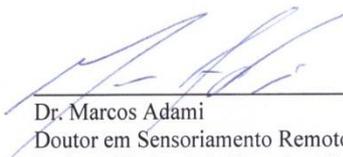
LARISSA MELO DE SOUSA

**ESTOQUES DE CARBONO RESULTANTES DE MUDANÇAS DE USO E
COBERTURA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM OS INDICADORES
SOCIOECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS DE PARAGOMINAS E
ULIANÓPOLIS, PARÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

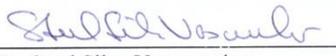
Data de aprovação: 29 / 02 / 2016

Banca Examinadora:


Orientador
Dr. Marcos Adami
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais


Dr. Igor da Silva Narvaes
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais


Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba
Doutor em Física
Universidade Federal do Pará


Dr. Steel Silva Vasconcelos
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dedico esta dissertação a vocês que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, meus pais Raimundo e Maria do Socorro. A você Raissa, que sempre compartilhou comigo todas as alegrias.

AGRADECIMENTOS

O meu maior agradecimento é para o meu DEUS, pelo seu amor e fidelidade, pois sem ELE nada seria possível. Agradeço a Nossa Senhora de Nazaré por me guiar e interceder durante esse longo caminho.

À minha mãe Maria do Socorro, por todos os ensinamentos ao longo da vida e por acreditar que a educação é a arma mais poderosa que alguém poderia ter.

Ao meu pai Raimundo que se mostra como exemplo de homem de bom caráter, meu muito obrigada pelo apoio estrutural e financeiro e pelas palavras amigas e duras nos momentos que eu precisei ouvir.

À minha irmã Raissa, que sempre esteve ao meu lado, meu muito obrigada pelo incentivo e por sempre ter uma palavra de apoio.

Ao meu namorado Wilson, que tanto amo e que sempre foi compreensivo, obrigada pela sua força, carinho e por tornar essa caminhada mais suave e agradável.

Ao meu orientador Marcos Adami, pela confiança, atenção, paciência, pelos preciosos ensinamentos repassados e por oferecer condições possíveis para a realização deste trabalho.

À minha Coorientadora Aline Meiguins pela paciência e auxílio durante as tarefas deste trabalho.

Ao Centro Regional da Amazônia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por ceder a estrutura física para o desenvolvimento deste trabalho e ao Projeto TerraClass por conceder os dados do projeto. Agradeço a todos os amigos do INPE, em especial ao João Barbosa, pela grande paciência e dedicação.

E aos queridos familiares e amigos que me incentivaram, por me entenderem nos momentos de ausência, pelos momentos de descontração e pelas palavras amigas.

À CAPES que disponibilizou recursos financeiros que me proporcionaram a total dedicação a este trabalho.

Enfim, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigada.

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali ?”
(Fernando Pessoa)

RESUMO

As mudanças de uso e cobertura do solo são apontadas por vários estudos como causadoras de prejuízos ambientais, como a emissão de dióxido de carbono (CO₂) para atmosfera. O presente trabalho teve por objetivo relacionar os indicadores socioeconômicos e as emissões de carbono com as diferentes mudanças de uso e cobertura do solo nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Para isso foram determinados as áreas de cada classe de uso e cobertura do solo e calculada a média do estoque de biomassa acima do solo (BAS) para cada uma das classes de uso e cobertura do solo fornecidos pelo Projeto TerraClass para o ano de 2004. Posteriormente foram quantificadas as emissões de CO₂ associados às mudanças de uso e cobertura do solo. Adicionalmente, foram relacionados os dados socioeconômicos com as estimativas de carbono. Os resultados apontaram que grande parte da área de floresta foi convertida para as classes de agricultura e pastagem. O total de carbono acima do solo estocado, entre o período de 2004 à 2012, variou de 163 x10⁶ Mg C para 161 x10⁶ Mg C em Paragominas e de 31 x10⁶ Mg C para 29 x10⁶ Mg C em Ulianópolis. As emissões líquidas CO₂ entre o período de 2004 à 2012 foram de 5.8x10⁶ Mg CO₂ para Paragominas e 7.4 x10⁶ Mg CO₂ para Ulianópolis. Em Ulianópolis observou-se uma relação linear moderada entre indicadores socioeconômicos e os estoques de carbono, enquanto que, em Paragominas, não observou-se correlação linear. Conclui-se que as dinâmicas das classes de uso e cobertura do solo estão baseadas na agricultura e pecuária como variáveis na matriz econômica dos municípios. O estoque de carbono nos municípios tem diminuído, devido a redução das áreas de floresta e o avanço de áreas de agricultura anual e pasto limpo, portanto a área de estudo está contribuindo negativamente para a remoção de CO₂ da atmosfera. As mudanças de uso e cobertura do solo tem efeitos positivos sobre os indicadores socioeconômicos, porém aumentam as emissões de carbono.

Palavras-chave: Uso e cobertura do solo. Biomassa acima do solo. Indicadores socioeconômicos.

ABSTRACT

The land use land cover change are pointed out by several studies to cause environmental damage, such as carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere. The objective of this study is to relate the socio-economic indicators and carbon emissions with the different land use land cover change in the municipalities of Paragominas and Ulianópolis for the years 2004, 2008, 2010 and 2012. For this, they were certain areas according to each class of use and land cover and the mean of the stock of Above Ground Biomass (AGB) for each of the classes of use and land cover provided by TerraClass Project for 2004. Subsequently were quantified CO₂ emissions associated with land use land cover change cover. In addition, the socioeconomic data were related to estimates of carbon. The results indicate that much of the forest area was converted to the classes of agriculture and pasture. The total carbon stored above ground, between the period 2004 to 2012 ranged from 163 x10⁶ Mg C to 161 x10⁶ Mg C in Paragominas and de 31 x10⁶ Mg C to 29 x10⁶ Mg C in Ulianópolis. The net CO₂ emissions between the period 2004 to 2012 amounted to 5.8x10⁶ Mg CO₂ to Paragominas and 7.4 x10⁶ Mg CO₂ to Ulianópolis. In Ulianópolis it was observed a moderate linear relationship between socioeconomic indicators and carbon stocks, while in Paragominas, there was no linear correlation. The conclusion is that the dynamics of use and land cover classes are based on agriculture and livestock as variables in the economic matrix of the municipalities. The carbon stock in the municipalities has decreased due to reduction of forest areas and the advancement of areas of annual agriculture and clean pasture, so the study area is negatively contributing to the removal of CO₂ from the atmosphere. Land use land cover change has positive effects on the socio-economic indicators, but increase carbon emissions.

Keywords: Use and land cover. Above ground biomass. Socioeconomics indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Dinâmica do desflorestamento na Amazônia legal no período de 1988 a 2014.....	25
Figura 2- Concentração atmosférica anual de dióxido de carbono (CO ₂) no observatório de Mauna Loa, desde 1950.	33
Figura 3- Mapa de localização da área de estudo.....	36
Figura 4 - Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2004 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.	57
Figura 5- Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2008 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.	58
Figura 6: Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2010 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.	59
Figura 7- Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2012 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.	60
Figura 8- Proporção das áreas de uso e cobertura do solo nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Paragominas.	62
Figura 9- Proporção das áreas de uso e cobertura do solo nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Ulianópolis.	62
Figura 10- Histogramas resultantes da técnica <i>bootstrap</i> com os parâmetros da regressão: A) intercepto (a); B) coeficiente angular (b) e; C) coeficiente de correlação (r) resultante da análise de regressão entre os dados observados em campo e os dados estimados.....	80
Figura 11- Histogramas resultantes da técnica <i>bootstrap</i> : (A) erro médio absoluto - EMA; (B) erro médio quadrático – EMQ; (C) índices de ajuste modificado (d1) e (D) índice de ajuste (d2); para comparar o desempenho dos modelos entre os dados observados em campo e os dados estimados.	80
Figura 12 - Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2008 na área de estudo.....	85
Figura 13 - Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2010 na área de estudo.....	86
Figura 14- Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2012 na área de estudo.	87
Figura 15 - Balanço de carbono nos períodos 2000 a 2012 na área de estudo.....	89

Figura 16 - Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão aspectos demográficos) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.....	91
Figura 17- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão índice desenvolvimento humano municipal) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.	92
Figura 18- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão renda) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.....	95
Figura 19- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão educação) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.....	97
Figura 20- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão trabalho) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.....	100
Figura 21- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão saúde) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais características dos mapas de biomassa recentemente publicados.	31
Tabela 2- Estimativa de emissão de CO2 por desmatamento de corte raso.	34
Tabela 3- Classes temáticas mapeadas pelo projeto TerraClass e descrições.	42
Tabela 4- Variáveis de biomassa acima do solo.	43
Tabela 5- Dimensões e variáveis socioeconômicas.	43
Tabela 6 - Parâmetros comparativos entre trabalhos.	46
Tabela 7- Classes de uso e cobertura do solo adotadas neste estudo.	49
Tabela 8- Procedimentos de análise adotados.	54
Tabela 9- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de uso e cobertura do solo determinadas pelo Projeto TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012; Área total estimada de 1931092 ha do município de Paragominas-PA.	65
Tabela 10- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de uso e cobertura do solo determinadas pelo Projeto TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012; Área total estimada de 508.206 ha do município de Ulianópolis- PA.	66
Tabela 11 - Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2008, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).	68
Tabela 12- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2010, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).	69
Tabela 13- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2012, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).	70
Tabela 14- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2008, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).	74
Tabela 15- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2010, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).	75
Tabela 16- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2012, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).	76
Tabela 17- Biomassa acima do solo (BAS) e estoque de carbono acima do solo estimada para cada uma das classes de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo, a partir da Média Zonal.	78

Tabela 18 – Resultados parâmetros estatísticos comparativos entre o modelo estimado e os dados coletados em campo.....	79
Tabela 19 - Estoques e dinâmicas de carbono em diferentes classes de uso e cobertura do solo no município de Paragominas, nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os resultados são expressos em Mg.....	82
Tabela 20 - Estoques e dinâmicas de carbono em diferentes classes de uso e cobertura do solo no município de Ulianópolis, nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os resultados são expressos em Mg.	83
Tabela 21- Emissão e remoção de dióxido de carbono nos períodos de 2004 a 2008, 2004 a 2010 e 2004 a 2012 na área de estudo.	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC- Programa Agricultura de Baixo Carbono

BAS- Biomassa Acima do Solo

CAR - Cadastro Ambiental Rural

COP 15- 15ª Conferência das Partes

DAP- Diâmetro à Altura do Peito

FAO- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDESP- Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPAM- Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

LCCS- Sistema de Classificação de Uso da Terra

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PIB- Produto Interno Bruto

PNMC- Política Nacional sobre Mudanças do Clima

PNUD- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PPCDAm -Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

PRODES- Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite

REDD- Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

SIG- Sistema de Informação Geográfica

UNFCCC- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivos.....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos.....	20
1.2 Estrutura da dissertação.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 Mudanças de uso e cobertura do solo.....	21
2.2 Aspectos econômicos associados ao desmatamento na amazônia.....	23
2.3 Estoque de carbono: estimativa da distribuição espacial de biomassa.....	27
2.3.1 Quantificação de biomassa florestal.....	28
2.3.2 Biomassa acima do solo (BAS)	29
2.3.3 Dados de satélite na estimativa de biomassa.....	29
2.4 Emissão de carbono.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Caracterização da área de estudo.....	36
3.1.1 Características edafo-climáticas e de vegetação da área de estudo.....	37
3.1.2 O município de Paragominas.....	37
3.1.3 O município de Ulianópolis.....	39
3.2 Materiais.....	41
3.3 Métodos	47
3.3.1 Sistematização dos dados.....	47
3.3.2 Reamostragem dos dados.....	47
3.3.3 Determinação da área segundo o uso e cobertura do solo.....	48
3.3.4 Espacialização da biomassa acima do solo(BAS).....	49
3.3.5 Fator de conversão para transformar biomassa em carbono.....	52
3.3.6 Determinação da dinâmica do estoque de carbono.....	52
3.3.7 Quantificação das emissões de CO ₂ associadas às mudanças de uso e cobertura do solo.....	52
3.3.8 Análise de dados.....	54

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 Mudanças de uso e cobertura do solo.....	56
4.1.1 Determinação da área segundo o uso e cobertura do solo em Paragominas e Ulianópolis.....	61
4.1.2 Transições entre as classes de uso e cobertura do solo.....	67
4.2 Espacialização da biomassa acima do solo.....	77
4.2.1 Média aritmética zonal.....	77
4.3 Validação das estimativas de BAS.....	78
4.3.1 Dinâmica dos estoques de carbono.....	80
4.4 Emissões e remoções de CO₂ associado às mudanças de uso e cobertura do solo.....	88
4.5 Relação entre os indicadores socioeconômicos e os estoques de carbono.....	90
4.5.1 Quanto à dimensão aspectos demográficos.....	90
4.5.2 Quanto à dimensão Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e componentes....	92
4.5.3 Quanto à dimensão renda.....	94
4.5.4 Quanto à dimensão educação.....	96
4.5.5 Quanto à dimensão trabalho.....	99
4.5.6 Quanto à dimensão saúde.....	100
5 CONCLUSÃO.....	103
REFERÊNCIAS.....	105
ANEXOS.....	115
ANEXO A- DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.....	116
ANEXO B- DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.....	118
APÊNDICES.....	120
APÊNDICE A- RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIOECONOMICOS COM ESTOQUE DE CARBONO, NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012. (A) ASPECTOS DEMOGRÁFICOS; (B) ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL; (C) RENDA (D) EDUCAÇÃO; (E) TRABALHO E (F) SAÚDE.....	121

APÊNDICE B- RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIOECONOMICOS COM ESTOQUE DE CARBONO, NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012. (A) ASPECTOS DEMOGRÁFICOS; (B) ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL; (C) RENDA (D) EDUCAÇÃO; (E) TRABALHO E (F) SAÚDE.....124

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, as florestas tropicais têm passado por processos de mudanças de uso e cobertura, devido principalmente as pressões antrópicas como a exploração de matéria prima (madeira) e posteriormente conversão da floresta em outros usos do solo como a pecuária e a agricultura, alterando de maneira significativa a sua paisagem (FEARNSIDE, 2006).

O Brasil abriga um terço das florestas tropicais úmidas do planeta, com mais de 40% do seu território coberto pela floresta amazônica. Dentre as florestas tropicais, o bioma Amazônico é caracterizado por possuir o maior bloco contínuo de florestas tropicais úmidas remanescente do mundo, o que representa cerca de 40% do total de florestas mundiais (INPE, 2014). A floresta tropical da Amazônia Brasileira cobre uma área de aproximadamente 4 milhões de km², aproximadamente 80% da área de floresta Amazônica ainda está preservada (INPE, 2014).

A Amazônia possui recursos valiosos como a biodiversidade, com cerca de 1/3 do material genético do planeta, reserva de água doce e riquezas minerais em seu subsolo (ALBAGLI, 2001). Além disto, a floresta Amazônica tem outra importante característica: que é transformar grande quantidade do carbono atmosférico em biomassa florestal, mais do que qualquer outro bioma do planeta (HOUGHTON et al., 2009). Porém quando as florestas são danificadas, por queimadas e/ou desmatamento, estas tornam-se emissoras e grandes quantidades de carbono são devolvidos para a atmosfera, contribuindo então com as alterações climáticas (FEARNSIDE et al., 2013).

As mudanças de uso e cobertura do solo resultantes do intenso processo de ocupação humana na Amazônia, durante as últimas décadas, levaram à destruição da cobertura vegetal original, sendo que aproximadamente 20% da floresta original foi removida (INPE, 2014). A partir dos anos 2000, o maior pico de desflorestamento ocorreu em 2004, com uma área desflorestada de aproximadamente 27 mil km². Atualmente, a taxa de desflorestamento está situada em torno de 5 mil km² por ano (INPE/ PRODES, 2014).

O avanço do desmatamento na Amazônia resultou em transformações sobre os padrões de uso e cobertura do solo, modificando a estrutura da paisagem regional (INPE, 2014). Essas modificações podem resultar em consequências graves como degradação ambiental e agravamento de problemas sociais (VIEIRA et al., 2005). Apesar dos prejuízos ambientais causados pelo desmatamento e por mudanças de uso e cobertura do solo, como a emissão de carbono para atmosfera, talvez a vertente mais dramática esteja no fato de que

estas mudanças de uso e cobertura não subsidiem o mínimo de desenvolvimento humano, social e econômico (IPAM, 2012).

Rodrigues et al. (2009), afirmam em seu estudo que, o desenvolvimento medido pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), aumenta com os investimentos dependentes do desmatamento. No entanto, este não dura mais do que 15 anos, sendo que, logo após esse período, os resultados do desmatamento sugerem um passivo ambiental e social de graves dimensões.

Para Celentano e Veríssimo (2007) logo após o desmatamento, o IDH é superior aos de áreas com floresta, devido ao aumento de renda gerado pela atividade madeireira, mas posteriormente, quando a atividade da agropecuária se instala, o IDH torna-se semelhante ao das áreas de floresta. O IDH dos municípios que possuem uma grande extensão desmatada, após o desmatamento é tão baixo quanto naqueles onde o processo de ocupação ainda está no início (RODRIGUES et al, 2009). Portanto, tais reduções no IDH-M expressam uma degradação significativa da condição de vida da população local (PRATES; BACHA, 2010).

Por outro lado, Sarris (2001) apontou que o crescimento da agropecuária sobre áreas de floresta pode diminuir o nível de pobreza, por meio de dois mecanismos: o direto e o indireto. O direto se deve ao fato de que o crescimento agrícola diminui a pobreza em áreas rurais; e o indireto decorre de que o crescimento da agropecuária contribui para o crescimento de toda a economia, que, por sua vez, contribui para a diminuição da pobreza em geral.

Em face deste cenário, a justificativa dessa dissertação apoia-se na relação entre os efeitos do desflorestamento e conseqüentemente da mudança de uso e cobertura sobre o meio ambiente e a sociedade. Cabe destacar que, nos últimos anos, tem-se uma discussão sobre os impactos positivos e negativos das mudanças de uso e cobertura do solo, uma vez que existem incentivos financeiros para a sua execução, porém também existe uma grande preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade dos projetos que alteram o uso e a cobertura. Portanto, um dos grandes desafios para a humanidade consiste no equilíbrio entre o crescimento econômico e social com a conservação ambiental, ou seja, utilizar a biodiversidade e os recursos, sem destruir o valioso patrimônio natural.

Assim, a preocupação é entender como as mudanças de uso e cobertura decorrente do processo de uso e ocupação afetam os indicadores socioeconômicos e as emissões de CO₂ nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as relações entre os indicadores socioeconômicos e o balanço de carbono derivados de mudanças de uso e cobertura do solo nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Analisar as dinâmicas de transições de uso e ocupação do solo, nos municípios em estudo, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.
- 2) Estimar o balanço de carbono a partir das mudanças de uso e cobertura do solo nos municípios em estudo, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.
- 3) Relacionar o balanço de carbono com os indicadores socioeconômicos no desenvolvimento dos municípios em estudo.

1.2 Estrutura da dissertação

Para atingir o objetivo proposto, este trabalho foi dividido em 6 tópicos, as quais foram organizados em etapas de desenvolvimento desta pesquisa. O presente tópico consta de uma introdução, faz a apresentação do trabalho e neste são abordadas a problemática e as perguntas científicas que motivaram essa pesquisa.

No tópico 2, são discutidos temas acerca das mudanças de uso e cobertura do solo, dos aspectos econômicos associados ao desmatamento na Amazônia, do estoque de carbono e das emissões de carbono. No tópico 3, apresenta-se a caracterização da área de estudo, sua localização geográfica e algumas características a respeito de clima, solo e vegetação.

No tópico 4, apresentam-se os dados utilizados e a metodologia aplicada para alcançar os objetivos propostos. No tópico 5, encontram-se os resultados e as discussões a respeito da determinação das áreas segundo o uso e cobertura, as transições entre as classes de uso e cobertura do solo, a determinação da espacialização da biomassa acima do solo, as emissões de CO₂ associados as mudanças de uso e cobertura do solo, validação das estimativas de biomassa acima do solo, estimativa das emissões de dióxido de carbono e a relação entre os estoques de carbono com os indicadores socioeconômicos. Posteriormente, as conclusões são apresentadas no tópico 6, seguida das referencias, apêndices e anexos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mudanças de uso e cobertura do solo

Segundo a FAO (1995) é necessário entender a diferença entre os conceitos de: i) cobertura do solo, ii) uso do solo e iii) mudança de uso, pois os mesmos são similares, porém não são equivalentes. Neste sentido, a cobertura do solo pode ser entendida como uma caracterização biofísica da superfície terrestre, assim como as florestas, a vegetação e áreas agrícolas. O uso do solo está associado à manipulação humana daquela cobertura, ou seja, a função que a cobertura pode oferecer, por exemplo, áreas destinadas à conservação ou destinadas a pecuária. As mudanças de cobertura do solo ocorrem pela conversão ou pela modificação. A conversão diz respeito à mudança de um tipo de cobertura para outro tipo de cobertura, por exemplo, de floresta para vegetação rasteira ou de floresta para pasto. Já a modificação é relacionada a alterações da estrutura ou função como as mudanças na produtividade, como por exemplo a conversão de pastagem degradada para pastagem produtiva.

A importância de estudos e pesquisas sobre o uso e cobertura do solo está fundamentada na necessidade de entender a dinâmica entre os usos e a cobertura bem como seus efeitos sobre as mudanças climáticas e assim garantir a sustentabilidade levando em conta os aspectos sociais, econômicos e ambientais. O entendimento desta dinâmica apresenta-se como um dilema e por um lado, essas mudanças estão degradando o ecossistema e seus serviços. Por outro lado, muitas destas práticas que causam a mudança são essenciais para a manutenção da vida humana na Terra, como a produção de alimentos e água. Para tanto, é necessário à avaliação e gerenciamento adequado das mudanças de uso e cobertura do solo, a fim de manter o equilíbrio entre a manutenção do ecossistema e satisfazer as necessidades imediatas do homem (FOLEY et al., 2005).

As mudanças de uso e cobertura do solo são causadas por ações antrópicas como o desmatamento e a degradação florestal. Neste sentido, existem dois tipos de causas que determinam as mudanças de cobertura, as diretas e as indiretas. As causas diretas estão relacionadas às atividades humanas de ações imediatas, que afetam diretamente a cobertura e geralmente acontecem a nível local, como expansão de culturas agrícolas, pastagens, corte e extração de madeira e expansão de infraestrutura. Já as causas indiretas, são forças motivadoras, que são o gatilho que sustentam as causas diretas, formadas por um conjunto de variáveis (social, política, econômica, biofísica, etc.). Geralmente as causas indiretas são o resultado de ações regionais ou até mesmo globais (LAMBIN et al., 2003).

Os impactos ambientais diretamente relacionados às mudanças de uso e cobertura do solo podem ser:

- I. Emissões de gases do efeito estufa: para Fearnside et al. (2013), as mudanças de uso e cobertura do solo contribuem de maneira significativa para a emissão de vários tipos de gases do efeito estufa principalmente através de alterações do uso do solo, como os incêndios florestais (queima de biomassa) e o desmatamento. Barbosa e Fearnside (1999) observaram que através da combustão de uma área de floresta primária em Roraima, foi liberado cerca de 12,0 a 12,3 x 10⁶ toneladas de carbono de CO₂. No ano de 1990, foram liberados aproximadamente 5% do total das fontes de emissão, indicando o alto impacto das mudanças de uso e cobertura do solo (Fearnside, 1997).
- II. Mudanças climáticas: Segundo Nobre et al. (2007), as mudanças climáticas estão diretamente ligadas a conversão da cobertura florestal em outro tipo de sistema como a pastagem ou agrícola, o que resulta na emissão de gases do efeito estufa da biosfera para a atmosfera, colaborando com as mudanças globais.
- III. Perda de biodiversidade: As florestas tropicais possuem uma enorme biodiversidade (fauna e flora), muitas das quais são endêmicas. O impacto sobre a biodiversidade, causado pelas mudanças de uso e cobertura do solo, podem gerar consequências severas como a perda de elementos importantes das florestas tropicais, podendo chegar até a extinção de espécies, significando então na perda de informações genéticas, para tanto é necessário à manutenção da vegetação (VIEIRA et al., 2005). Isto implica em dizer que, deve ser dada maior atenção a esforços para a conservação da biodiversidade e aos processos ecossistêmicos.
- IV. Alterações no ciclo hidrológico: Um dos impactos das mudanças de uso e cobertura do solo é a alteração dos componentes do ciclo hidrológico (precipitação, evaporação, transpiração, infiltração, drenagem e percolação) à medida que a floresta é convertida a outros usos, pois muitos processos hidrológicos estão fortemente relacionados com a manutenção da floresta (TUNDISI, 2003), Assim, com a modificação progressiva do uso e cobertura da floresta Amazônica, certamente haverá a danificação do eficiente sistema de recirculação hidrológica, tanto a nível local, com a alteração do padrão de precipitação, quanto a nível continental, com a progressiva redução do transporte de umidade para áreas no interior do continente (ARTAXO et al., 2005).

- V. Degradação do solo: As mudanças de uso e cobertura do solo são responsáveis por severos impactos sobre os mesmos, tais como a erosão, compactação, salinização, acidificação e esgotamento de nutrientes, reduzindo então a produtividade agrícola à medida que a sua qualidade decai (FEARNSIDE, 2005).

Para permitir um melhor entendimento sobre a dinâmica espacial provocada pelas mudanças de uso e cobertura do solo é necessário analisar, mapear e monitorar as diversas formas de uso. Assim os modelos de uso e ocupação do solo têm sido amplamente utilizados com o objetivo de simular diversos tipos de cenários, atuando de maneira rápida e com baixo custo quando comparadas as investigações experimentais e tornando-se uma ferramenta eficaz na prevenção da exploração de recursos naturais (LOPES, 2008; CARAM, 2010).

A maior limitação dos modelos de uso e ocupação do solo é a dificuldade de operar uma grande quantidade de dados, que definem a heterogeneidade dos sistemas naturais. Por essas razões, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta computacional que possibilita a inserção de várias informações, tanto do meio físico, quanto do meio biótico, para posterior análise de questões ambientais, como o diagnóstico e monitoramento de áreas extensas. O SIG pode ser considerado como um instrumento de planejamento, permitindo a criação de diversos cenários sobre as situações ambientais (RODRIGUES et al., 2009).

A análise de cenários passa a existir como uma ferramenta útil ao considerar as alternativas de desenvolvimento, além de reunir conhecimentos que podem subsidiar tomadas de decisões relacionadas ao planejamento de ações num contexto de múltiplos cenários (BOHRER et al., 2001).

Veldkamp e Lambin (2001) ressaltaram que os modelos de mudança de uso e cobertura do solo consistem na avaliação de atividades passadas e projeção das futuras. As estimativas de modelos matemáticos geralmente são pouco confiáveis e apenas alguns modelos geram uma projeção real a longo prazo dessas alterações, necessitando de mais estudos para comparar e confirmar as previsões obtidas, a fim de reduzir a probabilidade de erros.

2.2 Aspectos econômicos associados ao desmatamento na Amazônia

A Amazônia é caracterizada pela sua exuberância, biodiversidade e riqueza dos recursos naturais, como as florestas ainda intactas, reservas minerais, além de fornecer serviços como a regulação do clima e a produção de água doce (FEARNSIDE, 2006).

Segundo dados do projeto TerraClass (2008), a Amazônia legal brasileira possui uma área de aproximadamente 5,2 milhões de km², sendo que 3.214 milhões de km² são domínios de cobertura de floresta, 953,3 km² como não floresta (vegetação pertencente a diversas fitofisionomias não florestal), 114,9 km² como hidrografia e o restante da área é pertencente a outras classes temáticas. A área desmatada entre 1988 e 2008 foi de aproximadamente 707.752 mil km², o que compreende a 17,2% de toda área desmatada (INPE, 2011).

A alteração da Amazônia pelo desmatamento é resultado de mudanças que ocorreram na sociedade e na economia nas últimas décadas, através de interações locais, regionais e até mesmo globais. A economia da região Amazônica concentra-se principalmente em atividades como a agropecuária, mineração, florestal e atividades urbanas, sendo estas as principais causas do desmatamento (FERREIRA et al., 2005).

As demandas de mercado exercem forte influência na conversão da floresta para outro uso; por isso a quantidade de área desflorestada vai depender dos lucros percebidos pelos agentes do desmatamento, tais como extrativistas, agricultores, garimpeiros, grileiros, etc. (LAURANCE et al., 2004).

O ordenamento territorial na Amazônia está vinculado às motivações de agentes envolvidos, tanto de maneira individual quanto coletiva, no arranjo sócio espacial, ou seja, o desmatamento, seja por exploração, por agropecuária, por mineração ou por grilagem, é resultado da heterogeneidade das práticas sociais. Sobre essa ótica, existem múltiplas causas para o desmatamento, devido à racionalidade dos agentes envolvidos, pela estrutura social do país, ou pela desigualdade de renda e oportunidades (CASTRO, 2005).

As causas do desmatamento estão fortemente relacionadas tanto às transformações temporais, quanto as transformações espaciais. É importante considerar que a floresta Amazônica está sofrendo as duas maiores crises ambientais já vistas pela humanidade: a redução da biodiversidade, provocada pela destruição de habitats e as mudanças climáticas globais, devido ao aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007).

Neste sentido, o entendimento das dinâmicas planejadas pelas políticas públicas das décadas de 1960, 1970 e 1980, como os incentivos fiscais e programas de colonização, que incentivaram a migração populacional, não levaram em consideração os impactos ambientais e apresentam elementos importantes na análise das atuais causas do desmatamento, atuando consequentemente nas mudanças de uso e cobertura do solo (BECKER, 2007).

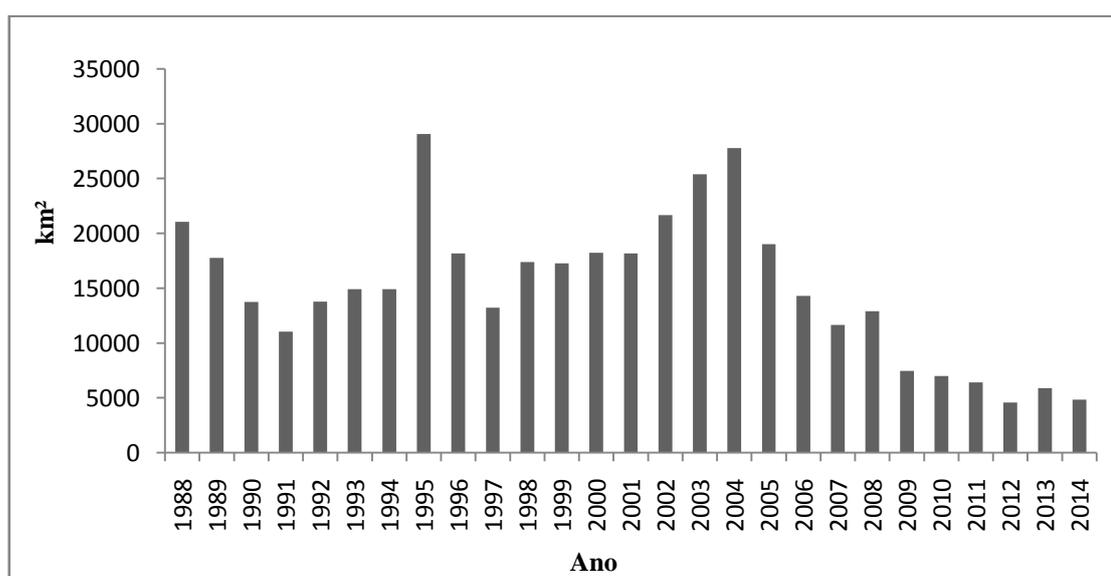
Para Fearnside (2005), as políticas econômicas implantadas no Brasil, os incentivos fiscais e os subsídios governamentais, nas décadas de 1970 e 1980, foram os principais indutores do desmatamento na Amazônia.

Na década de 1990 as políticas de incentivo a colonização da Amazônia foram reduzidas, mesmo assim, o desmatamento teve altas taxas, que indicou a presença de outras forças como: duplicação da malha rodoviária, visto que o desmatamento é maior quando as áreas são mais acessíveis, salários mais baixos, crescimento da população, escassez de empregos, demandas de mercado e viabilidade econômica da atividade produtiva (BECKER, 2007).

A partir do ano 2000 até o ano de 2004, a taxa de desmatamento apresentou um crescimento gradual, até alcançar o seu ponto mais alto no ano de 2004, com aproximadamente 27000 km², que foi decisivo para tomadas de decisões governamentais de combate ao desflorestamento na Amazônia (SILVA et al., 2013).

Para cálculo das taxas anuais de desflorestamento na Amazônia legal brasileira (Figura 1), o INPE, adota a tecnologia de sensoriamento remoto desde 1988, através do PRODES, que realiza o monitoramento da dinâmica do desmatamento, por corte raso (remoção completa da cobertura florestal e posteriormente substituição por outras coberturas e usos). Essas estimativas geradas pelo PRODES são utilizadas pelo governo brasileiro para estabelecimento de políticas públicas (INPE, 2014).

Figura 1- Dinâmica do desflorestamento na Amazônia legal no período de 1988 a 2014.



Fonte: (INPE/PRODES, 2014)

As políticas públicas de controle e incentivo econômico estão buscando a redução das taxas de desmatamento e o avanço do desenvolvimento sustentável, com a construção de ferramentas, cujo os alicerces encontram-se na conservação dos biomas, com a inclusão social e na geração de renda. As políticas públicas podem influenciar nas taxas de desmatamento, ou seja, com o aumento dos incentivos econômicos, poderá apresentar uma resposta positiva ao controle do desmatamento, através das atividades sustentáveis (FEARNSIDE, 2005).

Para combater o desmatamento, o Governo Brasileiro tem implementado políticas e planos em âmbito federal, como o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC). Estes visam o desenvolvimento sustentável, a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, a redução dos índices de desmatamento amazônico e consequentemente, o aumento da porcentagem de áreas com cobertura vegetal em diversos estágios de sucessão (ELOY et al., 2013).

A PNMC foi criada durante 15ª Conferência das Partes (COP 15) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCC), com o objetivo voluntário, firmado pelo Brasil, para redução da emissão de gases do efeito estufa e fortalecimento das remoções por sumidouros no território nacional, bem como o desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático e a conservação dos recursos ambientais, com atenção especial aos grandes biomas naturais (BICHARA; LIMA, 2012).

O PPCDAm foi criado após o ápice do desmatamento em 2004 e tem como objetivo principal propor metas para as reduções dos índices de desmatamento na Amazônia, com medidas de bloqueio as atividades que o impulsionavam, considerando a importância da floresta em pé em benefício a 25 milhões de habitantes da Amazônia (SANTOS, 2010). O PPCDAm prioriza um modelo de desenvolvimento na região amazônica com ênfase na dinâmica das atividades econômicas para o uso sustentável e manutenção do equilíbrio dos recursos naturais (BRASIL, 2004a).

O PPCDAm congrega diversas políticas públicas e programas para o controle e redução do desmatamento na Amazônia, destacando-se principalmente o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) e o Programa de Apoio à Conservação Ambiental (Bolsa Verde). Todos os programas têm seus objetivos bem definidos que convergem com os objetivos do PPCDAm, envolvendo temáticas desde a conservação até a sustentabilidade dos sistemas de produção, para então reduzir a perda de floresta (BRASIL, 2013).

2.3 Estoque de carbono: estimativa da distribuição espacial de biomassa

Existem cinco principais reservatórios de carbono, sendo que os oceanos são o maior deles cuja estimativa de reserva é da ordem de 38.400 Pg C, seguido dos combustíveis fósseis, com uma estimativa de 4.130 Pg C. O terceiro maior reservatório são os solos, cuja estimativa de reserva seja de 2.500 Pg C, posteriormente a atmosfera com 760 Pg C. O menor reservatório de carbono é meio biótico com 560 Pg C (FALKOWSKI et al., 2000).

As florestas representam um componente importante no funcionamento do sistema terrestre, não somente pela grande capacidade de armazenamento, mas também pelo fornecimento de serviços ecossistêmicos, incluindo os regulatórios e os de suprimento (PAGIOLA et al., 2013).

Segundo Barbosa et al. (2013), o sequestro de carbono depende do histórico de uso e ocupação do solo e conseqüentemente do tipo de vegetação. As florestas primárias e secundárias são consideradas sumidouros de carbono, pois são capazes de armazenar através da fotossíntese significativas quantidades de carbono.

Para Saatchi et al. (2007), a Amazônia é considerada a maior floresta tropical do mundo e armazena aproximadamente 86 Pg C acima e abaixo do solo, o que representa aproximadamente 15% do reservatório do meio biótico. As florestas primárias da Amazônia armazenam em torno de 40 Pg C em sua constituição, ou seja, possuem altas taxas de produtividade florestal (MALHI et al., 2008), que é definida como a taxa de crescimento das árvores, mensurada então pela área basal, volume da árvore e valor de biomassa, ao qual, estima-se que 50 % de biomassa, corresponda ao valor de carbono armazenado (EVANS, 1984; SAATCHI et al., 2011).

Para WBGU (1998) as florestas secundárias detêm cerca de 50 % do estoque de carbono, quando comparado com as florestas primárias. Segundo Berenguer et al. (2014) mesmo com reduções significativas na quantidade de carbono armazenado em florestas alteradas (mesmo as florestas primárias mais degradadas), estas ainda detêm mais carbono do que as florestas secundárias.

A BAS corresponde ao maior colaborador da produtividade primária líquida com cerca de 70% em florestas tropicais úmidas, como a Amazônia, assim sendo, representa um indicador da distribuição espacial dos estoques de carbono (MALHI et al, 2009)

2.3.1 Quantificação de biomassa florestal

Segundo Salati (1994) existem dois métodos utilizados para a quantificação da biomassa florestal: o método direto e o método indireto. Para o método direto, as árvores devem ser derrubadas, cortadas e seus componentes (caule, raiz, folhas, etc) devem ser separados e pesados. Para este método, a estimativa demanda um custo elevado e muito tempo.

Ainda segundo Salati (1994) para o método indireto, as estimativas de quantificação de biomassa são feitas por equações alométricas, por estimativas de dados coletados no inventário florestal e através do sensoriamento remoto. Sendo que este não requer a destruição do material vegetal e ainda possui uma quantificação é rápida e barata. Este segundo método se revela uma ferramenta eficiente e operacionalmente simples na análise da dinâmica florestal, porém sua limitação está em uma menor precisão e na necessidade de depender de fontes confiáveis, sobre a biomassa florestal, obtidos por outros métodos diretos.

As equações alométricas são determinadas a partir de relações das medições de variáveis florestais coletados apenas de árvores selecionadas durante o inventário florestal e são então dependentes de fatores como: espécies de árvores, altura e diâmetro à altura do peito (DAP) (BACCINI et al, 2004).

Mesmo quando se utiliza o mesmo banco de dados, as duas metodologias de quantificação de biomassa podem produzir estimativas divergentes, devido principalmente, ao rigor na coleta e no processamento dos dados. Estimar a biomassa florestal de toda a Amazônia além de ser impossível através do método direto é ilegal, sendo assim necessário o aperfeiçoamento dos métodos indiretos, a fim de obter estimativas mais confiáveis (HIGUCHI et al., 2004).

É importante observar que as estimativas de biomassa acima do solo (BAS) utilizando as equações alométricas, são consideradas superestimadas, pois o erro está associado à seleção do modelo alométrico, possuindo uma margem de erro de 20 % nas estimativas de BAS (KELLER et al., 2001). Para reduzir o erro é necessário levar em consideração as condições das localidades estudadas, como as características físicas e climáticas. Com a diminuição do erro aumenta-se a precisão das estimativas de biomassa, visto que as estimativas têm papel fundamental sobre as tomadas de decisões futuras, como por exemplo, a implantação de um projeto de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (NOGUEIRA et al., 2008).

2.3.2 Biomassa acima do solo (BAS)

Segundo o IPCC (2006), o termo Biomassa acima do solo (BAS), inclui toda a biomassa viva de árvores, arbustos, palmeiras, cipós, bambu e outras plantas vivas.

Estima-se que a maior proporção de incerteza de armazenamento de carbono nas florestas tropicais é nas BAS, ao qual, é responsável por 70-90% da produtividade primária líquida das florestas amazônicas, sendo que a sua variabilidade espacial depende de fatores como o clima, perturbações naturais e humanas, tipo de solo, variações topográficas, entre outras (MALHI et al., 2009; SAATCHI et al., 2011). Outro fator importante na variabilidade de densidade espacial de BAS é a formação de diferentes tipos de vegetação (HOUGHTON et al., 2009).

Os esforços de estimar a real distribuição e quantificação de biomassa, depende da integração de técnicas de sensoriamento remoto e inventário florestal, devido à grande extensão geográfica das florestas e a dificuldade de acesso e também devido à variabilidade espacial natural da biomassa florestal (GIBBS et al., 2007).

Neste estudo serão considerados apenas as estimativas de biomassa acima do solo para a Amazônia legal, com dados provenientes dos trabalhos desenvolvidos por Saatchi et al. (2011) e Baccini et al. (2012). A biomassa abaixo do solo é geralmente estimada a partir da biomassa acima do solo, utilizando equações de regressão, desenvolvidos a partir de dados coletados em campo. Os métodos de coleta e medição de biomassa baixo do solo são considerados trabalhosos, demorados e tecnicamente desafiador para serem executados corretamente (SAATCHI et al., 2011).

Outro fator decisivo para considerar apenas a biomassa acima do solo, é que o sensores captam as métricas sensíveis aos atributos estruturais da vegetação, da paisagem, e das variáveis ambientais, ou seja, os mesmos não são capazes de detectar a biomassa abaixo do solo (SAATCHI et al., 2007).

2.3.3 Dados de satélite na estimativa de biomassa

Para Watzlawick et al. (2009) com o auxílio do sensoriamento remoto temos a possibilidade de estimar parâmetros biofísicos confiáveis, por exemplo, a quantidade de biomassa e a de carbono em áreas florestais. Muitos esforços têm sido realizados para desenvolver ferramentas e modelos capazes de extrapolar informações coletadas em campo para escalas maiores, através da integração com dados de sensoriamento remoto (GIBBS et al., 2007). A integração de dados de sensores, métricas de sensoriamento remoto e medições

de campo, tem evoluído para a melhora das tecnologias que estimam a biomassa (SAATCHI et al., 2007).

De modo recente, foram publicados 3 mapas de estimativa de biomassa (SAATCHI et al., 2007; SAATCHI et al., 2011; BACCINI et al., 2012) e que hoje são utilizados de forma ampla para tomadas de decisões em relação à REDD.

O REDD é um mecanismo promovido no Brasil pela PNMC, que tem por objetivo, a redução das emissões de gases do efeito estufa oriundos do desmatamento e da degradação florestal, em países em desenvolvimento detentores de florestas tropicais, através de incentivos financeiros pelos serviços ambientais (IPAM, 2012). Em uma versão mais ampliada, representado pela sigla REDD+ ou REDD *plus*, pode ser entendido como a construção de um mecanismo de inclusão de atividades de manejo sustentável de florestas, atividades de conservação e aumento dos estoques de carbono florestal de forma a prover incentivos aos países em desenvolvimento (FIORINI, 2012).

Saatchi et al. (2007) observaram a importância do aperfeiçoamento de técnicas de quantificação de biomassa para toda a Amazônia e apresentaram um novo método de extrapolação de dados, ao qual consiste na coleta de dados oriundos de um grande número de parcelas (544 parcelas distribuídas por toda Amazônia, em diferentes tipos de vegetação) combinando-os com dados de sensoriamento remoto. Os estudos de Saatchi et al. (2011) e de Baccini et al. (2012) quantificaram distribuição de biomassa, para isso eles utilizaram dados de campo e metodologia de maneira diferenciada, porém utilizaram informação base semelhantes e mesmo conjunto de dados LiDAR (Tabela 1).

Tabela 1- Principais características dos mapas de biomassa recentemente publicados.

	Saatchi et al. (2011)	Baccini et al. (2012)
Localização do estudo	Florestas tropicais da África, América e Ásia	Florestas pan tropicais da África, América e Ásia
Estimativa do estoque de carbono na área de estudo	247 Gt C	228,7 Pg C
Parcelas de campo	493	283
Resolução espacial	1 Km	500 m
Medição em campo (inventário florestal)	1995 a 2005	2008 a 2010
Dados de satélite	2000 a 2001	-----
Algoritmo	Maxent (Máxima entropia)	Random Forest (Algoritmo baseado em árvores de decisão com variações controladas)
Equações alométricas	Equações envolvendo diâmetro da árvore, altura e densidade de madeira	Equações que envolvem diâmetro e altura
Informação altimétrica	GLAS - Utilizaram parcelas na Amazônia para relacionar a forma da onda (LiDAR) com a altura Lorey (área basal ponderada com a altura média) e em seguida utiliza dados de campo para converter a altura Lorey em biomassa através de equações específicas para cada continente	GLAS - Regressão múltipla para relacionar as características da forma da onda (LiDAR) com o valor da biomassa das parcelas
Dados de elevação		
Outros dados	SRTM MODIS: LAI/NDVI/VCF; QUIKSCAT	SRTM MODIS; BRDF

GLAS: Geoscience Laser Altimeter System; LIDAR: Light Detection and Ranging; SRTM: Shuttle Radar Topography Mission; LAI: Índice de Área Foliar; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; VCF: Campo Contínuo de Vegetação; QUIKSCAT: Quick Scatterometer; BRDF: Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional.

Fonte: Saatchi et al. (2011); Baccini et al. (2012).

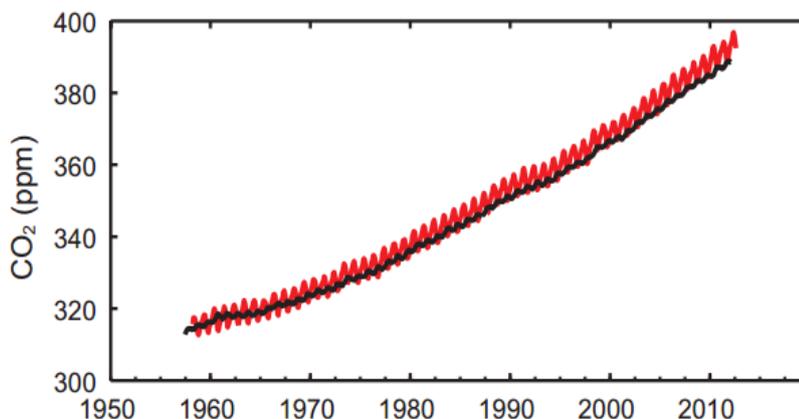
2.4 Emissão de carbono

No período de 1850 a 1998, as emissões de dióxido de carbono (CO_2) aumentaram progressivamente, devido à ação da queima dos combustíveis fósseis, com 280 Pg C a pelas mudanças de uso do solo, com aproximadamente 136 Pg C (IPCC, 2001). Estudos apontam que aproximadamente 12% das emissões de carbono provêm das alterações de uso e cobertura do solo, sendo então o desmatamento o responsável por grande parte deste total (LE QUÉRÉ et al., 2009).

As concentrações de CO_2 estão aumentando a uma taxa anual de 3 a 4 Pg C, este valor seria significativamente maior sem o sumidouro natural de carbono que são as florestas, visto que são capazes de absorver 0,5 a 0,9 Pg C (MALHI, 2010). Podemos observar na Figura 2 a serie temporal das concentrações de CO_2 atmosférico desde o século passado até atualmente, no observatório de Mauna Loa, no Havaí, as concentrações aumentaram em 40% desde a era pré- industrial devido em primeiro lugar as emissões provenientes de combustíveis fósseis e em segundo lugar as emissões decorrentes das mudanças de uso e cobertura do solo.

Como pode ser observado na Figura 2 a linha ondulada que aparece no gráfico reflete a variação sazonal do fluxo de CO_2 entre a atmosfera e a biota, visto que os dados foram coletados no hemisfério norte. No destaque do gráfico em vermelho, o ciclo anual, é mostrado como essa variação ocorre ao longo do ano. O aumento ou a diminuição desse fluxo está diretamente relacionado com os processos de fotossíntese e de respiração. Em alguns períodos do ano, o processo de fotossíntese é maior do que o de respiração. Em outras épocas isso se inverte. Assim, o nível de CO_2 aumenta em outono com a maior quantidade de decomposição da matéria orgânica e diminui na primavera, período no qual a vegetação sequestra maior quantidade deste composto para seu crescimento.

Figura 2- Concentração atmosférica anual de dióxido de carbono (CO₂) no observatório de Mauna Loa, desde 1950.



Fonte: (IPCC, 2013)

Grande parte do CO₂ emitido pela ação antropogênica é absorvido através da fotossíntese pelas plantas e pelos oceanos, porém quando há a remoção da cobertura vegetal, a concentração de CO₂ aumenta progressivamente. A vegetação retira CO₂ da atmosfera através da fotossíntese, entretanto, grande parte desse carbono é devolvido para a atmosfera através da respiração e da decomposição. A relação entre a fotossíntese (absorção de carbono) com a respiração e decomposição (retorno de carbono para a atmosfera) é então desequilibrado pelo desmatamento, ou seja, está havendo mais incremento de CO₂ na atmosfera do que absorção líquida pela biosfera (LACERDA; NOBRE, 2010).

As florestas são os maiores reservatórios de carbono, dentre os ecossistemas terrestres, estas detêm cerca de 80% de carbono na forma de biomassa da vegetação e 40% alocado nos solos. O carbono pode ser emitido para a atmosfera em grande quantidade pela mudança ou transição de um tipo de floresta para outro tipo de uso (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2002). As mudanças de uso e de cobertura são capazes de liberar carbono nas formas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), sendo estes, os gases que contribuem diretamente para o efeito estufa (FEARNSIDE, 2008).

O sistema INPE-EM disponibiliza estimativas anuais das emissões de gases do efeito estufa para a Amazônia Brasileira, a partir de dados do PRODES, esse sistema considera tanto as estimativas de primeira ordem, quanto estimativas de segunda ordem, utilizando dados para o período de 2002 a 2013. As estimativas de primeira ordem supõem que 100% das emissões ocorram no momento da modificação de uso e cobertura do solo e são normalmente utilizadas para cálculos de emissões mais simples e de maneira indutiva. As emissões de segunda ordem

representam o processo gradativo de liberação e absorção de carbono, sendo mais utilizadas em trabalhos que necessitam um maior embasamento científico e precisão (Tabela 2) (INPE, 2015).

Tabela 2- Estimativa de emissão de CO₂ por desmatamento de corte raso.

Ano	Emissões de CO ₂ (MtonCO ₂ /ano)					Outros gases (Mton CO ₂ e Eq/ano) por queima	
	Desmatamento (km ² /ano)	1 ^a Ordem	2 ^a Ordem			CH ₄	N ₂ O
		Total (Mton CO ₂)	Total (Mton CO ₂)	% por queimada	% por decomposição		
2002	21651	1005	915	328	587	35	10
2003	25397	1213	1018	396	622	43	13
2004	27772	1309	1120	428	692	46	14
2005	19014	892	1048	291	757	31	9
2006	14286	683	922	223	699	24	7
2007	11651	568	802	185	617	20	6
2008	12911	629	746	205	541	22	6
2009	7464	392	637	128	509	14	4
2010	7000	374	554	122	432	13	4
2011	6418	338	491	110	381	12	3
2012	4571	228	414	74	340	8	2
2013	5843	294	384	96	288	10	3

Fonte: (INPE, 2015)

Essas estimativas não levaram em consideração as emissões e as remoções de outros tipos de vegetação, também não são quantificadas as emissões decorrentes do processo de degradação florestal (INPE, 2015).

Para Anderson et al ., (2015) as estimativas das emissões brutas, referem-se ao carbono que foi imediatamente liberado para a atmosfera mais o carbono emitido a partir de decomposição da matéria orgânica morta primeiro ano após a queima. As emissões líquidas estão relacionadas com às mudança no uso da terra de florestas primárias e secundárias para

atividades florestais e/ou agropecuárias. Já as remoções estão relacionadas à regeneração natural da vegetação (EMBRAPA, 2014).

Para Houghton (2005), na década de 90 a Amazônia brasileira liberou 200 milhões de toneladas de carbono por ano, ou seja, 3% do total global. Para a década passada, a emissão oriunda do desmatamento foi de 220 milhões de toneladas de carbono por ano, o que resultou em perdas significativas a biodiversidade, ao ciclo hidrológico e aumento da temperatura.

Nesse sentido, Aragão et al. (2014), consideram que para reduzir as emissões de gases do efeito estufa derivado das mudanças de uso e cobertura do solo é necessário reduzir o desmatamento da Amazônia brasileira, pois os mesmos estão amplamente relacionados. Durante o período de 1999 a 2008, as emissões de CO₂ oriundos de desmatamentos na Amazônia foram estimados em 700-800 M ton CO₂/ano, no entanto, se considerarmos o período onde houve as maiores quedas das taxas de desmatamento (2004-2005), os valores estimados são de 500-550 M ton CO₂/ano (AGUIAR et al., 2009).

Outro aspecto apontado por Houghton et al. (2000) e Aguiar et al. (2009) são as estimativas das emissões de carbono e as incertezas atribuídas a elas. As estimativas geralmente são discrepantes, isto é, devido a cálculos utilizando diferentes abordagens metodológicas e dificuldade na obtenção de dados confiáveis, visto que essas informações são necessárias para a elaboração de planos que visem o monitoramento adequado a redução de emissões. Já as incertezas do total de emissões, estão atribuídas às incertezas dos estoques de carbono em áreas desmatadas ou em regeneração e na falta de dados confiáveis a respeito do total que estava estocado.

Para reduzir as incertezas do total de emissões resultantes do desmatamento e da degradação florestal são necessárias informações completas e de qualidade como: i) séries históricas de dados a respeito da dinâmica do processo do desmatamento; ii) incorporar ao cálculo do valor líquido das emissões a porcentagem da biomassa convertida em gases; iii) informações da quantidade e distribuição espacial da biomassa existente nos diferentes tipos de vegetação; iv) processo gradativo de liberação de carbono resultantes das mudanças de uso/cobertura e v) contribuição do restabelecimento da vegetação secundária (SAATCHI et al., 2011; AGUIAR et al., 2012; BERENQUER et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Os municípios de Paragominas e Ulianópolis estão localizados no Estado do Pará (Figura 3), com sedes estão localizadas em $3^{\circ} 00' 00''$ S, $47^{\circ} 21' 30''$ W e $3^{\circ} 45' 32''$ S, $47^{\circ} 29' 26''$ W respectivamente, com uma extensão geográfica de 19 mil km² para Paragominas e 5 mil km² para Ulianópolis.. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), em 2010 a população de Paragominas e Ulianópolis era de 97.819 e 43.341 respectivamente.

Figura 3- Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Base de dados do IBGE (2010).

Esses municípios foram escolhido pois: a) estão próximos entre si; b) estão localizadas em uma região que apresenta altos níveis de desmatamento (INPE/PRODES, 2013), ou seja, tiveram suas florestas altamente exploradas, ocasionados pelas atividades madeireiras, pela abertura de pastagens e pelo avanço do agronegócio, sendo fortemente representado pela soja e pela pecuária; c) passam por constantes transformações na paisagem; d) possuem características diferenciadas quanto ao histórico de uso e ocupação do solo; e)

significativa importância econômica, social e ambiental, no estado do Pará; f) passam por um processo acelerado de urbanização; h) em ambos municípios existem peculiaridades locais, de gestão e de gerenciamento.

3.1.1 Características edafo-climáticas e de vegetação da área de estudo

Os municípios de Paragominas e Ulianópolis apresentam um clima classificado como Am segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 30° C podendo variar de 22° C a 38° C. Umidade relativa do ar média em torno de 85 % e a precipitação pluviométrica elevada, variando em torno de 2500 mm durante o ano (FISCH et al., 1998; LOPES et al, 2013).

Os solos predominantes nos municípios são representados por Latossolo Amarelo, com textura argilosa, Argissolos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos, Neossolos Areias Quartzosas, Solos Aluviais e Solos indiscriminados nas áreas de várzea (RODRIGUES, 2003; EMBRAPA, 2012).

A vegetação do local é representada predominantemente por florestas ombrófilas densas e pela floresta densa de planície aluvial. Entretanto a intensa remoção da cobertura florestal original, provocada pelo avanço da agropecuária na região resultou na formação de áreas de vegetação secundária em diversos estágios de desenvolvimento, áreas de cultivo e implantação de pastagens (IDESP, 2011).

3.1.2 O município de Paragominas

O município de Paragominas está localizado próximos a rodovia Belém-Brasília, mais precisamente entre os meridianos 2° 25' e 3° 48' de latitudes Sul e 46° 25' e 48° 53' de longitude Oeste. Distante a 320 km de Belém, a capital do Estado do Pará, o mesmo está incluído na lista de municípios que pertencem à Mesorregião Sudeste Paraense e à Microrregião de Paragominas. Este, limita-se à leste com o Estado do Maranhão, à oeste com os municípios de Ipixuna do Pará, à norte com os municípios de Nova Esperança do Piriá e Ipixuna do Pará e à sul com Ulianópolis, Dom Eliseu e Goianésia do Pará (IBGE, 2010).

Em 1965, a cidade de Paragominas foi fundada. Atualmente, é possível encontrar diversas atividades econômicas, como o manejo e a exploração florestal, reflorestamentos, criação de gado bovino, cultivo de grãos, como a soja, e a exploração mineral. Sendo assim, possui um alto dinamismo econômico (PINTO et al., 2009).

Ainda segundo Pinto et al. (2009) o dinamismo de Paragominas é resultado da combinação de 4 fatores: i) está localizada às margens da rodovia Belém-Brasília; ii) durante os anos de 1960 e 1980, teria sido beneficiada com políticas públicas de ocupação territorial; iii) o município teve grande quantidade de matéria-prima de alto valor comercial, como a madeira e o minério e; iv) migração de mão-de-obra qualificada e empreendedora.

Entre as décadas de 1970 e 1980 foi apontado um crescimento anual de 12,6% na população de Paragominas sendo que no ano 2007, o município atingiu uma densidade demográfica de 4,7 habitantes/ km².

Os setores econômicos de Paragominas passaram por alterações durante as últimas décadas. Em meados de 1960 e 1980, a principal atividade exercida era a pecuária extensiva. O uso das pastagens foi tão intenso que, durante esse mesmo período, foram iniciadas as primeiras pesquisas sobre recuperação de pastagens degradadas (LEAL, 2000).

Entre as décadas de 1970 e 1980, o extrativismo florestal se intensificou e grandes áreas de floresta foram então exploradas com a finalidade de comercialização da madeira. Durante a década de 1990, Paragominas era considerada o maior polo de produção madeireira do Brasil (VERISSIMO et al., 2002).

No final da década de 1990, as atividades madeireiras e de pecuária extensiva decresceram. Para Veríssimo et al. (2002), os motivos que ocasionaram essas mudanças foram a diminuição da matéria-prima e o aumento considerável do frete para transporte do material, significando então menor lucro dos agentes que atuavam sobre a exploração. Em relação à pecuária extensiva, essa prática foi atingida pela inflação que acometeu o Brasil no fim da década de 1980, que acarretou baixos investimentos na produção (LEAL, 2000).

Em seguida, após declínio das atividades madeireiras e da pecuária, começou a haver a diversificação na produção e outras atividades, como a mineração, que também se instalaram no local após o declínio do setor madeireiro (EMMI; CARVALHO, 2003).

Baseado em dados do INPE/PRODES (2013), até o ano de 2008, foram desmatados 8.415,4 km² em Paragominas, ou seja, 43,5% do percentual da área total, caracterizado então como o segundo município no Estado do Pará que mais desmatou até o ano de 2008, perdendo apenas para São Feliz do Xingu com 16.206,2 km² de área desflorestada. Devido a isto, Paragominas entrou para a listagem dos municípios que mais desmataram a Amazônia, elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

No ano de 2010, Paragominas, teve seu nome retirado da lista dos municípios que mais degradaram o meio ambiente. Para entrar na listagem dos municípios com desmatamento monitorado e controlado, o município teve que atender a dois critérios estabelecidos pelo

MMA: ter pelo menos 80% das propriedades registradas com o Cadastro Ambiental Rural (CAR), ou seja, o CAR foi estritamente necessário, sendo considerado como uma ferramenta inicial à regularização ambiental e identificação do imóvel rural. O outro critério era combater o desmatamento é mantê-lo abaixo de 40 km² por ano (PINTO et al., 2009).

Com todos os esforços para que Paragominas entrasse na lista dos municípios com desmatamento monitorado e controlado, o mesmo obteve resultados significativos. Até o ano de 2013, o desmatamento foi de 8689,5 km² (INPE/PRODES, 2013). Para que um município pudesse aderir ao plano “Município Verde”, seriam necessárias algumas medidas como: reduzir o desmatamento, promover a recuperação de áreas degradadas, exercer de maneira correta a legislação ambiental e social, manejar adequadamente as florestas nativas, aderir a economia de baixo carbono e manutenção da biodiversidade entre outras especificações (GUIMARÃES et al., 2011).

No ano de 2011, através do decreto nº 54/11 (Programa Estadual Municípios Verdes), Paragominas aderiu ao plano “Municípios Verdes”, obtendo vantagens como: possuir segurança jurídica, obter valorização no mercado (garantia de o consumidor adquirir um produto cuja procedência não ofereceu risco ao meio ambiente), atrair bons investidores, possuir mais crédito, fomento e assistência técnica (GUIMARÃES et al., 2011).

3.1.3 O município de Ulianópolis

O município de Ulianópolis está localizado na Mesorregião Sudeste Paraense e na Microrregião Paragominas entre as coordenadas 3° 45' 32" de latitude Sul e 47° 29' 26" de longitude Oeste. Distante a 400 km da capital Belém. Ulianópolis limita-se à leste com o Estado do Maranhão, à oeste com o municípios de Dom Eliseu e Paragominas, à norte com o município de Paragominas e à sul com Dom Eliseu do Pará (IBGE, 2010).

Ulianópolis foi desmembrada de Paragominas por meio da Lei nº 5.697 de dezembro de 1991, sendo que a sua história está diretamente ligada a Paragominas (SEPOF, 2014).

A economia de Ulianópolis era baseada no extrativismo (vegetal e mineral), na pecuária e na agricultura. Nos últimos anos a indústria madeireira entrou em declínio em virtude da escassez de madeira.

Até o ano de 2008, o município de Ulianópolis desflorestou cerca de 3.351,5 km², ou seja, 65,43% da área total. Por causa do desflorestamento, Ulianópolis entrou para a listagem do MMA, como um dos municípios que mais desmataram na Amazônia (INPE/PRODES, 2013).

No ano de 2012, Ulianópolis foi o 5º município a ter o nome retirado da lista dos municípios que mais desmataram a Amazônia e entrou para a listagem dos municípios com desmatamento monitorado e controlado. Para isso teve que atender aos mesmos critérios já descritos pelo MMA no município de Paragominas (MMA, 2012).

Com todos os critérios e os esforços necessários de se manter na listagem dos municípios com desmatamento monitorado e controlado, o município de Ulianópolis desmatou até 2013, 3.480,6 km². (INPE/PRODES, 2013).

3.2 Materiais

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

a) Mapas de uso e cobertura do solo: Mapas do projeto TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. No Projeto TerraClass, os mapas foram gerados a partir da interpretação visual de imagens do satélite Landsat 5/TM, bandas 3 (região do vermelho), 4 (região do infravermelho próximo) e 5 (região do infravermelho médio). Os dados digitais do projeto são disponíveis para download em suas respectivas órbitas-ponto do satélite Landsat 5 (sensor TM), no Sistema de Projeção Lat/Long e Sistema Geodésico de Referência SAD 69 (INPE, 2015).

Uma parte das classes temáticas foram extraídas através da compilação do banco de dados do PRODES. Essas classes são representadas por áreas que não possuem a presença antrópica ou áreas que não possuem fitofisionomia vegetal, tais como: floresta, não floresta, hidrografia e desmatamento do ano mapeado. A outra parte foi mapeada, sendo compostas de diferentes usos e coberturas que substituíram a floresta após o desflorestamento total identificados e mapeados pelo PRODES e são as seguintes classes: vegetação secundária, agricultura anual, pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto, pasto com solo exposto, mosaico de ocupações, área urbana, mineração, área não observada e outros (Tabela 3).

Tabela 3- Classes temáticas mapeadas pelo projeto TerraClass e descrições.

Classes	Descrição
Floresta*	Vegetação arbórea pouco alterada ou inalterada com formação de dossel contínuo sendo composta por espécies nativas
Não floresta*	Vegetação pertencente a diferentes fitossionomias de vegetação não florestal
Hidrografia*	Classe referente a águas da superfície
Desmatamento	Classe referente ao mapeamento das áreas desflorestadas
Agricultura anual	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual
Mosaico de Ocupações	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso e cobertura ao qual não é possível executar a devida discriminação
Área Urbana	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional
Mineração	Áreas de extração mineral com presença de clareiras e solo exposto
Pasto limpo	Áreas de pastagem em processo produtivo recém implantados
Pasto sujo	Áreas de pastagem em processo produtivo, ao qual envolve diferentes estágios de degradação
Regeneração com pasto	Áreas que após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontra-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa
Pasto com solo exposto	Áreas que após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, apresentam o solo exposto ou com baixíssima cobertura vegetal
Vegetação secundária	Áreas que após a supressão total da vegetação encontra-se em processo avançado de regeneração natural
Reflorestamento (Incluso em 2010)	Áreas que após o corte raso foram reflorestadas com espécies exóticas ou nativas com a finalidade comercial
Área não observada	Áreas que tiveram sua interpretação impossibilitada pela presença de nuvens
Outros	São áreas que não se enquadram na chave de classificação

*Classe constituída pelos polígonos compilados diretamente do banco de dados do projeto PRODES.

Fonte: (TERRACLASS, 2008)

b) Biomassa acima do solo: Foram selecionadas 15 classes de uso e cobertura para que sejam estimadas a biomassa acima do solo para a pesquisa. Os valores de BAS de algumas classes de uso e cobertura do solo foram encontrados em literatura (Tabela 4).

Tabela 4- Variáveis de biomassa acima do solo.

Variáveis	Fonte
Agricultura Anual	Salimon et al. (2011)
Floresta	Saatchi et al. (2011)
Não Floresta	Pinheiro et al. (2009a)
Pasto Limpo	Salimon et al. (2011)
Reflorestamento	Rondon (2002) e Gama (2007)
Regeneração com Pasto	Saatchi et al. (2011)
Vegetação Secundária	Saatchi et al. (2011)

c) Dados socioeconômicos: Foram selecionadas 21 variáveis socioeconômicas agrupadas em 6 dimensões, que podem ser verificadas na Tabela 5.

Tabela 5- Dimensões e variáveis socioeconômicas

Dimensão	Variáveis	Unidade de medida
Aspectos demográficos	População total	Número de pessoas no município
	Taxa de fecundidade total	Filhos por mulher
	Esperança de vida ao nascer (em anos)	Anos
Índice desenvolvimento humano municipal e seus componentes	IDHM	-
	IDHM Educação	-
	IDHM Longevidade	-
	IDHM Renda	-
Renda	Índice de Gini	-
	Renda per capita	-
	Ocupados com rendimento de até 1 salário mínimo	Percentual (%)
	Ocupados com rendimento de até 2 salários mínimos	Percentual (%)
Educação	Taxa de escolaridade	Anos
	Fundamental incompleto e analfabeto	Percentual (%)
	Fundamental incompleto e alfabetizado	Percentual (%)
	Fundamental completo e médio incompleto	Percentual (%)
	Médio completo e superior incompleto	Percentual (%)
	Superior completo	Percentual (%)
Trabalho	População economicamente ativa ocupada	Percentual (%)
	População economicamente ativa desocupada	Percentual (%)
Saúde	Mortalidade até 1 ano de idade	-
	Mortalidade até 5 anos de idade	-

Fonte: IBGE (2000); IBGE (2010).

Conforme descrito na tabela 5, todas as variáveis socioeconômicas foram coletadas nos anos de 2000 e de 2010 para cada município estudado. A descrição das variáveis utilizadas nessa pesquisa refere-se, conforme PNUD (2015), a:

- População total: População Residente total;
- Taxa de fecundidade total (filhos por mulher): Número médio de filhos que uma mulher teria ao terminar o período reprodutivo;
- Esperança de vida ao nascer (em anos): Número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento;
- IDHM: O IDHM é a média simples de três indicadores sintéticos parciais (IDHM- Longevidade, IDHM- Renda e o IDHM- Educação). Tem por objetivo mensurar os níveis de desenvolvimento alcançados pelos municípios;
- IDHM Educação: Sub-índice do IDHM relativo à educação. Obtido a partir da taxa de alfabetização e número médio de anos de estudo, convertidos em índices;
- IDHM Longevidade: Sub-índice do IDHM relativo à dimensão longevidade. É obtido a partir do indicador esperança de vida ao nascer;
- IDHM Renda: Sub-índice do IDHM relativo à dimensão renda. É obtido a partir do indicador renda familiar per capita;
- Índice de Gini: É um indicador que mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos baseado na renda domiciliar per capita. O valor do índice de Gini pode variar de 0 a 1. O valor zero indica que não há desigualdade, ou seja, a renda de todos os indivíduos tem o mesmo valor. O valor 1 indica que a desigualdade é considerada máxima, ou seja, apenas um indivíduo detém toda a renda da sociedade e a renda de todos os outros indivíduos é nula;
- Renda per capita: Razão entre o somatório da renda per capita de todos os indivíduos e o número total desses indivíduos;
- Percentual dos ocupados com rendimento de até 1 salário mínimo: Percentual de pessoas ocupadas (pessoas ocupadas na semana de referência que tinham trabalho durante todo ou parte desse período, incluíram-se, ainda, como ocupadas as pessoas que não exerceram o trabalho remunerado que tinham na semana de referência por motivo de férias, licença, greve, etc.) e com rendimento de até 1 salário mínimo (considerou-se o salário mínimo que vigorava no mês de referência);
- Percentual dos ocupados com rendimento de até 2 salário mínimo: Percentual de pessoas ocupadas (pessoas ocupadas na semana de referência que tinham trabalho durante todo ou parte desse período, incluíram-se, ainda, como ocupadas as pessoas que não

exerceram o trabalho remunerado que tinham na semana de referência por motivo de férias, licença, greve, etc.) e com rendimento de até 2 salários mínimos (considerou-se o salário mínimo que vigorava no mês de referência);

- Taxa de escolaridade: indica a proporção de pessoas (de um grupo etário) frequentando escola (cursos regulares de educação pré-escolar, ensino de 1º grau, 2º grau, ensino de graduação e de pós-graduação) em relação ao total da população (do mesmo grupo etário);

- Percentual de indivíduos com ensino fundamental incompleto e analfabeto: Percentual de pessoas que não completaram o ensino fundamental e que não sabem ler e nem escrever um bilhete simples no idioma que conhecem;

- Percentual de indivíduos com ensino fundamental incompleto e alfabetizado: Percentual de pessoas que não completaram o ensino fundamental e que sabem ler nem escrever um bilhete simples;

- Percentual de indivíduos com ensino fundamental completo e médio incompleto: Percentual de pessoas que completaram o ensino fundamental e que não completaram o ensino médio;

- Percentual de indivíduos com ensino médio completo e superior incompleto: Percentual de pessoas que completaram o ensino médio e que não completaram o ensino superior;

- Percentual de indivíduos com ensino superior completo: Percentual de pessoas que completaram o ensino superior;

- Percentual da população economicamente ativa ocupada: Percentual de pessoas economicamente ativas na semana de referência que compuseram-se das pessoas ocupadas (pessoas ocupadas na semana de referência que tinham trabalho durante todo ou parte desse período, incluíram-se, ainda, como ocupadas as pessoas que não exerceram o trabalho remunerado que tinham na semana de referência por motivo de férias, licença, greve, etc.);

- Percentual da população economicamente ativa desocupada: Percentual de pessoas economicamente ativas na semana de referência que se compuseram das pessoas desocupadas (pessoas desocupadas na semana de referência que não tinham trabalho durante todo ou parte desse período);

- Mortalidade até 1 ano de idade: Probabilidade de morrer entre o nascimento e a idade exata de 1 ano, por 1000 crianças nascidas vivas;

- Mortalidade até 5 anos de idade: Probabilidade de morrer entre o nascimento e a idade exata de 5 anos, por 1000 crianças nascidas vivas;

d) Validação das estimativas: Para a validação das estimativas de BAS, utilizou-se dados de Saatchi et al. (2011) e dados de Berenguer et al. (2014) (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros comparativos entre trabalhos.

Parâmetros	Saatchi et al. (2011)	Berenguer et al. (2014)*	Neste trabalho
Quanto a área de abrangência	Florestas tropicais da África, América e Ásia	Municípios de Santarém e Paragominas	Municípios de Paragominas e Ulianópolis
Quanto a escala temporal	2000	Cronosequência referentes ao período de 1988-2010	Anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.
Quanto ao método de análise/estimativa	Dados coletados em campo e dados de sensoriamento remoto	Dados coletados em campo	Classes de uso e cobertura do solo do projeto TerraClass e valores de BAS

(*) Dados dos plots da classe vegetação secundária do trabalho de Berenguer et al. (2014).

3.3 Métodos

3.3.1 Sistematização dos dados

O tratamento e a análise do conjunto de dados das informações georeferenciadas foram conduzidos no software ArcGis versão 10.1. Foram armazenados no sistema informações disponíveis em meio digital, oriundos de diversas fontes. Nele foram inseridos os dados de uso e cobertura do solo para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012 do projeto TerraClass e valores de BAS, derivados dos trabalhos de diversos autores como Saatchi et al. (2011) e Salimon et al. (2011). Todos os dados inseridos no ArcGis sofreram recortes para a área de estudo (municípios de Paragominas e Ulianópolis).

3.3.2 Reamostragem dos dados

Para que os dados de biomassa de Saatchi et al. (2011) estivessem na mesma resolução espacial que os dados do projeto TerraClass, foi realizada a reamostragem dos dados. Isto foi realizado, pois o conjunto de dados utilizados no estudo apresenta resoluções espaciais diferenciadas. Assim, torna-se necessário a reamostragem do tamanho do pixel com a finalidade de viabilizar as análises e de modificar a resolução espacial do arquivo em formato Raster (ALTMANN et al., 2009). A reamostragem do tamanho do pixel é importante durante a realização das análises quantitativas, visto que, não é possível realizar análises, comparações e sobreposições entre dados com resoluções espaciais diferenciadas (PINHO et al., 2005).

O pixel de 1 km de resolução espacial do trabalho de Saatchi et al. (2011), foi reamostrado, ou seja, foi alterada a sua resolução espacial, para 30 metros (mesma resolução espacial dos dados do projeto TerraClass), através do interpolador vizinho mais próximo (RICHARDS; JIA, 2006).

A interpolação por vizinho mais próximo utiliza o cálculo da distância entre o elemento interpolado e os elementos vizinhos, sendo que o valor atribuído ao elemento interpolado é o mesmo da amostra vizinha mais próxima (ALCANTARA; ZEILHOFER, 2006).

3.3.3 Determinação da área segundo o uso e cobertura do solo

Nesta etapa do trabalho foram utilizados dados do Projeto TerraClass (INPE, 2015), referentes aos mapeamentos dos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os dados digitais do projeto TerraClass estão disponíveis por órbitas-ponto, tendo por base o satélite Landsat 5-TM, através do sistema de projeção LAT/LONG datum SAD 69 (INPE, 2015). Cabe destacar que o projeto TerraClass mapeia 16 classes de uso e cobertura do solo, sendo que 4 classes foram compiladas diretamente do banco de dados do PRODES.

Algumas classes do TerraClass, foram compiladas diretamente do banco de dados do PRODES e em função da classificação do TerraClass contemplar a área do PRODES o desmatamento quantificado é decorrente de corte raso. Entretanto, no TerraClass e no PRODES não são contabilizadas as degradações de florestas nativas por queimadas, que também são responsáveis pela emissão de CO₂. E dada a dificuldade em obter os dados para o mesmo período, as queimadas não foram consideradas.

Buscou-se realizar uma comparação entre os mapeamentos levando em consideração a dinâmica das áreas de cada classe de uso e cobertura do solo, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis. A partir da obtenção dos mapas temáticos, foram realizadas as quantificações de área de cada classe mapeada e a análise da dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra nos anos de estudo.

Um método bastante utilizado em literatura com a finalidade de detectar, avaliar e quantificar as modificações ocorridas na paisagem envolve a utilização de matrizes de transição obtidas a partir da comparação entre dois mapas no tempo (ROMERO-RUIZ et al., 2012). Assim, para cada período (2004-2008, 2004-2010 e 2004-2012) foi gerada uma matriz de transição entre as classes de uso e cobertura.

A matriz de transição pode representar, de maneira simplificada, áreas que estão passando por diferentes transições entre as classes de uso e cobertura do solo, ou seja, representa todas as transições possíveis das classes de uso e cobertura do solo, para então verificar quais classes cederam e quais as que ganharam área (IPCC, 2003). Uma análise detalhada dos componentes das matrizes possibilita uma visão sobre os principais processos que determinam os possíveis padrões de uma paisagem, expondo as permutas, persistências, ganhos e perdas (BRAIMONH, 2006).

A diagonal da matriz identifica áreas que permaneceram sobre a mesma categoria entre os anos inicial e final da mesma classe, ou seja, a diagonal de cada uma das matrizes dá-nos informação sobre a probabilidade de os usos que não sofreram alteração entre as datas

consideradas. Portanto, o que estiver fora da diagonal serão as classes que sofreram conversão de uso e cobertura do solo, durante o período de estudo. Para efeitos de análise, excluiu-se a classe área não observada. Para isto, cada classe de uso e cobertura do solo foi codificada (Tabela 7).

Tabela 7- Classes de uso e cobertura do solo adotadas neste estudo.

Classe de uso e cobertura do solo	Abreviatura
Agricultura Anual	AA
Área Urbana	AU
Desflorestamento	DES
Floresta	FLO
Hidrografia	HID
Mineração	MIN
Mosaico de Ocupações	MO
Não Floresta	NF
Outros	OU
Pasto com solo Exposto	PSE
Pasto Limpo	PL
Pasto Sujo	OS
Reflorestamento	REF
Regeneração com Pasto	RP
Vegetação Secundária	VS

3.3.4 Espacialização da biomassa acima do solo (BAS)

A média zonal ou média aritmética zonal é um método que consiste em calcular a média de um atributo e atribuir este valor ao polígono ou zona que o limita (BARBOSA et al., 1998), permitindo desta maneira obter o valor médio de biomassa de cada classe.

Os valores de biomassa foram obtidos a partir do método da média zonal dos dados de BAS para cada uma das classes de vegetação mapeadas pelo TerraClass, para o ano de 2004. O algoritmo de média zonal calcula o valor médio de um atributo levando em conta todos os elementos que estão contidos pelos limites dos polígonos de cada uma das classes. Desta maneira, foram obtidos os valores médios de BAS para cada uma das classes para os polígonos de vegetação oriundos do TerraClass para cada município.

O mapa TerraClass 2004 foi adotada, depois de realizar a sobreposição de dados e verificar através da análise visual que este ano de mapeamento melhor se ajustava as estimativas de biomassa realizadas por Saatchi et al. (2011), para floresta e vegetação

secundária, visto que, no estudo de Saatchi et al. (2011), todas as amostras estão associadas a floresta e vegetação secundária. Portanto o modelo não foi eficiente para estimar a biomassa nas demais classes de uso e cobertura. Depois deste processamento, adotou-se o valor médio de cada classe de vegetação para os demais anos. Ou seja, cada polígono do mapeamento de 2008, 2010 e de 2012 com a mesma classe de 2004 recebeu o valor médio de biomassa de 2004 da respectiva classe.

Neste trabalho, supõe-se que os valores de média de biomassa acima do solo podem representar adequadamente o comportamento das medidas destas classes ao longo do tempo. Como consequência, também se propõe que as grandes alterações nos valores médios de biomassa acima do solo por município, são decorrentes das alterações do uso e cobertura do solo, ou seja, o que irá alterar é apenas o valor da área de cada classe de uso e cobertura do solo.

A metodologia utilizada para determinação dos valores médios de biomassa acima do solo (BAS) resultou de uma conjugação de diferentes métodos de estimativa de BAS disponíveis em bibliografia e através da extrapolação de dados.

a) Estoque médio de BAS em áreas de floresta, vegetação secundária e regeneração com pasto

Para as classes de floresta, vegetação secundária e regeneração com pasto, os estoques médios de BAS foram estimados usando o mapa de referência BAS de Saatchi et al. (2011).

b) Estoque médio de BAS em áreas de pasto limpo e pasto sujo

Para as áreas de pasto limpo, adotou-se o valor de 16 Mg de biomassa por hectare, obtido em Salimon et al., (2011). No caso do estoque médio de BAS da classe pasto sujo, adotou-se o valor de 38 Mg de biomassa por hectare, este resultado se deu através da estimativa média entre os valores das classes pasto com solo exposto, pasto limpo e regeneração com pasto (DIAS-FILHO, 2007). Este procedimento foi adotado devido à similaridade entre as classes analisadas pelo Projeto TerraClass entre os valores de biomassa estimados e também devido à falta de informações em literatura para a referida classe pasto sujo.

c) Estoque médio de BAS em áreas de agricultura anual

No caso do estoque médio em áreas de agricultura anual, adotou-se o valor de 11,6 Mg de biomassa por hectare (SALIMON et al., 2011).

d) Estoque médio de BAS em áreas de reflorestamento

Para a obtenção do estoque médio de BAS em áreas de reflorestamento, considerou-se as espécies predominantes de reflorestamento na área de estudo, sendo elas o paricá (*Schizolobium amazonicum*) e o eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Para o estoque médio de BAS em reflorestamento de Paricá, adotou-se o valor de 90 Mg de biomassa para cada hectare (RONDON, 2002). No caso do estoque médio de BAS dos reflorestamentos de Eucalipto, adotou-se o valor de 76,39 Mg de biomassa por hectare (GAMA, 2007).

Com os valores do estoque médio de BAS nos reflorestamentos de paricá e eucalipto, calculou-se a média aritmética de 84,19 Mg/ha de biomassa por hectare. Adotou-se este procedimento, devido a metodologia do TerraClass apenas classificar as classes de uso e cobertura e não identificar as espécies constituintes de cada área.

e) Estoque médio de BAS em áreas de não floresta

Para a classe não floresta (áreas de formações não florestais dentro da Amazônia Legal Brasileira, normalmente formações de cerrado e campinaranas) foi adotado o valor de 23,20 Mg/ha estimado por Pinheiro et al. (2009a).

f) Estoque médio de BAS em áreas de mosaico de ocupações

Para obtenção do estoque médio de biomassa acima do solo em áreas de mosaico de ocupações o valor de biomassa de 24,80 Mg de biomassa por hectare, foi calculado a partir da média aritmética entre o valor de biomassa em áreas de agricultura (11,6 Mg de biomassa/ha) e de pasto sujo (38 Mg de biomassa/ha). Adotou-se este procedimento pelo fato de não encontrar informações em literatura sobre esse tipo de formação e a metodologia do TerraClass informar que essas áreas são compostas principalmente por estes tipo de uso.

g) Estoque de BAS em áreas urbanas, desflorestamento, hidrografia, mineração, pasto com solo exposto e outros

Assumiu-se que o valor de carbono na biomassa em áreas urbanas (AU), desflorestamento, hidrografia, mineração, pasto com solo exposto e outros é igual a zero.

3.3.5 Fator de conversão para transformar biomassa em carbono

Para Sanquetta (2002) é de suma importância conhecer os teores de carbono presentes nos diversos tipos de vegetação, para que assim possam ser quantificados os estoques de carbono. No entanto, os teores contidos nos diferentes tipos de vegetação possuem ampla variação, que podem ser entre as classes de vegetação, entre as espécies ou até mesmo dentro do mesmo vegetal (distintos teores entre madeiras, cascas, folhas, etc). Devido à dificuldade operacional da obtenção desses diversos teores, foi convencionado a utilização de fatores de conversão de biomassa para carbono.

Devido à dificuldade metodológica e resultados diferenciados, o IPCC (2003) acordou em utilizar um valor único de 50% de carbono para cada tonelada de biomassa para realização de estudos a respeito das estimativas dos estoques de carbono. Durante este estudo foi estabelecido a distribuição espacial de carbono para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, a partir da distribuição espacial de biomassa acima do solo, ao qual o conteúdo de carbono foi considerado como sendo 50% da BAS.

3.3.6 Determinação da dinâmica do estoque de carbono

O Guia de Boas Práticas do IPCC (IPCC, 2003), estabelece que as estimativas de CO₂ devem ser geradas a partir do cálculo da diferença entre o estoque de carbono inicial e o estoque de carbono final, para cada uma das classes de uso e cobertura do solo, durante o período de estudo. O estoque de carbono “inicial” indica a categoria na data a qual foi iniciada a avaliação e o “final” representa a categoria a qual foi finalizado a avaliação.

O estudo revelou apenas a quantificação associadas apenas a perda e ao ganho de carbono sobre a cobertura vegetal, sendo então que os valores apresentados na matriz de transição ajudam a identificar o tipo de mudança ocorrido durante os anos de avaliação (2004, 2008, 2010 e 2012).

3.3.7 Quantificação das emissões de CO₂ associadas às mudanças de uso e cobertura do solo

A metodologia do IPCC, sugere que a mudança no estoque de BAS, sejam estimadas entre o ano a ser considerado e 10 anos antes. De acordo com o guia revisado (IPCC, 2003), as emissões de carbono resultantes das mudanças de uso e cobertura do solo, devem ser consideradas como emissões imediatas. Ou seja, o fluxo de CO₂ para a atmosfera é admitido como sendo igual as mudanças nos estoques de biomassa, representando uma simplificação

metodológica. Assim sendo, as taxas dos estoques de carbono, devem ser estimadas, determinando as mudanças de uso e cobertura do solo.

A metodologia utilizada neste trabalho para estimar as emissões de CO₂ seguiu de forma geral a metodologia do IPCC. No entanto, algumas modificações foram feitas, em função da disponibilidade de dados. As mudanças no estoques de carbono, foram estimadas a partir das classes de uso e cobertura do solo, definidas pelo TerraClass e PRODES, entre os anos de 2004 e 2012, ou seja, 8 anos, ao invés de 10 anos como sugeridos pela metodologia do IPCC. As emissões líquidas de CO₂ pela conversão da classe de uso e cobertura, ocorreram no mesmo ano da conversão, independentemente da destinação da biomassa, seja por queima, corte ou pela decomposição.

As emissões líquidas de CO₂ do setor de uso e cobertura do solo, referentes ao desmatamento, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis podem ser analisadas anualmente, visto que a base de dados de desmatamento é fornecida anualmente pelo PRODES/INPE. Porém, quando há necessidade de cálculo das emissões de CO₂ resultantes das mudanças de uso e cobertura do solo (mudanças entre as classes de uso e cobertura), os intervalos das análises foram prolongados e irregulares, visto que ainda há uma dependência da classificação executada pelo projeto TerraClass/INPE.

Para as dinâmicas dos fluxos de carbono, foram consideradas os ganhos e perdas (emissão e remoção) de cada classe de uso e cobertura do solo, para cada período (2004-2008; 2004-2010 e 2004-2012). Assim, para quantificar o carbono liberado e o carbono absorvido nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, foi utilizado o valor médio de estoque de carbono para cada classe de uso e cobertura do solo, obtidos a partir da média zonal (Tabelas 12 e 13).

Após calculadas as emissões de carbono, os resultados devem ser expressos em termos de emissões líquidas de CO₂. Para isso, multiplica-se o valor em Megagrama de carbono [Mg(C)] pelos pesos de CO₂ (Peso molecular = 44 e Peso atômico =12), conforme a Equação 1.

$$\frac{CO_2}{C} = \frac{44}{12} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Onde: } 1 \text{ Mg (CO}_2\text{)} = \frac{44}{12} \text{ Mg(C)}$$

3.3.8 Análise de dados

Foram efetuadas as coletas dos dados quantitativos, procedeu-se a análise dos mesmos, que de acordo com Gil (2010) tem como objetivo a organização e sumarização dos dados, possibilitando, dessa forma, fornecer respostas aos problemas propostos, que neste caso envolve as relações das mudanças de uso e cobertura do solo com os indicadores socioeconômicos e as emissões de carbono (Tabela 8).

Tabela 8- Procedimentos de análise adotados.

Parâmetros	Critérios
Avaliação de desempenho das estimativas de BAS	Superposição cartográfica entre os mapas de BAS de Saatchi et al. (2011) e Baccini et al. (2012) com os mapas de floresta do TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.
Avaliação entre os valores obtidos por simulação e por levantamentos de campo	Os valores de BAS de Saatchi et al. (2011) foram comparados com os observados em campo obtidos por Berenguer et al. (2014).
Análise estatística de validação dos dados	Aplicação da análise de regressão simples e cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e determinação (r^2); erro médio quadrático (EMQ). erro médio absoluto (EMA) e do comportamento dos resíduos.
Influência de dados discrepantes nos resultados	Aplicação do método de reamostragem de “ <i>bootstrap</i> ”.
Comparação entre os dados socioeconômicos e o estoque de carbono	Correlação a partir do diagrama de dispersão. Coeficientes de: correlação de Pearson (r) e determinação (r^2).

3.3.8.1 Estimativas de BAS

Para avaliar o desempenho das estimativas de BAS utilizadas neste estudo, primeiro foi analisado a superposição cartográfica entre os mapas de BAS de Saatchi et al. (2011) e Baccini et al. (2012) com os mapas de floresta do TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os dados de Saatchi et al. (2011) e o mapa do TerraClass para o ano de 2004 foram os que apresentaram menor diferença de superposição de polígonos.

Os valores de BAS observados em campo por Berenguer et al. (2014) foram comparados aos obtidos por Saatchi et al. (2011), com o objetivo de avaliar as diferenças entre os dados avaliados em campo pelo primeiro e obtidos por modelos do segundo. Como

fator de destaque, observa-se que Saatchi et al. (2011) trabalharam apenas com a classe floresta, enquanto que no trabalho de Berenguer et al. (2014) foram adotadas apenas as medidas feitas para vegetação secundária.

A BAS estimada foi comparada aos valores levantados por Berenguer et al. (2014) através da análise de regressão linear simples. Foram calculados os valores de intercepto (“ a ”), o coeficiente angular (“ b ”), os valores de correlação (“ r ”), assim como, os índices de ajuste (d_1) e o índice de ajuste modificado (d_2). Foram adotados coeficientes de: correlação de Pearson (r) e determinação (r^2); além do erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e do comportamento dos resíduos; que são considerados indicativos sobre o real comportamento do modelo a ser utilizado (ADAMI, 2010).

Para a maior consistência nos resultados, foi aplicado o método de reamostragem de “*bootstrap*” (ADAMI et al., 2010), visando minimizar a influência de “*outliers*”. Este método é adotado para a avaliação da influência de dados discrepantes, envolvendo 1.000 repetições. Caracteriza-se por ser um método intensivo com a obtenção de numerosas amostras (escolhidas de forma aleatória), com reposição, a partir de uma amostra, onde cada nova amostra possui a probabilidade de $1/n$ de ser obtida (ADAMI et al., 2010).

3.3.8.2 Relação entre dados socioeconômicos e estoques de carbono

Na comparação entre os dados socioeconômicos e o estoque de carbono, foi calculada a correlação e realizada a análise do comportamento das variáveis utilizando o diagrama de dispersão. Os dados foram representados por pares ordenados (x, y), onde x é a variável independente ou explanatória (indicadores socioeconômicos) e y é a variável dependente ou resposta (estoques de carbono).

Para uma análise objetiva dos dados, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (r^2). O coeficiente de correlação (r) foi utilizado a fim de medir o tipo e a força da correlação linear entre as duas variáveis. A amplitude do coeficiente de correlação é de -1 a 1. Se x e y tem uma correlação positiva forte, o r está próximo a 1. Se os pontos x e y tem uma correlação negativa forte, o r está próximo à -1. Se não há correlação linear entre x e y , o r está próximo a zero. O r^2 foi utilizado a fim de medir a relação da variação explicada com a total, onde sua amplitude apresenta um intervalo de 0 à 1 (FARBER, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mudanças de uso e cobertura do solo

A classificação do uso e cobertura do solo, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis adaptada do projeto TerraClass, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, é apresentada nas Figuras 4, 5, 6 e 7. Ao comparar estas figuras é possível observar significativas alterações espaciais resultantes das mudanças de uso e cobertura. A mais marcante dentre todas é a redução da classe desflorestamento no ano de 2010, quando comparado com os anos de 2004 e 2008 e o aumento da área destinada a agricultura anual.

Figura 4 - Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2004 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.

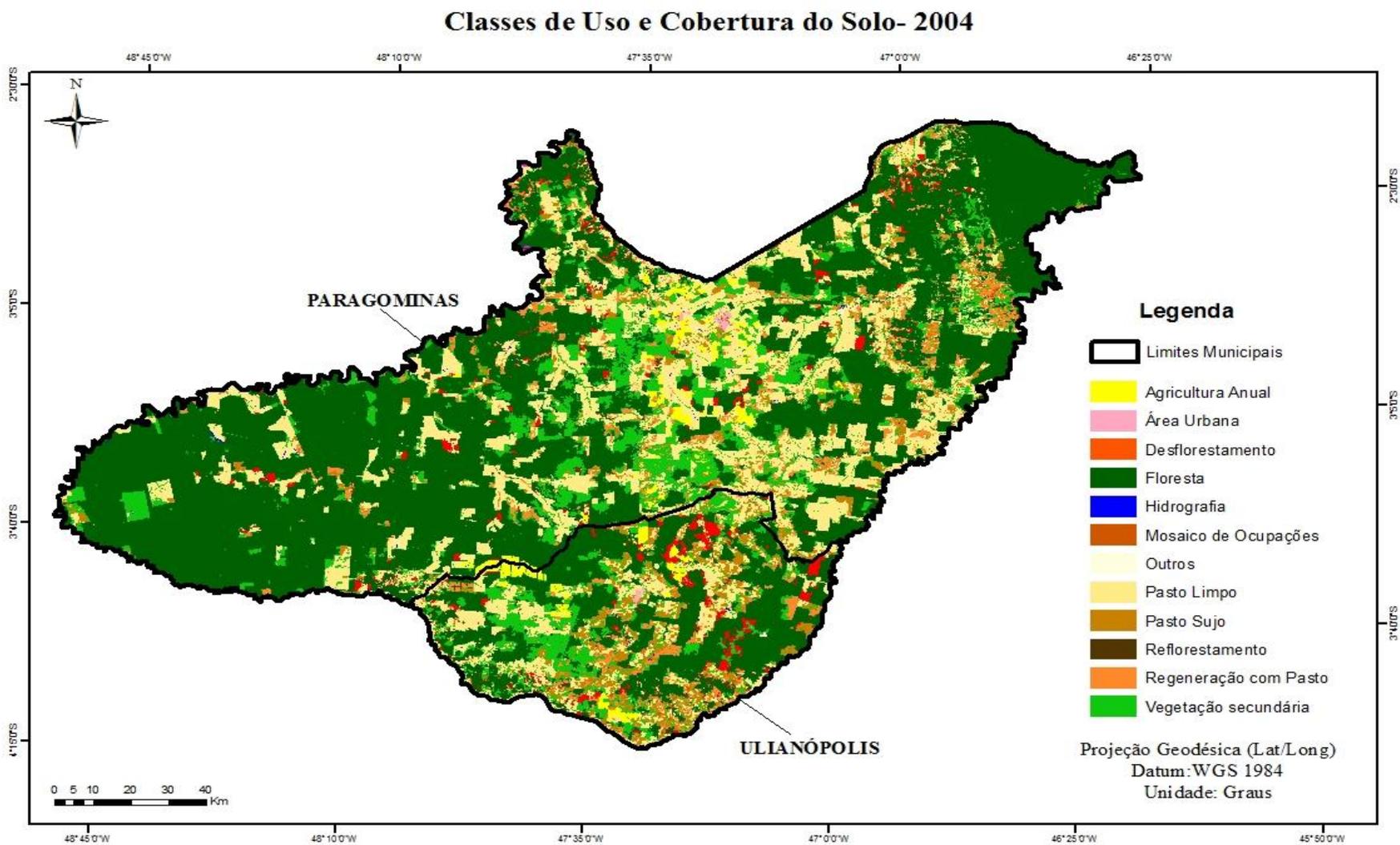


Figura 5- Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2008 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.

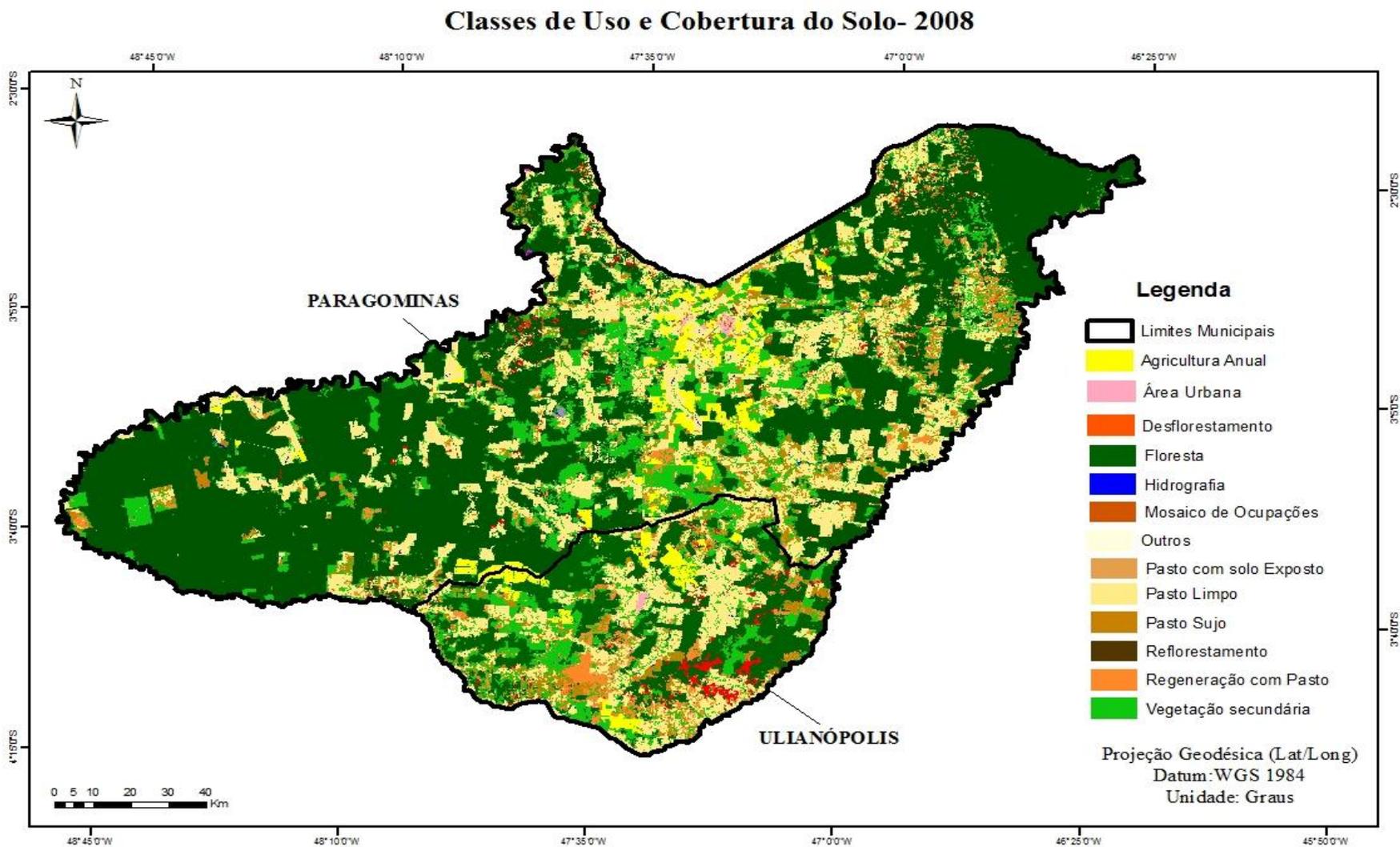


Figura 6: Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2010 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.

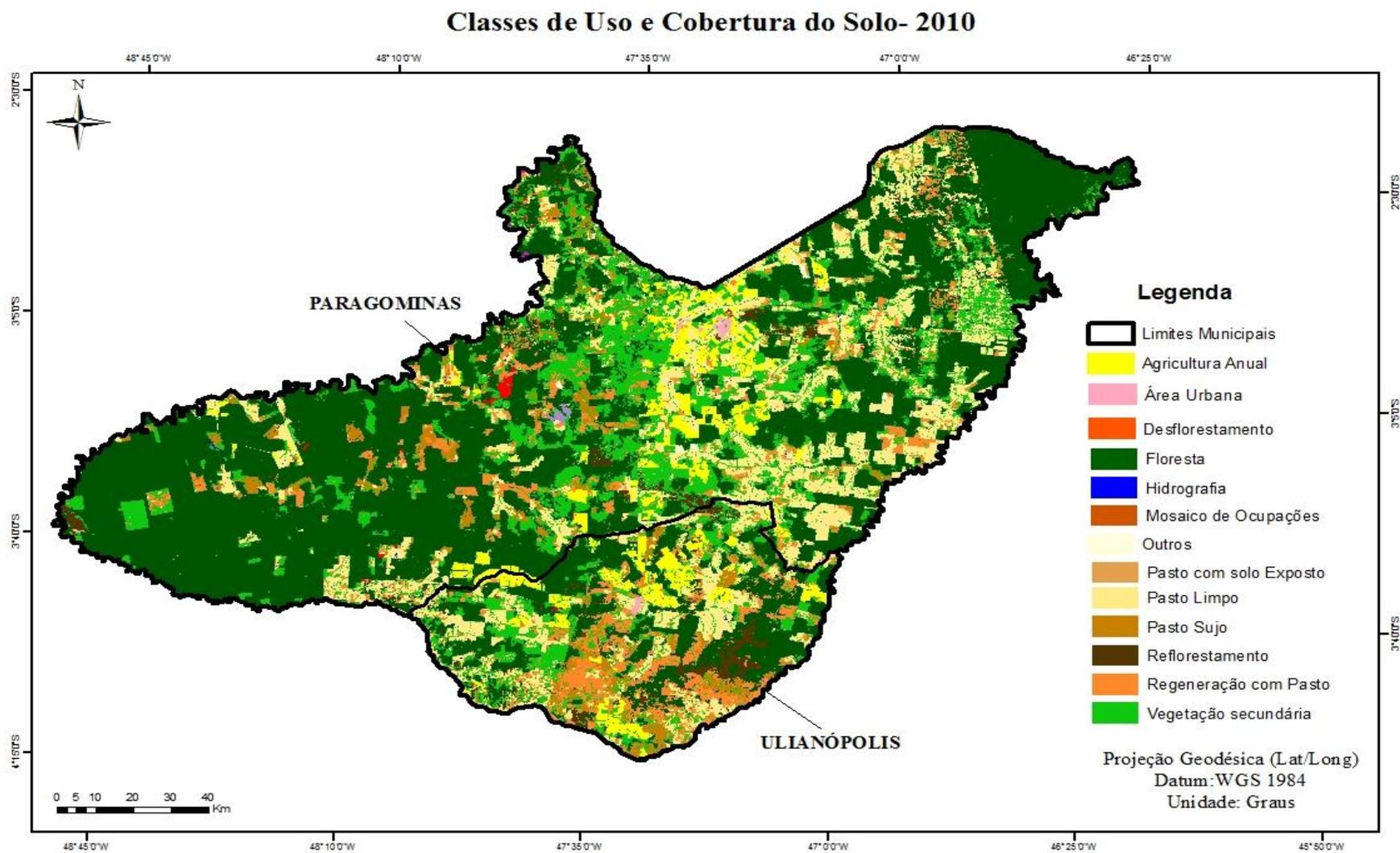
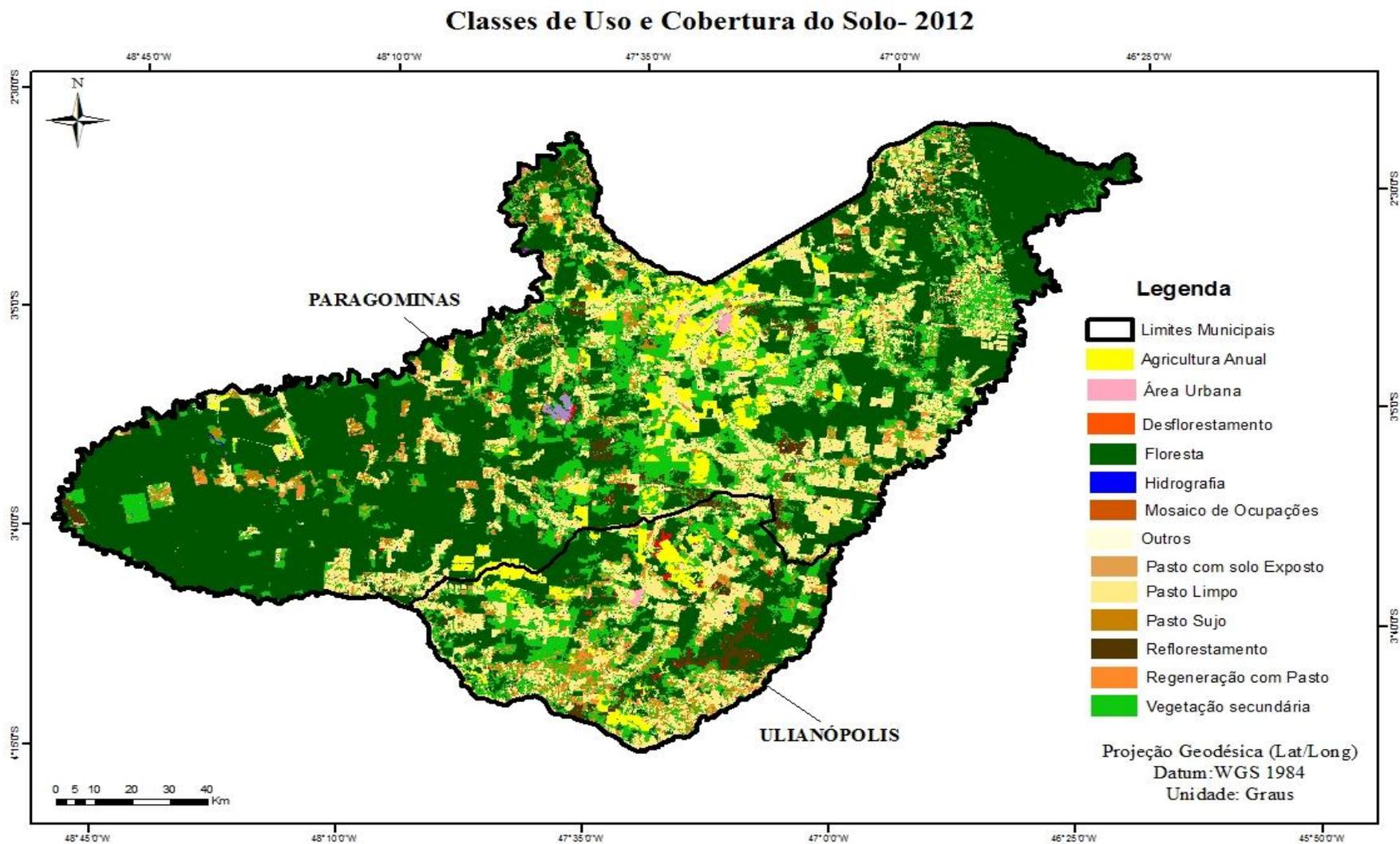


Figura 7- Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no ano de 2012 nos municípios de Paragominas e Ulianópolis.



Percebe-se, na Figura 4, que durante os anos de estudo predominou a classe Floresta, mais evidenciada no município de Paragominas e observa-se, na transição entre os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, uma dinâmica acelerada na modificação da cobertura vegetal, com a redução progressiva da classe de desflorestamento e o avanço da classe de pasto limpo de pasto sujo. A análise das figuras acima permite constatar a dinâmica de uso e cobertura do solo nos municípios em estudo, ao qual o padrão de uso e cobertura do solo foi alterado, a partir da variedade dos processos de uso empregados, devido as particularidades de cada município e as estratégias de organização.

Analisando, a heterogeneidade da paisagem, através da quantidade de classes de uso e cobertura do solo, pode-se dizer em relação ao potencial florestal, a evolução pode ser considerada negativa, visto que na área de estudo, a expansão das classes de uso e cobertura sobre a classe floresta, no período de 2004 a 2012, acarretou um desmatamento de aproximadamente 139 mil ha de floresta nativa.

4.1.1 Determinação da área segundo o uso e cobertura do solo em Paragominas e Ulianópolis.

Realizando primeiramente uma análise da distribuição espacial das classes do uso e cobertura do solo do município de Paragominas, percebe-se que as classes que apresentaram a maior proporção para todos os anos de estudo foram: Floresta, Pasto limpo e Vegetação secundária (Figuras 8 e 9). Assim como nos resultados obtidos por Pinto (2007), dentre as classes de uso e cobertura do solo, a que prevaleceu com maior percentual é a Floresta. Corroborando com esta análise, os resultados obtidos por Adami et al. (2015) indicaram que, no estado do Pará, as classes que obtiveram as maiores frequências na substituição das áreas de floresta foram pastagem e vegetação secundária.

Figura 8- Proporção das áreas de uso e cobertura do solo nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Paragominas.

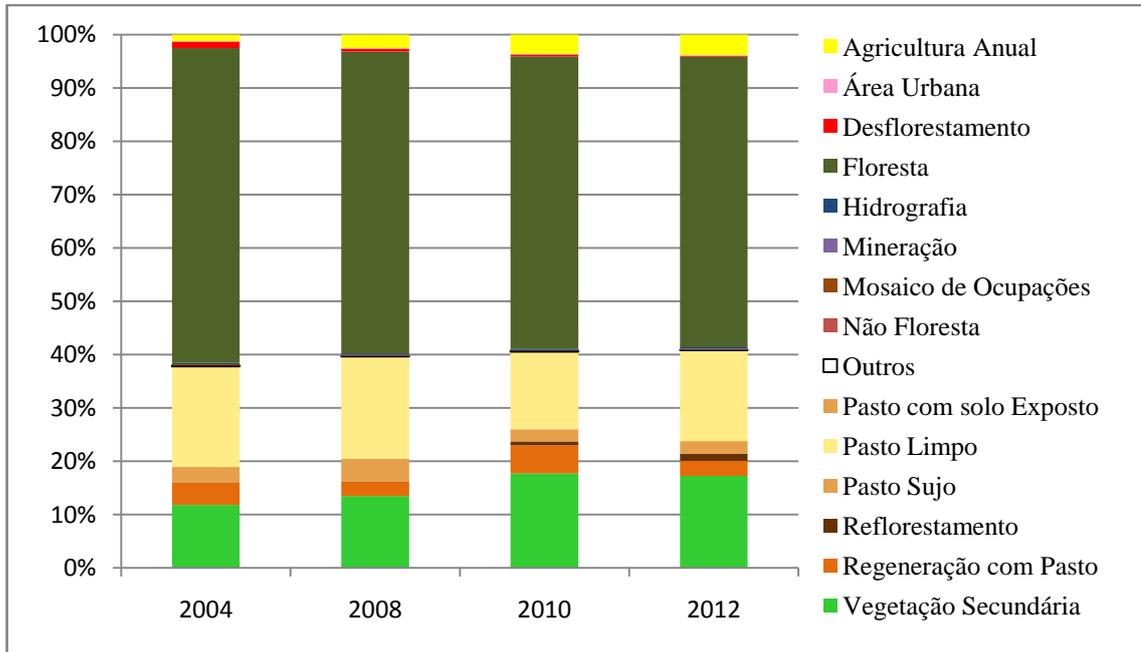
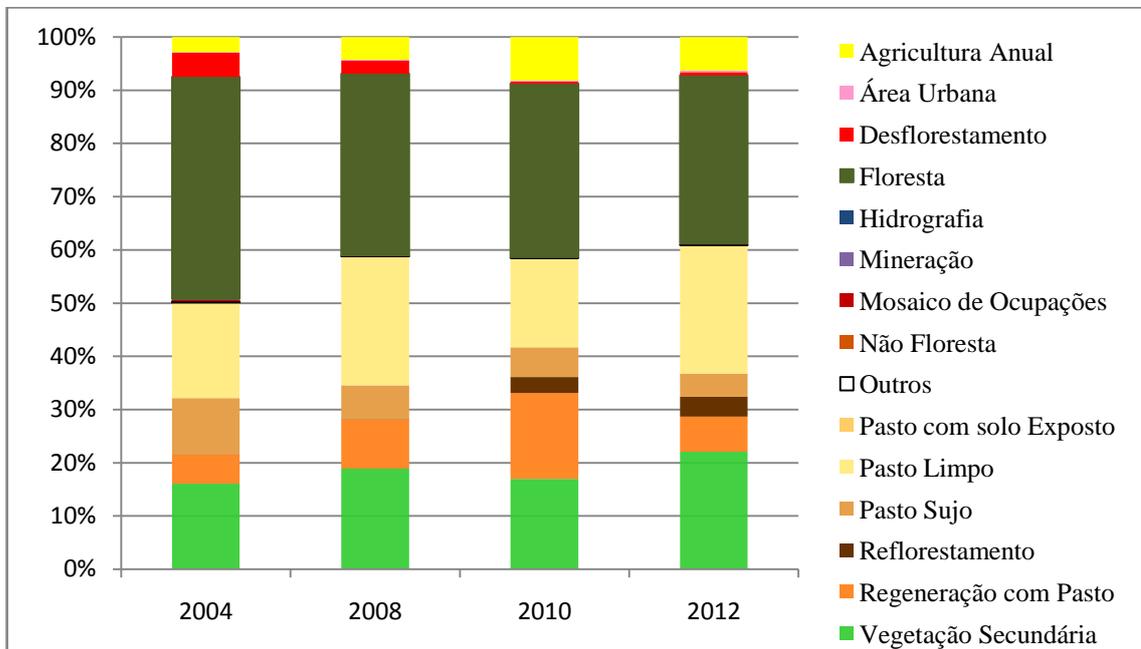


Figura 9- Proporção das áreas de uso e cobertura do solo nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Ulianópolis.



Houve um aumento da classe vegetação secundária no município de Paragominas, que passou de 227.311 ha em 2004 (11,77%) para 332.454 ha em 2012 (17,22%) e em 2010 correspondeu a 17,71% da área municipal (8,17%) e da classe reflorestamento que passou de

119,16 ha (0,01%) em 2004 para 25.386 ha (1,31%) em 2012. Já a classe agricultura anual, praticamente triplicou a sua área, passando de 23.001 ha (1,19%) para 73.639 ha (3,81%) (Tabela 9).

Em relação ao município de Ulianópolis (Tabela 10), pode-se observar que a classe vegetação secundária passou de 81.790 ha em 2004 (16,09%) para 112.151 ha em 2012 (22,07%) e a classe agricultura anual que passou de 14.283 ha (2,81%) em 2004 para 32.004 ha (6,30%) em 2012, sendo que em 2010, a agricultura anual correspondeu a 41.532,05 de toda área municipal. A classe reflorestamento também teve sua área aumentada, passou de 54 ha (0,01%) em 2004 para 18.911 ha (3,72%) em 2012. No entanto a classe que teve o maior aumento de área no município de Ulianópolis foi o pasto limpo que passou de 91.015 ha (17,91%) em 2004 para 122.772 ha (24,16%) em 2012. Esta ampliação da classe agricultura anual em 2010 e posterior redução em 2012 pode ser associada a um processo de recuperação de pastagem.

Nesta perspectiva, estes resultados corroboram com os encontrados por Coelho et al. (2014) em uma outra região, que em um estudo sobre as dinâmicas de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do riacho São Paulo na região semiárida do Estado de Pernambuco, relataram que, em um intervalo de 10 anos, houve um decréscimo da vegetação natural, e um crescimento acentuado das classes agricultura e pastagem.

Assim, como nos resultados obtidos por Pinto (2007) as áreas desflorestadas e com cobertura vegetal secundária aumentaram consideravelmente durante os anos de estudo. Os valores do avanço da vegetação secundária e do reflorestamento ao longo dos anos são justificados pelo fato de Paragominas ter aderido ao plano “Municípios Verdes”, o qual teve que adotar algumas medidas como promover a redução do desmatamento, promover a recuperação de áreas degradadas, exercer de maneira correta a legislação ambiental e social, manejar adequadamente as florestas nativas e manutenção da biodiversidade entre outras especificações (GUIMARÃES et al., 2011).

Em sentido oposto, as classes de vegetação secundária, reflorestamento e agricultura, com uma pequena redução estão as classes de regeneração com pasto, cujo total de área foi reduzido de 81.338 ha (4,21%) em 2004 para 55.103 ha (2,85%) em 2012. Também com uma redução evidente de sua área encontra-se a classe de mosaico de ocupações que em 2004 tinha 3.452 ha (0,18%) e em 2012 apresentou 816 ha (0,04%) no município de Paragominas (Tabela 9). Corroborando com esta análise, Adami et al (2015) expõem que para o estado do Pará, as classes de pastagem e mosaico de ocupações tiveram redução de sua área total, durante os períodos analisados.

No entanto no município de Ulianópolis as classes que tiveram uma redução foram: as áreas de desflorestamento, cujo total de área foi reduzido de 23.217 ha (4,57%) para 3.256 ha (0,64%). Também com uma redução evidente de sua área encontra-se a classe de pasto sujo ao qual em 2004 continha 53.649 ha (10,56%), reduziu em 2012 para 22.251 (4,38%) (Tabela 10), que pode ser devido ao processo acelerado de degradação de pastagens (DIAS-FILHO, 2007).

Tabela 9- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de uso e cobertura do solo determinadas pelo Projeto TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012; Área total estimada de 1931092 ha do município de Paragominas- PA.

Classes	Área (ha)				Participação Relativa (%)			
	2004	2008	2010	2012	2004	2008	2010	2012
Agricultura anual	23.001	48.326	69.219	73.639	1,19%	2,50%	3,58%	3,81%
Área urbana	1.902	2.363	2.897	3.056	0,10%	0,12%	0,15%	0,16%
Desflorestamento	23.586	10.298	6.953	2.683	1,22%	0,53%	0,36%	0,14%
Floresta	1.140.236	1.093.415	1.057.345	1.052.547	59,05%	56,62%	54,75%	54,51%
Hidrografia	4.685	4.685	4.685	4.685	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%
Mineração	1	657	1.790	3.132	0,00%	0,03%	0,09%	0,16%
Mosaico de ocupações	3.452	3.661	1.326	816	0,18%	0,19%	0,07%	0,04%
Não floresta	694	694	694	694	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
Outros	3.960	1.559	3.390	1.690	0,21%	0,08%	0,18%	0,09%
Pasto com solo exposto	1	1	1	26	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pasto limpo	364.198	370.258	280.437	328.497	18,86%	19,17%	14,52%	17,01%
Pasto sujo	56.609	82.873	44.405	46.685	2,93%	4,29%	2,30%	2,42%
Reflorestamento	119	119	13.373	25.386	0,01%	0,01%	0,69%	1,31%
Regeneração com pasto	81.338	51.673	102.589	55.103	4,21%	2,68%	5,31%	2,85%
Vegetação secundária	227.311	260.511	341.990	332.454	11,77%	13,49%	17,71%	17,22%
Total geral	1.931.092	1.931.092	1.931.092	1.931.092	100%	100%	100%	100 %

Tabela 10- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de uso e cobertura do solo determinadas pelo Projeto TerraClass para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012; Área total estimada de 508.206 ha do município de Ulianópolis- PA.

Classes	Área (ha)				Participação Relativa (%)			
	2004	2008	2010	2012	2004	2008	2010	2012
Agricultura anual	14.283	21.630	41.532	32.004	2,81%	4,26%	8,17%	6,30%
Área urbana	712	1.041	1.041	1.382	0,14%	0,20%	0,20%	0,27%
Desflorestamento	23.217	12.511	1.911	3.256	4,57%	2,46%	0,38%	0,64%
Floresta	211.811	173.397	165.704	160.344	41,68%	34,12%	32,61%	31,55%
Hidrografia	495	495	495	495	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
Mineração	0	0	0	72	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Mosaico de ocupações	2.041	40	0	735	0,40%	0,01%	0,00%	0,14%
Outros	1.133	344	361	342	0,22%	0,07%	0,07%	0,07%
Pasto com solo exposto	0	5	5	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pasto limpo	91.015	123.186	85.379	122.772	17,91%	24,24%	16,80%	24,16%
Pasto sujo	53.650	32.358	28.359	22.251	10,56%	6,37%	5,58%	4,38%
Reflorestamento	54	54	15.102	18.911	0,01%	0,01%	2,97%	3,72%
Regeneração com pasto	28.005	47.230	81.967	33.490	5,51%	9,29%	16,13%	6,59%
Vegetação secundária	81.790	95.914	86.350	112.151	16,09%	18,87%	16,99%	22,07%
Total geral	508.206	508.206	508.206	508.206	100%	100%	100%	100%

4.1.2 Transições entre as classes de uso e cobertura do solo

4.1.2.1 Transição entre os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Paragominas

Ao analisar as matrizes de transições entre os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, da área desflorestada no período de 2004 a 2012, 47% (11.098,61 ha) e 19% (4.597,17 ha) tornaram-se pasto limpo e vegetação secundária, respectivamente (Tabela 13). Estudos do TerraClass (2012) apontam que dos desflorestamentos ocorridos de 2008 até 2012 no estado do Pará, 63% tornaram-se pastagem (17.515 km²), 19% vegetação secundária (5.424 km²) e 2% agricultura (513 km²). Assim sendo, a agricultura anual em Paragominas, apresentou um percentual de incremento sobre o desflorestamento muito superior a média do estado do Pará.

Ao longo dos períodos (Tabelas 11, 12 e 13) analisados, observa-se um contínuo incremento da área ocupada pela classe agricultura anual, sendo que no período de 2004 a 2012, esta classe triplicou a área ocupada, passando de 23.001,36 ha para 73.638,90 ha, ou seja, verificou-se, que a expansão agrícola se caracterizou por um aumento muito rápido em um curto período (Tabela 13). Pode-se dizer que o crescimento da produção agrícola recente, se deu de forma extensiva, verificada pela grande dimensão dos polígonos.

Grande parte desse incremento se deu pelo avanço sobre as áreas de pasto limpo (56%) (30.364 ha), vegetação secundária (14%) (7.464 ha) e floresta (8%) (4.411 ha), no período de 2004 a 2012 (Tabela 13). No entanto, o processo recente de expansão de área agrícola parece ter-se dado, predominantemente com a conversão de pastagens, sobretudo pasto limpo e pasto sujo para todos os períodos em análise. Da mesma forma, Mueller (2003), observou que a maior parte da expansão da agricultura se deu pela conversão sobre áreas de pastagem degradadas. Estes resultados corroboram com os resultados da moratória da soja que atua nestes municípios, os quais relatam que a maior expansão desta cultura ocorre sobre áreas desflorestadas anteriores a 2006 (RUDORFF et al., 2011; RUDORFF et al., 2012).

Tabela 11 - Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2008, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).

		Ano de 2004														Total Geral	
		AA	AU	DES	FLO	HID	MIN	MO	NF	OU	PL	PS	PSE	REF	RP		VS
Ano de 2008	AA	21.078	0	2.151	2.737	0	0	0	0	103	15.355	1.574	0	0	1.618	3.710	48.326
	AU	0	1.902	0	0	0	0	0	0	0	256	183	0	0	11	11	2.363
	DES	0	0	4.827	5.471	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.298
	FLO	0	0	0	1.093.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.093.415
	HID	0	0	0	0	4.685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.685
	MIN	0	0	0	5	0	0	0	0	0	222	1	0	0	48	382	657
	MO	0	0	100	1.091	0	0	1.640	0	52	1	31	0	0	534	212	3.661
	NF	0	0	0	0	0	0	0	694	0	0	0	0	0	0	0	694
	OU	0	0	6	85	0	0	11	0	1.122	27	3	0	0	41	263	1.559
	PL	1.395	0	10.788	20.407	0	0	811	0	1.331	296.132	14.345	0	0	12.213	12.836	370.258
	PS	183	0	2.416	6.114	0	0	266	0	420	27.719	31.335	0	0	8.114	6.306	82.873
	PSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	REF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	0	0	119
	RP	10	0	734	1.968	0	0	96	0	121	6.041	3.104	0	0	34.762	4.837	51.673
	VS	336	0	2.564	8.944	0	0	628	0	811	18.445	6.032	0	0	23.997	198.755	260.511
Total Geral	23.001	1.902	23.586	1.140.236	4.685	0	3.452	694	3.960	364.198	56.609	1	119	81.338	227.311	1.931.092	

Tabela 12- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2010, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).

Classes	Ano de 2004															Total Geral		
	AA	AU	DES	FLO	HID	MIN	MO	NF	OU	PL	OS	PSE	REF	RP	VS			
Ano de 2010	AA	20.749	0	2.647	4.215	0	0	43	0	122	30.493	3.402	0	0	2.349	5.199	69.219	
	AU	0	1.902	0	27	0	0	106	0	0	575	211	0	0	39	36	2.897	
	DES	0	0	320	6.633	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.953
	FLO	0	0	0	1.057.345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.057.345
	HID	0	0	0	0	4.685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.685
	MIN	0	0	2	267	0	0	0	0	1	430	13	0	0	51	1.025	1.790	
	MO	0	0	84	929	0	0	96	0	10	28	26	0	0	94	50	1.326	
	NF	0	0	0	0	0	0	0	694	0	0	0	0	0	0	0	0	694
	OU	0	0	71	453	0	0	13	0	288	1.597	398	0	0	284	287	3.390	
	PL	777	0	7.891	20.664	0	0	1.092	0	1.252	199.993	21.203	0	0	16.362	11.202	280.437	
	PS	12	0	1.961	6.325	0	0	256	0	270	27.305	4.409	0	0	1.526	2.341	44.405	
	PSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	REF	122	0	36	2.242	0	0	0	0	16	5.780	1.043	0	119	290	3.725	13.373	
	RP	235	0	4.872	16.355	0	0	240	0	450	49.310	8.441	0	0	15.377	7.309	102.589	
	VS	1.098	0	5.701	24.783	0	0	1.606	0	1.550	48.686	17.462	1	0	44.966	196.136	341.990	
	Total Geral	23.001	1.902	23.586	1.140.236	4.685	0	3.452	694	3.960	364.198	56.609	1	119	81.338	227.311	1.931.092	

Tabela 13- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2012, para o município de Paragominas, com áreas em hectares (ha).

Classes	Ano de 2004															Total Geral		
	AA	AU	DES	FLO	HID	MIN	MO	NF	OU	PL	PS	PSE	REF	RP	VS			
Ano de 2012	AA	20.172	0	3.031	4.412	0	0	45	0	110	30.364	5.026	0	0	3.015	7.464	73.639	
	AU	2	1.902	0	27	0	0	134	0	0	678	224	0	0	47	41	3.056	
	DES	0	0	84	2.599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.683
	FLO	0	0	0	1.052.547	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.052.547
	HID	0	0	0	0	4.685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.685
	MIN	0	0	1	647	0	0	0	0	1	910	27	0	0	59	1.487	3.132	
	MO	0	0	5	385	0	0	106	0	9	62	124	0	0	103	21	816	
	NF	0	0	0	0	0	0	0	694	0	0	0	0	0	0	0	694	
	OU	1	0	30	167	0	0	14	0	420	546	144	0	0	179	189	1.690	
	PL	1.446	0	11.099	27.685	0	0	1.331	0	1.499	226.774	22.843	0	0	20.312	15.508	328.497	
	PS	348	0	2.030	7.987	0	0	218	0	245	24.839	4.379	0	0	3.527	3.112	46.685	
	PSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	0	26	
	REF	277	0	22	2.467	0	0	0	0	63	14.490	1.755	0	119	1.023	5.172	25.386	
	RP	51	0	2.687	10.015	0	0	286	0	276	22.653	6.096	0	0	8.505	4.534	55.103	
	VS	703	0	4.597	31.299	0	0	1.319	0	1.337	42.857	15.990	1	0	44.567	189.784	332.454	
	Total Geral	23.001	1.902	23.586	1.140.236	4.685	0	3.452	694	3.960	364.198	56.609	1	119	81.338	227.311	1.931.092	

A classe pasto limpo apresentou um decréscimo em área durante o período de 2004 a 2010 e uma leve recuperação em 2012 cedendo área para as classes agricultura anual (30.364 ha) (8%), pasto sujo (24.839 ha) (7%) e vegetação secundária (42.857 ha) (12%) (Tabelas 12 e 13). Com relação a classe de pasto sujo, somente 9% da área permaneceram estáveis, ou seja, esta é considerada como sendo uma classe dinâmica. Para Dias-Filho (2007), este dinamismo se deve ao processo de degradação de pastagem, que envolve um processo contínuo de sucessão (de pasto limpo para pasto sujo, de pasto sujo para regeneração com pasto e posteriormente a transformação destas áreas em vegetação secundária ou retornando para pasto limpo novamente).

Durante o período de 2004 a 2012, aproximadamente 90% da área da classe regeneração com pasto estiveram em constante modificação. Esta classe cedeu a maior parte de sua área para a classe vegetação secundária (44.567 ha) (55%), ou seja, é um estágio do processo de regeneração da vegetação.

Dessa forma, os resultados do mapeamento indicam que tanto a classe pasto limpo, quanto a classe pasto sujo, estão sendo convertidas para a classe vegetação secundária, ou seja, essas áreas estão absorvendo carbono atmosférico, conservando melhor os habitats, protegendo os solos e os recursos hídricos ao se transformarem em vegetação secundária (VIEIRA et al., 2014). Entretanto, tem de ser observado que parte da área de pasto cresce principalmente sobre áreas recentemente desflorestadas, corroborando com os resultados apresentados por Adami et al. (2015).

Quando analisada a classe vegetação secundária durante o período de 2004 a 2010 (Tabela 12), pode-se observar que esta teve aproximadamente 87% de sua área inalterada, desta forma podemos considerar que esta área possui no mínimo 6 anos. Quando comparado com o período de 2004 a 2012 (Tabela 13), observamos que ocorreu redução da área inalterada para 189.784 ha (83%), o que permite inferir que esta área apresenta uma idade em torno de 8 anos e que recebeu um incremento de 37.484 ha (35%) no período de 2004 a 2010 e de 27.349 ha (26%) no período de 2004 a 2012.

Devido a metodologia de mapeamento adotado pelo PRODES e por consequência pelo TerraClass, a classe floresta não recebeu incremento de nenhuma classe ao longo dos períodos analisados. Esta classe refere-se a floresta primária, intacta ou que ainda não sofreu significativas alterações em suas características originais, e devido a esta metodologia, depois de transformada é impossível retornar ao seu estado original. Assim, a floresta está perdendo área para praticamente todas as classes de uso e cobertura do solo durante os períodos analisados, como por exemplo, no período de 2004 a 2012 (Tabela 13), a classe floresta

perdeu área para pasto limpo com 27.685 ha (2%), vegetação secundária com 31.299 ha (3%) e regeneração com pasto com 10.015 ha (1%).

4.1.2.2 Transição entre os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, para o município de Ulianópolis

Durante os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012, da área desflorestada neste período, 38% (8.739 ha), 20% (4.682 ha) e 16% (3.786 ha) tornaram-se vegetação secundária, pasto limpo e agricultura anual, respectivamente (Tabela 14). Corroborando com esta análise, Adami et al., (2015), em um trabalho sobre dinâmicas de transições de uso e ocupação do solo no Estado do Pará, concluíram que dos desflorestamentos recentes, 55% tornaram-se pastagem, 29% vegetação secundária e 0,4% agricultura.

Para o período de 2004 a 2010 (Tabela 15), observa-se um contínuo incremento da área ocupada pela classe agricultura anual, sendo que neste período esta classe quase que triplicou a área ocupada, passando de 14.283 ha em 2004 para 41.532 ha no ano de 2010. Grande parte desse incremento se deu pelo avanço sobre as áreas de pasto limpo (39%) (11.187 ha), pasto sujo (17%) (4.917 ha) e floresta (31%) (3.786 ha). No entanto, durante o período de 2004 a 2012, a área total de agricultura anual, sofreu uma redução de sua área ocupada, cedendo área para as classes pasto limpo (9%) (1.337 ha) e vegetação secundária (4%) (607 ha).

A classe pasto limpo apresentou um acréscimo em área durante o período de 2004 a 2012, isto é, devido ao incremento sobre as áreas de pasto sujo (25 %) (29.075 ha) e floresta (7,6 %) (8.762 ha). A dinâmica da classe pasto limpo em Ulianópolis, aconteceu de maneira similar com o município de Paragominas. Em relação a classe pasto sujo, cerca de 12 % da área permaneceram estáveis. Já, a classe pasto sujo, sofreu uma redução, cedendo parte de sua área para as classes pasto limpo (54%) (29.077 ha), vegetação secundária (14%) (7.299 ha) e regeneração com pasto (15%) (7.890 ha) (Tabela 16).

No período de 2004 a 2010, a classe regeneração com pasto teve um contínuo incremento, esta classe quase que triplicou a área ocupada. Este incremento se deu principalmente pelo avanço sobre as classes de floresta (28%) (19.123 ha), pasto sujo (24%) (16.207 ha) e vegetação secundária (20%) (13.774 ha) (Tabela 15). As classes de pasto, regeneração com pasto e vegetação secundária, estão intimamente relacionadas, devido a destinação do uso em um determinado período, desenvolvendo um ciclo de uso, ou seja, a inatividade das classes de pasto, propiciam a regeneração natural, que futuramente poderá

regressar a classe de pasto pela aplicação de técnicas de recuperação de pasto ou pelo uso de queimadas (DIAS-FILHO, 2007).

Quando considerada a classe vegetação secundária no período de 2004 a 2012 (Tabela 16), esta teve aproximadamente 71% de sua área sem alteração. Desta forma considera-se que grande parte desta área possui em torno de 8 anos de idade e que recebeu um incremento sobre as áreas de floresta (36%) (19.492 ha) e regeneração com pasto (18 %) (9.941 ha). Para Feanrside (2005) que o crescimento da vegetação secundária sobre as áreas desflorestadas tem efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, erosão, regimes hidrológicos local e global e sobre a emissão de gases do efeito estufa. No entanto, ainda segundo Feanrside (2005) quando ocorre a conversão de floresta para vegetação secundária ou para um outro tipo de uso, os impactos são negativos, como a perda de biodiversidade, degradação das florestas e degradação das áreas de bacias hidrográficas.

A classe floresta está perdendo área para praticamente todas as classes de uso e cobertura do solo durante os períodos analisados. Durante o período de 2004 a 2012, perdeu área para as classes vegetação secundária (9 %) (19.492 ha), pasto limpo (4 %) (8.761 ha), regeneração com pasto (3 %) (6.379 ha) e reflorestamento (3 %) (5.819 ha). Observa-se que de modo geral, que as áreas de floresta têm diminuído e pequenas áreas onde antes era floresta foram convertidas para algum uso e estão sendo abandonadas, tornando-se então uma vegetação um pouco mais desenvolvida, recompondo a cobertura florestal.

Tabela 14- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2008, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).

Classes		Ano de 2004													Total Geral	
		AA	AU	DES	FLO	HID	MI	MO	OU	PL	PS	PSE	REF	RP		VS
Ano de 2008	AA	12.602	0	2.633	2.427	0	0	0	84	2.257	529	0	0	208	888	21.630
	AU	0	712	9	4	0	0	0	0	251	59	0	0	0	5	1.041
	DES	0	0	863	11.648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.511
	FLO	0	0	0	173.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173.397
	HID	0	0	0	0	495	0	0	0	0	0	0	0	0	0	495
	MI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MO	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	40
	OU	0	0	14	21	0	0	35	123	62	6	0	0	32	51	344
	PL	995	0	5.129	7.251	0	0	1.160	262	65.088	30.357	0	0	8.332	4.612	123.186
	OS	57	0	1.199	3.206	0	0	195	54	10.520	8.571	0	0	5.365	3.191	32.358
	PSE	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	REF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	54
	RP	58	0	2.961	6.775	0	0	511	117	5.468	10.978	0	0	9.810	10.553	47.231
	VS	571	0	10.407	7.075	0	0	101	492	7.370	3.149	0	0	4.259	62.490	95.914
Total Geral	14.283	712	23.217	211.811	495	0	2.041	1.133	91.015	53.650	0	54	28.005	81.790	508.206	

Tabela 15- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2010, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).

Classes	Ano de 2004														Total Geral	
	AA	AU	DES	FLO	HID	MI	MO	OU	PL	PS	PSE	REF	RP	VS		
Ano de 2010	AA	12.980	0	3.786	5.083	0	0	11	92	11.187	4.917	0	0	1.446	2.030	41.532
	AU	0	712	9	4	0	0	0	0	251	59	0	0	0	5	1.041
	DES	0	0	15	1.896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.911
	FLO	0	0	0	165.704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	165.704
	HID	0	0	0	0	495	0	0	0	0	0	0	0	0	0	495
	MI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OU	3	0	16	25	0	0	36	93	72	18	0	0	34	64	361
	PL	389	0	3.606	5.525	0	0	564	165	50.461	16.755	0	0	3.810	4.103	85.379
	PS	36	0	1.183	2.154	0	0	619	56	8.734	11.294	0	0	2.554	1.728	28.359
	PSE	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	REF	0	0	3.501	5.267	0	0	8	244	918	415	0	54	337	4.359	15.102
	RP	315	0	3.767	19.123	0	0	702	213	12.742	16.207	0	0	15.123	13.774	81.967
	VS	560	0	7.333	7.025	0	0	101	268	6.650	3.983	0	0	4.701	55.727	86.350
Total Geral	14.283	712	23.217	211.811	495	0	2.041	1.133	91.015	53.650	0	54	28.005	81.790	508.206	

Tabela 16- Matriz de transição entre os anos de 2004 - 2012, para o município de Ulianópolis, com áreas em hectares (ha).

Classes	Ano de 2004														Total Geral	
	AA	AU	DES	FLO	HID	MI	MO	OU	PL	PS	PSE	REF	RP	VS		
Ano de 2012	AA	12.247	0	3.786	4.996	0	0	23	94	6.416	1.532	0	0	511	2.399	32.004
	AU	0	712	15	4	0	0	37	0	390	155	0	0	32	38	1.382
	DES	0	0	0	3.256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.256
	FLO	0	0	0	160.344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160.344
	HID	0	0	0	0	495	0	0	0	0	0	0	0	0	0	495
	MI	0	0	0	2	0	0	17	0	14	35	0	0	1	5	72
	MO	0	0	27	392	0	0	0	0	32	52	0	0	88	143	735
	OU	14	0	14	11	0	0	11	117	91	16	0	0	13	55	342
	PL	1.337	0	4.682	8.762	0	0	1.143	254	61.055	29.077	0	0	8.332	8.130	122.772
	PS	8	0	640	2.354	0	0	257	19	6.742	6.309	0	0	3.340	2.582	22.251
	PSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	REF	32	0	3.591	5.819	0	0	16	259	2.547	1.284	0	54	670	4.640	18.911
	RP	38	0	1.722	6.379	0	0	319	104	6.253	7.890	0	0	5.078	5.707	33.490
	VS	608	0	8.739	19.492	0	0	219	285	7.475	7.299	0	0	9.942	58.091	112.151
Total Geral	14.283	712	23.217	211.811	495	0	2.041	1.133	91.015	53.650	0	54	28.005	81.790	508.206	

4.2 Espacialização da biomassa acima do solo

Para reduzir as incertezas das estimativas das emissões de carbono por mudança de uso e cobertura do solo é necessário melhorar a exatidão da distribuição espacial de biomassa acima do solo. As diferenças entre as estimativas de carbono estocado acima do solo podem variar, devido as referências adotadas para este estudo. Esta diferença pode ser explicada pela caracterização das classes de uso e cobertura do solo, ou até mesmo pela metodologia adotada pelos diversos trabalhos.

4.2.1 Média aritmética zonal

Para a média zonal entre os dados coletados em literatura e os dados do projeto TerraClass (para o ano de 2004), a classe de floresta apresentou a maior média dos valores de BAS com 230,30 Mg/ha por hectare em toda área de estudo e o menor valor foi atribuído as classes área urbana, desflorestamento, hidrografia, mineração com valor de BAS igual a 0 Mg/ha.

Na Tabela 17, são apresentados a BAS e os estoques de carbono acima do solo, definido como sendo 50% da biomassa acima do solo em Mg/ha. Nesta tabela pode ser verificada a variação nos valores de BAS entre as classes de floresta, regeneração com pasto e vegetação secundária em relação aos dados estimados por Saatchi et al., (2011) para os municípios em estudo.

Essas variações nos valores de BAS podem estar associadas a correlação entre fatores biofísicos da vegetação (biomassa e porcentagem de cobertura vegetal) e sua resposta espectral, ou seja, Paragominas apresenta florestas mais antigas e portanto com um percentual maior de biomassa do que Ulianópolis. Segundo Fonseca (2004), com base na resposta espectral da vegetação, tornam-se possíveis estudos quantitativos que determinam a produtividade sobre uma determinada cobertura vegetal.

Tabela 17- Biomassa acima do solo (BAS) e estoque de carbono acima do solo estimada para cada uma das classes de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo, a partir da Média Zonal.

Classe de uso e cobertura do solo	Paragominas		Ulianópolis	
	BAS (Mg/ha)	Estoque de Carbono (Mg/ha)	BAS (Mg/ha)	Estoque de Carbono (Mg/ha)
Agricultura Anual**	11,60	5,80	11,60	5,80
Área Urbana	0,00	0,00	0,00	0,00
Desflorestamento	0,00	0,00	0,00	0,00
Floresta*	230,30	115,15	199,89	99,94
Hidrografia	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineração	0,00	0,00	0,00	0,00
Mosaico de Ocupações	24,80	12,40	24,80	12,40
Não Floresta***	23,20	11,61	23,20	11,61
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00
Pasto com Solo Exposto	0,00	0,00	0,00	0,00
Pasto Limpo**	16,00	8,00	16,00	8,00
Pasto Sujo	38,00	19,00	38,00	19,00
Reflorestamento****	84,19	42,09	84,19	42,09
Regeneração com Pasto*	158,23	79,12	116,89	58,45
Vegetação Secundária*	185,28	92,64	148,75	74,38

*Valores estimados através da extrapolação de dados, baseados no mapa de referência BAS de Saatchi et al., (2011); (**) Valores estimados através da referência BAS de Salimon et al., (2013); (***)Valores estimados através da referência BAS de Pinheiro et al., (2009a); (****)Valores estimados através da referência BAS de Rondon (2002) e Gama (2007).

4.3 Validação das estimativas de BAS

Os valores de estimativa de BAS em uma análise comparativa entre os dados de Saatchi et al. (2011) que correspondem a modelos (matemáticos) e os de Berenguer et al. (2014) que são as informações de campo constam na Tabela 18 e nas Figuras 7 e 8.

Tabela 18 – Resultados parâmetros estatísticos comparativos entre o modelo estimado e os dados coletados em campo.

Parâmetros	Berenguer et al. (2014) x Saatchi et al. (2011)
Parâmetro de regressão como intercepto “a”	$a \neq 0$
Coefficiente angular “b”	$b > 0$, máximo próximo a 50%.
Correlação “r”	As maiores frequências de ocorrência estão próximos a 0,35
Valores de EMA	Os valores médios de EMA estão entre 100 e 130 Mg C, com uma variação de 94 à 145 Mg C
Valores de EMQ	Os valores médios de EMQ estão entre 120 e 140 Mg C, com uma variação entre 105 e 155 Mg C
Índices de ajuste d_1 e d_2	Variaram entre 0,24 e 0,31 e 0,39 e 0,46 respectivamente

Não houve probabilidade do intercepto (a) ser igual a zero (0) (Figura 10), o que significa que o modelo estimado (SAATCHI et al., 2011) apresenta uma baixa correlação com os dados coletados em campo (BERENGUER et al., 2014). O valor do coeficiente angular (b) é relativamente superior a zero, ou seja, a regressão foi considerada significativa e também é possível observar que não há probabilidade do coeficiente angular (b) ser igual a um (1), isto significa que os valores estimados pelo modelo (SAATCHI et al., 2011), são estatisticamente diferentes aos valores observados em campo (BERENGUER et al., 2014). As maiores frequências de ocorrência estão próximas a 0,35 (valor de “r”) este resultado nos indica que o modelo conseguiu ajustar em 35% a variância dos dados.

Os índices de ajuste d_1 e d_2 (Figura 11) variam entre 0,24 a 0,31 e 0,39 a 0,46 respectivamente, indicando um ajuste ruim entre os valores estimados e os valores observados em campo. O baixo valor de correlação entre os dados pode ser devido às diferenças relativas entre as variações temporais de coleta de dados e/ou as diferenças metodológicas entre os trabalhos, assim como a abrangência da amostragem e a resolução do pixel entre Saatchi et al. (2011) e Berenguer et al., (2014).

Figura 10- Histogramas resultantes da técnica *bootstrap* com os parâmetros da regressão: A) intercepto (a); B) coeficiente angular (b) e; C) coeficiente de correlação (r) resultante da análise de regressão entre os dados observados em campo e os dados estimados.

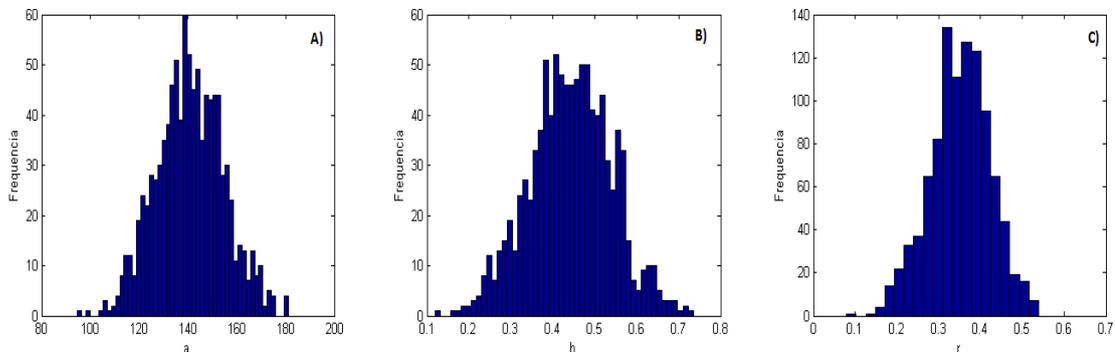
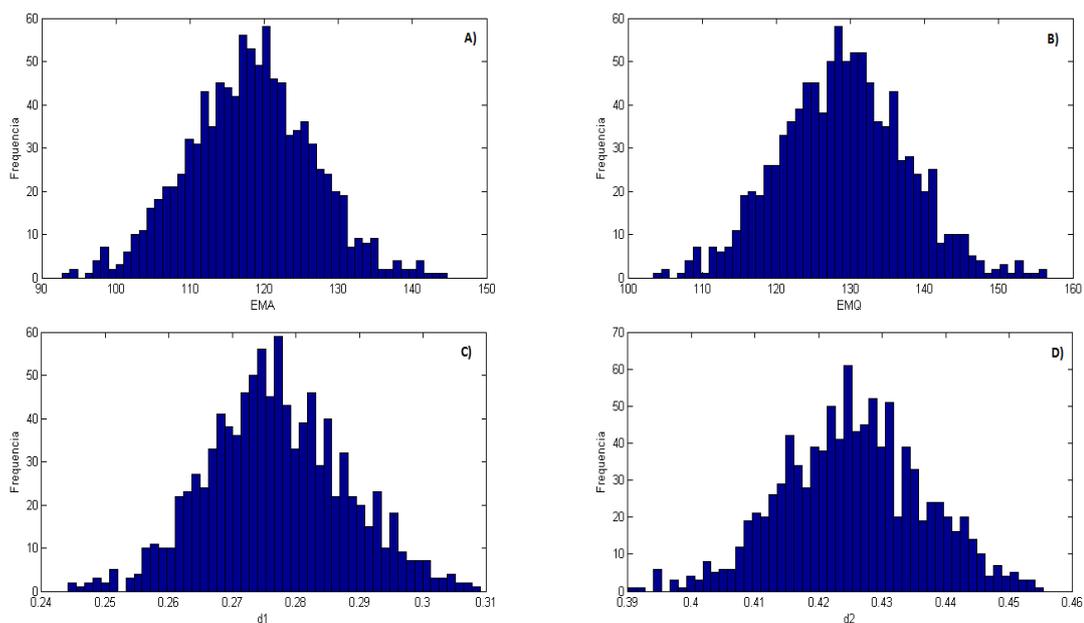


Figura 11- Histogramas resultantes da técnica *bootstrap*: (A) erro médio absoluto - EMA; (B) erro médio quadrático – EMQ; (C) índices de ajuste modificado ($d1$) e (D) índice de ajuste ($d2$); para comparar o desempenho dos modelos entre os dados observados em campo e os dados estimados.



4.3.1 Dinâmica dos estoques de carbono

Nas tabelas 19 e 20 são apresentados os valores totais calculados de carbono armazenado por cada classe de uso e cobertura do solo e as dinâmicas dos estoques de carbono nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, respectivamente.

O estoque de carbono em Paragominas têm diminuído ao longo dos períodos, pois o carbono total armazenado variou de 163×10^6 Mg C em 2004, para 161×10^6 de Mg C em 2012. No ano de 2010 teve uma alta de 166×10^6 Mg C. O município de Ulianópolis seguiu a

mesma tendência que Paragominas, e o carbono armazenado variou de 30×10^6 Mg C em 2004, para 28×10^6 Mg C em 2012, com uma alta de 29×10^6 MgC no ano de 2010.

A redução da quantidade de carbono sequestrado é um reflexo das alterações nas mudanças de uso e cobertura do solo, ocorridas ao longo deste período (2004 a 2012). De maneira geral, ao longo dos anos analisados é possível verificar uma diminuição do carbono sequestrado, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis. A redução da classe floresta e o avanço da classe de agricultura anual, com ênfase no avanço da monocultura da soja, traduzem-se em um decrescente estoque de biomassa e conseqüentemente de carbono neste território.

Para evitar que novas áreas das classes com capacidade de absorção ou de armazenamento de carbono atmosférico sejam degradadas nos municípios de Paragominas e Ulianópolis (seja por queimada, desmatamento ou por transição entre classes de uso e cobertura do solo), há uma necessidade de incorporar medidas, como programas de conservação a floresta. Berenguer et al., (2014), ressalta que apesar da redução de áreas de floresta, estas ainda têm significativamente mais carbono (mesmo em florestas primárias altamente degradadas), quando comparada com as florestas secundárias ou outro tipo de uso e cobertura.

Os aumentos de carbono no ano de 2010, tanto no município de Paragominas quanto em Ulianópolis deve-se essencialmente ao aumento de biomassa proveniente do crescimento e avanço das áreas de vegetação secundária e regeneração com pasto, fruto de planos como o PPCDAm que mantiveram as áreas para conservação e restabelecimento do ecossistema. De acordo com Pinheiro (2009), o carbono armazenado pelas práticas florestais e restabelecimento dos ecossistemas pode ajudar a compensar as emissões para a atmosfera.

O crescimento da vegetação secundária é determinante para a absorção de carbono da atmosfera, grande parte das discussões sobre a absorção de carbono por florestas secundárias afirmam que estas crescem a altas taxas, visto que, há um rápido aumento de biomassa ao longo da evolução das florestas secundárias (BROWN; LUGO, 1990; BERENGUER et al., 2014). Para Fearnside et al. (2013) as florestas secundárias de pastagens abandonadas, crescem mais lentamente, ou seja, a taxa de absorção de carbono por estas, também é reduzido, pois, praticamente todas as áreas de vegetação secundária são derivadas de pousios da agricultura migratória e de pastagens abandonadas e/ou degradadas com solo compactado e esgotado de nutrientes.

Tabela 19 - Estoques e dinâmicas de carbono em diferentes classes de uso e cobertura do solo no município de Paragominas, nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os resultados são expressos em Mg.

CLASSE DE USO E COBERTURA DO SOLO	Total 2004	Total 2008	Total 2010	Total 2012	Diferença 2004-2008	Diferença 2004-2010	Diferença 2004-2012
Agricultura Anual	133.408	280.289	401.471	427.106	146.881	268.063	293.698
Área Urbana	0	0	0	0	0	0	0
Desflorestamento	0	0	0	0	0	0	0
Floresta	131.298.210	125.906.730	121.753.282	121.200.761	-5.391.481	-9.544.928	-10.097.450
Hidrografia	0	0	0	0	0	0	0
Mineração	0	0	0	0	0	0	0
Mosaico de Ocupações	42.804	45.392	16.444	10.120	2.588	-26.360	-32.684
Não Floresta	8.054	8.054	8.054	8.054	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0	0	0
Pasto com solo Exposto	0	0	0	0	0	0	0
Pasto Limpo	2.913.581	2.962.060	2.243.496	2.627.975	48.480	-670.085	-285.606
Pasto Sujo	1.075.562	1.574.591	843.686	887.009	499.029	-231.875	-188.553
Reflorestamento	5.016	5.016	562.886	1.068.576	0	557.870	1.063.560
Regeneração com Pasto	6.435.063	4.088.111	8.116.292	4.359.502	-2.346.952	1.681.229	-2.075.561
Vegetação Secundária	21.058.119	24.133.703	31.681.928	30.798.543	3.075.584	10.623.809	9.740.424
Total	162.969.817	159.003.946	165.627.540	161.387.645	-3.965.871	2.657.723	-1.582.172

Tabela 20 - Estoques e dinâmicas de carbono em diferentes classes de uso e cobertura do solo no município de Ulianópolis, nos anos de 2004, 2008, 2010 e 2012. Os resultados são expressos em Mg.

CLASSE DE USO E COBERTURA DO SOLO	Total 2004	Total 2008	Total 2010	Total 2012	Diferença 2004-2008	Diferença 2004-2010	Diferença 2004-2012
Agricultura Anual	82.840	125.454	240.886	185.625	42.614	158.046	102.785
Área Urbana	0	0	0	0	0	0	0
Desflorestamento	0	0	0	0	0	0	0
Floresta	21.169.243	17.330.033	16.561.139	16.025.489	-3.839.209	-4.608.103	-5.143.753
Hidrografia	0	0	0	0	0	0	0
Mineração	0	0	0	0	0	0	0
Mosaico de Ocupações	25.314	496	5	9.114	-24.818	-25.309	-16.200
Não Floresta	0	0	0	0	0	0	0
Outros	0	0	0	0	0	0	0
Pasto com solo Exposto	0	0	0	0	0	0	0
Pasto Limpo	728.122	985.491	683.032	982.176	257.369	-45.090	254.054
Pasto Sujo	1.019.346	614.802	538.821	422.766	-404.543	-480.525	-596.579
Reflorestamento	2.266	2.266	635.683	796.029	0	633.417	793.764
Regeneração com Pasto	1.636.764	2.760.387	4.790.538	1.957.328	1.123.623	3.153.774	320.564
Vegetação Secundária	6.083.168	7.133.623	6.422.278	8.341.195	1.050.455	339.111	2.258.028
Total	30.747.062	28.952.553	29.872.382	28.719.723	-1.794.509	-874.680	-2.027.338

Nas Figuras 12, 13 e 14 visualiza-se a localização espacial das áreas com e sem mudanças de uso e cobertura do solo para os períodos 2004-2008, 2004-2010 e 2004-2012, respectivamente. Os valores de BAS com intervalos entre 75 a 230 Mg/ha, representam essencialmente áreas onde houve um aumento de BAS, que foram representados pelo crescimento da vegetação secundária, regeneração com pasto e reflorestamento. Já os valores de BAS com intervalos entre -230 a 74 Mg/ha, representam basicamente o avanço das classes que possuem baixas taxas de biomassa e conseqüentemente de carbono, como por exemplo agricultura e pasto limpo, sobre as áreas que armazenam altas taxas de carbono. Os valores entre - 74 a 75 Mg/ha são áreas que permaneceram com o mesmo tipo de ocupação, ou seja, tiveram pouca ou não tiveram modificação na BAS.

Observa-se que a maior perda de BAS ocorreu no período 2004-2008 no município de Paragominas. Já Ulianópolis, apresentou uma perda constante de BAS ao longo do período de 2004 a 2012. Esta perda de Biomassa em Ulianópolis foi devida ao alto desflorestamento de sua área (INPE/PRODES, 2013); mesmo que no ano de 2012 o município tenha tido seu nome retirado da lista de municípios que mais desmataram a Amazônia (MMA, 2012), as taxas de desmatamento ainda permaneceram altas.

A Figura 13 possibilita a inferência sobre o aumento das áreas ocupadas com as classes com maiores estoques de carbono no período de 2004 a 2010, as quais compreendem valores de armazenamento de carbono entre 125 e 230 Mg/ha. Este aumento é justificado pela expansão das classes de vegetação secundária e regeneração com pasto sobre as classes de agricultura anual, pasto limpo e pasto sujo, conforme observado na porção central do município de Paragominas. No entanto, houve uma significativa perda de carbono, em áreas adjacentes a classe de floresta, como observado na porção nordeste de Paragominas.

O município de Ulianópolis também teve significativas perdas de carbono armazenado, como observado na porção norte, estendendo-se até o sudeste (Figura 12). No entanto, durante os períodos de 2004-2010 e de 2004 a 2012 (Figuras 10 e 11), houve um leve crescimento do carbono armazenado, resultado da transição da classe de desmatamento para as classes que apresentam baixas taxas de BAS, como agricultura anual e de pasto limpo.

Figura 12 - Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2008 na área de estudo.

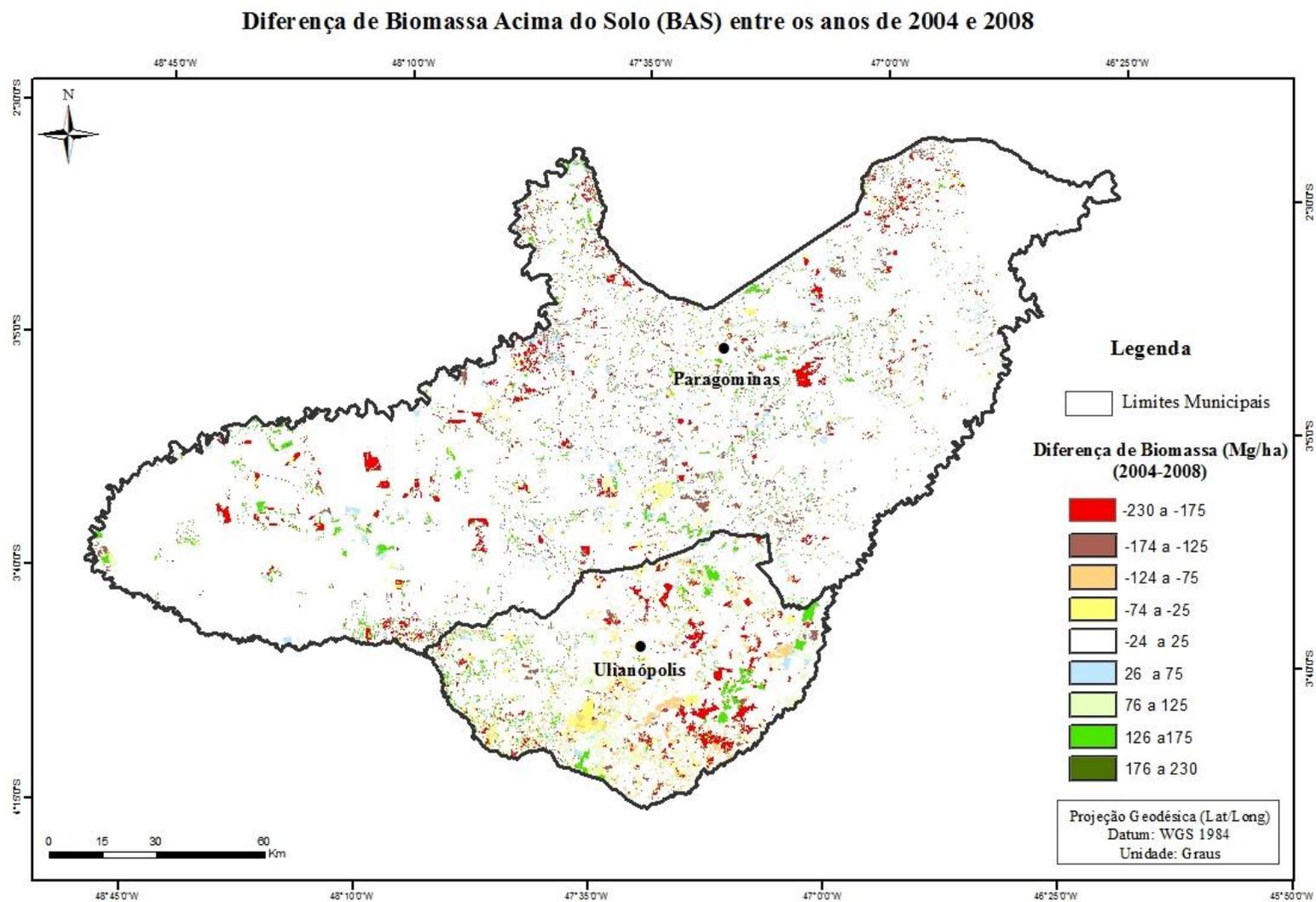


Figura 13 - Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2010 na área de estudo.

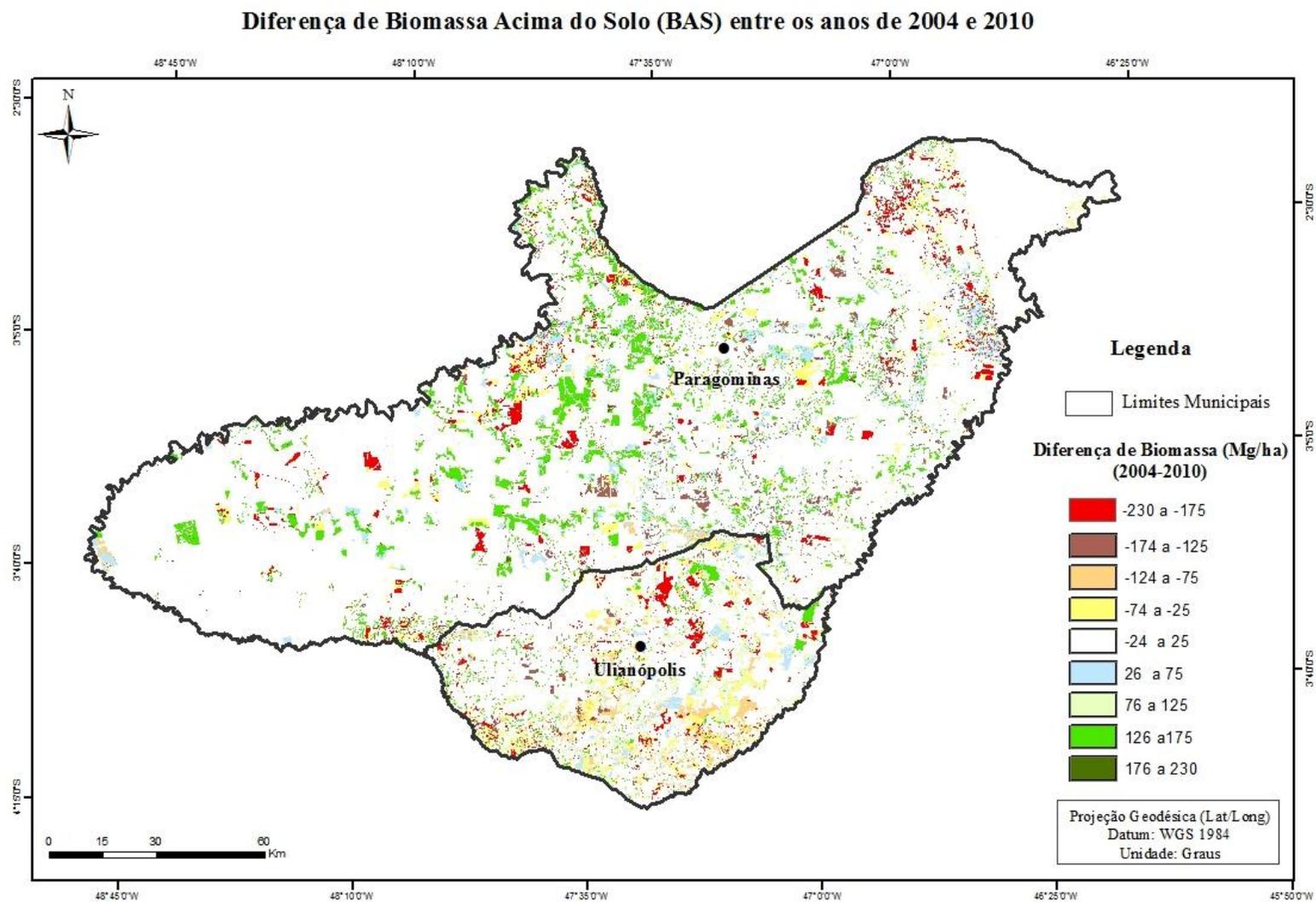
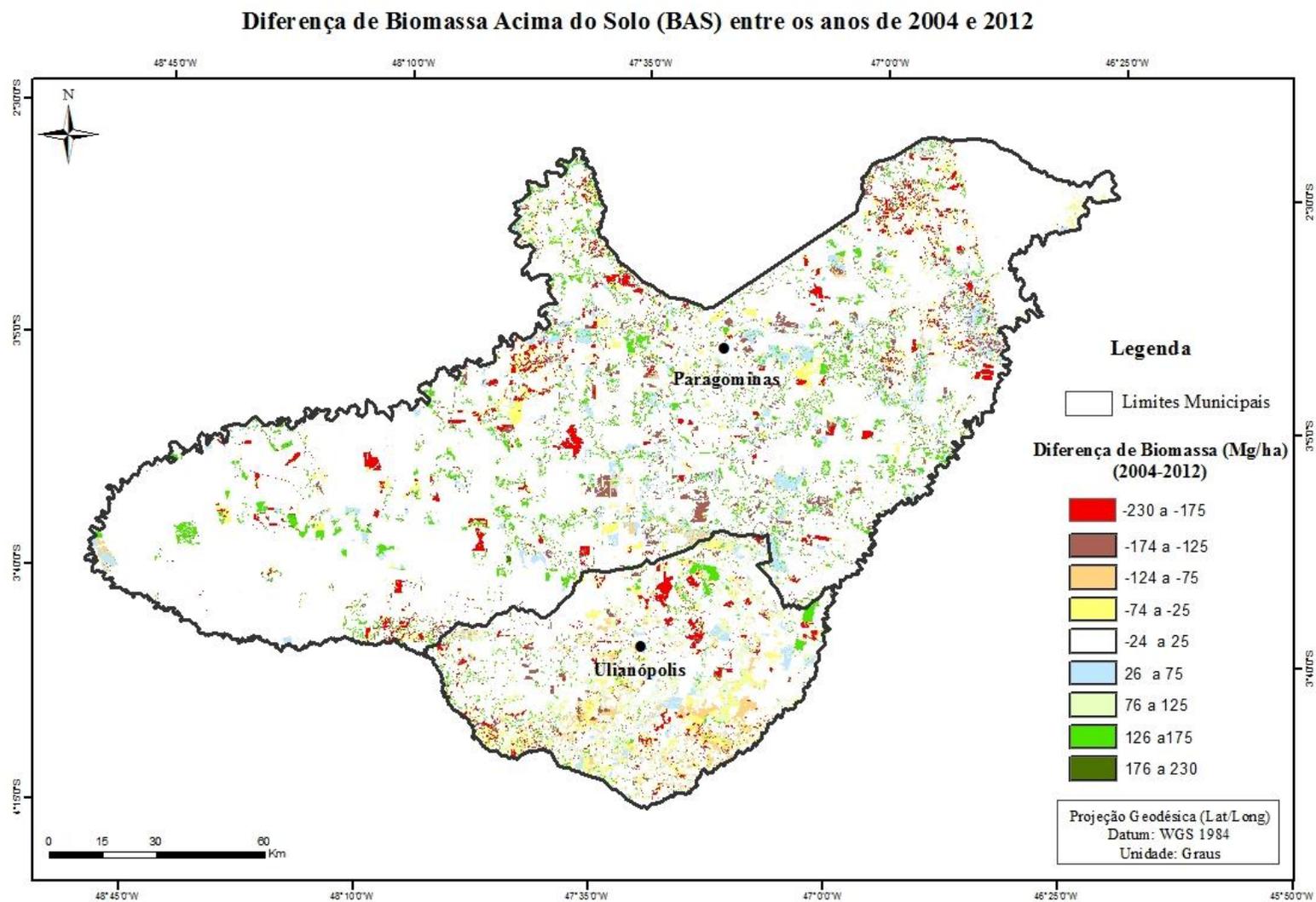


Figura 14- Variação na quantidade de C (Mg/ha de BAS) resultado da Transição no uso e cobertura do solo para o período 2004-2012 na área de estudo.



4.4 Emissões e remoções de CO₂ associado às mudanças de uso e cobertura do solo

A quantificação das emissões de CO₂ é um grande desafio atual, devido à alta complexidade da estrutura e da dinâmica da floresta amazônica (SAATCHI et al., 2011). Essa quantificação é importante para estimar a quantidade de carbono emitido derivados das mudanças de uso e cobertura do solo. Para Song et al. (2015), as estimativas das emissões, são fundamentais para implementação de políticas de conservação a floresta e políticas que visem a redução da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (Tabela 21).

Tabela 21- Emissão e remoção de dióxido de carbono nos períodos de 2004 a 2008, 2004 a 2010 e 2004 a 2012 na área de estudo.

Variáveis	Paragominas		Ulianópolis		
	Total (Mg C)	(Mg C)/ ha	Total (Mg C)	(Mg C)/ ha	
Período de 2004- 2008	Emissão bruta	7.738.433	4,01	4.268.570	8,40
	Remoção	3.772.562	1,95	2.474.061	4,87
	Emissão líquida de carbono	3.965.871	2,05	1.794.509	3,53
	Emissão líquida de CO ₂	14.541.527	7,53	6.579.867	12,95
Período de 2004- 2010	Emissão bruta	10.473.249	5,42	5.159.027	10,15
	Remoção	13.130.972	6,80	4.284.348	8,43
	Emissão líquida de carbono	-2.657.723	-1,38	874.680	1,72
	Emissão líquida de CO ₂	-9.744.985	-5,05	3.207.158	6,31
Período de 2004- 2012	Emissão bruta	12.679.853	6,57	5.756.532	11,33
	Remoção	11.097.682	5,75	3.729.194	7,34
	Emissão líquida de carbono	1.582.172	0,82	2.027.338	3,99
	Emissão líquida de CO ₂	5.801.296	3,00	7.433.574	14,62

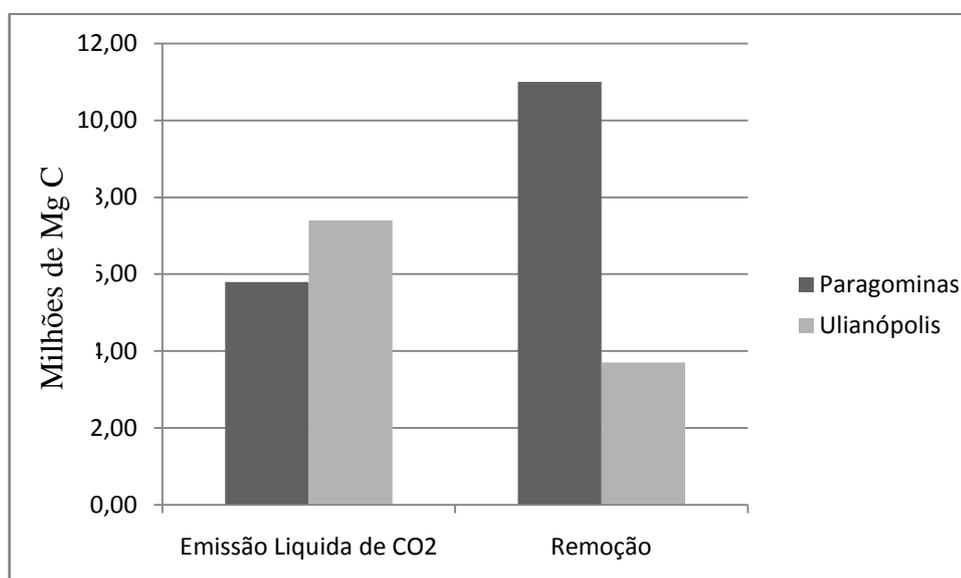
Neste estudo, para o período de 2004 a 2012, as emissões líquidas de CO₂ resultaram, num total de 13x10⁶ Mg C, com uma média anual de 720 x10³ Mg C e 928 x10³ Mg C, para os municípios de Paragominas e Ulianópolis respectivamente. Para Song et al. (2015), obter estimativas de desmatamento e de emissões anualmente podem ter um impacto significativo sobre a políticas emergentes como o REDD +, embora a contribuição específica ainda não esteja definida. Para isso, é necessário definir o nível de emissão de referência, como linha base, para determinar a quantidade de créditos financeiros gerados a partir do REDD+.

A principal componente da linha base de emissão se dá pelo histórico da taxa de emissão durante um significativo período de tempo, entre 5 a 10 anos. Para este estudo o histórico da taxa de emissão ocorreu em um período de 8 anos.

Quando os valores de emissão e remoção são ponderados pela área (Tabela 17), as diferenças entre Paragominas e Ulianópolis em relação aos usos e coberturas se tornam mais evidentes. Do total das emissões, 43,8% foi originado em Paragominas e 56,1% em Ulianópolis (Figura 15), apesar de que o município de Ulianópolis possui uma área bem menor que Paragominas. Mesmo com um valor de área de aproximadamente 4 vezes menor que Paragominas, o município de Ulianópolis, possui uma emissão líquida de CO₂ quando ponderado pela área, de cerca de 5 vezes mais que Paragominas, durante o período de 2004 a 2012, este resultado é devido a dinâmica de uso e cobertura ser mais acelerada neste município.

Os resultados apontam que houve uma certa estabilidade no carbono presente na classe floresta em ambos os municípios. Assumindo que as florestas estão em equilíbrio, observa-se que para o período de 2004 a 2012 as classes de vegetação secundária e reflorestamento tiveram função de sumidouro de carbono presente na atmosfera com 9.7×10^6 Mg C e 1.1×10^6 Mg C em Paragominas 2.2×10^6 Mg C respectivamente. Para Ulianópolis a vegetação secundária absorveu 2.2×10^6 Mg C e reflorestamento absorveu 793×10^3 Mg C (Tabelas 19 e 20). No entanto, esse efeito positivo, pela remoção de CO₂ da atmosfera, foi reduzido pela perda de cobertura vegetal, principalmente pela conversão da floresta nas classes mineração, desflorestamento, agricultura anual e pasto limpo.

Figura 15 - Balanço de carbono nos períodos 2000 a 2012 na área de estudo.



Uma parte do CO₂ emitido pela conversão da floresta em outros usos e cobertura é reabsorvido através do crescimento da vegetação secundária, entretanto a quantidade de carbono absorvida é pequena quando comparada com a emissão inicial (FEARNSIDE, 2006), haja visto que o carbono da floresta secundária é mais baixo quando comparado com a floresta primária, como por exemplo no município de Paragominas para o ano de 2004, a floresta primária apresentou 131x10⁶ Mg C e a vegetação secundária 21x10⁶ Mg C (Tabela 19). Além disto, deve ser levado em conta o tempo, uma vez que a emissão ocorre quase que imediatamente, no caso das queimadas, enquanto que uma vegetação secundária pode levar até 190 anos para recompor a mesma quantidade de C na mesma unidade de área (SALDARRIAGA et al., 1998).

4.5 Relação entre os indicadores socioeconômicos e os estoques de carbono

A análise obtida para o coeficiente de determinação (r^2) para todas as variáveis analisadas no município de Paragominas foi inferior a 0,1; o que segundo Farber (2010) implica que as variáveis socioeconômicas não têm relação com estoque de carbono. Para o município de Ulianópolis, a correlação entre as variáveis socioeconômicas e o estoque de carbono ficaram próximas a 0,6; o que segundo Farber (2010) implica em dizer que 60% das variáveis socioeconômicas podem ser descritas (ou explicadas) pelo estoque de carbono, ou seja, que há uma tendência de relação linear entre estas variáveis. Fica, portanto claro que existem outros fatores que poderiam ser importantes na variação dos indicadores socioeconômicos.

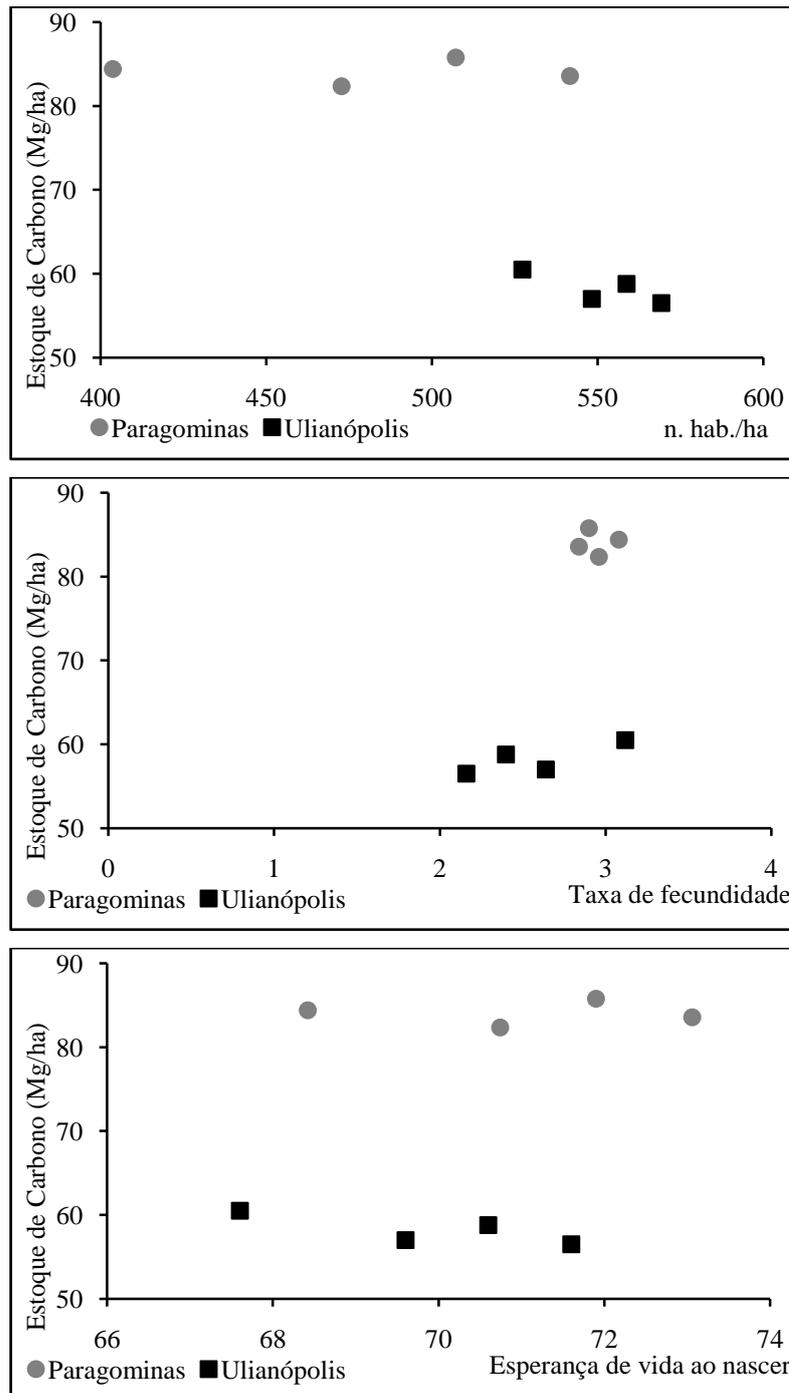
4.5.1 Quanto à dimensão aspectos demográficos

No município de Paragominas, no ano de 2004 a 2012, houve um aumento de 20 % na população total, um decréscimo de 9,6 % na taxa de fecundidade e aumento de 6,8 % na esperança de vida ao nascer. Em relação ao município de Ulianópolis, durante o mesmo período, pode-se observar que seguiu a mesma tendência que Paragominas, o valor da população total aumentou em 66 %, a taxa de fecundidade reduziu em 29 % e a esperança de vida ao nascer teve um aumento de 5,9 % (Anexos A e B).

Com relação a Figura 16, sobre a população total, averiguou-se que durante o período de 2004 a 2012, à medida que aumenta a população total o estoque de carbono decaiu nos municípios em estudo. Em Paragominas a tendência de linearidade entre as variáveis é

reduzida. Em relação à taxa de fecundidade, em Ulianópolis, pode-se observar que a medida que aumenta a taxa de fecundidade o estoque de carbono tende a aumentar, no entanto em Paragominas, não é possível observar tal relação. A esperança de vida ao nascer aumenta à medida que reduz o estoque de carbono em ambos os municípios.

Figura 16 - Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão aspectos demográficos) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.



Segundo Arraes et al (2012) a densidade populacional tem influência direta sobre a taxa de desmatamento. Além disto, espera-se, que com o aumento da população ocorra uma elevação nos preços da terra, tornando então a especulação como um negócio atrativo através da substituição das florestas por atividades agrosilvopastoris.

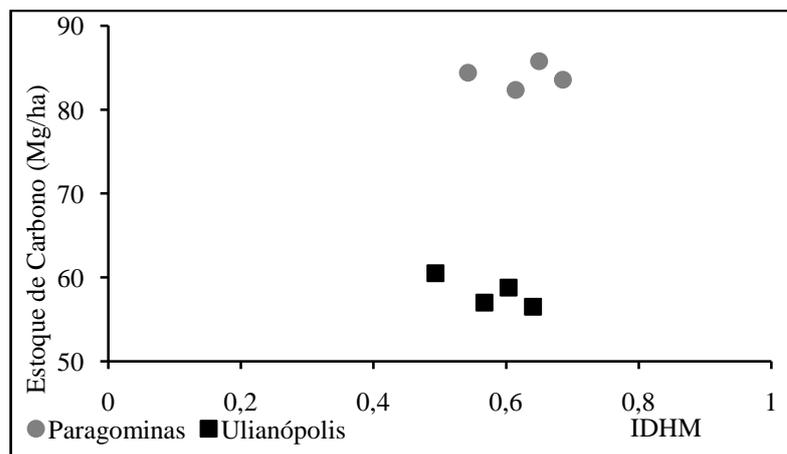
Para Scricciu (2004) a medida que aumenta a população, aumenta também a necessidade de produção de alimentos e, portanto, uma alteração dos ecossistemas naturais, ou seja, a modificação de floresta para sistemas de produção alimentar como a agricultura anual. Este aumento na produção pode ser tanto para atender a demanda local quanto mundial.

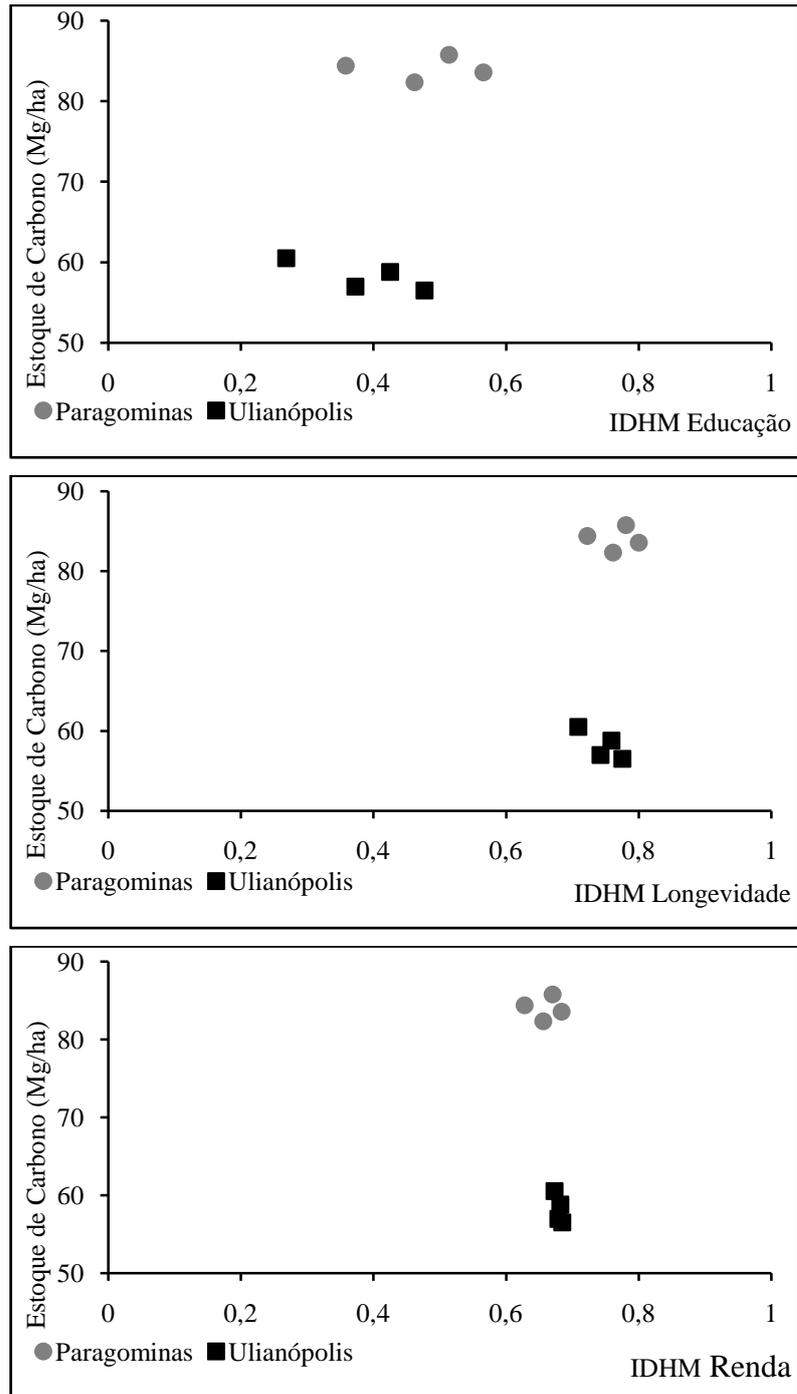
4.5.2 Quanto à dimensão Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e componentes

De 2004 para 2012 nos municípios em estudo, houve um aumento de todas as variáveis da dimensão índice de desenvolvimento humano municipal e componentes (Anexos A e B).

Observa-se, conforme a Figura 17, durante o período de 2004 a 2008, no município de Ulianópolis, à medida que o estoque de carbono diminui, tende a aumentar o valor das variáveis IDHM, IDHM educação, IDHM longevidade, IDHM renda, IDHM renda. Este aumento no valor das variáveis podem estar relacionados com o estágio inicial de desmatamento. Para o município de Paragominas, pode-se observar que não existe relação de linearidade entre as variáveis da dimensão desigualdade e pobreza com os valores de estoque de carbono, o que poderia estar associado a desmatamentos mais antigos e fronteiras agrícolas mais consolidadas quando comparado com Ulianópolis.

Figura 17- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão índice desenvolvimento humano municipal) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.





Em um estudo da relação da extensão do desmatamento e padrões de crescimento do IDH e outros índices, Rodrigues et al. (2009), sugerem que os níveis de desenvolvimento relativo aumentam rapidamente nos estágios iniciais do desmatamento e, em seguida diminuem, ou seja, a prosperidade pela destruição da floresta é temporária. Os autores ainda observam que, mesmo havendo uma redução dos valores dos indicadores frente ao desmatamento, de maneira geral, nos últimos anos, a maioria dos municípios da Amazônia apresentaram uma melhora no IDHM, isto porque a Amazônia acompanha a evolução que

ocorre em todo o país ao longo do tempo. Este fato, não invalida a conclusão de que o desmatamento ou a perda de carbono traz prosperidade apenas temporária à região onde ocorre.

Para Celentano e Veríssimo (2007), o avanço da fronteira na Amazônia tem sido marcado pela degradação dos recursos naturais (desmatamento e/ou queimada) e por um rápido crescimento econômico, porém de maneira pouco sustentável. Observando esse modelo de ocupação, a economia segue o padrão “boom-colapso”, ou seja, durante os primeiros anos de uma atividade econômica ocorre um rápido crescimento de emprego e renda (boom), seguido de um colapso social.

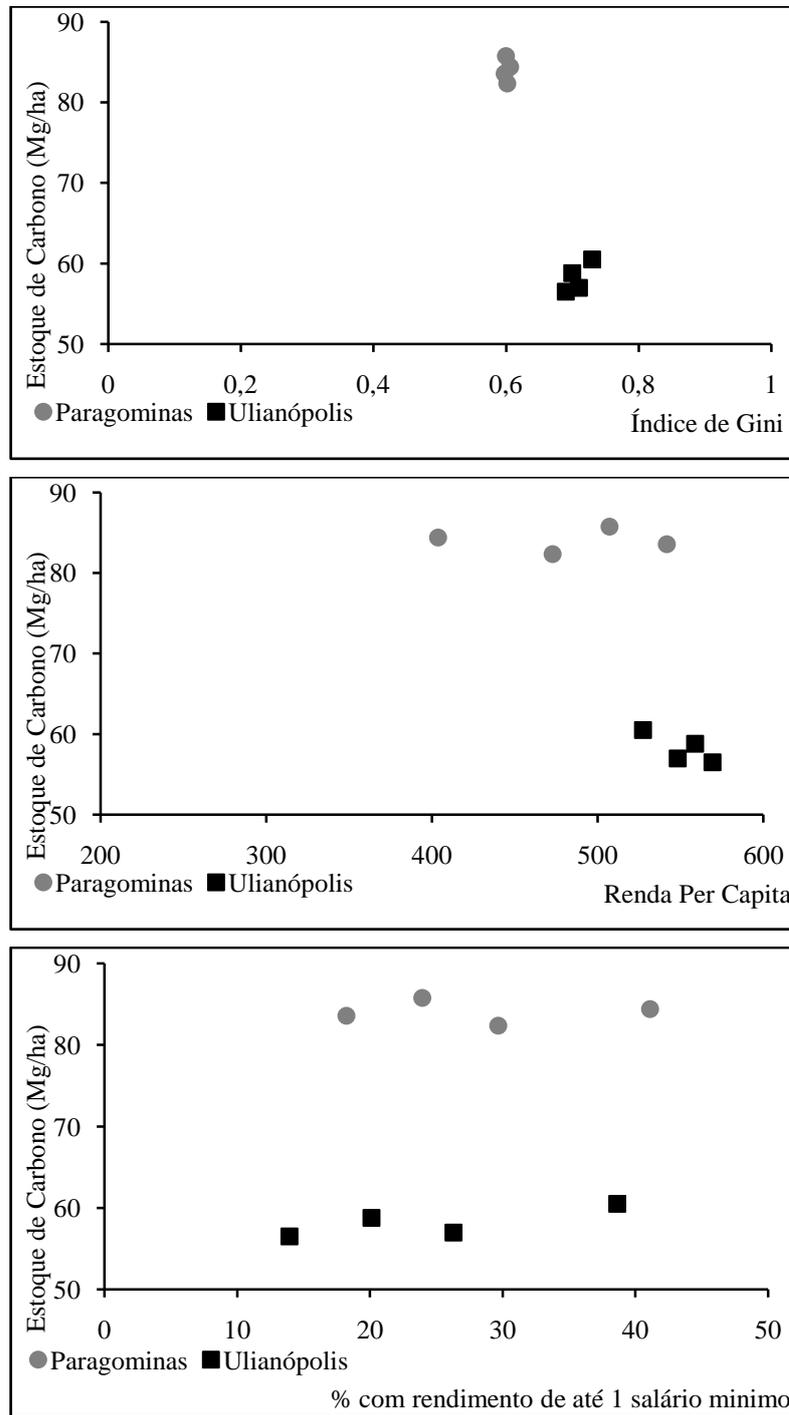
As taxas de emprego e renda oriundas de atividade de degradação, como a exploração madeireira, caem subitamente após alguns anos de utilização de um determinado recurso. Portanto a curto prazo, os indicadores econômicos (como emprego e renda) crescem e o IDH é beneficiado seja pela geração de renda ou pela atração de imigrantes. Em longo prazo, nas regiões muito desmatadas os indicadores socioeconômicos tornam-se inferiores aos das regiões onde o desmatamento está acontecendo, ou seja, regiões com maior perda de carbono possuem IDHM semelhantes aquelas que mantiveram sua cobertura vegetal, enquanto as zonas onde está ocorrendo o desmatamento tendem a apresentar IDH superior (CELENTANO; VERÍSSIMO, 2007), como no município de Ulianópolis.

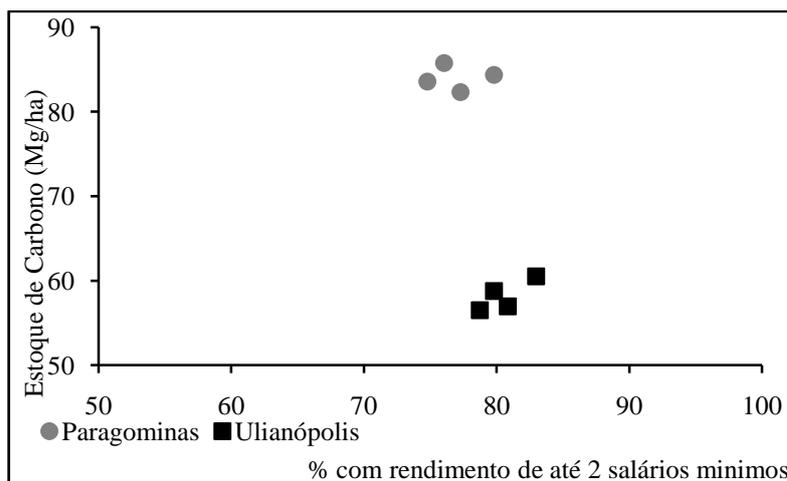
4.5.3 Quanto à dimensão renda

Verificou-se que em ambos os municípios, durante o período de 2004 a 2012, todas as variáveis reduzem, exceto o valor da renda per capita (Anexos A e B).

De acordo com a Figura 18, em Ulianópolis, à medida que reduz o estoque de carbono, há uma tendência de aumento da variável renda per capita. De acordo com as variáveis porcentagem dos ocupados de até um salário mínimo e de até 2 salários mínimos, pode-se observar que quando houve uma redução dessas variáveis, houve também uma redução do estoque de carbono. No município de Paragominas, não se observou tendência de linearidade entre o estoque de carbono e as variáveis da dimensão renda, com exceção do índice de Gini que praticamente não se altera. Pode-se observar no município de Ulianópolis que à medida que há uma redução no estoque de carbono, o Índice de Gini também é reduzido, ou seja, à medida que há uma redução no estoque carbono, há uma maior igualdade em relação à renda per capita.

Figura 18- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão renda) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.





Para Diniz et al (2007), a concentração de renda tem um efeito redutor no desmatamento, o que pode indicar duas possíveis interpretações. A primeira é que as atividades que desmatam a floresta possuem um efeito redutor sobre a desigualdade da renda. A segunda é que com uma maior igualdade de renda, um maior número de agentes que passam a ter acesso ao uso da terra, ou seja, com um maior número de agentes maior será o desmatamento.

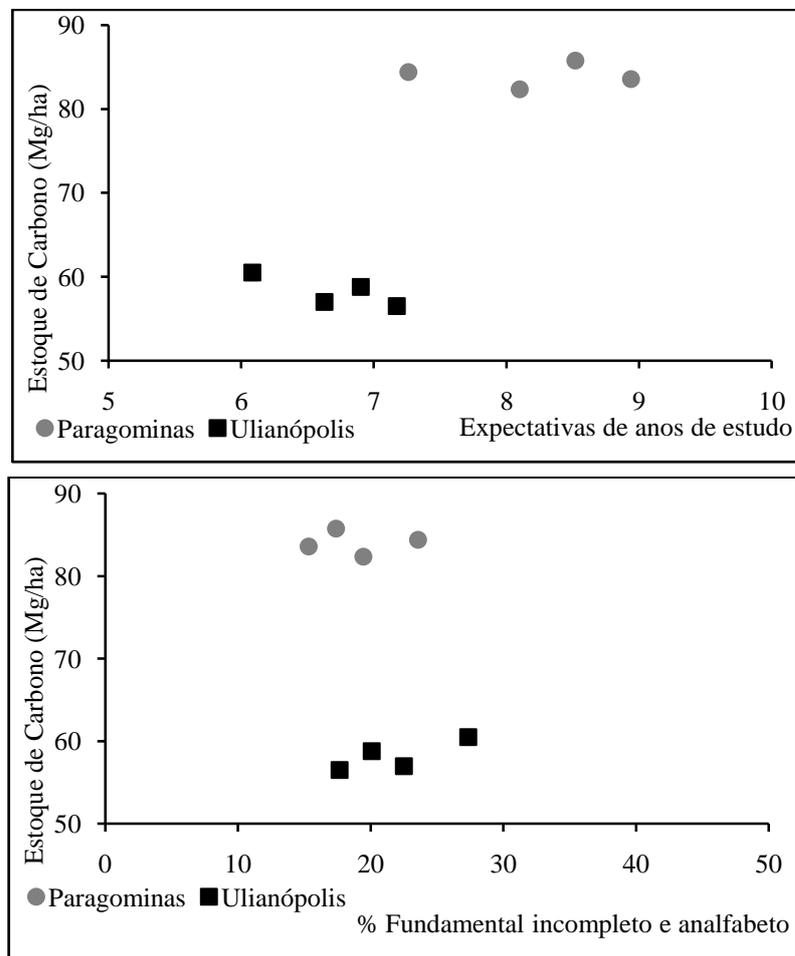
Autores como Hall et al (1986), afirmam que com uma renda mais elevada maior será a degradação ambiental, como a exploração e índices altíssimos de poluição. Por outro lado Beckerman (1993) defende que, os maiores níveis de renda tendem a reduzir a degradação ambiental, visto que podem dar margem a padrões de consumo ambientalmente mais limpos, induzindo uma trajetória tecnológica com menor intensidade de degradação do consumo. Arraes et al (2012) consideram que o desmatamento é a força motriz para o crescimento econômico, pois, quando há um aumento do nível da renda, os indivíduos tendem a requerer mais dos benefícios associados às florestas naturais.

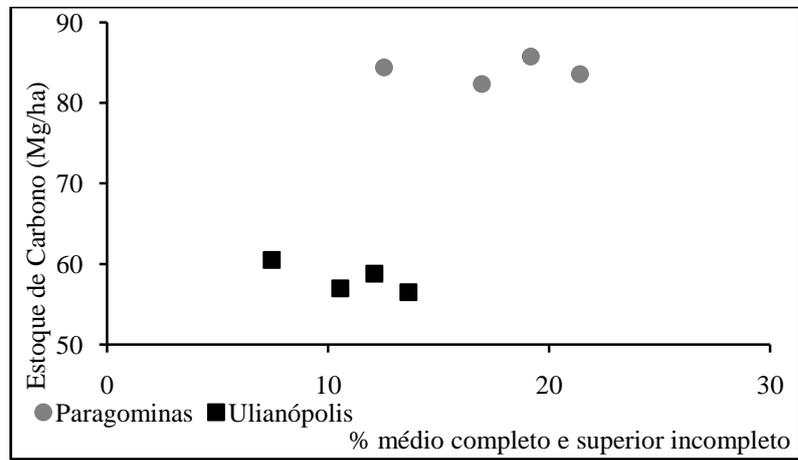
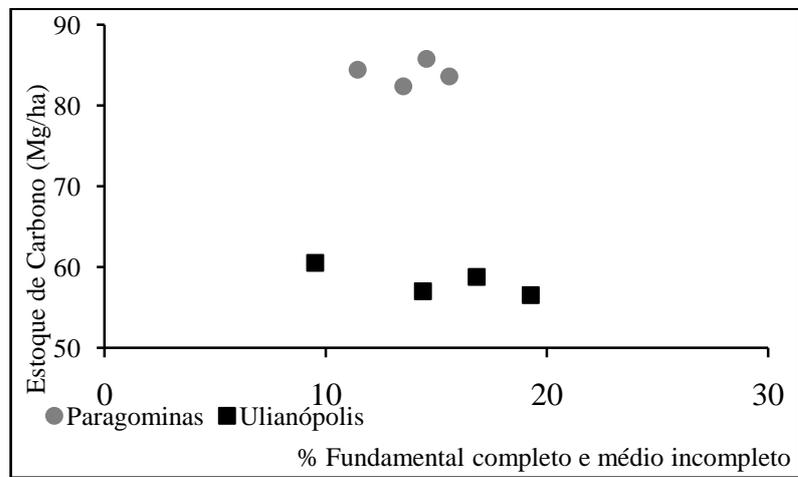
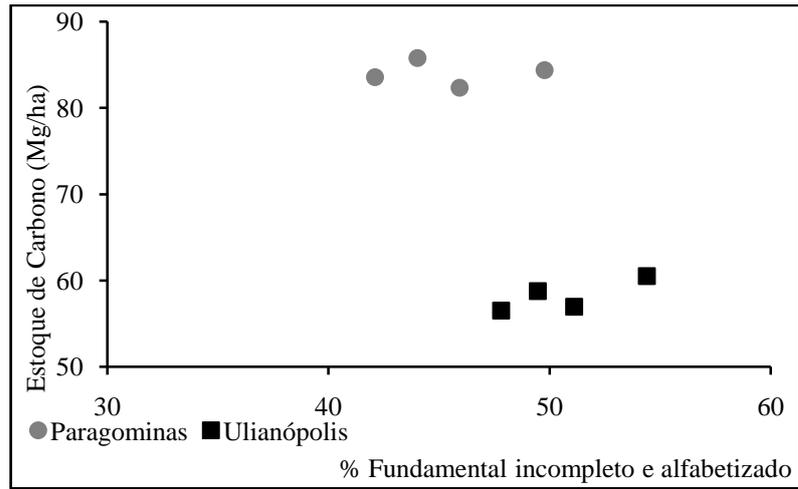
4.5.4 Quanto à dimensão educação

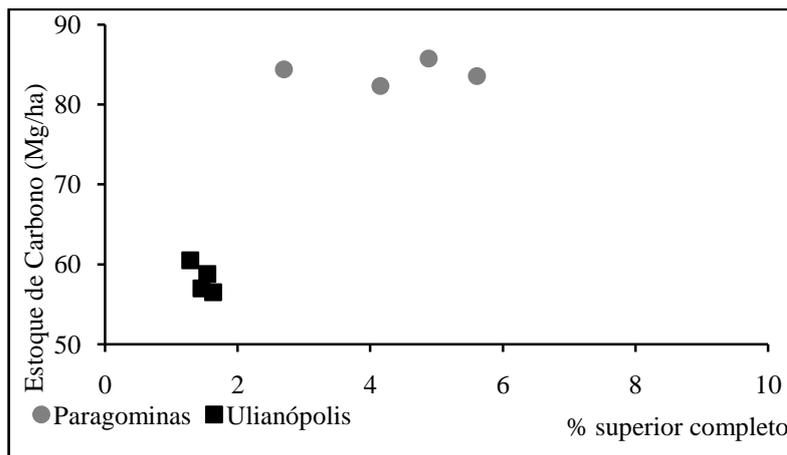
A dimensão educação foi formada pelas variáveis: Expectativas de anos de estudo, % Fundamental incompleto e analfabeto, % Fundamental incompleto e alfabetizado, % Fundamental completo e médio incompleto, % Médio completo e superior incompleto e % Superior completo. Percebe-se que houve um aumento de todas as variáveis, com exceção de % Fundamental incompleto e analfabeto e % Fundamental incompleto e alfabetizado (Anexos A e B).

Observando a Figura 19, no município de Ulianópolis, à medida que o estoque de carbono é reduzido, passa a haver uma tendência de aumento das variáveis: Expectativa de anos de estudo, % Fundamental completo e médio incompleto, % Médio completo e superior incompleto e % Superior completo. De acordo com as variáveis % Fundamental incompleto e analfabeto e % Fundamental incompleto e alfabetizado, observou-se que elas eram reduzidas, à medida em que o estoque de carbono também era reduzido. No município de Paragominas, não se observou tendência de linearidade entre o estoque de carbono e as variáveis da dimensão educação durante o período analisado.

Figura 19- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão educação) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.







Para Diniz et al (2009), o desmatamento pode exercer um efeito sobre a educação, visto que, a medida que avança o desmatamento, outras atividades econômicas antes exercidas deixam de ser efetuadas, forçando então a procura por outras atividades econômicas ou até mesmo um complemento educacional, que dê a possibilidade de adquirir trabalho ao qual se exijam habilidades diferentes daquelas originalmente requeridas.

Observa-se a importância de determinação do desmatamento, sobre a ótica da educação, que municípios com altos índices educacionais desmatam menos, preservando mais o meio ambiente. Portanto um dos parâmetros para reduzir o desmatamento seria o aumento do nível de educação, visto que, pessoas que apresentem um maior nível educacional possuem uma maior conscientização dos impactos causados pelo desmatamento ao meio ambiente e a sociedade (LOENING; MARKUSSEN, 2003).

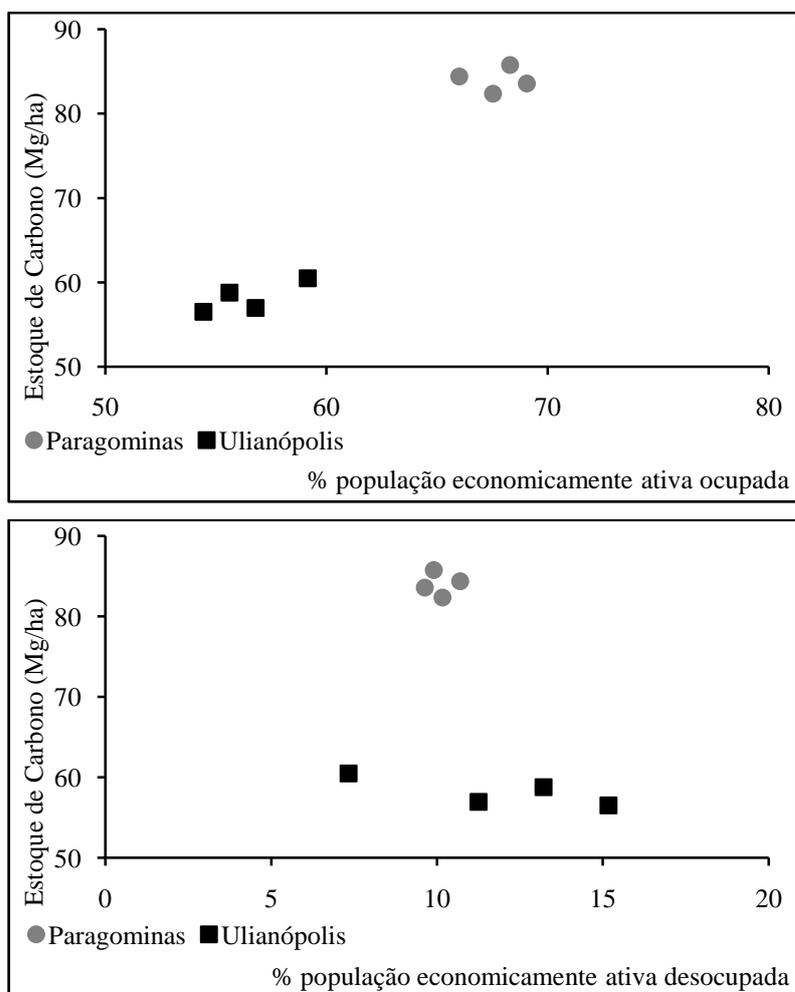
4.5.5 Quanto à dimensão trabalho

A dimensão trabalho é constituída pelas variáveis: % População economicamente ativa ocupada e % População economicamente ativa desocupada. Os municípios de Paragominas e Ulianópolis seguem tendências opostas entre os períodos de 2004 à 2012, percebe-se que aumentou em 4,6% o grau de população economicamente ocupada em Paragominas e o grau de população economicamente desocupada praticamente dobrou em Ulianópolis (Anexos A e B).

Observando a Figura 20, no município de Ulianópolis, à medida que o estoque de carbono aumenta, há uma tendência de aumento da variável % população economicamente ativa ocupada. De acordo com a variável % população economicamente desocupada, observou-se que ela tende a aumentar, à medida em que o estoque de carbono era reduzido.

No município de Paragominas, não se observou tendência de linearidade entre o estoque de carbono e as variáveis da dimensão trabalho durante o período analisado.

Figura 20- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão trabalho) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.



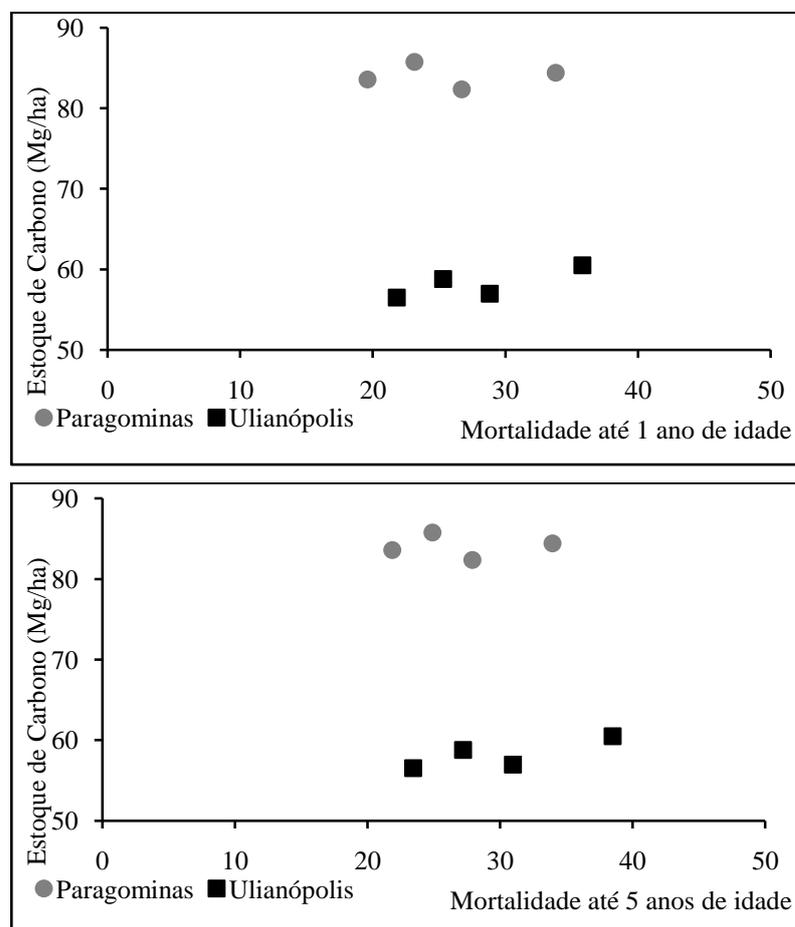
4.5.6 Quanto à dimensão saúde

A dimensão Saúde é composta pelas variáveis: Mortalidade até 1 ano de idade e % Mortalidade até 5 anos de idade. Durante o período de 2004 a 2012, em ambos os municípios de estudo, apresentaram redução significativa das taxas de mortalidade infantil. Pode-se observar que com uma redução no estoque de carbono há também uma redução da mortalidade de até 1 ano de idade e de até 5 anos de idade (Anexo 1).

Observando a Figura 21, no município de Ulianópolis, à medida que o estoque de carbono é reduzido, passa a haver uma tendência de aumento das variáveis: taxa de mortalidade até 1 ano de idade e taxa de mortalidade até 5 anos de idade. No município de

Paragominas, não foi possível observar tendência de linearidade entre o estoque de carbono e as variáveis da dimensão educação durante o período analisado.

Figura 21- Relação entre Indicadores Socioeconômicos (quanto à dimensão saúde) e estoque de Carbono, nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, para os anos de 2004, 2008, 2010 e 2012.



Para Aparício (2001) os efeitos das dinâmicas de uso e cobertura do solo, principalmente do desmatamento e queimada na saúde humana são diversos e tem aumentado nas últimas décadas, pois justamente com essa transformação na paisagem é que aparecem várias doenças infecciosas e respiratórias. A substituição das florestas por áreas degradadas, o desmatamento de áreas extensas, os padrões de ocupação da terra, aberturas de estradas e outros fatores são determinantes na ocorrência de epidemias, favorecendo a migração e a adaptação de vetores (VASCONCELOS, 2006).

Segundo Barbieri (2000) as doenças endêmicas em regiões de floresta são avaliadas como processos resultantes da interação entre o homem e a natureza, que levam a um desequilíbrio ecológico. De acordo com Fernandes (2006) em muitos casos doenças transmitidas por vetores, estão relacionadas a presença de floresta, visto que os vetores, são

moradores da floresta, e é possível que a destruição da floresta pode levar a destruição dos patógenos e vetores ou pode até mesmo forçar a adaptação desses animais a outros ambientes que não necessariamente a floresta.

No caso das queimadas, as emissões de gases precursores da formação de ozônio em concentrações elevadas podem comprometer a saúde das populações nas áreas de influência das queimadas (RIVEIRO; ASSUNÇÃO, 2002). Dentre os sintomas das doenças observadas por influência das queimadas estão: infecções do sistema respiratório superior, asma, conjuntivite, bronquite, irritação dos olhos e garganta, tosse, falta de ar, nariz entupido, vermelhidão e alergia na pele, e desordens cardiovasculares (RADOJEVIC, 1998).

Estudos epidemiológicos evidenciam um aumento de doenças respiratórias e da mortalidade geral e específica associadas à exposição a poluentes presentes na atmosfera derivados de queimadas, principalmente em grupos mais susceptíveis, que incluem as crianças menores de 5 anos e indivíduos maiores de 65 anos de idade (IGNOTTI et al. 2007).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e discussões pode-se concluir que a tecnologia de classificação de imagens de satélite (TerraClass/PRODES), utilizada para análise e monitoramento da evolução do uso e cobertura do solo nos municípios de Paragominas e Ulianópolis ao longo dos anos de 2004 a 2012, foi determinante na quantificação da dinâmica do estoque de carbono presente em cada classe de uso e cobertura do solo, identificação dos principais usos encontrados nos municípios em estudo e estimativa das emissões de CO₂.

Grande parte da área de floresta foi convertida para as classes de desflorestamento, agricultura e pastagem, ou seja, a pastagem e a agricultura estão avançando sobre áreas de floresta e cedendo áreas para regeneração com pasto e vegetação secundária em menor proporção. Esta avaliação comprovou que as dinâmicas das classes de uso e cobertura do solo está baseada na consolidação da agricultura e pecuária como uma das variáveis na matriz econômica dos municípios.

O estoque de carbono nos municípios de Paragominas e Ulianópolis tem sido ligeiramente diminuído, pois a redução da quantidade de carbono armazenado nas classes de uso e cobertura do solo são um reflexo das alterações ocorridas ao longo do período estudado, como a redução das áreas de floresta e o avanço das classes de agricultura anual, ao qual se traduz em um decrescente estoque de biomassa e conseqüentemente de carbono nos municípios em estudo. Se os estoques de carbono de áreas de florestas se mantiverem relativamente estáveis nos municípios, e se for considerado que áreas de pasto e agricultura alcancem os estágios seguintes de sucessão poderá haver remoções significativas de CO₂ da atmosfera, desde que também sejam mantidas áreas para conservação e restabelecimento do ecossistema.

Na área de estudo, houve uma certa estabilidade no carbono presente na classe floresta em ambos os municípios, portanto assumindo que as florestas estejam em equilíbrio, pode-se observar que classes como o reflorestamento, vegetação secundária e regeneração com pasto tiveram função de sumidouro de carbono atmosférico. Entretanto, este efeito positivo, pela remoção de CO₂ da atmosfera, foi reduzido pela perda de cobertura vegetal, principalmente nas classes mineração, desflorestamento, agricultura anual e pasto limpo, ou seja, a área de estudo está contribuindo negativamente para a remoção de CO₂ da atmosfera.

Os valores de estoque e emissão de carbono dependeram principalmente da área, do tipo de uso e cobertura do solo, das atividades econômicas exercidas e variam consideravelmente não só entre os municípios, mas também de ano para ano.

As dinâmicas de uso e cobertura do solo tem sido marcadas por alterações na paisagem e um rápido desenvolvimento socioeconômico, no entanto de maneira pouco sustentável. Os dois municípios se apresentaram de maneira diversificada, quando relacionado os estoques de carbono com os indicadores socioeconômicos, em Ulianópolis observou-se relação de linearidade de intensidade moderada entre indicadores socioeconômicos e os estoques de carbono. Diferentemente, em Paragominas, não é possível observar tal relação. Fica portanto claro que existem outros fatores, que poderiam ser importantes na variação dos indicadores socioeconômicos, mas para isso faz-se necessário um estudo mais aprofundado.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. **Estimativa da data do plantio de soja por meio de series temporais de imagens Modis**. 2010, 135 f. Tese (Doutorado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- ADAMI, M. et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 e 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa, Brasil, **Anais...** João Pessoa, Brasil: SBRS, 2015. p. 7029-7035.
- ADAMI, M. et al. Amostragem probabilística estratificada por pontos para estimar a área cultivada de soja. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 45, n. 6, p. 585-590, 2010.
- ANDERSON, L. O. et al. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 10, p. 1739-1753, 2015.
- AGUIAR A. et al. **Relatório técnico sintético**: estimativa das emissões de CO₂ por desmatamento na Amazônia brasileira. São José dos Campos, INPE, 2009.
- AGUIAR, A. et al. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 18, n. 11, p. 3346-3366, 2012.
- ALBAGLI, S. Amazônia: fronteira geopolítica da biodiversidade. *Revista Parcerias Estratégicas*, v. 6, n. 12, p. 5-19, 2001.
- ALCANTARA, L. H.; ZEILHOFER, P. Aplicação de técnica de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso – Cáceres, MT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1, 2004, Campo Grande, Brasil. **Anais...** Campo Grande, Brasil: GeoPantanal, 2004. p. 18-27.
- ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra – estudo de caso no município de Teutônia – RS- Brasil. **Revista brasileira de Cartografia**. v. 61, n. 03, p. 273-283, 2009.
- APARÍCIO, C. **Utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Orbital para análise espacial de paisagem com incidência de Leishmaniose Tegumentar Americana**. 2001, 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- ARAGÃO, L. et al. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913-931, 2014.
- ARRAES, R. A; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 50, n. 1, 2012.
- ARTAXO, P. et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amaz.**, v.35, n.2, p. 185–196, 2005.

BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 3, p. 182-185, 2012.

BACCINI, A. Forest biomass estimation over regional scales using multisource data. ***Geophysical Research Letters***, v. 31, n. 10, p. 1-4, 2004.

BARBIERI A. F. **Uso antrópico da terra e malária no norte de Mato Grosso, 1992 a 1995**. 2000, 120 f. Dissertação (Mestrado Cedeplar)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

BARBOSA, C. C. et al. Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico Econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. Brasil, **Anais...** Santos. Brasil: SBRS, 1998, p. 487-500.

BARBOSA, R. I. ; FEARNSIDE, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do Evento El Niño (1997/98). ***Acta Amazonica***, v.29, n.4, p.513-534, 1999.

BARBOSA, R. R. do N., et al. Produção e sequestro de carbono na atmosfera. ***Enciclopédia biosfera***, v. 9, n. 16, p. 1783-1798, 2013.

BECKER, B. K. **Amazônia: geopolítica na virada do III Milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2007, 172 p.

BECKERMAN, W. The Environmental limits to growth: a fresh look. In: GIERSCHE, H. (Ed.). ***Economic progress and environmental concerns***. Berlin: Springer, 1993. p. 3-23.

BERENQUER, E. et al. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. ***Global Change Biology***, v. 20, p. 3713–3726, 2014.

BICHARA, J. P.; LIMA, R. A. Uma análise da política nacional sobre mudança do clima de 2009. ***Cadernos de Direito***, v. 12, n.23, p.165-192, 2012.

BOHRER, C. B. A. et al. Desenvolvimento de um sistema de informações espaciais ambientais e sócio-econômicas para a Amazônia Legal- SIG-AML. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS URBANOS E REGIONAIS, 1. 2001, São Paulo, Brasil, **Anais...** São Paulo, Brasil: SEUR, 2001.

BRAIMOH, A. K. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.113, p.254-263, 2006.

BRASIL. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal (PPCDAM)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004a, 171 p.

BRASIL. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal (PPCDAM): 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta**, Ministério do Meio Ambiente, 2013, 174p.

BROWN, S.; LUGO, A. Tropical secondary forest. ***Journal of Tropical Ecology***, Cambridge, v. 6, p. 1-32, 1990.

CARAM, R. O. **Mudanças de uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. 2010, 140 f. Tese (Doutorado em Ciências. Área de atuação: Irrigação e

Drenagem) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba 2010.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos cadernos do NAEA**, Belém, v.08, n.2, p.05-40, 2005.

CELENTANO, D. ; VERISSIMO, A. **O avanço da fronteira na Amazônia: do boom ao colapso**. Belém: Luciano Silva e Roger Almeida, 2007, 46 p.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.64-72, 2014.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa, 2007. [S.l.]:

DINIZ, M. B., et al. Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova economia**. v. 19, n. 1, p.121-151, 2009.

DINIZ, M. B., et al. A Amazônia (Legal) Brasileira está presa a uma armadilha da pobreza?. In: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA, 35., 2007, Fortaleza. **Anais...Recife**, Brasil: ANPEC, 2007.

ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p. 21-42, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012, 59 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Inventário de Emissões Antrópicas e Sumidouros de Gases de Efeito Estufa do Estado do Acre: Ano-Base 2012**. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais, 2014, 98 p.

EMMI, M. F. & CARVALHO, M. T. **Paragominas: um encontro de saberes**. Belém: UFPA/NAEA, 2003. 47 p.

EVANS, J. Measurement and prediction of changes in site productivity. In: IUFRO SYMPOSIUM ON SITE AND PRODUCTIVITY OF FAST-GROWING PLANTATIONS, 1984, South Africa. **Proceeding...** South Africa, 1984. p. 907-920.

FARBER, L. **Estatística aplicada**. 4. Ed. São Paulo, 640 p, 2010.

FALKOWSKI, P. et al. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. **Science**, v. 290, n. 5490, p. 291-296, 2000.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n.3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 743-756, 2008.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@mbiente**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.

FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. **Climatic Change**, v. 35, p. 321-360. 1997.

FERNANDES, W. R. S. **Estudo sobre a distribuição da malária no Pará e sua correlação com os fatores ambientais e socioeconômicos**. 2006, 106 f. Dissertação (Mestrado do curso de Pós-Graduação em Zoologia)- Museu Paraense Emilio Goeldi e Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FIORINI, A. C. O. **A importância da madeira morta para estimar estoques de carbono em florestas degradadas**: implicações para ações de redução de emissão por desmatamento e degradação florestal. 2012. 122f. Dissertação (Mestrado em planejamento estratégico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Planning for sustainable use of land resources**: towards a new approach. Food and Agriculture Organization, 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**.v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FONSECA, E. L. Uso de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento do estresse das culturas agrícolas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 2015, Aracaju, Brasil, **Anais...** Aracaju, Brasil: GEONORDESTE, 2004.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças climáticas** – guia de informação. 1a ed. Brasília, DF, 2002.

GAMA, F. F. **Estudo da interferometria e polarimetria sar em povoamentos florestais de Eucalyptus sp.** 2007. 242 f. Tese (Doutorado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

GIBBS, H.; BROWN, S.; NILES, J.; FOLEY, J. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, v. 2; n. 4, p. 1-13, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.
 GUIMARÃES, J. et al. **Municípios verdes: caminho para a sustentabilidade**. Belém, PA: IMAZON, 2011. 154 p.

HALL, C.A.S. et al. **Energy and resource quality – the ecology of the economic process**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

HOUGHTON, R. A., et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, n. 6767, p. 301–304, 2000.

HOUGHTON, R. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v. 11, n. 6, p. 945-958, 2005.

HOUGHTON, R.; HALL, F.; GOETZ, S. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. G2, 2009.

IGNOTTI, E. et al. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores da saúde. **Revista brasileira de epidemiologia**, v. 10, n. 4, p. 453-464, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bases Cartográficas**. Brasília, DF, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico: 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm>. Acesso em 10 set. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados estatísticos dos municípios do Brasil: 2010**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em 15 de jan. 2015.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Estatística municipal**. Belém, PA, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **INPE-EM: Estimativa de emissões dos gases do efeito estufa (GEE) por mudanças de cobertura da terra**. 2015. Disponível em: <http://inpe-em.ccst.inpe.br/conteudo_pt/index.html>. Acesso em: 10 abr. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Desmatamento por municípios. Projeto Prodes**. São José dos Campos, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>> Acesso em 03 de jun. 2015

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE); EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária. **TERRAClass - Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia, sumário executivo**. Setembro, 2011. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_executivo_terraclass_2008.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**: Projeto Prodes. São José dos Campos, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto TerraClass**, 2012. Disponível em <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2012.php>. Acesso em: 10 jun. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA (IPAM). **REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – REDD**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2012, 160 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change: the IPCC scientific assessment**. New York: Cambridge University Press, 1990.

_____. **2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

_____. **Climate change 2001: the scientific basis**. Contribution of working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2001

_____. **Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. New York: Cambridge University Press, 2013.

_____. **Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. New York: Cambridge University Press, 2007.

_____. **Good practice guidance for land use, land-use change forestry**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003.

KELLER, M.; PALACE, M.; HURTT, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 3, p. 371-382, 2001.

LACERDA, F.; NOBRE, P. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 14-17, 2010.

LAMBIM, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 205-241, 2003.

- LAURANCE, W.F. et al. Deforestation in Amazonia. **Science**, v. 304, n. 5674, p. 1109-1111, May. 2004.
- LE QUERÉ, C. et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience**, v. 2, p. 831–836, 2009.
- LEAL, G. L. R. **Paragominas: a realidade do pioneirismo**. Belém: Editora Alves, 2000. 498p.
- LOENING, L. J.; MARKUSSEN, M. Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala. **Economía, Sociedad y Territorio**, v. 4, n. 14, p. 279-315, 2003.
- LOPES, L. H. M. Uso e cobertura do solo no município de Tailândia-PA utilizando o TM/LANDSAT e técnica de classificação não supervisionada. **ENGEVISTA**, v. 10, n. 2, p. 126-132. 2008.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n 1, 2013.
- MALHI, Y. et al. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 15, n. 5, p. 1255–1274, 2009.
- MALHI, Y. J. et al. Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. **Science**, v.319, p. 169-172, 2008.
- MALHI, Y. The carbon balance of tropical forest regions, 1990–2005. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 237-244, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Fora da lista de desmatamento: 2012**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8535-fora-da-lista-negra>>. Acesso em 15 de jun. 2015.
- MUELLER, C. C. **Expansion and modernization of agriculture in the cerrado – the case of soybeans in Brazil’s Center-West**. Brasília,DF: Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Outubro de 2003.
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZA, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Cienc. Cult.**, v.59, n.3, p.22-27, 2007.
- NOGUEIRA, E. M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853–1867, 2008.
- PAGIOLA, S.; GLEHN. H. C. V.; TAFFARELLO, D. **Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais, 2013, 336 p.
- PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G.; ADAMI, M. Imagens landsat e quickBird são capazes de gerar estimativas precisas de biomassa aérea de Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2009a, Natal, Brasil, **Anais....** Natal, Brasil: SBRS, 2009a. p. 2913-2920

PINHEIRO, H. P. M. **Alteração do uso do solo e stocks de carbono na freguesia de Deilão, Bragança**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Florestais) - Escola Superior de Agrária, Bragança, 2009.

PINHO, C. M.D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagens Quickbird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 12., 2005, Goiânia. Brasil, **Anais...** Goiânia. Brasil: SBRS, 2005. p. 4225-4232, 2005.

PINTO, A. et al. **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas**. Relatório técnico. Belém, Pará: IMAZON, 2009.

PINTO, W. H. A & CARVALHO, A. S. Geoprocessamento aplicado a análise físico-territorial da área do Tarumã – AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, Brasil, **Anais...** Florianópolis, Brasil: SBRS, 2007. p. 3003-3009.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Análise da relação entre desmatamento e o bem estar da população da Amazônia legal. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 48, n. 1, p. 165-193, 2010.

RADOJEVIC, M. Burning issues. **Chemistry in Britain**, v. 34, n. 12, p. 38-42, 1998.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 4 ed. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 439 p.

RIVEIRO, H; ASSUNÇÃO, J. V. Efeito das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148 2002.

RODRIGUES, A. S. L. et al Boom-and-bust development patterns across the Amazon Deforestation Frontier. **Science**, v. 324, n. 5933, p. 1435-1437, 2009.

RODRIGUES, N. M. Utilização de ferramentas SIG na área urbana: ocupação ilegal de um trecho do Ribeirão São Bartolomeu- Viçosa (MG). **Geografia Acadêmica**, v. 3, n. 1, p. 18-26, 2009.

RODRIGUES, T. E. et al. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas** – estado do Pará. Belém: EMBRAPA, 2003, 51p.

ROMERO-RUIZ, M. H.; FLANTUA, S. G. A.; TANSEY, K.; BERRIO, J. C. Landscape transformation in savannas of northern south America: Land use/cover changes since 1987 in the Lianos Orientales of Colombia. **Applied Geography**, v.32, n.2, p. 766-776, 2012.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

RUDORFF, B. F. T. et al. Remote sensing images to detect soy plantations in the Amazon Biome—The soy moratorium initiative. **Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 1074- 1088, 2012.

RUDORFF, B. F. T. et al. The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images. **Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 185 – 202, 2011.

SAATCHI, S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **PNAS**, v. 108, n. 24, p. 9899–9904, 2011.

SAATCHI, S. S. et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v. 13, p.816-837, 2007.

SALDARRIAGA, J. G.; WEST, D. C.; THARP, M. L.; UHL, C. Long-Term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 76, n. 4, p. 938-958, 1988.

SALATI, E. Emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1., 1994, Rio de Janeiro, Brasil, **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil: CVRD, 1994, p. 15-37.

SALIMON, C. I. et al. Estimating state-wide biomass carbon stocks for a REDD plan in Acre, Brazil. **Forest Ecology and management**, v. 262, n. 3, p. 555-560, 2011.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: Sanquetta, C. R. Watzlawick, L. F.; Balbinot, R.; Ziliotto, M. A. B; Gomes, F. S. (Eds.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: [s.n.], 2002, p. 119-140.

SANTOS, R. P. **Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002-2007):** uma análise econométrica e espacial. 2010, 130f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)- Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SARRIS, A. H. **O papel da agricultura no desenvolvimento econômico e na diminuição da pobreza:** uma base empírica e conceitual. Brasília,DF: Departamento de Desenvolvimento Rural do Banco Mundial, 2001.

SCRIECIU, S. S. **Economic causes of tropical deforestation** – a global empirical application. University of Manchester, (Working Paper, 4). 2004. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/wpa/wuwpot/0410008.html>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS (SEPOF). **Estatística municipal de Ulianópolis**, em 2014. Disponível em <http://www.sepof.pa.gov.br>. Acesso: 30 jun., 2014.

SILVA. M. et al. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. **Novos Cadernos NAEA**, v. 16, n. 1, p. 229-248, 2013.

SONG, X-P.; et al. Annual carbon emissions from deforestation in the Amazon Basin between 2000 and 2010. **Journal Plos one**, v. 10, n.5, 2015.

TERRACLASS. **Mapeamento do uso e da cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira:** 2012. Brasília, DF; Belém: Embrapa; INPE, 201.

TERRACLASS. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal:** 2008. Brasília, DF; Belém: Embrapa; INPE, 2013.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Cienc.Cult.**v.55,n.4, p. 31-33, 2003.

VASCONCELOS, C. H. Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira. **Cadernos de saúde pública**, v. 22, n. 3, p. 517-526 2006.

VELDKAMP, A.; LAMBIM, E. F. Predicting land-use change. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 85, n. 1, p. 1-6, 2001.

VERÍSSIMO, A. et al. Impactos da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia: o caso de Paragominas. In: BARROS, A.C.; VERÍSSIMO, A. **A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará**. 2. ed. Belém: IMAZON, 2002. p. 42-74. 180 p.

VIEIRA, I. C. G. et al. Challenges of governing second-growth forests: a case study from the Brazilian Amazonian state of Pará. **Forest**, v. 5, n.7, p. 1737-1752, 2014

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C.; TOLEDO, P. M. Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados**, v.19, n.54, p. 153-164, 2005.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANGUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU). **Die Anrechnung biologischer Quellen und senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder rückschritt für den globalen Umweltschutz**. Sondergutachten, Bremerhaven, 1998. 76 p.

ANEXOS

ANEXO A

DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.

(Continua).

Dimensão	Variáveis	2004	2008	2010	2012
Aspectos Demográficos	População total	84.997,60	93.545,20	97.819,00	102.092,80
	Taxa de fecundidade	3,1	3	2,9	2,8
	Esperança de vida ao nascer	68,4	70,7	71,9	73,1
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	IDHM	0,54	0,61	0,65	0,69
	IDHM Educação	0,36	0,46	0,51	0,57
	IDHM Longevidade	0,72	0,76	0,78	0,8
	IDHM Renda	0,63	0,66	0,67	0,68
Renda	Índice de Gini	0,61	0,6	0,6	0,6
	Renda per capita	403,73	472,68	507,16	541,64
	% dos ocupados com rendimento de até 1 salário mínimo	41,1	29,67	23,95	18,23
	% dos ocupados com rendimento de até 2 salários mínimos	79,8	77,29	76,03	74,77

Fonte: IBGE (2000); IBGE (2010).

DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.

(Conclusão).					
Dimensão	Variáveis	2004	2008	2010	2012
Educação	Expectativa de anos de estudo	7,26	8,1	8,52	8,94
	% Fundamental incompleto e analfabeto	23,57	19,44	17,38	15,32
	% Fundamental incompleto e alfabetizado	49,77	45,94	44,02	42,1
	% Fundamental completo e médio incompleto	11,44	13,51	14,55	15,59
	% Médio completo e superior incompleto	12,52	16,95	19,17	21,39
	% Superior completo	2,7	4,15	4,88	5,61
Trabalho	% População economicamente ativa ocupada	66,01	67,53	68,3	69,06
	% População economicamente ativa desocupada	10,69	10,17	9,9	9,6
Saúde	Mortalidade até 1 ano de idade	33,79	26,69	23,14	19,59
	Mortalidade até 5 anos de idade	33,96	27,92	24,9	21,88

Fonte: IBGE (2000); IBGE (2010).

ANEXO B

DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.

(Continua).

Dimensão	Variáveis	2004	2008	2010	2012
Aspectos Demográficos	População total	28.890,00	38.526,00	43.341,00	48.159,00
	Taxa de fecundidade	3,1	2,6	2,4	2,2
	Esperança de vida ao nascer	67,6	69,6	70,6	71,6
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	IDHM	0,49	0,57	0,6	0,64
	IDHM Educação	0,27	0,37	0,43	0,48
	IDHM Longevidade	0,71	0,74	0,76	0,78
	IDHM Renda	0,67	0,68	0,68	0,69
Renda	Índice de Gini	0,73	0,71	0,7	0,69
	Renda per capita	527,28	548,24	558,72	569,2
	% dos ocupados com rendimento de até 1 salário mínimo	38,64	26,29	20,11	13,93
	% dos ocupados com rendimento de até 2 salários mínimos	82,98	80,85	79,79	78,73

Fonte: IBGE (2000); IBGE (2010).

DIMENSÕES E VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS, PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012.

(Conclusão).

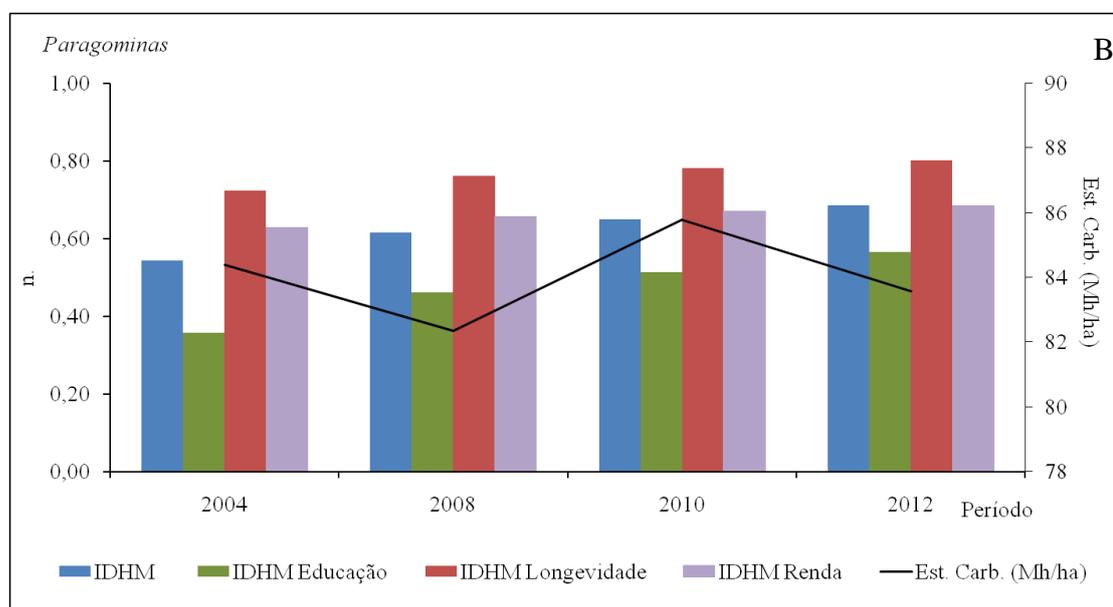
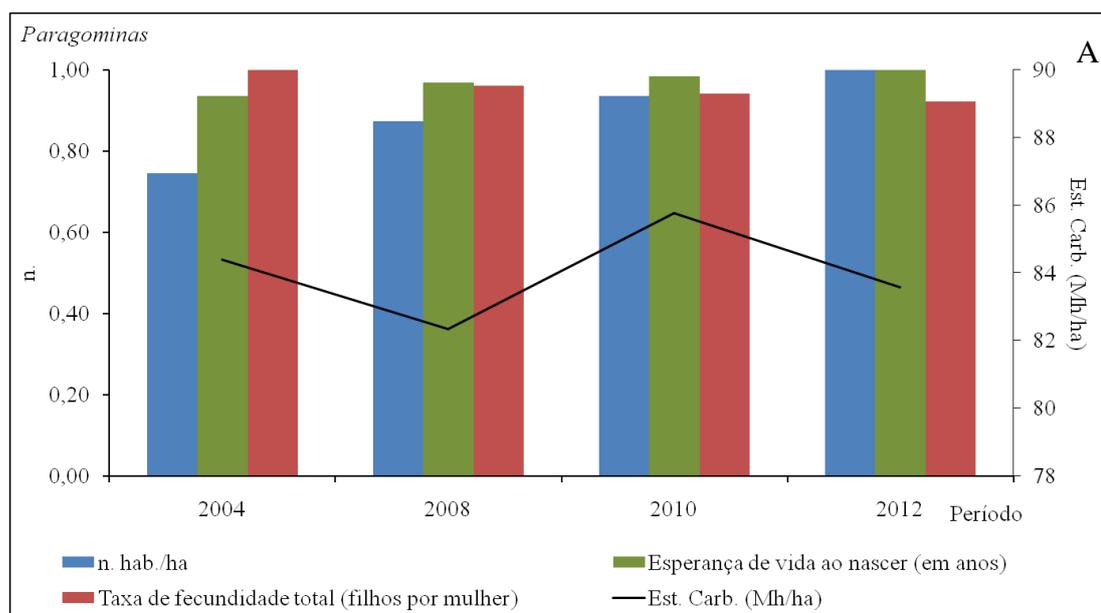
Dimensão	Variáveis	2004	2008	2010	2012
Educação	Expectativa de anos de estudo	6,08	6,63	6,9	7,17
	% Fundamental incompleto e analfabeto	27,35	22,5	20,08	17,66
	% Fundamental incompleto e alfabetizado	54,4	51,11	49,46	47,81
	% Fundamental completo e médio incompleto	9,52	14,39	16,83	19,27
	% Médio completo e superior incompleto	7,44	10,54	12,09	13,64
	% Superior completo	1,28	1,45	1,54	1,63
Trabalho	% População economicamente ativa ocupada	59,16	56,8	55,62	54,44
	% População economicamente ativa desocupada	7,33	11,25	13,21	15,17
Saúde	Mortalidade até 1 ano de idade	35,8	28,8	25,3	21,8
	Mortalidade até 5 anos de idade	38,48	30,96	27,2	23,44

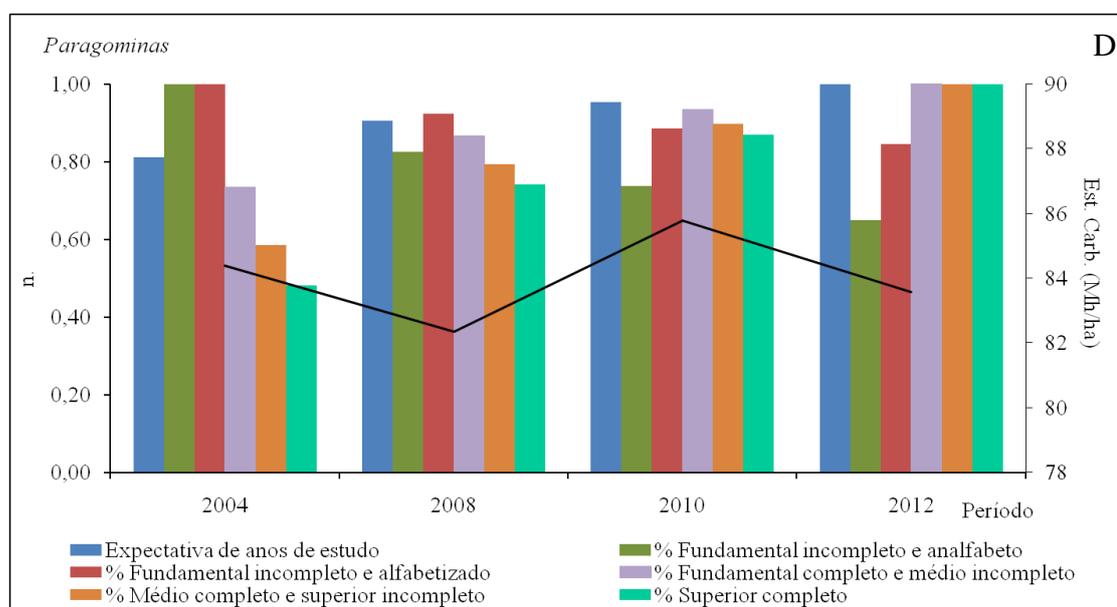
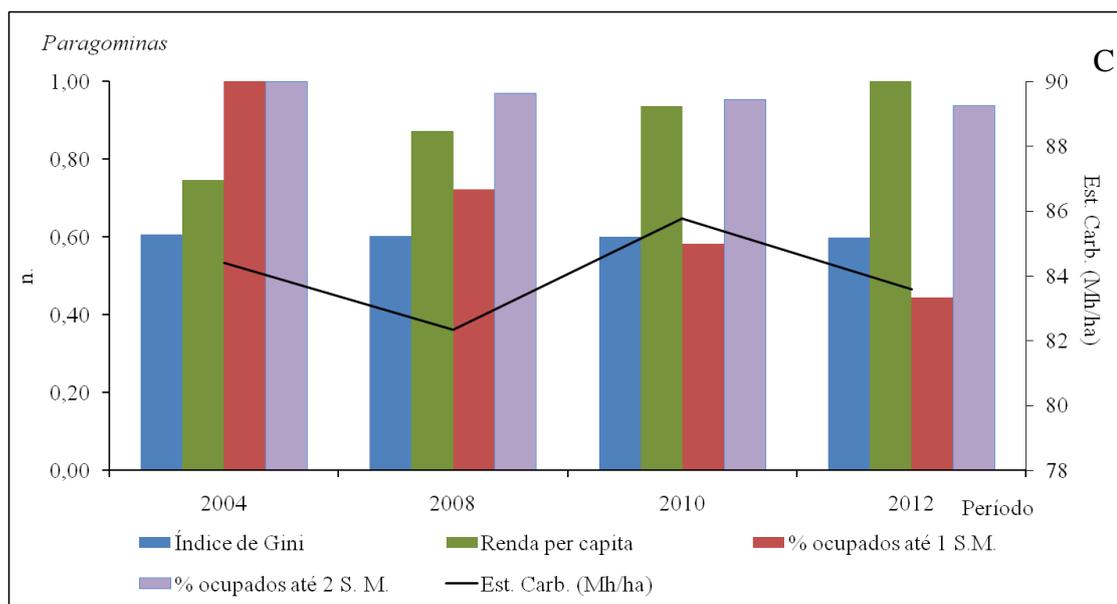
Fonte: IBGE (2000); IBGE (2010).

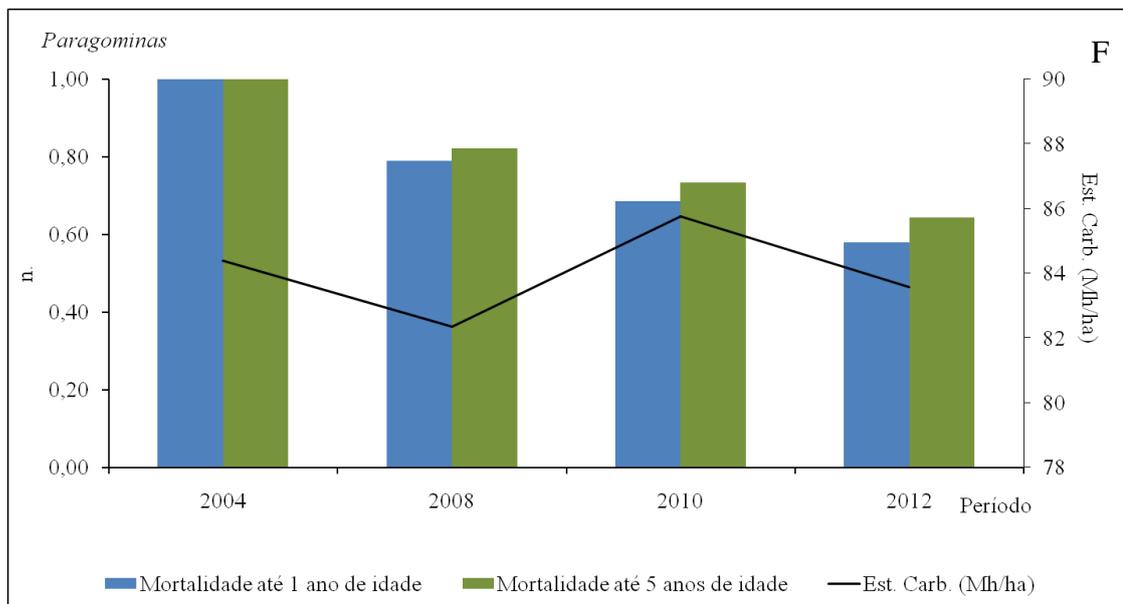
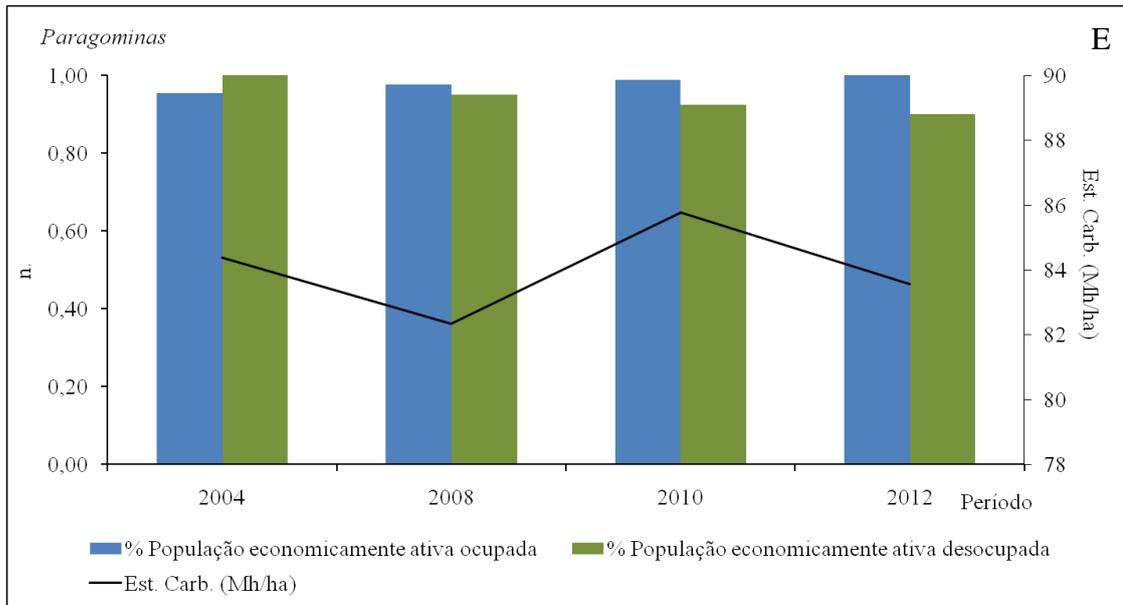
APÊNDICES

APÊNDICE A

RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIOECONOMICOS COM ESTOQUE DE CARBONO, NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012. (A) ASPECTOS DEMOGRÁFICOS; (B) ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL; (C) RENDA (D) EDUCAÇÃO; (E) TRABALHO E (F) SAÚDE.







APÊNDICE B

RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIOECONOMICOS COM ESTOQUE DE CARBONO, NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS PARA OS ANOS DE 2004, 2008, 2010 E 2012. (A) ASPECTOS DEMOGRÁFICOS; (B) ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL; (C) RENDA (D) EDUCAÇÃO; (E) TRABALHO E (F) SAÚDE.

