

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA ARBUSTIVO ARBÓREA
POR SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS DE CAATINGA EM
PERNAMBUCO**

DIEGO MARCELINO DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá
Barretto Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Jose de Oliveira
Acciolly

Recife, PE

Fevereiro, 2015

DIEGO MARCELINO DO NASCIMENTO

**ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA ARBUSTIVO
ARBÓREA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS DE
CAATINGA EM PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção de título de **Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares**, área de concentração Fontes renováveis de Energia, linha de pesquisa Energia da biomassa.

Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares
de Sá Barretto Sampaio

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Jose de
Oliveira Acciolly

Recife, PE

Fevereiro, 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

- N244e Nascimento, Diego Marcelino do.
Estimativa do estoque de biomassa arbustivo arbórea por sensoriamento remoto em áreas de caatinga em Pernambuco. / Diego Marcelino do Nascimento. - Recife: O Autor, 2015.
74 f. : il., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.
Coorientador: Prof. Dr. Luciano José de Oliveira Acciolly.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2015.
Inclui referências bibliográficas e apêndices.
1. Fitomassa. 2. Geoprocessamento. 3. Geotecnologia.
I. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barretto, orientador.
II. Acciolly, Luciano José de Oliveira, coorientador. III. Título.

CDD 662.88 (21. ed.)

UFPE
BDEN/2015-12

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA ARBUSTIVO ARBÓREA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS DE CAATINGA EM PERNAMBUCO

Diego Marcelino do Nascimento

APROVADA EM: 13.02.2015

ORIENTADOR : Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio

CO-ORIENTADOR : Prof. Dr. Luciano José de Oliveira Acciolly

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – DEN/UFPE

Profa. Dra. Ana Carolina Borges Lins e Silva – Dept. Ciências Biológicas/UFRPE

Prof. Dr. Dário Costa Primo – DEN/UFPE

Visto e permitida a impressão

Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE

Dedico este trabalho...

A Deus, que permitiu que tudo pudesse ser realizado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*Quem tenta ajudar uma borboleta a sair do casulo a mata.
Quem tenta ajudar um broto a sair da semente o destrói.
Há certas coisas que não podem ser ajudadas.
Tem que acontecer de dentro.*

Rubem Alves

RESUMO

A quantificação do estoque de biomassa vegetal ainda é um desafio em áreas extensas, sobretudo semiáridas. Foram quantificados os estoques de biomassa em áreas de Caatinga em Pernambuco por sensoriamento remoto. Duas cenas do satélite RESOURCESAT 1/LISS III (Lat. -7,55 a -9,08; Long.-38,43 a -36,36) foram usadas para a vetorização de áreas de Caatinga densa e aberta e a criação de três imagens de índices de vegetação (NDVI, SAVI e RS). Foram alocadas 80 parcelas georreferenciadas de 400 m² para a estimativa das biomassas no campo por alometria. Modelos de regressão entre estas biomassas e cada índice de vegetação foram desenvolvidos. Considerando-se soma e média de quadrados do resíduo, valores de p, coeficiente de determinação e critério de informação de Akaike, o melhor modelo foi com o NDVI. A equação foi usada para estimar a biomassa da vegetação em 68 municípios do Agreste e do Sertão Pernambucano. A área de vegetação nativa arbórea e arbustiva ocupava 64,5% do total imageado, sendo 36% de Caatinga densa e 28% de Caatinga aberta. A maior parte da área (80%) teve biomassa entre 23 e 50 Mg ha⁻¹, com erro relativo de 17%. Os erros foram maiores nas áreas com biomassas superiores a 50 Mg ha⁻¹, parte delas de matas serranas.

Palavras-chave: fitomassa; geoprocessamento; geotecnologia.

ABSTRACT

The quantification of biomass stocks is still a challenge in large areas, particularly semi-arid zones. Biomass stocks were quantified in areas of Caatinga in Pernambuco by remote sensing. Two scenes of the RESOURCESAT 1 / LISS III satellite (Lat -7.55 to -9.08; Long.-38.43 to -36.36) were used for the vectorization of dense and open Caatinga areas and to create three vegetation indices images (NDVI, SAVI and RS). Eighty georeferenced 400 m² plots were allocated for field biomass estimation by allometry, in the field. Regression models between these biomasses and each vegetation index were developed. Considering the sum and average square residues, p values, coefficients of determination and Akaike information, the best model was with NDVI. The equation was used to estimate the vegetation biomass in 68 municipalities of the Agreste and Sertão of Pernambuco. Tree and shrub native vegetation occupied 64.5% of the total area, with 36% of dense Caatinga and 28% of open Caatinga. Most of the area (80%) had between 23 and 50 Mg ha⁻¹ biomass, with a relative error of 17%. Errors were higher in areas with biomasses higher than 50 Mg ha⁻¹, part of them of mountane forests.

Keywords: biomass; GIS; geotechnology.

Sumário

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>11</u>
1.1.	OBJETIVO	12
<u>2</u>	<u>REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>13</u>
2.1.	O BIOMA CAATINGA	13
2.2.	BIOMASSA	14
2.3.	ESTIMATIVAS DE BIOMASSA	15
2.4.	SENSORIAMENTO REMOTO E A VEGETAÇÃO	17
<u>3</u>	<u>MATERIAIS E MÉTODOS.....</u>	<u>21</u>
3.1.	ÁREA ESTUDADA	21
<u>3.2.</u>	<u>SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO.....</u>	<u>23</u>
3.2.1.	AQUISIÇÃO DE DADOS DIGITAIS	23
3.2.2.	PRÉ-PROCESSAMENTO DIGITAL	23
3.2.3.	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	24
3.3.	DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE FLORESTA	24
3.4.	INVENTÁRIO DA VEGETAÇÃO	25
3.5.	ANÁLISE DE REGRESSÃO	25
3.6.	ESTIMATIVA DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO	26
<u>4.</u>	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	<u>26</u>

4.1. ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM CAMPO	26
4.2. ANÁLISE DOS DADOS ORBITAIS	27
4.3. ANÁLISE DOS MODELOS DE ESTIMATIVA	29
4.4. ANÁLISE DAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA POR SENSORIAMENTO REMOTO	31
<u>5. CONCLUSÕES</u>	<u>35</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>36</u>
<u>APÊNDICE A – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE CAMPO</u>	<u>49</u>
<u>APENDICE B - CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE, SENSOR E CENAS UTILIZADAS.</u>	<u>51</u>
<u>APÊNDICE C – CARTAS REFERENTE À ESTIMATIVA DE BIOMASSA</u>	<u>52</u>

1 INTRODUÇÃO

A fitomassa é um recurso natural que tem sido usado como fonte energética renovável desde a antiguidade e que ainda é abundante em alguns países. Estima-se que florestas tropicais ocupem aproximadamente 30% da superfície terrestre e estoquem cerca de 40% de todo o carbono continental (BONAN, 2008), mais que a atmosfera (PANDEY, 2002; PENMAN et al., 2003; SAATCHI et al., 2011). A quantidade de biomassa nas florestas é uma informação elementar de grande importância que possibilita a quantificação do estoque para o planejamento de seu manejo para fins energéticos ou a estimativa de fluxos de carbono (SAMPAIO; COSTA, 2011; VIEIRA et al., 2008). A quantificação da biomassa pode ser feita por medidas diretas, mas como elas são destrutivas, são inviáveis na maior parte das áreas, além de serem caras, demoradas e requererem muita mão-de-obra (LAAR; AKÇA, 2007). Por isso, as biomassas são geralmente estimadas por métodos indiretos.

Entre os métodos indiretos, os que usam dados de sensores remotos permitem estimativas para grandes áreas a custo relativamente baixo, mas exigem que haja boa correlação entre as medidas dos sensores e biomassas conhecidas de áreas selecionadas. Estes métodos podem ter boa exatidão e eficiência, possibilitando a construção de mapas com resolução e precisão que não eram possíveis no passado (MCROBERTS; TOMPPO, 2007). Entretanto, poucos destes mapas foram feitos no Brasil, especialmente na região Nordeste. A base mapeada existente é restrita a municípios (ACCIOLY et al., 2002, 2008; BRANDÃO; BEZERRA; SILVA, 2007) ou locais específicos (LIMA JUNIOR et al., 2014). Medidas ou mesmo estimativas de biomassas vegetais são poucas no Nordeste (KAUFFMAN et al., 1993; MENEZES et al., 2012; PBMC, 2012; SAMPAIO; COSTA, 2011) e a grande maioria não teve como objetivo relacioná-las com dados de sensores remotos e dificilmente poderiam ser resgatadas para este uso, por várias razões, entre as quais a ausência de georreferenciamento das áreas estudadas. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo estimativas de biomassa determinadas a campo e dados de índice de vegetação, obtidos por meio de sensoriamento remoto, de forma a correlacioná-los, possibilitando automatização da quantificação do estoque de carbono em uma região do semiárido de Pernambuco.

1.1. Objetivo

Estimar o estoque de biomassa em locais do bioma Caatinga, em Pernambuco;

Correlacionar estas estimativas da biomassa determinada em campo com valores obtidos dos índices de vegetação nestes locais;

Determinar um modelo de regressão para estimativa de biomassa por sensoriamento remoto;

Aplicar esta regressão para estimativa das biomassas de Caatinga em uma área de Pernambuco que compreende parte de 68 municípios.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O bioma Caatinga

O bioma Caatinga localiza-se, majoritariamente, na região semiárida do Nordeste do Brasil, entre 3° e 17° de latitude sul e 35° e 45° de longitude oeste; onde ocupa cerca de 844 mil km², representando 9,92% do território nacional (MMA, 2013). No entanto, quanto à área há divergências em alguns trabalhos, porque falta a identificação de características básicas do bioma e a seleção das que são essenciais, possibilitando o enquadramento de áreas e o estabelecimento de limites territoriais (SAMPAIO, 2010).

O clima é certamente a maior característica dessa região. Resulta, basicamente, de três sistemas de circulação atmosférica: Zona de Convergência Intertropical, Frente Polar Atlântica e massa de ar Continental Equatorial, além de outros atuantes em menor escala (FERREIRA; MELLO, 2005). Esses sistemas favorecem a baixa umidade relativa, alta temperatura e taxas de evapotranspiração superiores às taxas de precipitação. A precipitação média anual, na maior parte da região, está entre 500 e 900 mm (ACCIOLY et al., 2008; FECHINE; GALVÍNCIO, 2008; SAMPAIO, 1995, 2010; SAMPAIO et al., 1998, 2009), com grande variabilidade espacial e temporal (PBM, 2012), e ocorre concentrada, aproximadamente, em três a quatro meses do ano (APAC, 2013). A posição geográfica da região assegura alta intensidade luminosa, ao longo do ano, provendo temperaturas altas e pouco variáveis, espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25°C e 30°C e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes (SAMPAIO, 2010). Há grande variedade de tipos, texturas e profundidades de solo (SAMPAIO, 1995). De maneira geral, eles são ou de origem sedimentar, lixiviados ao longo de milhões de anos, pouco férteis e deficientes em fósforo e cálcio, ou são do cristalino, desenvolvidos mais recentemente nas camadas descobertas acima do escudo cristalino pré-cambriano (MENEZES; GARRIDO; MARIN, 2005).

Apesar das condições climáticas desfavoráveis para a maioria das plantas, a Caatinga apresenta uma vegetação bastante heterogênea e diversificada (TABARELLI; VICENTE, 2004), formando um mosaico de vegetação, em geral, caducifólia, xerófila e, por vezes, espinhosa, que varia com as características edáficas e hídricas de cada local (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). Os dados publicados por Giuliette

(2006) indicam que foram catalogadas 1312 espécies de fanerógamos, na Caatinga *lato sensu*. Juntando os campos, rupestres, brejos de altitude, alagados e todos os demais ecossistemas associados ao bioma Caatinga, perfazem 5344 espécies.

Nas áreas de vegetação aberta, a biomassa varia de 5-10 Mg ha⁻¹ e nas florestas mais adensadas essa biomassa pode chegar a aproximadamente 100 Mg ha⁻¹. A produção de matéria seca aproxima-se de 3 a 5 Mg ha⁻¹.ano⁻¹, na média, com máxima de 15-20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (TIESEN et al., 1998). De acordo com Costa (2013), o estoque médio de biomassa radicular, em pontos amostrados em Pernambuco, em áreas com floresta aberta foi 5,7 Mg ha⁻¹ e em floresta densa 13,1 Mg ha⁻¹.

Apesar dessa grande heterogeneidade ambiental e biológica, com adaptações as intempéries climáticas, a região é constantemente ameaçada pelo manejo insustentável (MEUNIER, 2014), com exploração madeireira para fins energéticos com manejo inadequado, e substituição de vegetação nativa por agrícola e por pastagens. Estes usos causam impactos no solo e na vegetação nativa e, em geral, implicam na perda da matéria orgânica do solo com uso do fogo e revolvimento superficial. Esses e outros usos inadequados constituem inúmeros desafios para a conservação da vegetação nativa de Caatinga.

2.2. Biomassa

Biomassa é definida como sendo o conjunto de materiais de origem biológica, vivos ou mortos, composto tanto por animais quanto por vegetais (SILVEIRA et al., 2008). Em referência apenas ao quantitativo da porção vegetal, o termo é comumente substituído por fitomassa (MOREIRA-BURGER; DELITTI, 2010). A estimativa desse material é realizada de forma direta e indireta, utilizando-se de métodos destrutivos e/ou não destrutivos. Em ambos os casos pode ser feita separando-se os diferentes componentes envolvidos, como folhas, galhos, troncos e raízes (LAAR; AKÇA, 2007; MACHADO, 1977). A maior parte dos trabalhos apresenta dados sobre a biomassa acima do solo, por ser mais simples de ser medida ou estimada, enquanto que a fração abaixo do solo, como raízes, tubérculos e bulbos, tem sido menos avaliada, por conta de altos custos operacionais de mão-de-obra envolvidos (HENRY et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011; SILVA, 2007).

Seja qual for a fração da biomassa, esse importante recurso biológico renovável assegura a manutenção da ciclagem de importantes elementos químicos (DÍAZ-

BALTEIRO; ROMERO, 2003; GIONGO, 2011; MENEZES et al., 2012; SAMPAIO et al., 1998) e pode ser usado em tecnologias energéticas de baixa emissão de carbono (CALLE-ROSILLO et al., 2007).

2.3. Estimativas de biomassa

Nas pesquisas sobre biomassa, foram desenvolvidas diferentes técnicas de estimativa dos estoques. Uma das mais antigas, e ainda utilizadas, é a cubagem de árvores, que fornece dados volumétricos, elementares no cômputo da biomassa. Baseada em modelos geométricos pré-estabelecidos (NICOLLETTI; CARVALHO; BATISTA, 2012), a cubagem é utilizada na determinação volumétrica em plantações equiâneas como *Pinus* e *Eucalyptus* (PEREIRA; IMAÑA-ENCINAS; REZENDE, 2012).

A modernização das técnicas de estimativas de árvores individualizadas foi permitida pelo avanço tecnológico nas últimas décadas, conduzindo a modelos matemáticos mais robustos e complexos, como as equações alométricas (PILLI; ANFODILLO; CARRER, 2006; WIRTH; SCHUMACHER; SCHULZE, 2004). As equações alométricas são relações explicadas por modelos matemáticos que descrevem as semelhanças físicas ou fisiológicas no tamanho dos organismos (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007). A estimativa de biomassa por modelos alométricos não necessita da destruição da vegetação da área, uma vez definidas as equações.

Reduções de tempo, custos financeiros e de mão-de-obra são justificativas para emprego desse método em pesquisas de campo (BURGER, 2005; RIBEIRO et al., 2009; TORRES et al., 2011). Nesses modelos, são procuradas relações entre medidas de mais difícil obtenção, como a biomassa, e medidas mais facilmente obtidas, como o diâmetro e/ou a altura das árvores.

Em florestas de pinheiros e abetos nos Estados Unidos, por exemplo, Brown e Schroeder (1999) e Schroeder et al. (1997) obtiveram coeficientes de correlação de até 0,98 usando como variáveis independentes o diâmetro do caule à altura do peito, medido a 1.30 m do solo (dap) e a altura das árvores. Em ambos os trabalhos, os autores destacaram que a inclusão da altura melhorou o coeficiente de determinação (R^2), mas consumiu bem mais tempo e mão-de-obra, sugerindo que fosse utilizado apenas o diâmetro, com a estratificação de locais e espécies.

Em florestas tropicais, a maioria dos estudos sobre estimativas de biomassa, utilizando modelos alométricos, está agrupada próximo à linha do equador, diminuindo com o aumento da latitude (CHAMBERS et al., 2001; GONZALEZ; KROLL; VARGAS, 2014; LAURANCE et al., 1999; NOGUEIRA et al., 2008). Nesses, os coeficientes de determinação, entre diâmetro, altura e a biomassa, são considerados altos (em média, $R^2 = 0,97$). Apesar da alta diversidade de espécies e ecossistemas encontrados na região que poderiam interferir diretamente no ajustamento dos modelos.

Localização, temperatura, tipo de ecossistema, estrutura da vegetação, morfologia e fisiologia de espécies são fatores que influenciam a produtividade de um sítio (BROWN, 1997; ROSILLO-CALLE et al., 2007), e, conseqüentemente, os valores de biomassa, alterando os parâmetros que definem estudos alométricos. Portanto, para Vieira et al. (2008), é difícil definir um modelo alométrico geral para árvores de florestas tropicais quando não são avaliadas essas características.

Propondo um modelo pantropical, Chave et al. (2005) fizeram a revisão de 27 pesquisas nos trópicos, elegendo e validando modelos que podem ser usados em florestas secas e úmidas e em manguezais. A aplicação desses modelos é indicada para locais onde inexistam pesquisas em escala regional ou local (BURGER; DELITTI, 2008; MARTINEZ-YRIZAR et al., 2009; NELSON et al., 1999), uma vez que não levam em consideração as possíveis variações ambientais existentes, perdendo acurácia nas estimativas.

Compilando informações na região da África Subsaariana, Henry et al. (2011) classificaram os estudos alométricos por tipologias florestais, espécies e grupos de variáveis independentes. Destacaram que as florestas tropicais são melhor representadas que as subtropicais, menos de 1% das espécies da região tem modelos alométricos específicos e a variável preditora mais utilizada foi o diâmetro (dap), que, de acordo com Gibbs et al. (2007), explica 95% de toda variação da biomassa epígea.

Nas florestas secas, a forte influência na dinâmica de ciclagem de carbono (AMTHOR et al., 1998; MENEZES et al., 2012; OJIMA et al., 1993) é explicada pela estratégica forma de alocação de biomassa, concentrada, majoritariamente, acima do solo (HOUSE; HALL, 2001; MOKANY; RAISON; PROKUSHKIN, 2006).

No bioma Caatinga, o estoque de biomassa acima do solo é menor que o das florestas úmidas, mas não menos importante que estas. Estudos apontam que o quantitativo acima do solo varia de 2 a 150 Mg ha⁻¹ (SAMPAIO, 2010; TIESSEN et al.,

1998). Há poucas informações sobre a biomassa subterrânea, especialmente quantificando a porção de biomassa logo abaixo do caule (ALBUQUERQUE et al., 2015). Como média a proporção de biomassa nas raízes em relação à parte aérea chega a 56%, em ambientes mais preservados (ALBUQUERQUE et al., 2015; COSTA et al., 2014). O desenvolvimento das estimativas fundamenta dados para pesquisas em maior escala (BROWN, 2002), junto às estimativas obtidas por sensores remotos orbitais (KUNTSCHIK, 2004; SARKER, 2010).

Há poucas informações sobre a biomassa subterrânea, especialmente quantificando a porção de biomassa logo abaixo do caule (Albuquerque et al., submetido) e o quantitativo em diferentes classes e usos do solo (CAIRNS et al., 1997; COSTA, 2013). O desenvolvimento dessas estimativas fundamenta dados para pesquisas em maior escala (BROWN, 2002), junto às estimativas obtidas por sensores remotos orbitais (KUNTSCHIK, 2004; SARKER, 2010).

2.4. Sensoriamento remoto e a vegetação

O entendimento dos processos da interação da radiação eletromagnética com a vegetação passa pela compreensão da complexidade entre parâmetros físicos, ambientais e biológicos. Neste sentido, conceitos como radiância e reflectância são fundamentais (SMITH et al., 1990). A radiância é a intensidade de radiação medida por unidade de área-fonte projetada numa direção específica. A razão adimensional do fluxo radiante refletido de um alvo pelo fluxo radiante incidente no mesmo é conceituada como reflectância (GOEL, 1988; JENSEN, 2009). Essas duas grandezas são a base dos diversos cálculos algébricos usados no sensoriamento remoto.

No tocante aos sensores ópticos no estudo da vegetação, destaca-se a importância das bandas relacionadas com a faixa de radiação visível (400 a 720 nm) e o infravermelho próximo (720 – 1100 nm) (MYNENI et al., 1995). Isso porque a clorofila absorve em grande parte na região do visível e outras estruturas celulares na faixa do infravermelho próximo (BATRES, 1998). Valores discrepantes de reflectância medidos nessas duas faixas espectrais permitem o realce da vegetação, que pode ser descrita através de índices de vegetação (BANNARI et al., 1995). Para cálculo destes índices, geometria de iluminação, ângulo de visada dos sensores, tipos de dosséis, vegetação circundante e cor e textura do solo devem ser levados em conta (GOEL, 1988; SMITH et al., 1990). Eles podem ensejar desvios de até 50% na reflectância (GOWARD et al.,

1991; HARDY; BURGAN, 1999) e não podem ser negligenciados em estudos utilizando sensoriamento remoto.

Embora bastante conhecida, a influência do ângulo de iluminação e de visada dos sensores fundamentam discussões sobre as superfícies anisotrópicas (SHIBAYAMA; WIEGAND, 1985). Nesses alvos, a radiação incidente é refletida em ângulos específicos, de forma que são registradas alterações no fator de reflectância (JACKSON et al., 1990; RANSON et al., 1985), afetando principalmente a faixa relacionada ao infravermelho próximo (GALVAO; VITORELLO; PIZARRO, 2000). Dependendo do sensor utilizado, essa influência pode ser realçada (ZHANG; LIN; LI, 2003) ou atenuada, quando se usam sensores multi-angulares (SU et al., 2005, 2007), projetados para essa condição. Efeitos topográficos também podem acentuar distorções nos valores de reflectância, sobretudo em terrenos irregulares (PROY; TANRE; DESCHAMPS, 1989; WU et al., 2008). Logo, a avaliação da geometria de iluminação deve ser considerada nas imagens que apresentam superfícies anisotrópicas (LIESENBERG; GALVÃO; PONZONI, 2007).

Estudando a vegetação, Pandya et al. (2007) apontaram variação na reflectância de superfície e nos valores de NDVI (*normalized difference vegetation index*) na ordem de 0,91 a 3,38% nos sensores a bordo do satélite IRS-P6. Utilizando o sensor LISSIII deste mesmo satélite, Gill et al. (2012) observaram diminuição de até 20% no valor de reflectância de superfície quando comparado ao Landsat 5 TM. Esses estudos apontam a necessidade de ajustes em comparações espaciais e temporais (FOODY; BOYD; CUTLER, 2003).

Em duas florestas tropicais de semelhante estágio sucessional, foram estimadas as biomassas acima do solo e relacionados à reflectância espectral do dossel (STEININGER, 2000). Os resultados não foram comparáveis, supostamente por diferenças topográficas e de geometria de visada, e o autor destacou a importância da saturação do fator de reflectância em vegetações com biomassa acima de 150 Mg ha^{-1} , fato também observado por Lu (2005). Casos de saturação do índice em ambientes áridos e semiáridos são escassos, por conta do menor adensamento e biomassa vegetal. Nestes ambientes, o solo é um dos principais fatores que influenciam na resposta espectral (EISFELDER; KUENZER; DECH, 2010; HUETE; JACKSON; POST, 1985). Para lidar com este efeito, foram desenvolvidos índices de vegetação que minimizam a influência do solo, como o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) (ESCADAFAL,

1989; HUETE, 1988). Os índices de vegetação foram criados para ressaltar o vigor da vegetação (BANNARI et al., 1995; JENSEN, 2009; MOREIRA, 2007), mostrando a biomassa com mais sensibilidade do que componentes espectrais encontrados em bandas individualizadas (ANDERSON; HANSON; HAAS, 1993).

Em geral, conseguem-se obter boas correlações de parâmetros da vegetação com técnicas aplicadas aos sensores remotos (ACCIOLY et al., 2002; ARANHA; VIANA; RODRIGUES, 2008; CERQUEIRA, 2007; FERRAZ et al., 2014; SARKER, 2010; SOBRAL; FILHO; CANDEIAS, 2011). Porém, em alguns casos, essas relações são fracas ou inexistentes (ANDERSON; HANSON, 1992; DIOUF; LAMBIN, 2001; SAMIMI; KRAUS, 2004; VERBESSELT et al., 2006; WALLER; BROWN; LEWIS, 1981).

A evidência da continuação de trabalhos sobre o tema destaca a necessidade de avanços ou aperfeiçoamentos (BANNARI et al., 1995), já que não há definições concretas de qual índice de vegetação é mais apropriado para as diversas situações (GLENN et al., 2008; SHIMABUKURO; PONZONI, 2012). A tabela abaixo mostra a diversidade de situações nas quais os índices de vegetação ou técnicas afins têm sido empregados para ressaltar e quantificar atributos da vegetação.

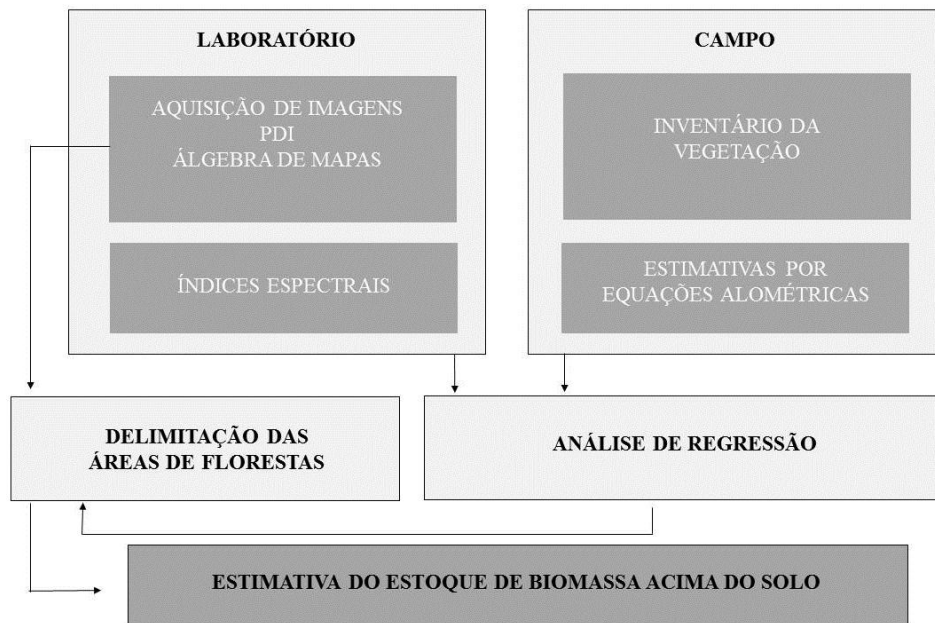
Tabela 1 - Estudos relacionados com estimativas de biomassa que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto.

SENSOR	LOCAL	TÉCNICA USADA	REFERÊNCIA
LIDAR, Landsat TM	Leste central – Alaska	Alometria, análise de regressão, índice de vegetação	(JI et al., 2012)
Landsat ETM+	Seridó – RN/PB		(ACCIOLY et al., 2008)
LIDAR, GLAS, ICESat	América Latina, África Sub-saariana e Sudeste da Ásia	Alometria, análise espacial, modelagem	(SAATCHI et al., 2011)
GLAS/ LIDAR/ Landsat	Califórnia – EUA	Alometria, análise multivariada, índice de área foliar	(ZHANG et al., 2014)
Landsat TM	Altamira – PA	Alometria, análise multivariada, índices de vegetação	(LU et al., 2004)
Landsat 5 TM	Sertão do Seridó – RN/PB	Alometria, índice de área foliar, índice de vegetação	(COSTA et al., 2002)
Landsat EETM+ e JERS-1	Cerrado – SP		(KUNTSCHIK, 2004)
Landsat TM	Petrolina – PE	Alometria, modelagem	(LIMA JÚNIOR, 2012)
Landsat TM/ IRS-1C WiFS	Norte da Suíça		(TOMPPPO et al., 2002)
Ikonos	Viçosa – MG	Alometria, redes neurais	(FERRAZ et al., 2014)
Landsat 5 TM	Colorado – EUA	Análise de regressão, estimativas de campo, índice de vegetação	(ANDERSON; HANSON; HAAS, 1993)
IRS LISS III/ MODIS	Madhya Pradesh–Índia	Análise de regressão, índice de área foliar	(PANDYA et al., 2006)
Landsat 5 TM	Portugal	Análise de regressão, índice de área foliar, índice de vegetação	(CALVÃO; PALMEIRIM, 2004)
IRS-1 LISS-III	Gujarat– Índia	Análise de regressão, índice de vegetação	(CHAURASIA et al., 2006)
SPOT-5/ALOS PALSAR/LIDAR	Noroeste da China	Análise multivariada	(TIAN et al., 2012)
SIR-C	Sudoeste dos EUA		(HARRELL et al., 1997)
Landsat TM	Madhya Pradesh- Índia	Análise multivariada, classificação visual, resposta espectral	(ROY; RAVAN, 1996)
MODIS	Floresta Atlântica - RS/SC	Análise temporal, índices de vegetação	(DALA NORA; SANTOS, 2010)
Landsat 5 TM	Nordeste da China	Classificação	(WANG et al., 2002)
Landsat 5 TM	Agreste central- PE	Classificação, NDVI	(LIRA et al., 2011)
Landsat 5 TM	Sertão do Araripe – PE		(SÁ et al., 2010)
Landsat	Araripe – CE		(BRANDÃO; BEZERRA; SILVA, 2007)
Landsat 5 TM	Orocó– PE	Índice de vegetação	(ALENCAR et al., 2001)
Landsat TM	Califórnia – EUA	Índice de vegetação e mistura espectral	(ELMORE et al., 2000)
Spot Vegetation	Sul da África	Índice de vegetação e modelos de regressão	(VERBESSELT et al., 2006)
MODIS/ Landsat 7 ETM+	Chapada dos Veadeiros – GO	Índice de vegetação, classificação, mistura espectral	(SAMPAIO, 2007)
AVHRR	Semi árido do Senegal	Índice de vegetação, modelagem	(DIOUF; LAMBIN, 2001)
AeS-1 SAR/ banda P	Tapajós – PA		(SANTOS et al., 2003)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada na pesquisa segue o fluxograma apresentado na figura 1.

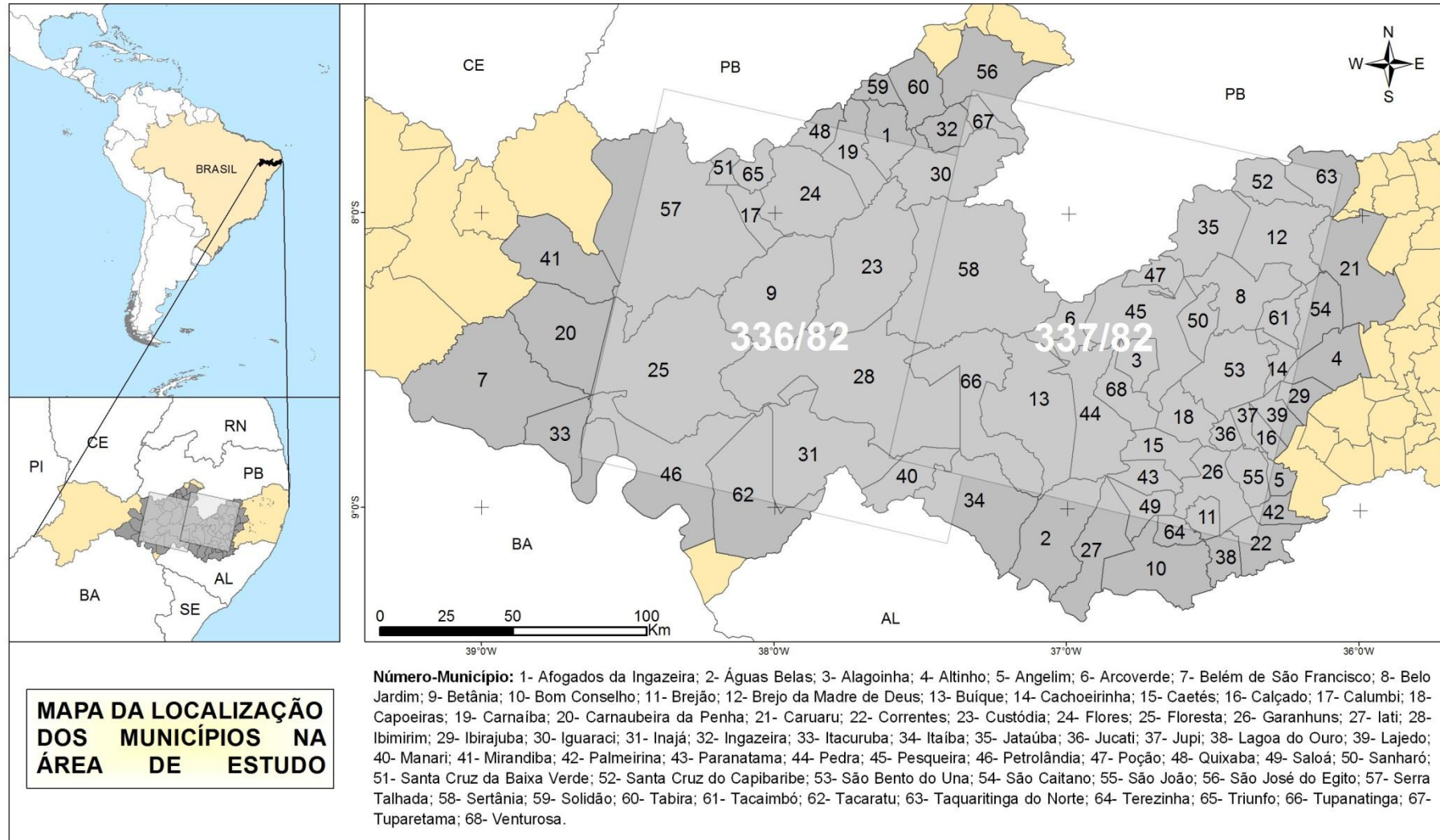
Figura 1- Fluxograma representativo da metodologia adotada para a estimativa do estoque de biomassa na vegetação.



3.1. Área estudada

Foram estudadas as áreas florestadas contidas em 68 municípios (Figura 2) do semiárido pernambucano (latitude -7,55 a -9,08 e longitude -38,43 a -36,36; Apêndice A), imageados por duas cenas do satélite RESOURCESAT 1/LISS III (órbita-336/ponto-082 e órbita 337/ponto-082, datadas de 16/07/2013 e 04/03/2012, respectivamente). As delimitações das áreas florestadas foram obtidas na Embrapa com base na vetorização por fotointerpretação do acervo de imagens digitais datadas das épocas chuvosas de 2011 a 2013.

Figura 2 - Localização dos municípios pesquisados.



3.2. Sensoriamento remoto e geoprocessamento

3.2.1. Aquisição de dados digitais

As cenas da área de estudo foram selecionadas no *website* (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (ver APÊNDICE B). Foram escolhidas duas cenas do satélite RESOURCESAT 1, sensor LISS III, conhecido popularmente como P6/LISSIII.

As cenas não continham erros radiométricos sistemáticos, como linhas ou faixas visíveis, e apresentaram pouca ou nenhuma nebulosidade que comprometesse significativamente o mapeamento das áreas de interesse. A captura das cenas coincidiu com o período chuvoso, que ocorre entre março e junho, de acordo com dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC (APAC, 2013).

Dados contendo a vetorização das unidades estadual e dos municípios foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014). Também foram adquiridos planos de informações, fornecidos pela Embrapa Solos / UEP Recife, de duas diferentes tipologias, Caatinga aberta e Caatinga densa, das áreas de floresta de Pernambuco, numa escala de 1:100.000 e extensão digital: *shapefile* (.shp) e, nessa mesma escala gráfica, a grade de articulação da CPRM (2014) para a criação dos mapas de estimativa dos estoques de biomassa.

3.2.2. Pré-processamento digital

Toda a manipulação dos dados digitais foi realizada através dos *softwares* de processamento de imagem Erdas Imagine[®], versão 9.1 (LEICA GEOSYSTEMS, 2006), Envi[®] 4.7 e geoprocessamento ArcGIS Desktop[®], versão 10 (ESRI, 2012), QGIS 2.0 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2009).

De posse das cenas da área de estudo, foi realizada a conversão de pixel *DN* (*digital number*) para valores físicos de radiância e reflectância, de acordo com o manual do sensor LISSIII (CHANDER, 2007), hospedado no *website* (<http://www.isro.org/>) da Organização de Pesquisa Espacial Indiana (*Indian Space Research Organization*, ISRO). Em seguida, foi realizada a correção atmosférica pela técnica do pixel escuro, aplicada por Chaves (1988), que subtrai valores referentes ao efeito de espalhamento da atmosfera em locais onde a reflectância teórica seria próxima

a zero (p.ex., corpos d'água limpa ou sombras). A subtração desse valor mínimo foi realizada individualmente em todas as bandas da imagem. Depois, foi feito o empilhamento das quatro bandas do sensor, além do co-registro com base nas imagens do *software* Google Earth® (GOOGLE INC, 2012), e projetadas para o sistema de projeção geográfica SIRGAS 2000, *datum* UTM e zona 24S, seguindo parâmetros indicados pelo IBGE.

3.2.3. Índices de vegetação

A tabela 2 descreve os índices de vegetação utilizados na pesquisa (BATRES, 1998; HUETE, 1988; ROUSE JR et al., 1974):

Tabela 2- Índices de vegetação utilizados na pesquisa.

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	EQUAÇÃO	NOME DE ORIGEM / SIGLA
Razão Simples	$\frac{IVP}{\rho V}$	Sample Ratio – RS
Índice de vegetação por diferença normalizada	$\frac{(\rho IVP - \rho V)}{(\rho IVP + \rho V)}$	Normalized Difference Vegetation Index – NDVI
Índice de vegetação ajustado para o solo	$\left[\frac{(\rho IVP - \rho V)}{(\rho IVP + \rho V) + L} \right] \times (1 + L)$	Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI

Onde: ρIVP = fator de reflectância bidirecional no infravermelho próximo em $W/(m^2.sr.\mu m)$,
 ρV = fator de reflectância bidirecional no vermelho em $W/(m^2.sr.\mu m)$;

L = constante que atenua os efeitos do solo que varia de 0 a 1 (HUETE, 1988). Valor de $L = 1$ (vegetação de baixa densidade); 0,5 (média densidade) e 0,25 (alta densidade da vegetação).

Para o índice SAVI, foi usada a constante de atenuação do solo igual a 0,5.

3.3. Delimitação das áreas de floresta

Para a delimitação das áreas de floresta, foi utilizada vetorização com base na interpretação visual das imagens de satélite, envolvendo os elementos de reconhecimento do fotointérprete (CRÓSTA, 1992; JENSEN, 2009) como, tom, cor e

texturas das imagens das épocas chuvosa e seca (EMBRAPA, Dados não publicados). Para diferenciar as fitofisionomias de Caatinga de outras coberturas do solo, como cultivos e pastagens, foram considerados o tamanho (comprimento, largura, perímetro e área), a forma e o padrão de cada polígono.

3.4. Inventário da vegetação

O inventário foi dividido em duas etapas. Primeiramente, foram realizadas amostragens em dois locais: UFRPE, Unidade Serra Talhada– UAST (20 parcelas), e estação experimental São João, localizado no município de Garanhuns (10 parcelas). As parcelas foram alocadas nos vértices de uma grade digital de 20×20m plotada em área de Caatinga densa, sendo, portanto, de 400 m². Na segunda etapa, foram plotadas 50 parcelas de forma aleatória em 19 municípios (Apêndice A).

Durante o segundo semestre de 2013, foram instaladas parcelas de 20×20 m com auxílio de GPS de navegação da marca Garmin, modelo eTrex® 10, com erro de localização espacial de até 10 m. Todas as plantas de pé, vivas ou mortas, com diâmetro medido na altura do peito (DAP) ≥ 3 cm localizadas dentro da parcela foram medidas. A planta era inventariada caso existisse bifurcação do fuste desde que pelo menos um dos galhos atendesse ao critério sobrescrito. Com os dados de todas as plantas de cada parcela foi aplicada a equação alométrica desenvolvida por Sampaio e Silva (2005) para estimativa de biomassa arbórea aérea de cada planta:

$$= 0,173 \times DAP^{2,295}$$

Onde, = Biomassa em kg de matéria seca,

DAP = Diâmetro em cm, medido na altura do peito (1,3 m de altura do solo).

3.5. Análise de regressão

Foi realizada análise de regressão, pelo método dos mínimos quadrados, com os dados quantitativos das estimativas de biomassa obtidas em campo e orbitais, sendo a variável dependente biomassa (Mg ha⁻¹) e a variável independente os valores dos índices de vegetação NDVI, SAVI e RS (extração bilinear realizada a partir da localização espacial do ponto de campo).

Com a possibilidade de existir pixels com interferência de valor de brilho advindos de pixels adjacentes ao ponto da parcela de campo, foi estabelecida uma

separação pelo valor de reflectância da banda 3 ou 4, de pixels adjacentes, com valores acima de 20% e analisados como um grupo específico.

Nas análises dos dados obtidos foi utilizado o *software* estatístico *R program*, versão 3.0.1 (R CORE TEAM, 2013).

3.6. Estimativa de biomassa por sensoriamento remoto

A estimativa da biomassa acima do solo em florestas na área de estudo dos 68 municípios foi obtida pelo modelo de regressão, sendo o modelo eleito àquele que apresentasse os menores valores de soma dos quadrados do resíduo, média dos quadrados do resíduo, valores de *p* e critério de informação de Akaike (AIC) e os maiores valores de coeficiente de determinação (R^2).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativa de biomassa em campo

A biomassa aérea média da vegetação das áreas estudadas, incluindo parcelas de Caatinga densa e vegetação aberta, foi 33,2 Mg ha⁻¹ (mínima 4,60 Mg ha⁻¹; máxima de 75,46 Mg ha⁻¹), com desvio padrão de 15,4 Mg ha⁻¹. Considerando apenas as parcelas de caatingas densas, a média (38,6 Mg ha⁻¹) foi mais que o dobro da média das caatingas abertas (17,0 Mg ha⁻¹). Sampaio e Freitas (2008) afirmaram que há uma grande variação do estoque de biomassa na Caatinga, porém, na maioria dos casos, a média para áreas grandes, o valor oscila de 30 a 50 Mg ha⁻¹.

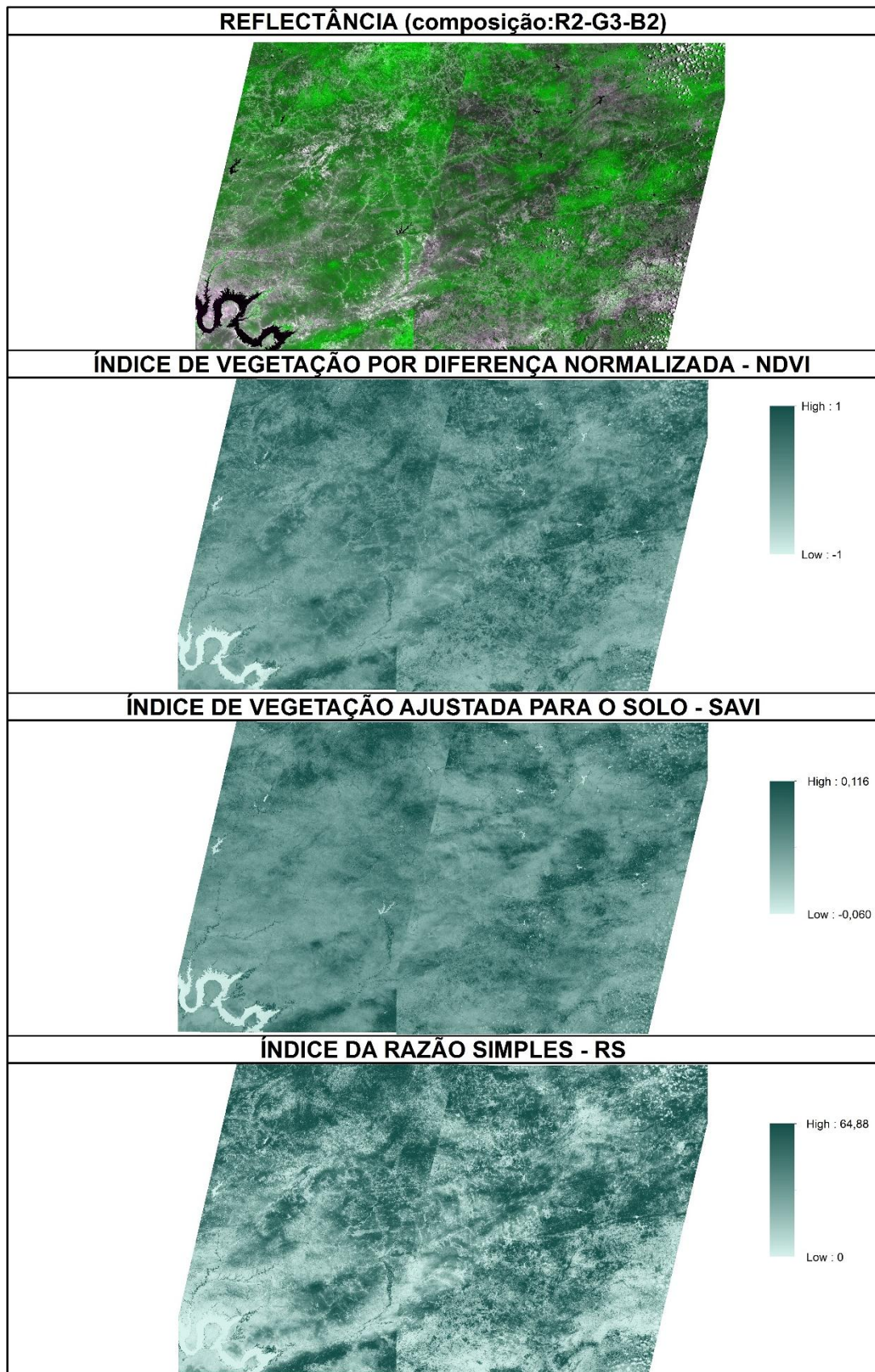
A diferença em biomassa das duas tipologias de Caatinga também foi observada nas medidas de área basal das plantas, por serem parâmetros relacionados e porque a biomassa foi estimada a partir dos diâmetros. A área basal média nas áreas de Caatinga densa (10,2 m² ha⁻¹) foi duas vezes e meia maior que nas áreas de Caatinga aberta (4,0 m² ha⁻¹). A densidade variou menos, sendo apenas cerca de 50% maior nas caatingas densas (1953 plantas ha⁻¹) que nas abertas (1350 plantas ha⁻¹). A menor diferença em densidade explica-se pelo menor diâmetro das plantas nas caatingas abertas, os indivíduos, em média, ocupando menos espaço. Os valores de área basal e densidade estão na faixa encontrada em levantamentos fitossociológicos realizados na região (RODAL; COSTA; SILVA, 2008; RODAL; MARTINS; SAMPAIO, 2008; SAMPAIO, 1995).

4.2. Análise dos dados orbitais

Os valores médios de NDVI, SAVI e RS, extraídos dos pontos de amostragem de campo, foram de 0,56 (mínimo 0,28 e máximo 0,82), 0,03 (mínimo 0,10 e máximo 0,05) e 4,05 (mínimo 1,79 e máximo 10,66), respectivamente. Os intervalos nos três índices foram diferentes, o que dificulta serem comparados numericamente, porém, houve certa homogeneidade no padrão de distribuição espacial dos valores (Figura 3).

Pode haver subestimativa dos índices de vegetação pela variação das plantas em função dos eventos climáticos (PEREZ et al., 2004). Áreas com valores de índices de vegetação semelhantes podem ter biomassas diferentes, já que o sensor detecta principalmente as folhas. Assim, áreas com biomassa estocada na forma de troncos e galhos, mas sem folhas no período, podem ter índices baixos. Esse fenômeno é comum e relatado em outros trabalhos ligados à vegetação (GURGEL; FERREIRA; LUIZ, 2003; MORAIS et al., 2011; SÁ et al., 2008) e à climatologia (BARBOSA; KUMAR; JUNIOR, 2011; JUÁREZ; LIU, 2001; SOUSA et al., 2014) que usaram os índices de vegetação para as estimativas.

Figura 3 - Imagens das cenas dos locais de estudo (esquerda - órbita 337/ ponto 082, direita - órbita 336 / ponto 082)



4.3. Análise dos modelos de estimativa

Os modelos de regressão linear da biomassa aérea em função dos índices de vegetação, usando todos os pontos amostrados, de maneira geral, foram positivos e significativos (Tabela 3), com exceção do SAVI. Separando as tipologias de Caatinga, as regressões foram significativas para os pontos de Caatinga densa mas não para os de Caatinga aberta ($p > 0,05$). Uma das causas da ausência de significância para as Caatingas abertas pode ter sido o menor número de observações que na Caatinga densa.

Os maiores coeficientes de determinação, ou seja, explicação de proporção maior da variação da biomassa por parte dos índices, foi alcançada nas áreas de Caatinga densa, seja isoladamente ou em união com Caatinga aberta. A seleção com pontos que envolveram pixels com variação adjacente menor que 20% quase duplicou o valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,382$), aperfeiçoando as estimativas, possivelmente pela diminuição da mistura espectral da amostra.

Os resultados diferem dos obtidos por Accioly et al. (2002), no Seridó do Rio Grande do Norte, para os quais os pesquisadores correlacionaram variáveis estruturais (altura média e área basal) e índices de vegetação. Eles encontraram que índice que melhor explicou a variabilidade dos dados de vegetação foi a razão simples, porém com coeficiente de determinação ($R^2 = 0,36$) semelhante ao do presente estudo.

Estimativas de biomassa por sensoriamento remoto na China (SARKER, 2010) foram melhores com o uso associado de radares (SAR) e sensores ópticos ($R^2 = 0,77$), que usando unicamente os sensores ($R^2 = 0,49$), o que foi explicado pela saturação dos valores dos índices de vegetação. Resultados animadores foram reportados por Costa et al. (2002), que correlacionaram o NDVI com o índice de área de planta ($R^2 = 0,78$) e, a partir deste índice, criaram outra função para estimar a biomassa ($R^2 = 0,76$). Porém, os erros podem ser cumulativos com o uso de duas equações. Outros trabalhos têm chegado a coeficientes de determinação relativamente altos entre biomassa e índices de vegetação, mas alguns devem ser analisados com cautela. Às vezes, o número de observações foi pequeno, como os seis casos do trabalho de (CERQUEIRA, 2007), que obteve R^2 de 0,98, e os cinco sítios de coleta de Lima Junior (2014), com R^2 de 0,70. Às vezes, as estimativas de biomassa foram feitas com base em parâmetros do próprio sensor (BRANDÃO; BEZERRA; SILVA, 2007) e, apesar do alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,90$), pode ter havido colinearidade com o índice de vegetação.

As interferências sofridas pela resposta espectral dos alvos prejudicaram os valores dos índices de vegetação e a correlação com os valores de biomassa e justificam os baixos valores dos coeficientes de determinação (BROWN, 2002; JACKSON; HUETE, 1991; WALLER; BROWN; LEWIS, 1981). Contudo, a significância dos modelos de regressão merece outro ponto de abordagem não planejado no presente estudo, como a época de aquisição das cenas.

Ao testarem três índices de vegetação, Chaves et al. (2013) perceberam que as melhores correlações não foram obtidas na época chuvosa, na qual foram obtidos coeficientes de determinação de apenas cerca da metade dos da época seca com NDVI = 0,586; SAVI=0,495 e EVI=0,594. A interferência da resposta espectral por agentes climáticos tem levado pesquisadores (CHAVES et al., 2012; FRANCISCO et al., 2012; GUIMARÃES, 2009; LIESENBERG; PONZONI; GALVÃO, 2007; OLIVEIRA; CHAVES; LIMA, 2009) a defender categoricamente que os dados orbitais devem ser coletados durante a época seca, nos estudos de vegetação de ambientes semiáridos. Entretanto, este posicionamento contraria os princípios estabelecidos quando foram criados os índices de vegetação (HUETE, 1988; JENSEN, 2009; KUMAR et al., 2006), quebrando o paradigma de que sua aplicação é destinada apenas as áreas com vegetação verde.

Como sugestão, são necessários testes com cenas de épocas distintas, uso de espectralradiômetros de campo para calibração radiométrica dos alvos, incluindo a vegetação circundante, garantindo que o valor espectral observado seja mais próximo do valor real emitido para o sensor, ou o uso de sensor radar de abertura sintética, pois o solo e o topo da vegetação são evidenciados.

Tabela 3 - Relação entre biomassa (variável dependente, Mg ha⁻¹) e índices de vegetação (variáveis preditoras) . R²- coeficiente de determinação; SS Residual – Soma dos quadrados do resíduo; MS Residual – Média dos quadrados do resíduo; AIC- critério de informação de Akaike; F – Valor da estatística F; valor p – valor da estatística p, além da equação do modelo.

Variáveis preditoras (x)	R ²	SS Residual	MS Residual	AIC	F	valor p	Equação
C ABERTA + C DENSA - 80 Observações							
NDVI	0,199	14961,785	191,818	649,385	19,436	0,00003	y = 5,805 + 48,7763*x
RS	0,169	15534,896	199,165	654,907	15,842	0,00015	y = 17,7658 + 3,8107*x
SAVI	0,043	17895,016	229,423	664,410	3,465	0,06644	y = 22,4239 + 363,516*x
C DENSA - 60 observações							
NDVI	0,227	8055,838	138,894	468,337	17,027	0,00012	y = 11,0704 + 47,3792*x
RS	0,186	8483,926	146,275	473,200	13,242	0,00058	y = 23,4571 + 3,5746*x
SAVI	0,143	8925,727	153,892	475,911	9,715	0,00284	y = 21,1485 + 591,609*x
C ABERTA 20 – Observações							
NDVI	0,005	1286,576	71,476	144,021	0,089	0,76927	y = 15,0863 + 3,8629*x
RS	0,031	1252,481	69,582	143,396	0,581	0,45576	y = 14,0999 + 0,838*x
SAVI	0,007	1284,352	71,353	144,004	0,120	0,73306	y = 19,1517 - 70,1961*x
SELEÇÃO DE PIXELS							
C ABERTA + C DENSA - 43 Observações							
NDVI	0,382	6824,799	166,459	343,578	25,372	0,00001	y = -2,2284 + 66,7643*x
RS	0,323	7477,815	182,386	351,797	19,576	0,00007	y = 14,2872 + 5,0705*x
SAVI	0,205	8779,403	214,132	356,105	10,596	0,00228	y = 11,071 + 842,5394*x
C DENSA - 35 Observações							
NDVI	0,356	4260,595	129,109	271,854	18,279	0,00015	y = 5,8936 + 57,6889*x
RS	0,260	4902,362	148,556	278,367	11,566	0,00177	y = 22,7696 + 3,8282*x
SAVI	0,282	4754,974	144,090	277,110	12,947	0,00104	y = 15,8178 + 20,6608*x
C ABERTA - 8 Observações							
NDVI	0,020	357,091	59,515	57,084	0,120	0,74131	y = 17,8413 - 8,2045*x
RS	0,018	357,769	59,628	57,108	0,108	0,75363	y = 23,2426 - 356,1194*x
SAVI	0,123	319,450	53,242	56,379	0,841	0,39457	y = 17,3724 - 1,1493*x

4.4. Análise das estimativas de biomassa por sensoriamento remoto

A partir da análise das equações, escolheu-se para fazer estimativas de biomassa da vegetação nativa nas duas cenas que cobriam parte dos 68 municípios, o modelo de regressão usando o NDVI como variável independente (Biomassa (Mg ha⁻¹) = - 22,2284 + 66,7643*NDVI)

Em 35.505,708 km⁻² de área imageada, a área classificada como vegetação nativa ocupava 64,5%, sendo 36% classificados como Caatinga densa e 28% como

Caatinga aberta (Tabela 5). Esse percentual aproxima-se proporção encontrada por Lira (2011), que avaliou em 39,7% a cobertura de florestas densas e em 27,9% a de vegetação esparsa ou rala, no Agreste Pernambucano. Ressalta-se que a área considerada no presente trabalho superpõe-se apenas em parte à do Agreste, mas a semelhança das proporções indica que deve ser representativa do todo.

Áreas com pouca ou nenhuma vegetação, caracterizada pelos baixos valores dos índices de vegetação, corresponderam a menos de 1% do total da área coberta com vegetação na Caatinga. Essa estimativa pode ser ampliada na época seca, com o secamento e eventualmente morte de plantas, com a falta de água. Chaves et al. (2013) observaram que, no período chuvoso, o solo é coberto por vegetação com alta capacidade fotossintética, apresentando reflectância semelhante ou até superior a vegetação densa, fato também observado por Costa et al. (2002).

Considerando a pequena a proporção de área com solo exposto, a aplicação do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) parece que não seria aplicável, ao menos no período chuvoso, pela fraca influência exercida pela linha do solo na reflectância. Todavia, essa afirmação não pode ser comprovada efetivamente pelos métodos aqui empregados, já que não foi realizada análise de mistura espectral.

Pixels com valores maiores coincidem com áreas de relevo mais acentuado, especialmente no pontos altos do maciço da Borborema e parte do prolongamento com a Chapada do Araripe. Nestas regiões, o relevo condiciona chuvas mais frequentes (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2001) que propiciam florestas mais adensadas, incluindo as florestas montanas dos brejos de altitude (CHAGAS; GALVÍNCIO; PIMENTEL, 2008). Nos municípios localizados na depressão sertaneja, os índices foram relativamente baixos, como em grande parte do município de Floresta. No entanto, o relevo pode induzir a erros de estimativa. Segundo Moreira (2007), nas áreas de relevo mais acentuado, o sombreamento conduz a mistura de respostas espectrais da vegetação e pode desvirtuar valores de alvos idênticos. Entretanto, estes erros costumam ser pequenos, não ultrapassando 4% (CÔRREA; PINTO; MORAIS, 2013).

O modelo utilizando o NDVI apresentou menor erro relativo (17% em média), que é a diferença entre o valor estimado e o observado em campo, nos locais onde a biomassa estimada estava entre 23 e 50 Mg ha⁻¹, que respondiam por 80% da área de estudo. Desvios maiores (Figura 4) foram restritos a locais com baixas biomassas (<=22 Mg ha⁻¹), caracterizados por superestimava, ou com biomassas altas (>= 50 Mg ha⁻¹)

que tiveram seus valores subestimados e que juntos representavam cerca de 20% da área (Tabela 4).

As áreas com baixas biomassas concentram-se na Depressão Pernambucana, especialmente na porção inferior esquerda da região de estudo, em municípios como Floresta (porção sul), Petrolândia, Itacuruba, Ibimirim e Inajá, onde há atividade agrícola (MORAIS et al., 2011) que reduz a área florestada (Tabela 5). As maiores biomassa localizam-se nas áreas de brejos de altitude, mais ao norte do Estado, representando cerca de 4,3% da área.

Figura 4 - Erro relativo dos modelos obtidos pelos índices de vegetação.

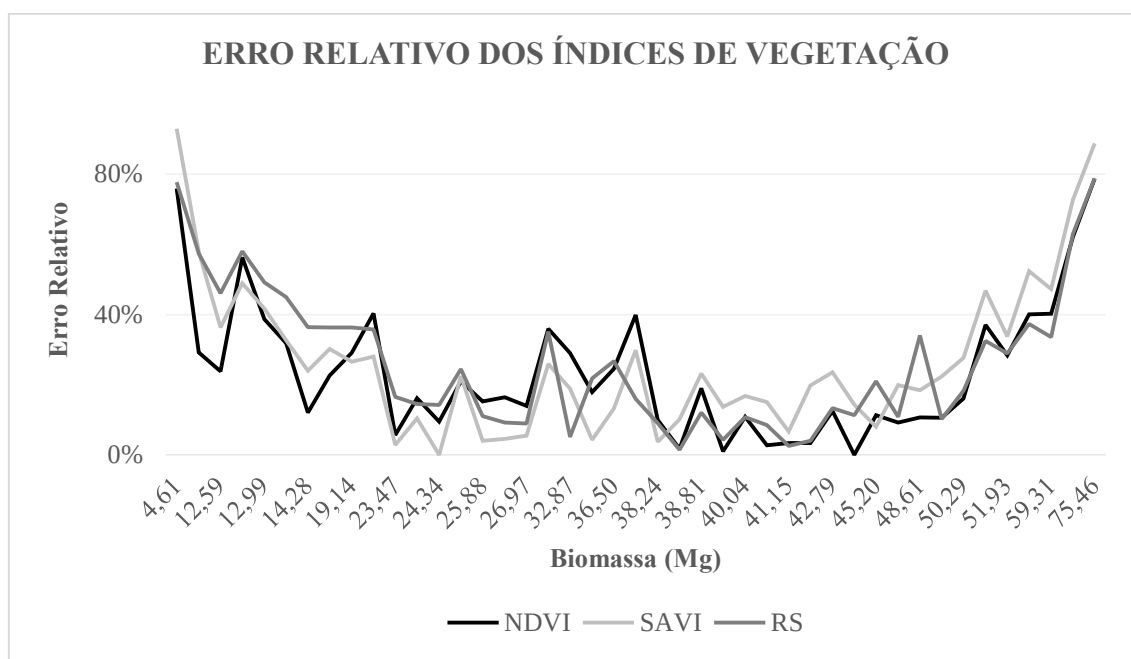


Tabela 4 - Classes de biomassa e os respectivos erros relativos e área proporcional.

Faixa de biomassa estimada (Mg ha ⁻¹)	Média do Erro relativo (%)	Área proporcional (%)
< 23	>40	15,68
>= 23 e <= 50	17	80,02
> 50	>40	4,30

Tabela 5 - Área dos municípios pesquisados e total de biomassa estimada por área. *Enquadra apenas os municípios cobertos pelas cenas. **Área de Caatinga densa + Caatinga aberta.

Mesorregião [*]	Município	Area total (ha)	Área imageada (ha)	Área imageada/área total (%)	Área florestal** (ha)	Cobertura florestal** (%)	Estoque de Biomassa (Mg)
Agreste		2.469.022,2	1.361.035,8	55,12	689.611,4	50,67	20.365.610,3
	Alagoinha	21.788,3	21.788,3	100,00	12.949,1	59,43	430.741,6
	Belo Jardim	64.912,9	64.912,9	100,00	42.968,0	66,19	1.603.730,8
	Buíque	125.754,7	125.754,7	100,00	59.722,0	47,49	1.791.783,9
	Caetés	32.985,4	32.985,4	100,00	12.638,1	38,31	303.164,4
	Capoeiras	33.700,1	33.700,1	100,00	14.675,3	43,55	387.221,6
	Garanhuns	45.928,8	45.928,8	100,00	14.835,8	32,30	277.629,4
	Jatáúba	67.232,9	67.232,9	100,00	45.663,4	67,92	1.453.333,9
	Jucati	12.104,1	12.104,1	100,00	2.985,3	24,66	35.064,6
	Jupi	10.513,3	10.513,3	100,00	2.623,8	24,96	40.513,0
	Paranatama	23.174,5	23.174,5	100,00	9.843,2	42,47	215.107,4
	Pedra	85.602,1	85.602,1	100,00	41.902,9	48,95	1.357.003,1
	Pesqueira	104.447,2	104.447,2	100,00	62.602,7	59,94	2.243.836,7
	Pocão	20.315,9	20.315,9	100,00	10.656,7	52,45	425.745,0
	Sanharó	25.590,8	25.590,8	100,00	12.475,3	48,75	399.415,7
	Santa Cruz do Capibaribe	33.595,0	33.595,0	100,00	22.198,1	66,08	748.799,5
	São Bento do Una	75.500,2	75.500,2	100,00	37.970,5	50,29	877.102,0
	Tupanatinga	110.006,4	110.006,4	100,00	70.861,9	64,42	1.898.396,6
	Venturosa	32.077,1	32.077,1	100,00	21.176,5	66,02	696.693,0
	Tacaimbó	22.743,0	22.706,6	99,84	11.562,2	50,92	313.227,4
	Saloá	25.152,3	24.989,4	99,35	11.133,4	44,55	269.268,6
	Breião	15.923,1	15.766,2	99,02	5.758,8	36,53	117.099,6
	Brejo da Madre de Deus	76.342,9	75.359,1	98,71	55.787,7	74,03	1.934.520,8
	Cachoeirinha	15.247,0	14.997,7	98,36	4.921,7	32,82	94.537,7
	São João	25.899,7	24.195,9	93,42	7.569,5	31,28	124.513,9
	Itaíba	106.804,4	93.017,1	87,09	33.104,9	35,59	687.423,8
	Calçado	12.207,0	9.558,6	78,30	3.677,5	38,47	62.404,9
	Terezinha	15.227,3	10.809,1	70,98	4.058,1	37,54	77.628,4
	Taquaritinga do Norte	47.512,5	32.025,3	67,40	18.225,7	56,91	644.738,8
	Lajedo	18.935,1	11.505,1	60,76	2.518,6	21,89	30.672,0
	Águas Belas	88.725,2	48.298,9	54,44	12.761,0	26,42	290.285,4
	Iati	63.548,4	24.579,4	38,68	7.258,9	29,53	201.699,5
	Correntes	33.948,4	5.753,6	16,95	1.655,1	28,77	26.416,5
	São Caitano	38.291,4	5.627,8	14,70	2.653,7	47,15	74.039,6
	Ibirajuba	18.961,4	2.401,0	12,66	858,7	35,76	12.926,1
	Angelim	11.741,8	1.046,9	8,92	436,5	41,69	6.403,6
	Palmeirina	15.802,8	1.232,0	7,80	628,6	51,02	10.010,9
	Lagoa do Ouro	19.873,2	1.363,2	6,86	454,9	33,37	8.916,3
	Caruaru	92.451,6	5.551,5	6,00	4.301,6	77,49	167.668,5
	Bom Conselho	78.781,7	4.030,4	5,12	882,2	21,89	17.858,7
	Altinho	45.562,3	991,1	2,18	653,2	65,91	8.066,9
Sertão do São Francisco		2.377.240,2	532.501,1	62,74	438.426,4	82,33	10.238.457,9
	Floresta	258.275,1	258.275,1	100,00	229.494,1	88,86	5.335.895,2
	Petrolândia	137.539,7	133.274,8	96,90	98.919,8	74,22	1.968.929,1
	Tacaratu	126.403,2	107.219,1	84,82	83.736,9	78,10	2.393.993,8
	Itacuruba	43.056,8	16.315,4	37,89	10.113,2	61,99	143.108,7
	Carnaubeira da Penha	100.328,0	16.440,8	16,39	15.186,4	92,37	377.409,6
	Belém de São Francisco	183.088,9	976,0	0,53	976,0	100,00	19.121,5
Sertão		3.853.084,6	1.657.033,9	43,01	1.164.590,1	70,28	34.067.780,5
	Afogados da Ingazeira	37.877,2	37.877,2	100,00	21.562,3	56,93	674.675,9
	Arcoverde	29.933,3	29.933,3	100,00	14.589,0	48,74	356.814,1
	Betânia	124.341,8	124.341,8	100,00	108.378,7	87,16	3.081.904,0
	Calumbi	22.084,9	22.084,9	100,00	13.990,1	63,35	407.660,3
	Carnaíba	43.681,4	43.681,4	100,00	23.825,8	54,54	825.090,9
	Custódia	140.281,6	140.281,6	100,00	98.128,2	69,95	3.218.139,5
	Flores	95.353,9	95.353,9	100,00	60.054,7	62,98	1.682.367,5
	Ibimirim	255.798,0	255.798,0	100,00	212.324,9	83,00	5.368.101,7
	Igaraci	83.728,2	83.728,2	100,00	58.018,0	69,29	1.843.226,5
	Inajá	118.276,8	118.276,8	100,00	93.707,4	79,23	2.635.147,5
	Ingazeira	24.376,1	24.376,1	100,00	14.105,4	57,87	368.862,0
	Manari	40.786,9	40.786,9	100,00	16.484,0	40,41	397.413,8
	Quixaba	21.015,1	21.015,1	100,00	9.218,9	43,87	301.740,6
	Santa Cruz da Baixa Verde	11.461,0	11.461,0	100,00	8.043,7	70,18	310.165,6
	Sertânia	242.049,7	242.049,7	100,00	179.831,7	74,30	5.318.971,7
	Triunfo	19.131,4	19.131,4	100,00	14.292,1	74,71	590.472,6
	Tuparetama	17.749,7	17.749,7	100,00	10.159,9	57,24	396.678,0
	Solidão	13.837,8	12.054,3	87,11	7.719,0	64,04	315.215,8
	Serra Talhada	297.981,8	259.082,2	86,95	169.388,1	65,38	4.968.587,3
	Tabira	38.828,1	24.077,4	62,01	11.156,4	46,34	309.450,5
	São José do Egito	80.001,5	28.743,6	35,93	15.470,1	53,82	577.638,8
	Mirandiba	82.057,3	5.149,2	6,28	4.141,7	80,43	119.455,9
Total Geral		8.699.347,0	3.550.570,8	40,81	2.292.627,9	64,57	64.671.848,6

5. CONCLUSÕES

O modelo de regressão apresentado ($\text{Biomassa (Mg ha}^{-1}) = -2,2284 + 66,7643 \cdot \text{NDVI}$) pode ser aplicado nas florestas com biomassa estimada entre 23 a 50 Mg ha^{-1} e tem erro padrão de 17%. Em vegetação fora desse intervalo a estimativa feita pelo modelo geram erros maiores que 17%, sendo prudente estimar a biomassa em campo.

A grande variabilidade ambiental existente na região pode distorcer as respostas espectrais do índice de vegetação, usado no modelo, mas não impossibilita a aplicação do método em pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L. J. O.; COSTA, T. C. E C.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, E. A. S.; SILVA, J. A. S.; SILVA, A. B.; SOUZA, A. R. **Biomassa nas florestas de Caatinga nas microrregiões do Seridó Oriental (RN) e Seridó Ocidental (PB)** 62^a Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Anais...** Rio de Janeiro: 2008 Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/rn/wp-content/files/2009/05/LAccioly_et_al_021.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2013
- ACCIOLY, L. J. O.; PACHÊCO, A.; THOMAZ, C.; COSTA, C. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 492–498, 2002.
- ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. L. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, v. 116, p. 82–88, maio. 2015.
- AMTHOR, J. S.; DALE, V. H.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T. **Terrestrial ecosystem responses to global change: A research strategy** (J. S. Amthor, M. A. Huston, Eds.). Washington, D.C.: Oak Ridge National Laboratory (US), 1998.
- ANDERSON, G. L.; HANSON, J. D. Evaluating hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above ground biomass. **Geocarto International**, v. 7, n. 1, p. 71–78, mar. 1992.
- ANDERSON, G. L.; HANSON, J. D.; HAAS, R. H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. **Remote Sensing of Environment**, v. 45, n. 2, p. 165–175, ago. 1993.
- APAC. **Meteorologia APAC: Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 27 jun. 2013.
- ARANHA, J. T.; VIANA, H. F.; RODRIGUES, R. Vegetation classification and quantification by satellite image processing. A case study in north Portugal. **Bioenergy: Challenges and Opportunities**, v. 3, 2008.
- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v. 13, n. 1-2, p. 95–120, ago. 1995.
- BARBOSA, H. .; KUMAR, T. V. .; JUNIOR, I. W. S. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 300–306, 2011.
- BATRES, V. B. K. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação Breve revisão. **Boletim de geografia**, v. 1, n. 16, p. 107–118, 1998.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de indivíduos a ecossistemas**. Porto Alegre: Artmed, 2007. p. 752

BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444–9, 13 jun. 2008.

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. **Uso do NDVI para determinação da Biomassa na Chapada do Araripe** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Florianópolis: 2007** Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.39.22/doc/75-81.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2013

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997. v. 1p. 55

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 363–372, mar. 2002.

BROWN, S. L.; SCHROEDER, P. E. Spatial patterns of aboveground production and mortality of wood biomass for eastern U.U. forests. **Ecological Applications**, v. 9, n. 3, p. 968–980, 12 ago. 1999.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 4, p. 131–136, 2008.

BURGER, M. D. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar**. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, 2005.

CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1–11, 1997.

CALLE-ROSILLO, F.; GROOT, P.; HEMSTOCK, S. L.; WOODS, J. **The biomass assessment handbook: bioenergy for a sustainable environment**. London, UK: Earthscan, 2007. p. 269

CERQUEIRA, D. B. **Levantamento do estoque de carbono na vegetação com base em Geotecnologias**. Feira de Santana: Universidade estadual de Feira de Santana, 2007.

CHAGAS, M. G. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em arcoverde, pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 2, p. 45–60, 2008.

CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J. DOS; RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 73–84, 2001.

CHANDER, G. **Overview of the resourcesat-1 (IRS-P6)**. Disponível em: <<http://calval.cr.usgs.gov/documents/IRSP6.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2014.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87–99, 2005.

CHAVES, I. B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V.; FRANCISCO, P. R. M. **Índices Espectrais e Diagnóstico da Degradação da Caatinga na Bacia Hidrográfica do Açude Soledade, Paraíba-BR** XIX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. **Anais...**Lages-SC: 2012

CHAVES, I. D. B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA; BRANDAO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da caatinga da bacia do Rio Taperoá-PB. In: SILVA, B. B. (Ed.). **Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: In: SILVA, B. B. da. (Org.). **Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: EDUEFCG, 2013., 2013. p. 1–31.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459–479, abr. 1988.

CÔRREA, E. A.; PINTO, S. A. F.; MORAIS, I. C. **Análise da influência dos parâmetros de iluminação de cena e sombreamento do relevo em índices de vegetação pela diferença normalizada** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Foz do Iguaçu: INPE, 2013 Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0176.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2014

COSTA, T. C. E C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J. DE; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. DA. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indeces. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 707–715, 2002.

COSTA, T. L. **Biomassas radiculares e aéreas em comunidades de Caatinga**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013.

COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J. O.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G. C.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 113–123, 11 jan. 2014.

CPRM. **Projetos do PLGB**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=173&sid=26>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/Unicamp, 1992. p. 170

DÍAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. Carbon captured as a new instrument in Forest management: some implications. **Scientia Forestalis**, v. 63, p. 103–114, 2003.

DIOUF, A.; LAMBIN, E. F. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 48, n. 2, p. 129–148, jun. 2001.

EISFELDER, C.; KUENZER, C.; DECH, S. A review on derivation of biomass information in semi-arid regions based on remote sensing data. **Proceedings - Spie the International Society for Optical Engineering**, v. 7831, p. 78310L–78310L–8, 7 out. 2010.

ESCADAFAL, R. Remote sensing of arid soil surface color with Landsat thematic mapper. **Advances in Space Research**, v. 9, n. 1, p. 159–163, jan. 1989.

ESRI. **ArcGIS Desktop 10** New York, NY Environmental Systems Research Institute, Inc. - ESRI, , 2012.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Índice de vegetação por diferença normalizada das cidades de Salgueiro, Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Floresta - localizadas no semi-árido pernambucano. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 3, p. 60–67, 2008.

FERRAZ, A. S.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, C. A. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Estimativa do Estoque de Biomassa em um Fragmento Florestal Usando Imagens Orbitais. **Floresta e Ambiente**, 27 jul. 2014.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil ea influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2005.

FOODY, G. M.; BOYD, D. S.; CUTLER, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, n. 4, p. 463–474, jun. 2003.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da Caatinga com Uso de Geotecnologia e Análise da Umidade Antecedente em Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 676–693, 11 maio. 2012.

GALVAO, L. S.; VITORELLO, I.; PIZARRO, M. A. An adequate band positioning to enhance NDVI contrasts among green vegetation, senescent biomass, and tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 9, p. 1953–1960, jan. 2000.

GIBBS, H. K.; BROWN, S.; NILES, J. O.; FOLEY, J. A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, v. 2, n. 4, p. 1–13, 5 out. 2007.

GILL, T. K.; DANAHER, T.; GILLINGHAM, S. S.; MITCHELL, R. M. Comparing bright-target surface spectral-reflectance estimates obtained from IRS P6 LISS III to

those obtained from Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+. **Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 2, p. 121–130, mar. 2012.

GIONGO, V. Balanço de carbono no semiárido brasileiro: perspectivas e desafios. In: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. (Eds.). . **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 209.

GIULIETTE, A. M. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro**. Recife: Associação de plantas do Nordeste, 2006. p. 537

GLENN, E. P.; HUETE, A. R.; NAGLER, P. L.; NELSON, S. G. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes, and plant physiological processes: what vegetation. **Sensor**, v. 8, p. 2136–2160, 2008.

GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1–212, jan. 1988.

GONZALEZ, P.; KROLL, B.; VARGAS, C. R. Tropical rainforest biodiversity and aboveground carbon changes and uncertainties in the Selva Central, Peru. **Forest Ecology and Management**, v. 312, p. 78–91, jan. 2014.

GOOGLE INC. **Google EarthGoogle Earth versão 7.0.2**. Mountain View, CA:Google Inc, , 2012. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/index.html>>. Acesso em: 19 jun. 2013

GOWARD, S. N.; MARKHAM, B.; DYE, D. G.; DULANEY, W.; YANG, J. Normalized difference vegetation index measurements from the advanced very high resolution radiometer. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2-3, p. 257–277, fev. 1991.

GUIMARÃES, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Areia-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2009.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85–90, 2003.

HARDY, C. C.; BURGAN, R. E. Evaluation of NDVI for Monitoring Live Moisture in Three Vegetation Types of the Western U . S . **Engineering**, v. 65, p. 603–610, 1999.

HENRY, M.; PICARD, N.; TROTTA, C.; MANLAY, R. J.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Estimating tree biomass of Sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. **The Finnish Society of Forest Science**, v. 45, n. 3B, p. 477–569, 2011.

HOUSE, J. I.; HALL, D. O. Productivity of Tropical Savannas and Grasslands. In: ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, H. A. (Eds.). . **Terrestrial Global Productivity**. London, UK: Elsevier, 2001. p. 363–400.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 1, p. 37–53, fev. 1985.

IBGE. **Mapas IBGE**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 mar. 2014.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185–200, 1 dez. 1991.

JACKSON, R. D.; TEILLET, P. M.; SLATER, N. P.; FEDOSEJEVS, G.; JASINSKY, M. F.; AESE, J. K.; MORAN, M. S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 32, n. 2-3, p. 189–202, 1990.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. v. 21p. 587

JUÁREZ, R. I. N.; LIU, W. T. FFT analysis on NDVI annual cycle and climatic regionality in Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 21, n. 14, p. 1803–1820, 30 nov. 2001.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD, R. L.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in Neotropical Dry Forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140, 11 jan. 1993.

KUMAR, S.; BASTIN, G.; FRIEDEL, M.; NARAIN, P.; SAHA, D. K.; AHUJA, U. R.; MATHUR, B. K. Performance of different vegetation indices in assessing degradation of community grazinglands in Indian Arid Zone. **Agriculture and Hydrology Applications of Remote Sensing**, v. 6411, p. 64110P–64110P–9, 1 dez. 2006.

KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

LAAR, A. VAN; AKÇA, A. **Forest mensuration**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. v. 13p. 383

LAAR, A. VAN; AKÇA, A. Tree and stand biomass. In: LAAR, A. VAN; AKÇA, A. (Eds.). . **Forest Mensuration**. 13. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. p. 183–198.

LAURANCE, W. F.; FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T. E.; RANKIN-DE MERONA, J. M.; CHAMBERS, J. Q.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, n. 1-3, p. 127–138, jun. 1999.

LEICA GEOSYSTEMS. **Erdas Imagine 9.1** Norcross, GA Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, , 2006.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: Implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 1-2, p. 276–286, mar. 2007.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 295–305, abr. 2007.

LIMA JUNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V.; LIMA, L. R. F. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 289–298, 2014.

LIRA, D. R.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, H. . Mapeamento e Quantificação da Cobertura Vegetal no Agreste Central de Pernambuco Utilizando Técnicas de Empilhamento e o NDVI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 3, p. 157–162, 1 mar. 2011.

LU, D. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 12, p. 2509–2525, 2005.

MACHADO, S. A. Produtividade de florestas tropicais. **Floresta**, v. 8, n. 2, p. 47–53, 1977.

MARTINEZ-YRIZAR, A.; SARUKHAN, J.; PEREZ-JIMENEZ, A.; RINCON, E.; MAASS, J. M.; SOLIS-MAGALLANES, A.; CERVANTES, L. Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 01, p. 87, 10 jul. 2009.

MCROBERTS, R.; TOMPPO, E. Remote sensing support for national forest inventories. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, n. 4, p. 412–419, 30 out. 2007.

MENEZES, R. S. C.; GARRIDO, M. S.; MARIN, A. M. P. **Fertilidade dos solos no semi-árido** XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...**Recife: 2005

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 72, n. 3, p. 643–53, ago. 2012.

MEUNIER, I. M. J. **Análises de sustentabilidade de planos de manejo florestal em Pernambuco**. Recife-PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

MMA. **Biomass - Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomass/caatinga>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 12, n. 1, p. 84–96, jan. 2006.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE – Brasil, utilizando o NDVI XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...Curitiba: 2011 Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1455.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2013**

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto**. 3. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007. p. 422

MOREIRA-BURGER, D.; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa aérea da Floresta Baixa de Restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143–153, 2010.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 481–486, mar. 1995.

NELSON, B. W.; MESQUITA, R.; PEREIRA, J. L. .; GARCIA AQUINO DE SOUZA, S.; TEIXEIRA BATISTA, G.; BOVINO COUTO, L. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1-3, p. 149–167, maio. 1999.

NICOLLETTI, M. F.; CARVALHO, S. P. C.; BATISTA, J. L. F. Revisão bibliográfica sobre métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa. **Revista cinetífica eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 20, n. 1, p. 102–116, 2012.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSTIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. 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, p. 1853–1867, 2008.

OJIMA, D. S.; DIRKS, B. O. M.; GLENN, E. P.; OWENSBY, C. E.; SCURLOCK, J. O. Assessment of C budget for grasslands and drylands of the world. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 70, n. 1-4, p. 95–109, out. 1993.

OLIVEIRA, W. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. **Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semi-árido paraibano XIV Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Anais...Natal-RN: 2009**

PANDEY, D. N. Global climate change and carbon management in multifunctional forest. **Current Science**, v. 83, n. 5, p. 593–602, 2002.

PANDYA, M. R.; SINGH, R. P.; CHAUDHARI, K. N.; MURALI, K. R.; KIRANKUMAR, A. S.; DADHWAL, V. K.; PARIHAR, J. S. Spectral characteristics of sensors onboard IRS-1D and P6 satellites: Estimation and their influence on surface reflectance and NDVI. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 35, n. 4, p. 333–350, 1 dez. 2007.

PBMC. Ciclos biogeoquímicos e mudanças climáticas. In: MARTINELLI, L. A.; PINTO, A. S.; ROCHA, H.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B. (Eds.). **Bases científicas das mudanças climáticas**. Brasília: PBMC, 2012. p. 197.

PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; KRUG, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Cambridge: Institute for Global Environmental Strategies, 2003. p. 593

PEREIRA, E. M.; IMAÑA-ENCINAS, J.; REZENDE, A. V. Evaluación de procedimientos simplificados en la cuantificación volumétrica de una plantación de Pino. **Colombia Forestal**, v. 15, n. 1, p. 131–138, 2012.

PEREZ, L. P.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERREIRA, N. J.; ANDRE, I. R. N. Dinâmica dos Principais Domínios Fitogeográficos do Nordeste Brasileiro e Suas Conexões com a Precipitação. **Geografia**, v. 29, n. 2, p. 217–228, 2004.

PILLI, R.; ANFODILLO, T.; CARRER, M. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1-3, p. 583–593, dez. 2006.

PROY, C.; TANRE, D.; DESCHAMPS, P. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, n. 1, p. 21–32, out. 1989.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **Software Quantum GIS 2.0**. Essen, Alemanha, 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, , 2013. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>

RANSON, K. J.; DAUGHTRY, C. S. T.; BIEHL, L. L.; BAUER, M. E. Sun-view angle effects on reflectance factors of corn canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 18, n. 2, p. 147–161, out. 1985.

RIBEIRO, S. C.; ANTÔNIO, L.; JACOVINE, G.; PEDRO, C.; SOARES, B.; MARTINS, S. V.; LOPES, A.; SOUZA, D.; MARIA, A.; NARDELLI, B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 917–926, 2009.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; DE OLIVEIRA GASPAR, R. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, ago. 2011.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, A. C. B. L. E. Estrutura da vegetação caducifólia espinhosa (caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**, v. 35, n. 2, p. 209–217, jun. 2008.

RODAL, M. J. N.; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de Caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 192–205, 2008.

ROSILLO-CALLE, F.; GROOT, P.; HEMSTOCK, S. L.; WOODS, J. Assessment methods for woody biomass supply. In: CALLE-ROSILLO, F.; GROOT, P.; HEMSTOCK, S. L.; WOODS, J. (Eds.). . **The biomass assessment handbook: bioenergy for a sustainable environment**. London, UK: Earthscan, 2007. p. 69–109.

ROUSE JR, J. W.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Greenbelt, MD: [s.n.]. Disponível em: <https://archive.org/details/nasa_techdoc_19740022555>.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, B. I. Uso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, n. 01, p. 28–38, 2008.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T. A; SALAS, W.; ZUTTA, B. R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S. L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 24, p. 9899–904, 14 jun. 2011.

SAMIMI, C.; KRAUS, T. Biomass estimation using Landsat-TM and -ETM+. Towards a regional model for Southern Africa? **GeoJournal**, v. 59, n. 3, p. 177–187, 2004.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Eds.). . **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge: Cambridge University Press., 1995. p. 35–63.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma Caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEIAMA, P. Y. (Eds.). . **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. 2. ed. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p. 27–85.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L.; SALCEDO, H. S.; TIESSEN, H. Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 621–632, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H.; MENEZES, R. S. C. **Agricultura sustentável no semi-árido nordestino**. Recife: Universitária da UFPE, 2009. p. 152

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1275–1291, 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Eds.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. 2. ed. Recife-PE: Editora universitária - UFPE, 2008. p. 11–26.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid Caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 935–943, 2005.

SARKER, L. R. **Estimation of forest biomass using remote sensing**. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2010.

SCHROEDER, P.; BROWN, S.; MO, J.; BIRDSEY, R.; CIESZEWSKI, C. Biomass Estimation for Temperate Broadleaf Forests of the United States Using Inventory Data. **Society of American Foresters**, v. 43, n. 3, p. 424–434, 1997.

SHIBAYAMA, M.; WIEGAND, C. L. View azimuth and zenith, and solar angle effects on wheat canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 18, n. 1, p. 91–103, ago. 1985.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. Orbital sensors data applied to vegetation studies. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 4, n. 64, p. 873–886, 10 fev. 2012.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. Manaus - AM: UFAM, 2007.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185–206, 2008.

SMITH, M. O.; USTIN, S. L.; ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. Vegetation in deserts: I. A regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v. 31, n. 1, p. 1–26, jan. 1990.

SOBRAL, M. C. M.; FILHO, J. C. D. A.; CANDEIAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, n. 87, p. 973–980, 2011.

SOUSA, L. F.; BRAGA, C. C.; BRAGA, R. C.; DANTAS, M. P. Interrelationship between rainfall and vegetation index by remote sensing. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 3, p. 087–099, 2014.

STEININGER, M. K. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: Data from Brazil and Bolivia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6-7, p. 1139–1157, jan. 2000.

SU, L.; CHOPPING, M. J.; RANGO, A.; MARTONCHIK, J. V.; PETERS, D. P. C. **Recognition of Semi-Arid Vegetation types based on MISR multi-angular observations and surface anisotropy patterns inversed by bidirectional reflectance models**. The 9th International Symposium on Physical Measurements and Signature in Remote Sensing. **Anais...**Beijing, China: 2005

SU, L.; CHOPPING, M. J.; RANGO, A.; MARTONCHIK, J. V.; PETERS, D. P. C. Support vector machines for recognition of semi-arid vegetation types using MISR multi-angle imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 1-2, p. 299–311, mar. 2007.

TABARELLI, M.; VICENTE, A. Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Eds.). . **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 101–111.

TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GARIN, B. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic Change**, v. 40, n. 1, p. 105–117, 1998.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; TOLEDO, D. P.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, S. C.; MARTINS, M. M. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 353–359, 2011.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga**. Aldeia-PE: [s.n.].

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. 1. ed. Recife: Associação de Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental the Nature Conservancy do Brasil, 2002. p. 76

VERBESSELT, J.; SOMERS, B.; VAN AARDT, J.; JONCKHEERE, I.; COPPIN, P. Monitoring herbaceous biomass and water content with SPOT VEGETATION time-series to improve fire risk assessment in savanna ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, n. 3, p. 399–414, abr. 2006.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M.; ARAÚJO, L. S.; BACKER, T. Estimation of biomass and carbon stocks : the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 21–29, 2008.

WALLER, S. S.; BROWN, M. A.; LEWIS, J. K. Factors involved in estimating green biomass by canopy spectoreflectance measurements. **Journal of Range Management**, p. 105–108, 1981.

WIRTH, C.; SCHUMACHER, J.; SCHULZE, E. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe a meta analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. **Tree physiology**, v. 24, p. 121–139, 2004.

WU, J.; BAUER, M. E.; WANG, D.; MANSON, S. M. A comparison of illumination geometry-based methods for topographic correction of QuickBird images of an undulant area. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63, n. 2, p. 223–236, mar. 2008.

ZHANG, L.; LIN, H.; LI, D. **Influences of the illumination and viewing geometry on the vegetation indices** (A. M. Larar, Q. Tong, M. Suzuki, Eds.) **MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING INSTRUMENTS AND APPLICATIONS**. **Anais...**10 jun. 2003 Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez19.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=Refine&qid=8&SID=4BgCQbTjlOdFnmjnTuL&page=1&doc=8&cacheurlFromRightClick=no>. Acesso em: 15 jul. 2014

APÊNDICE A – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE CAMPO

Sistema de referência geográfica: Sirgas 2000 (valores em graus decimais)

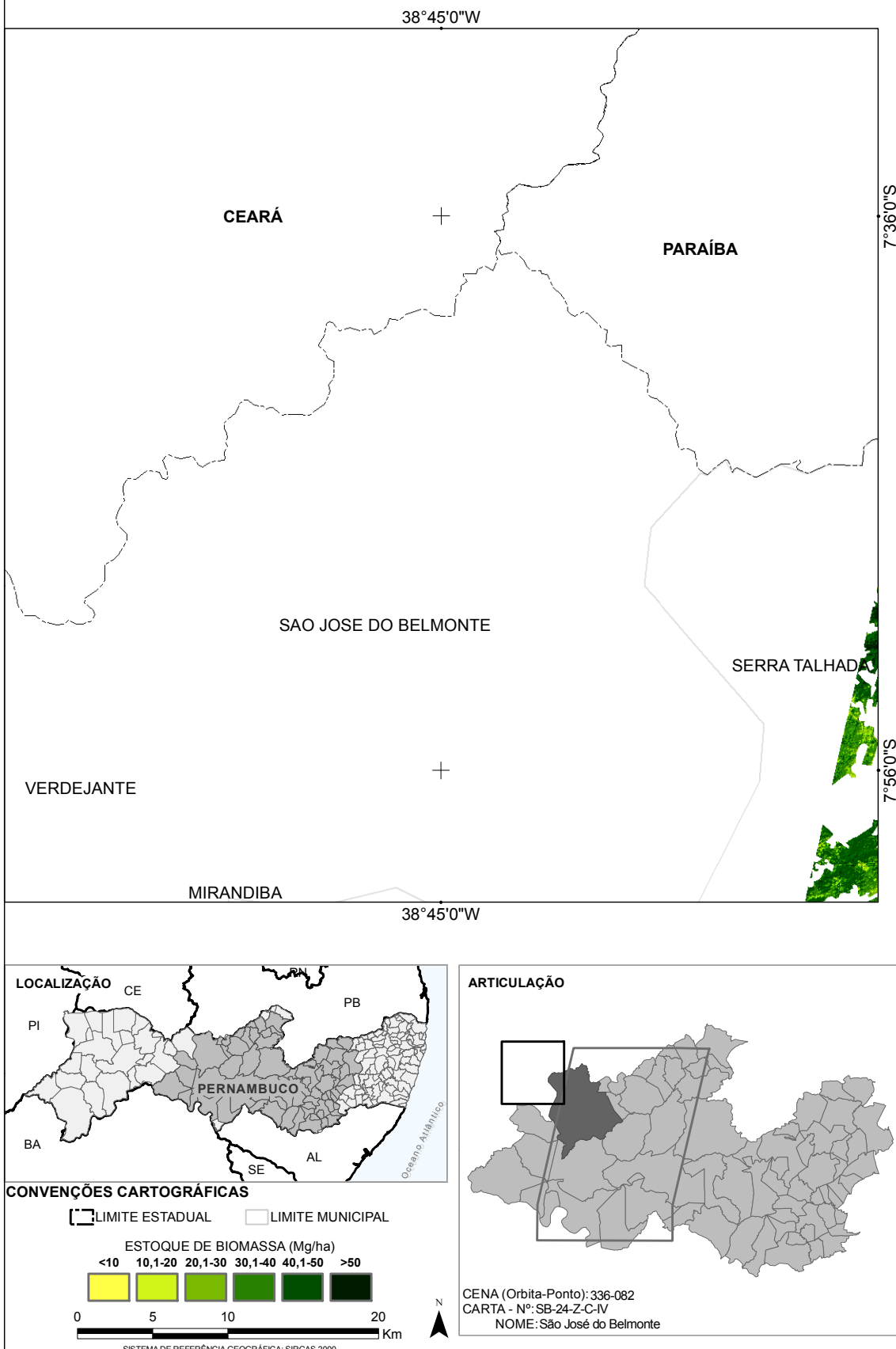
Ponto	Município	Fisionomia	Latitude	Longitude
1	São Bento do Una	Caatinga densa	-8,490836698	-36,37944474
2	São Bento do Una	Caatinga aberta	-8,491147174	-36,37455947
3	Saloá	Caatinga densa	-8,991666669	-36,72500002
4	Saloá	Caatinga aberta	-8,992500002	-36,72444445
5	Sanharó	Caatinga densa	-8,418887099	-36,59360613
6	Sanharó	Caatinga aberta	-8,422500476	-36,59332966
7	Garanhuns	Caatinga densa	-8,819713312	-36,50083945
8	Garanhuns	Caatinga aberta	-8,822093871	-36,50006026
9	Jupi	Caatinga densa	-8,724943101	-36,52984896
10	Jupi	Caatinga aberta	-8,725606636	-36,53182473
11	Caetes	Caatinga densa	-8,711342358	-36,77414167
12	Caetes	Caatinga aberta	-8,722777787	-36,77888891
13	Pesqueira	Caatinga aberta	-8,355000334	-36,87638842
14	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809565619	-36,40582295
15	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809532812	-36,40562586
16	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809500006	-36,40542878
17	Garanhuns	Caatinga densa	-8,80976166	-36,40578997
18	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809728853	-36,40559288
19	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809696045	-36,40539571
20	Garanhuns	Caatinga densa	-8,80995779	-36,40575698
21	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809924893	-36,40555981
22	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809892086	-36,40536273
23	Garanhuns	Caatinga densa	-8,809599352	-36,40599722
24	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,901269623	-38,28227797
25	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,900320005	-38,28338907
26	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,900202717	-38,28356163
27	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,900013038	-38,28371618
28	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,899904639	-38,28379801
29	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,899715116	-38,28404327
30	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,899588892	-38,28427935
31	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,89950769	-38,28439742
32	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,899408475	-38,28456088
33	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,899336365	-38,28470615
34	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898663702	-38,28275692
35	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898727312	-38,28292917
36	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898727607	-38,28310153
37	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898863607	-38,2832918
38	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898918172	-38,28346406
39	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898999855	-38,28362721
40	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898819051	-38,28368195
41	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898638417	-38,28383648
42	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898457768	-38,28398193
43	Sena Talhada	Caatinga densa	-7,898557557	-38,28415412
44	Custódia	Caatinga aberta	-8,270895134	-37,8399426

Ponto	Município	Fisionomia	Latitude	Longitude
45	Camaíba	Caatinga aberta	-7,751944398	-37,72538889
46	Custódia	Caatinga aberta	-8,247499976	-37,55566663
47	Manari	Caatinga aberta	-8,883140615	-37,70277773
48	Iguaraci	Caatinga aberta	-7,907444475	-37,46261108
49	Tuparetama	Caatinga aberta	-7,666592911	-37,41043479
50	Betânia	Caatinga densa	-8,164869403	-37,96768543
51	Camaíba	Caatinga densa	-7,746666687	-37,7108333
52	Custódia	Caatinga densa	-8,251916698	-37,56177781
53	Manari	Caatinga densa	-8,885288969	-37,71529864
54	Tacaratu	Caatinga densa	-9,079358434	-38,20289968
55	Iguaraci	Caatinga densa	-7,911083298	-37,44558337
56	Tuparetama	Caatinga densa	-7,63093947	-37,38857069
57	Itaíba	Caatinga densa	-8,987083989	-37,45068775
58	Itaíba	Caatinga aberta	-8,984999993	-37,43999999
59	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897194026	-38,30408304
60	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897471995	-38,30458296
61	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897694011	-38,30477799
62	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897777988	-38,30463897
63	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897555964	-38,30416698
64	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897250009	-38,30391703
65	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897110988	-38,30391699
66	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,896750019	-38,30436101
67	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,897806029	-38,30344401
68	Serra Talhada	Caatinga densa	-7,894972029	-38,30499999
69	Buíque	Caatinga aberta	-8,552805546	-37,30652776
70	Arcoverde	Caatinga aberta	-8,434474868	-37,20211431
71	Buíque	Caatinga densa	-8,547194397	-37,32149997
72	Arcoverde	Caatinga densa	-8,481499996	-37,20155551
73	São Bento do Una	Caatinga aberta	-8,522615517	-36,39936216
74	São Bento do Una	Caatinga densa	-8,524741047	-36,39561695
75	Venturosa	Caatinga aberta	-8,55696306	-36,90051898
76	Venturosa	Caatinga densa	-8,557026906	-36,9022895
77	Santa Cruz do Capibaribe	Caatinga aberta	-7,945281274	-36,26777999
78	Santa Cruz do Capibaribe	Caatinga densa	-7,941909143	-36,2661256
79	São Bento do Una	Caatinga densa	-8,425047614	-36,46672185
80	São Bento do Una	Caatinga aberta	-8,425029061	-36,46226941

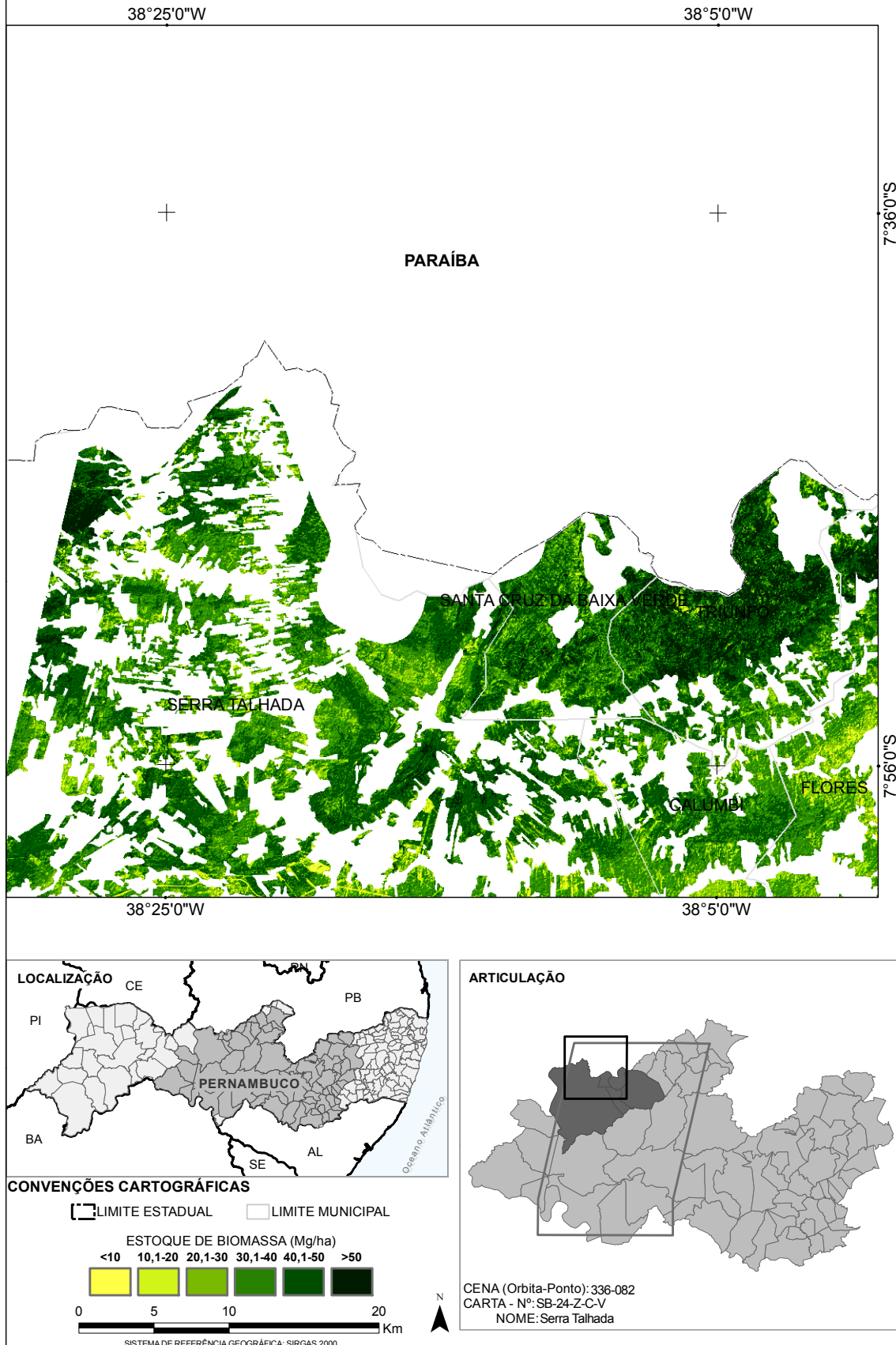
APENDICE B - CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE, SENSOR E CENAS UTILIZADAS.

PARÂMETRO	CARACTERÍSTICA	
Satélite	RESOURCESAT 1	
Sensor	P6-LISS III	
Altitude de Órbita	817 Km	
Tempo de revisita	24 dias	
Resolução espacial	23,5 m	
Swath	141 km	
Bandas espectrais	B2: 0,52 - 0,59 (µm)	
	B3: 0,62 - 0,68 (µm)	
	B4: 0,44 – 0,86 (µm)	
	B5: 1,55 – 1,70 (µm)	
Resolução radiométrica	7 bits	
Valor de ganho B2	3	
Valor de ganho B3	3	
Valor de ganho B4	3	
Valor de ganho B5	2	
Min /max radiance B2	0.00000/ 12.06400 [mw/cm2/str/ µm]	
Min /max radiance B3	0.00000/ 15.13100 [mw/cm2/str/ µm]	
Min /max radiance B4	0.00000/ 15.75700 [mw/cm2/str/ µm]	
Min /max radiance B5	0.00000/ 3.39700 [mw/cm2/str/ µm]	
ESUN (<i>Solar exoatmospheric spectral irradiances</i>)	B2: 1846.77 W/(m ² .µm)	
	B3: 1575.50 W/(m ² .µm)	
	B4: 1087.34 W/(m ² .µm)	
	B5: 236.65 W/(m ² .µm)	
Datum	WGS 84	
Formato do arquivo	Tiff	
Data de captura da cena	16/07/2013	04/03/2012
Órbita	336	337
Ponto	082	082
Elevação do sol	55.7933619326	61.2456329971
Azimute do sol	39.8990042452	91.7154484188
Cobertura de nuvem	<1%	<1%

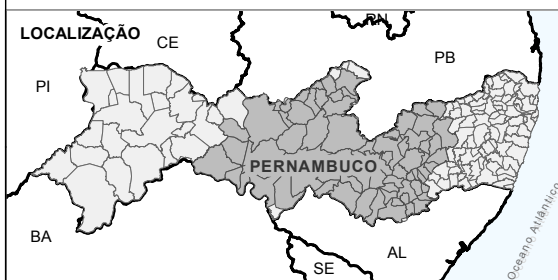
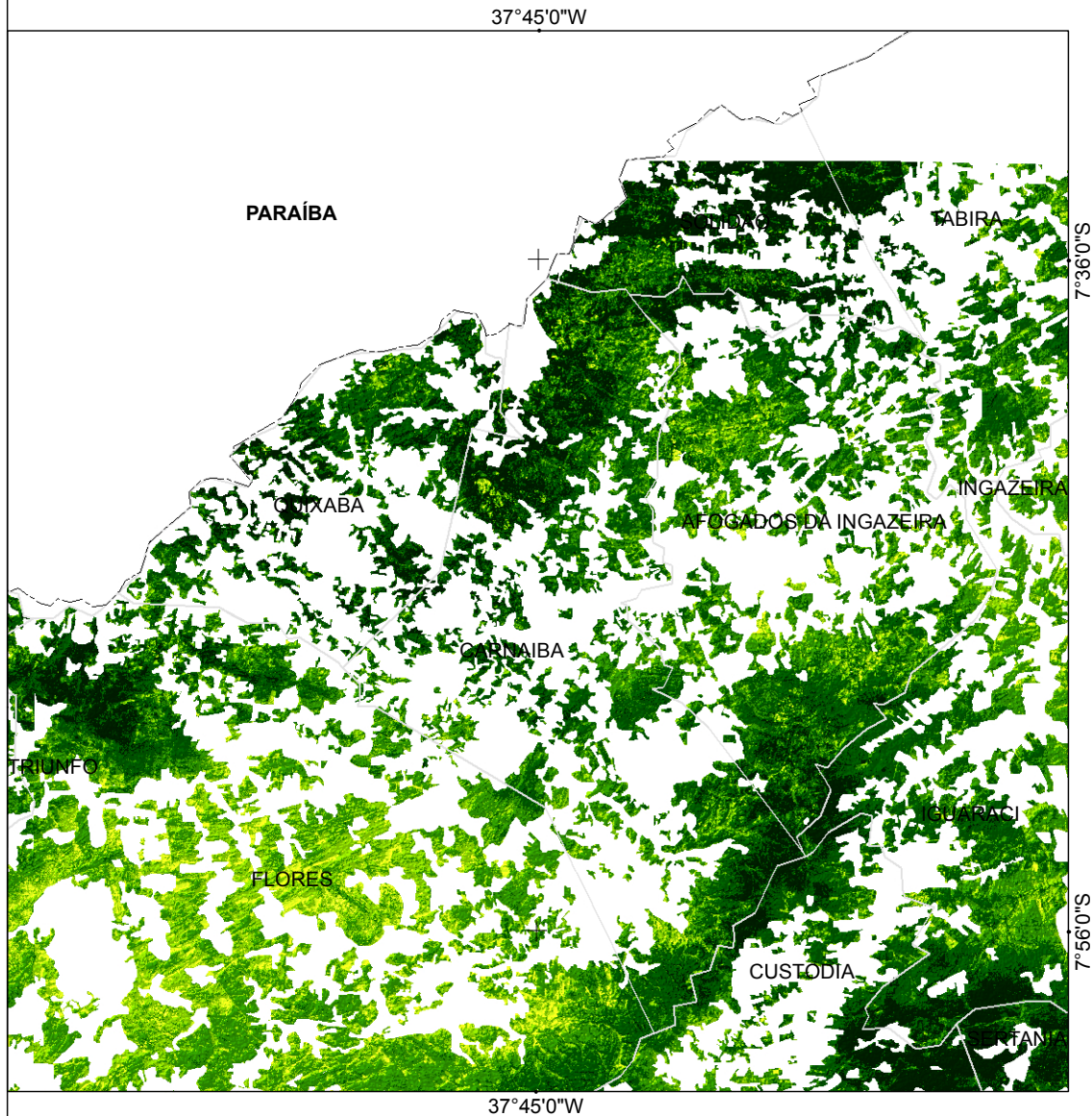
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

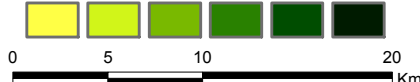


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

— LIMITE ESTADUAL — LIMITE MUNICIPAL

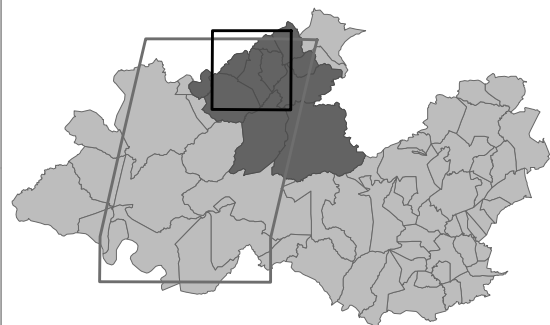
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



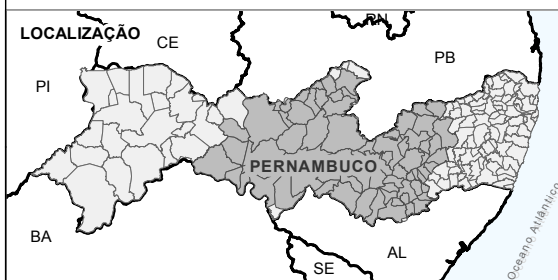
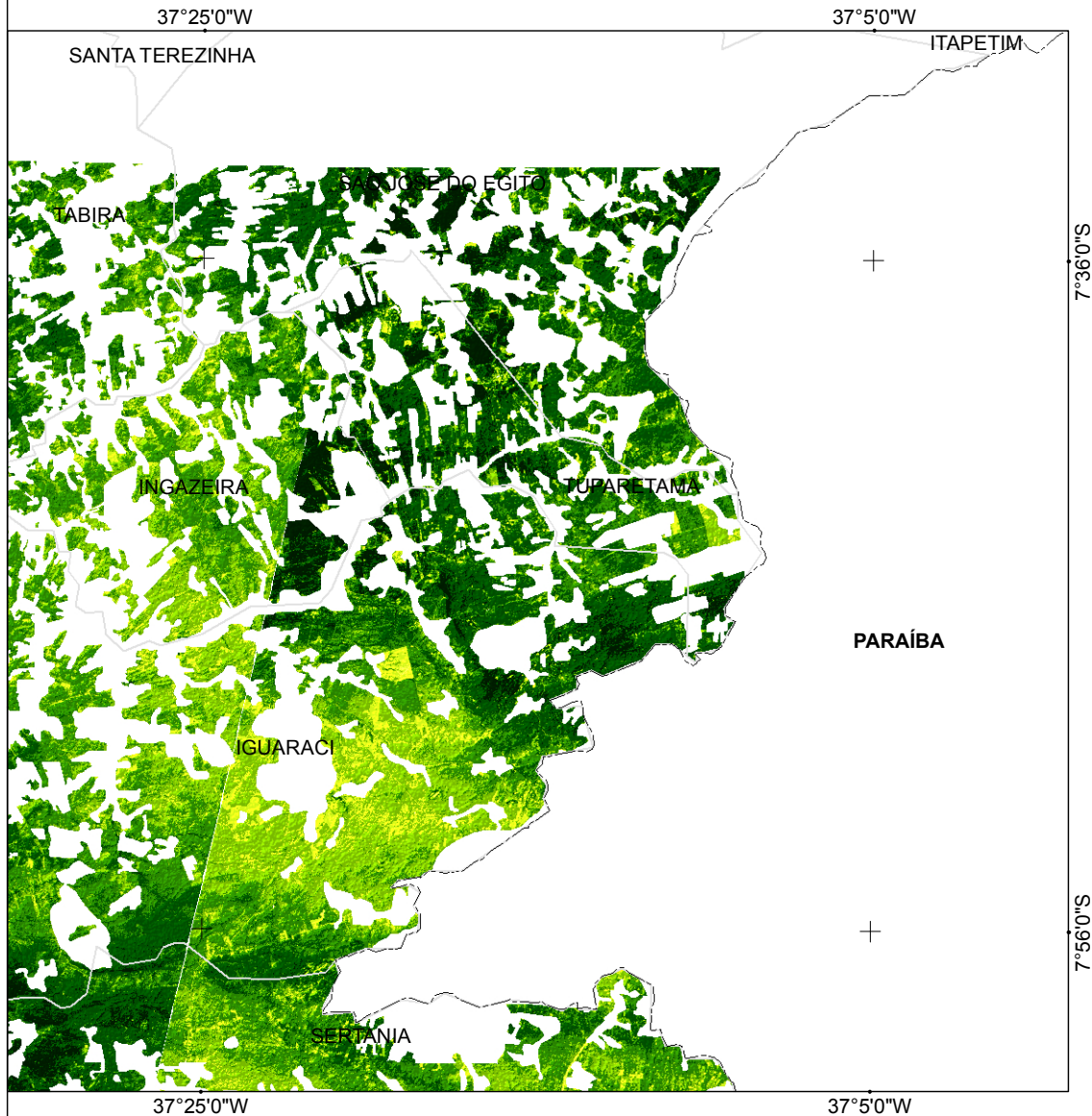
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 336-082
CARTA - Nº: SB-24-Z-C-VI
NOME: Afogados da Ingazeira

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

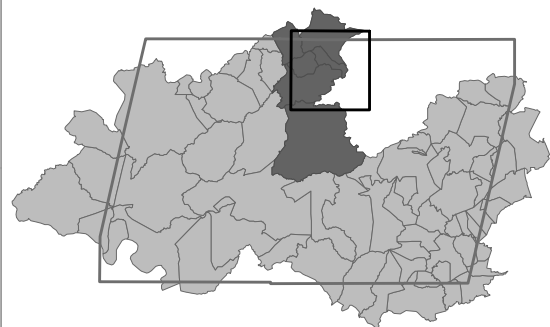
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO

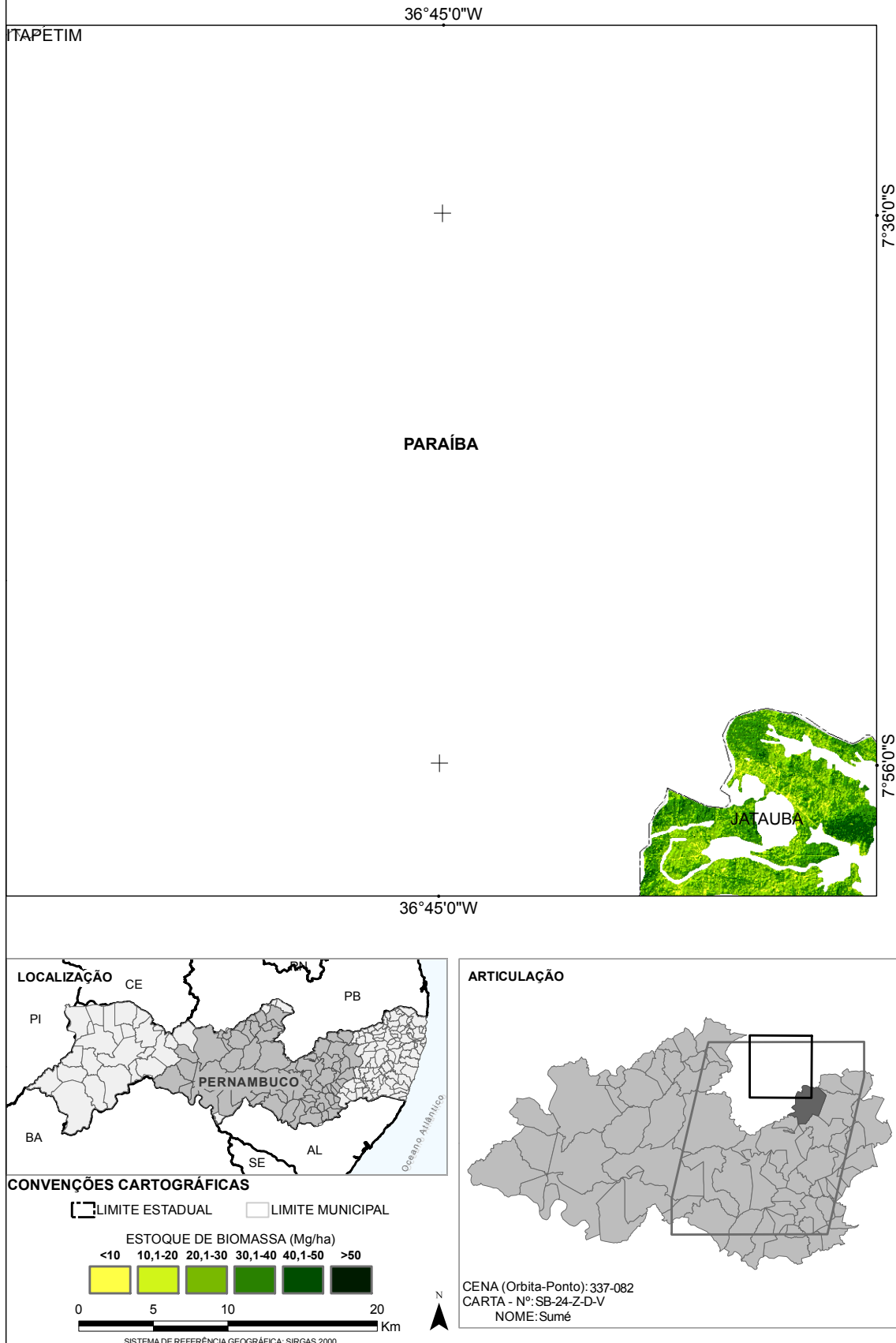


CENA (Orbita-Ponto): 337-082 e 336-082

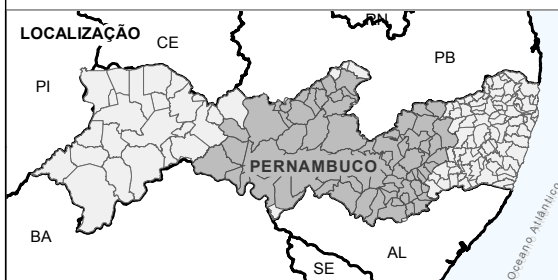
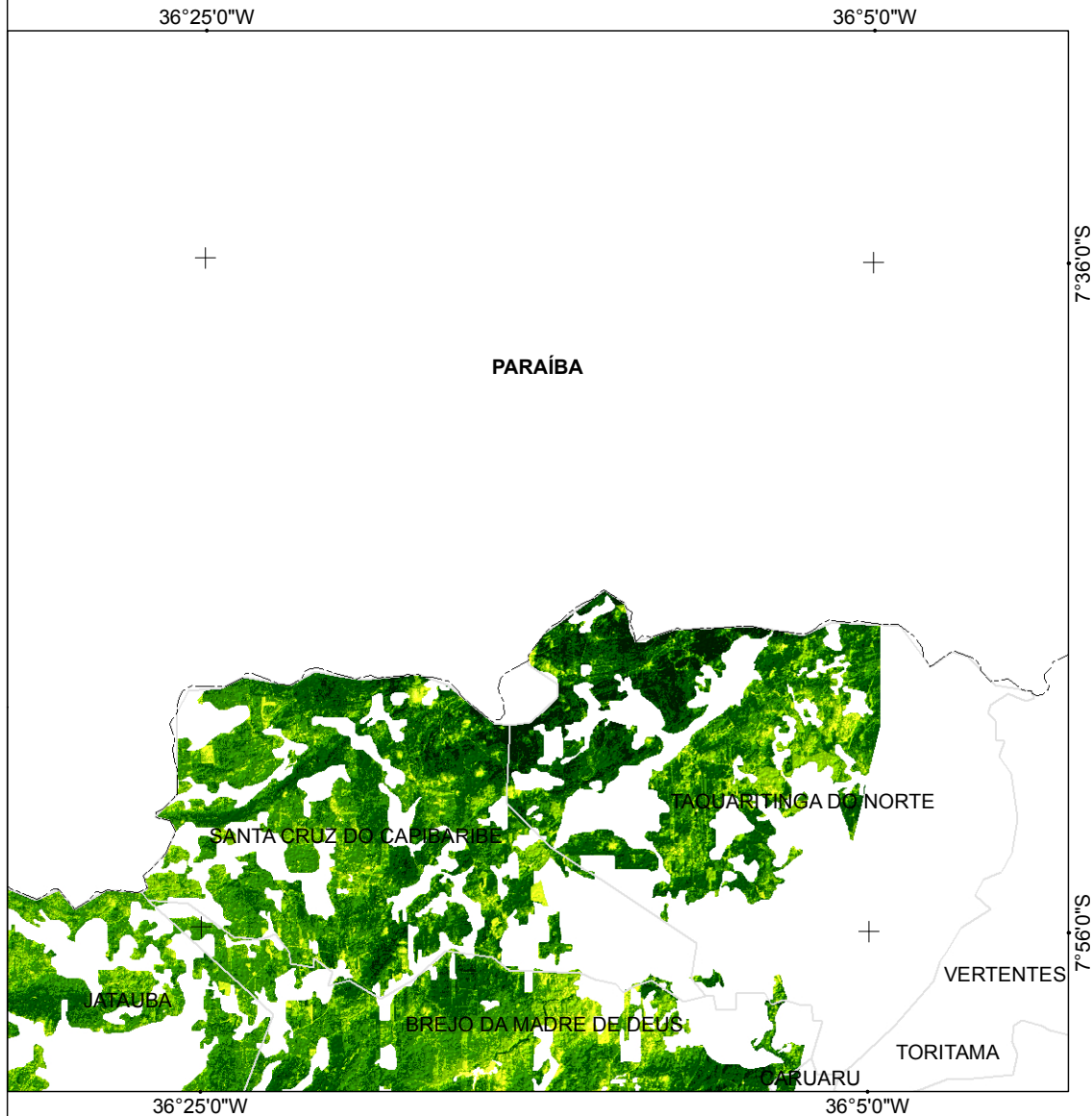
CARTA - Nº: SB-24-Z-D-IV

NOME: Afogados da Ingazeira - Folha Prata (Monteiro)

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

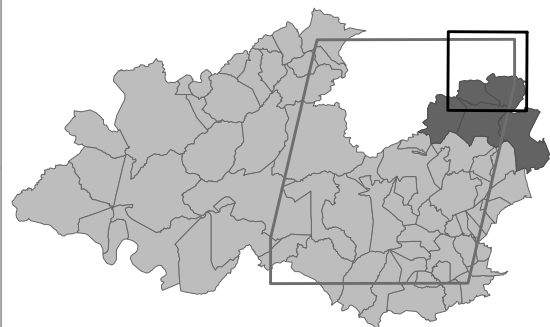
LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

0 5 10 20 Km

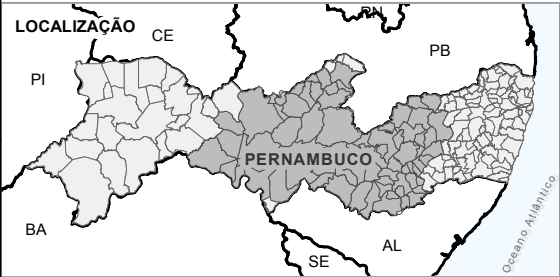
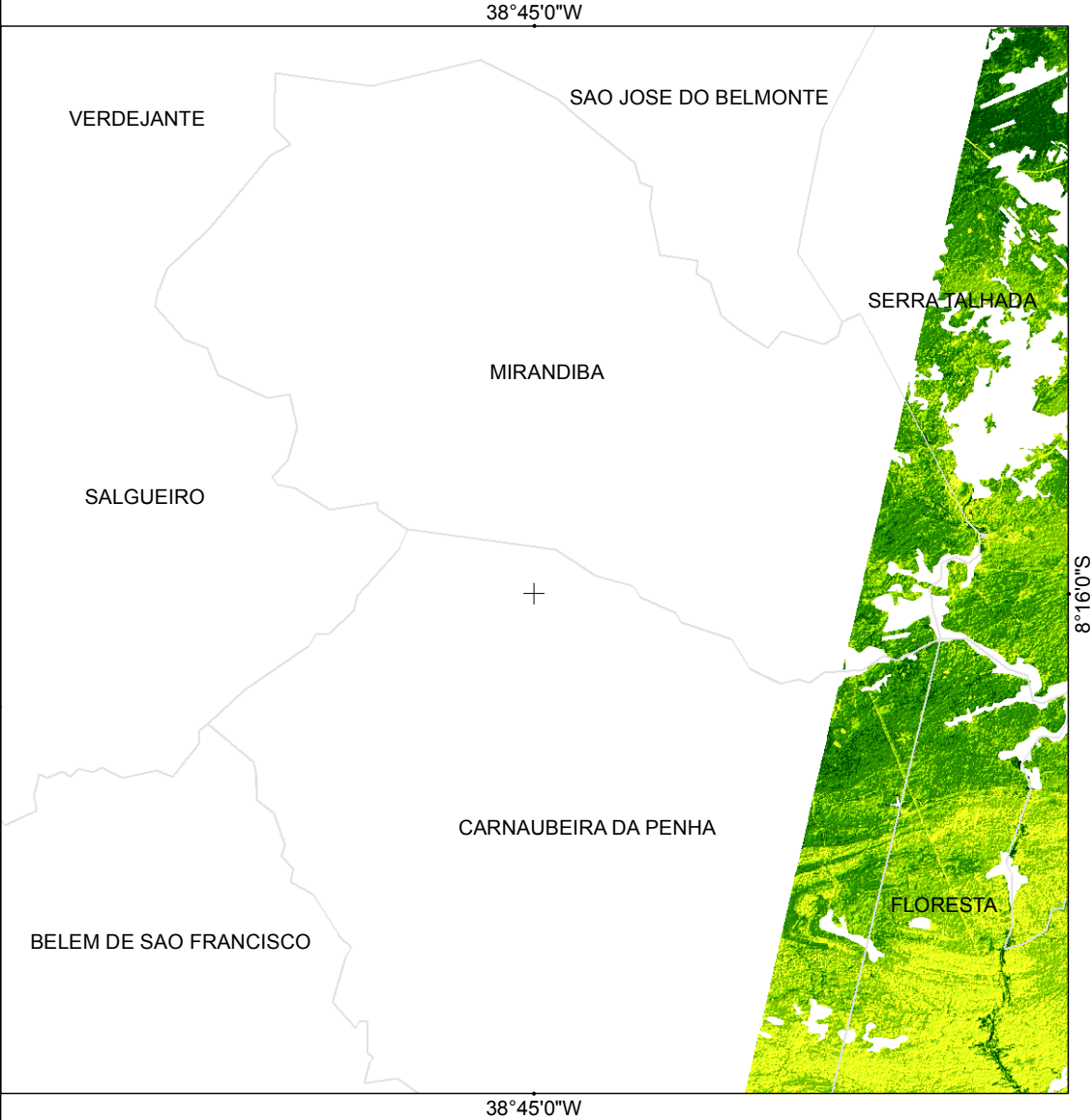
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SB-24-Z-D-VI
 NOME: Santa Cruz do Capibaribe

**MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA
PARA AS ÁREAS DE FLORESTA
EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

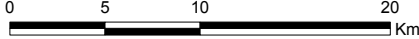


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

— LIMITE ESTADUAL □ LIMITE MUNICIPAL

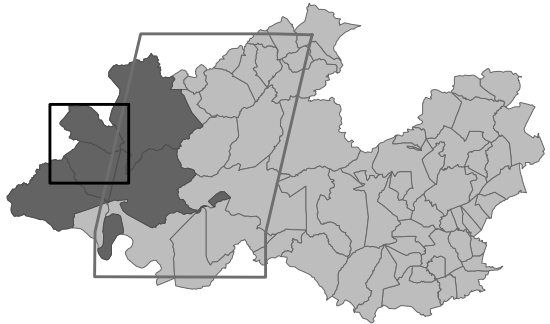
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



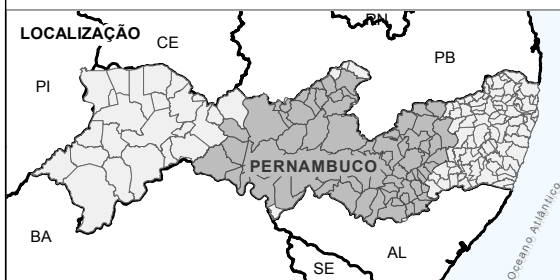
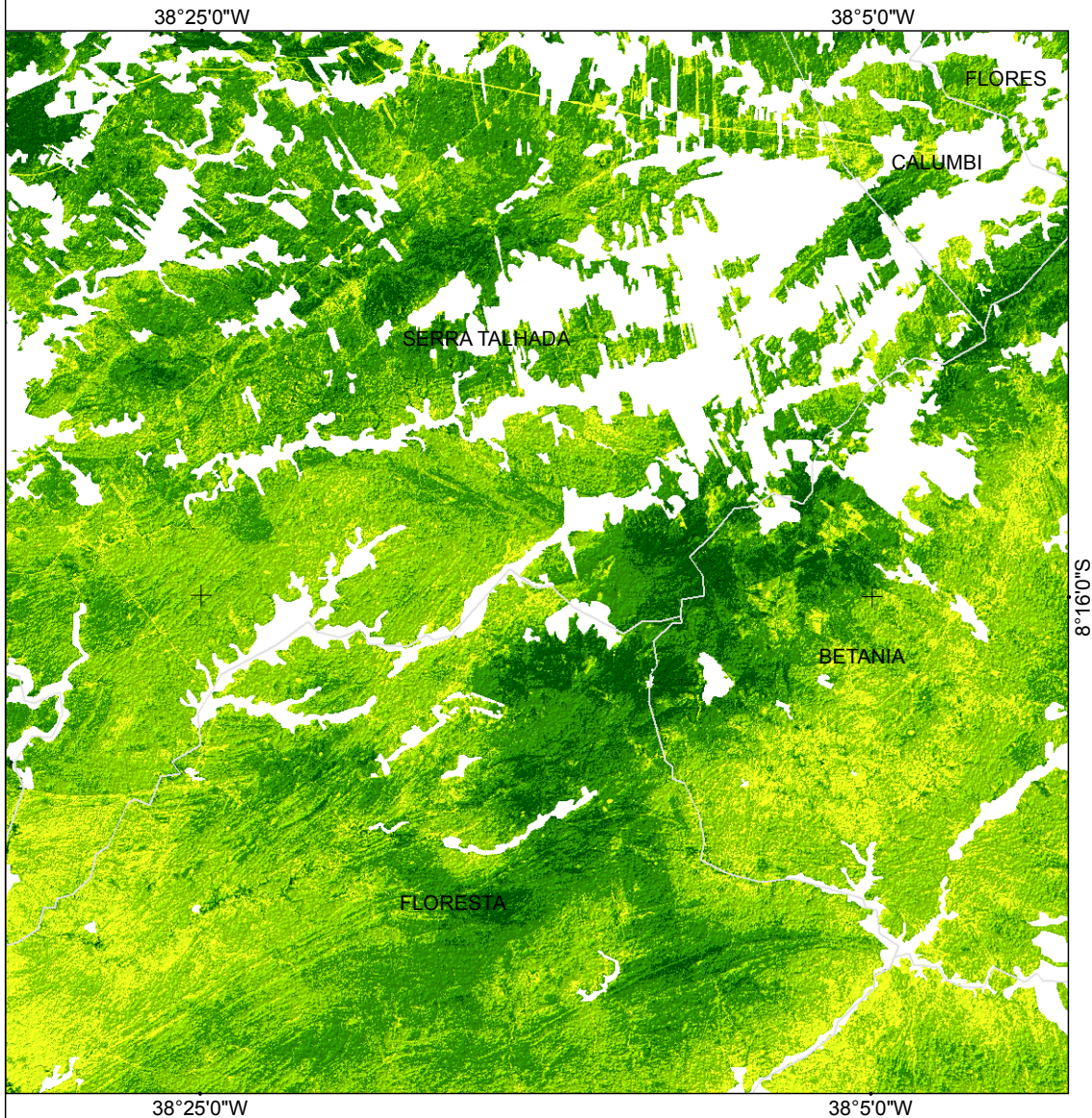
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 336-082
CARTA - Nº: SC-24-X-A-I
NOME: Mirandiba

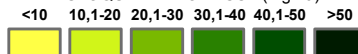
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

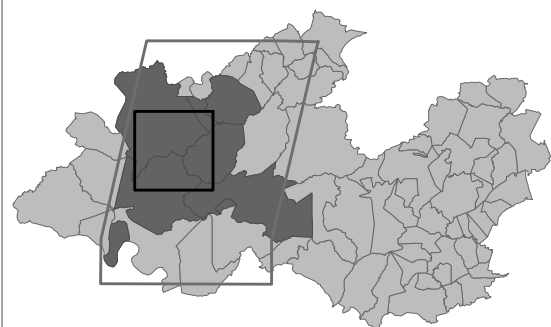
LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)



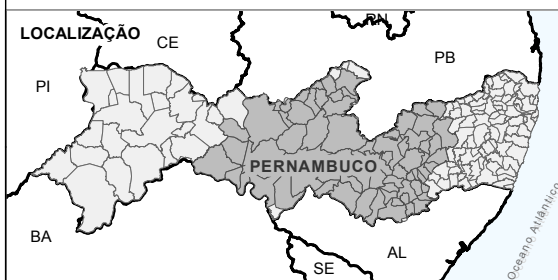
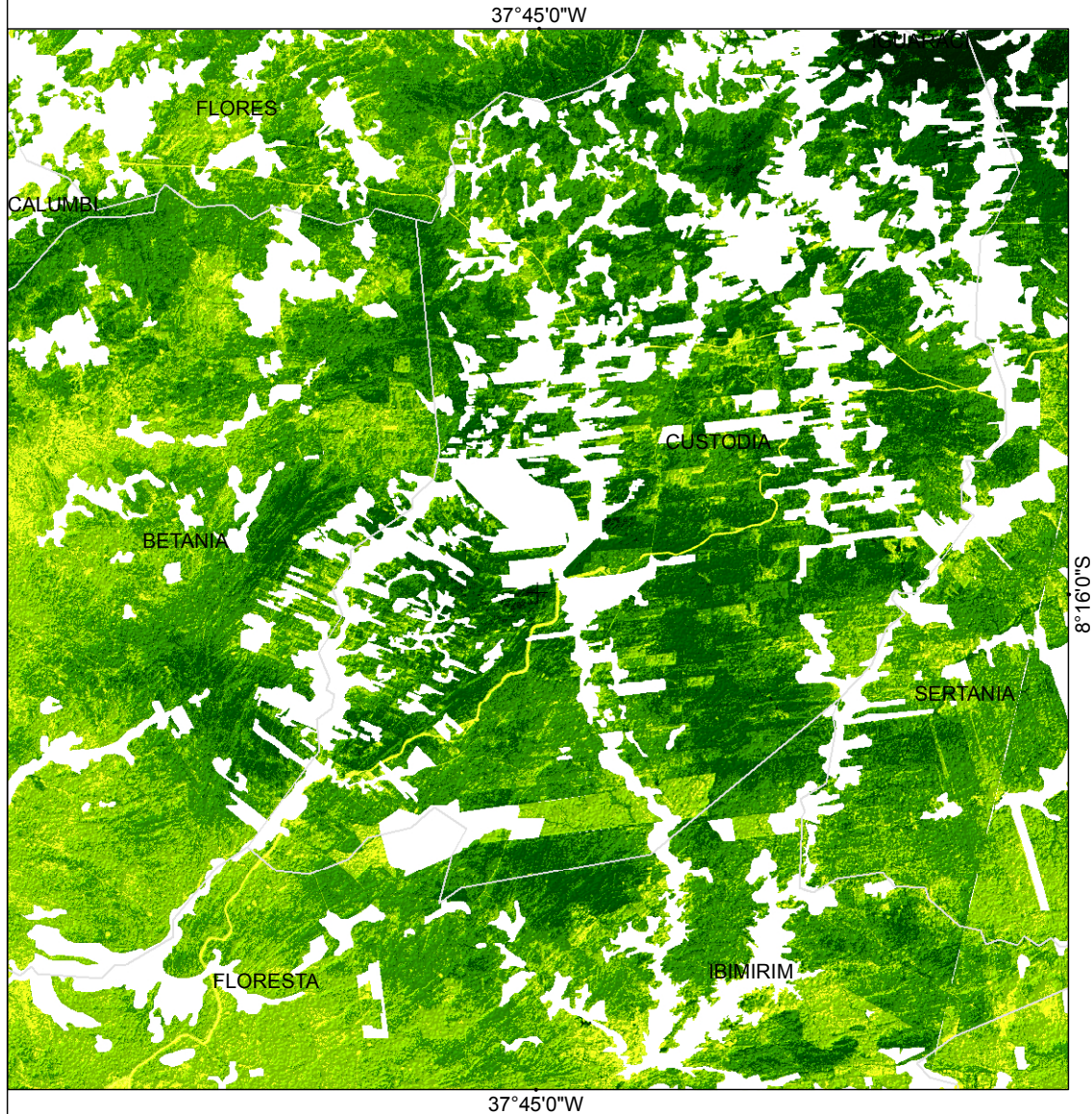
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 336-082
 CARTA - N°: SC-24-X-A-II
 NOME: Betânia

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

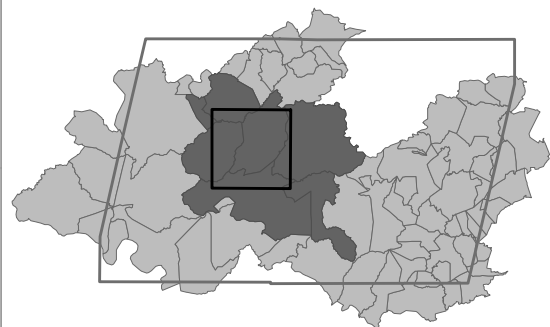
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



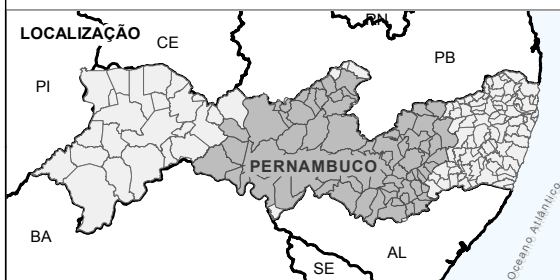
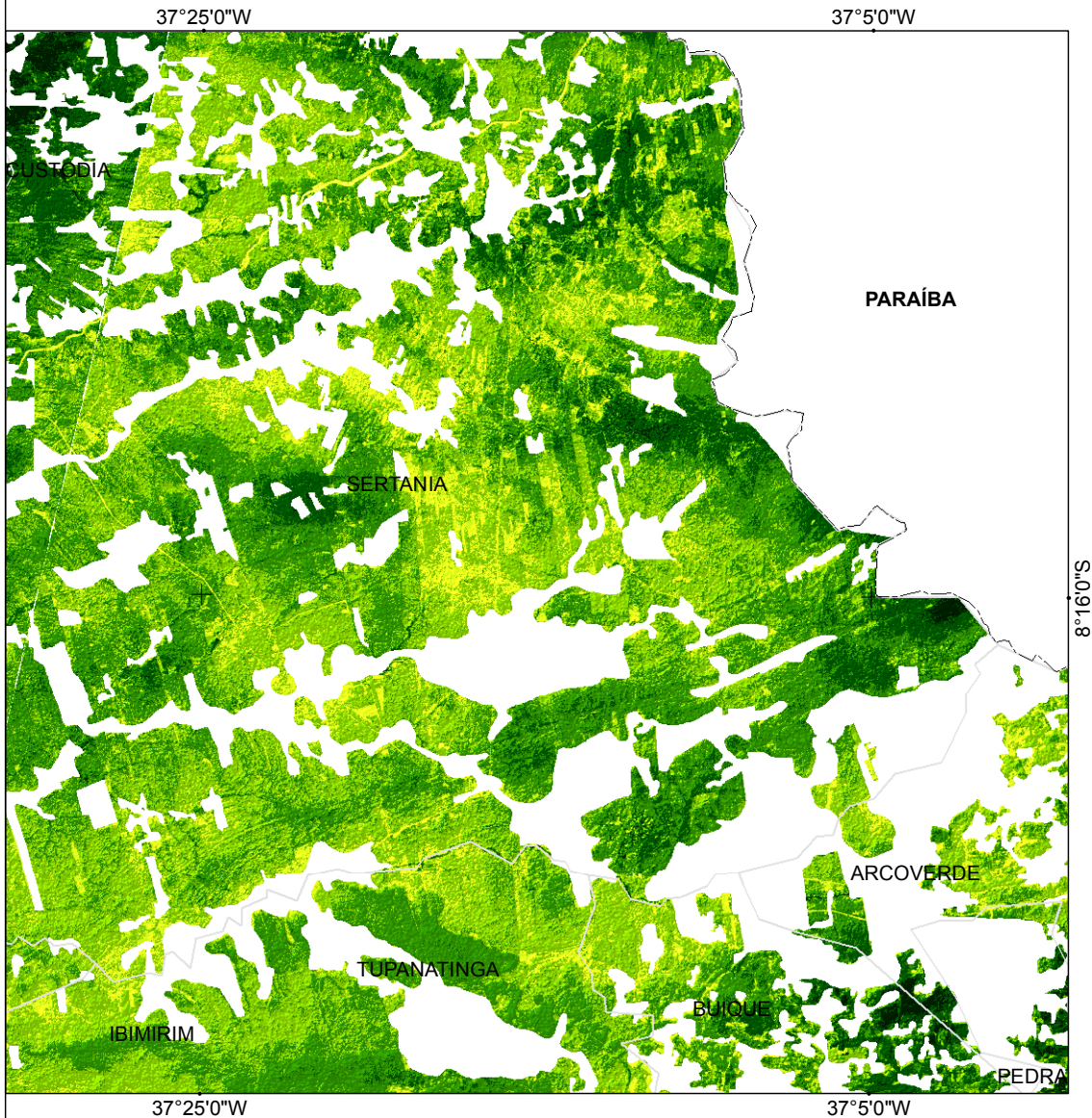
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082 e 336-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-A-III
 NOME: Custódia

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

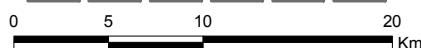


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

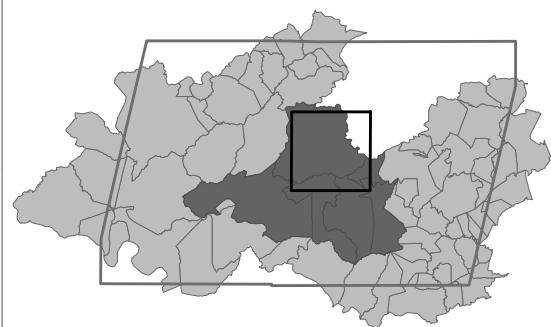
<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50



SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000



ARTICULAÇÃO

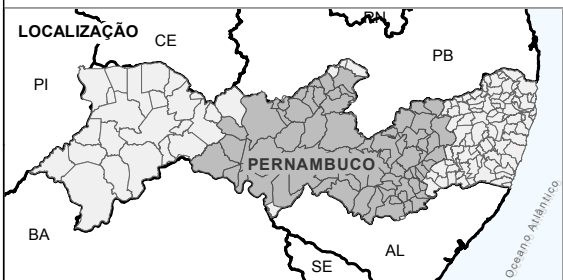
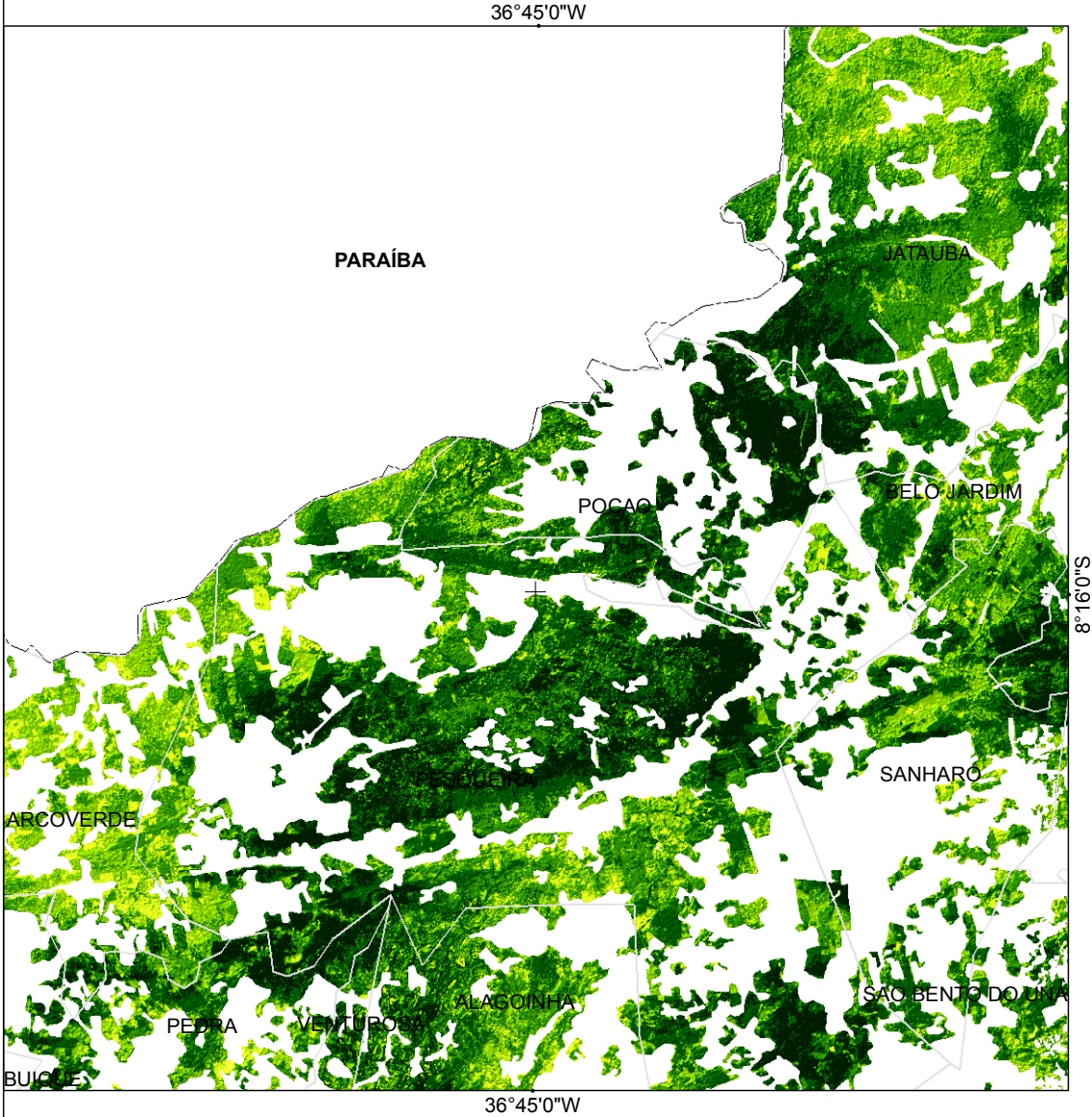


CENA (Orbita-Ponto): 337-082 e 336-082

CARTA - Nº: SC-24-X-B-I

NOME: Sertânia

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

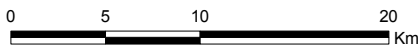


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

— LIMITE ESTADUAL — LIMITE MUNICIPAL

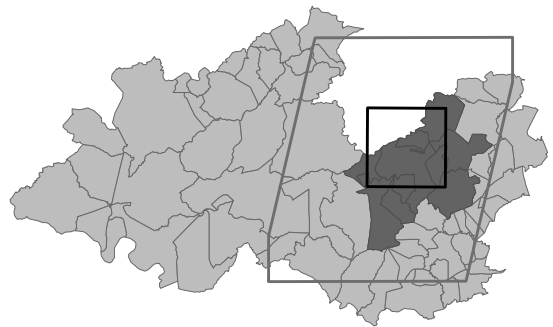
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



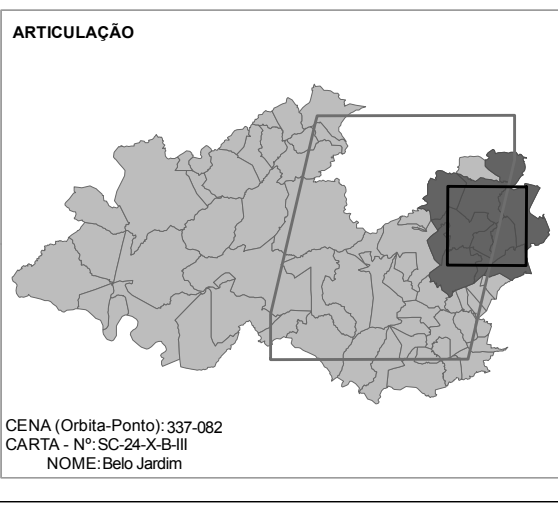
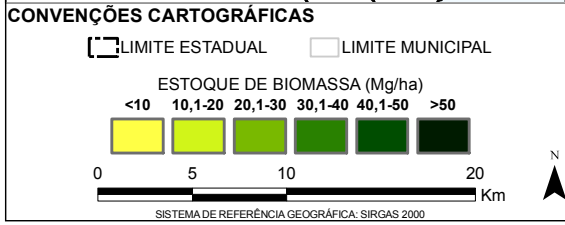
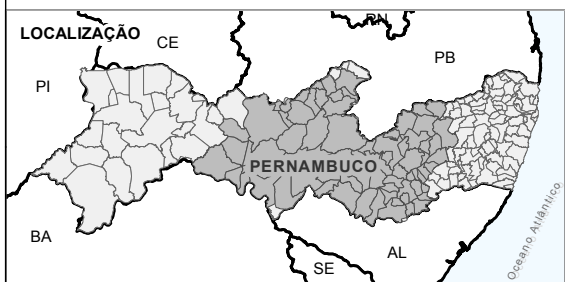
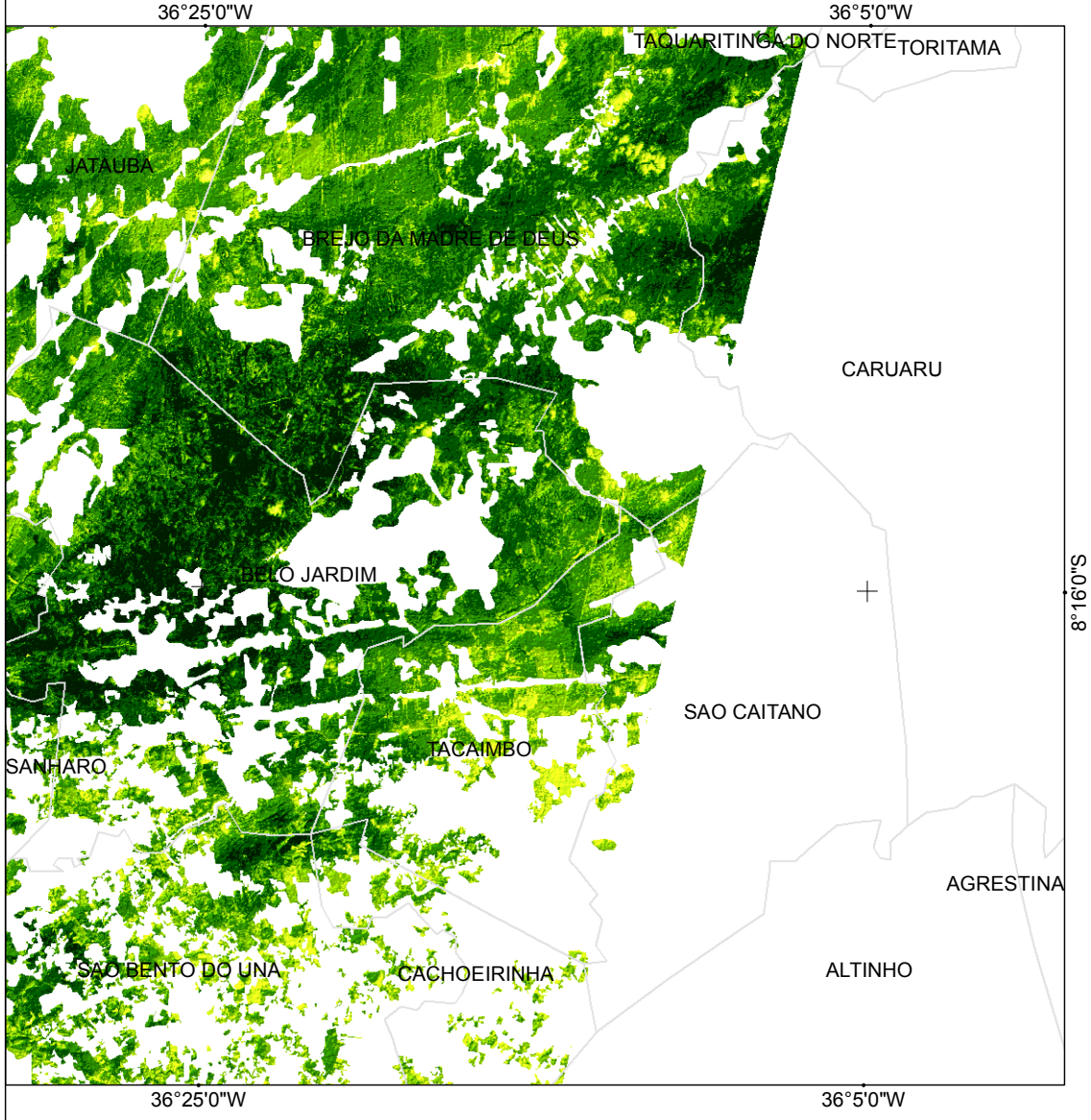
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO

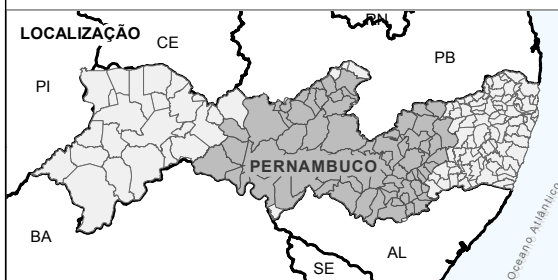
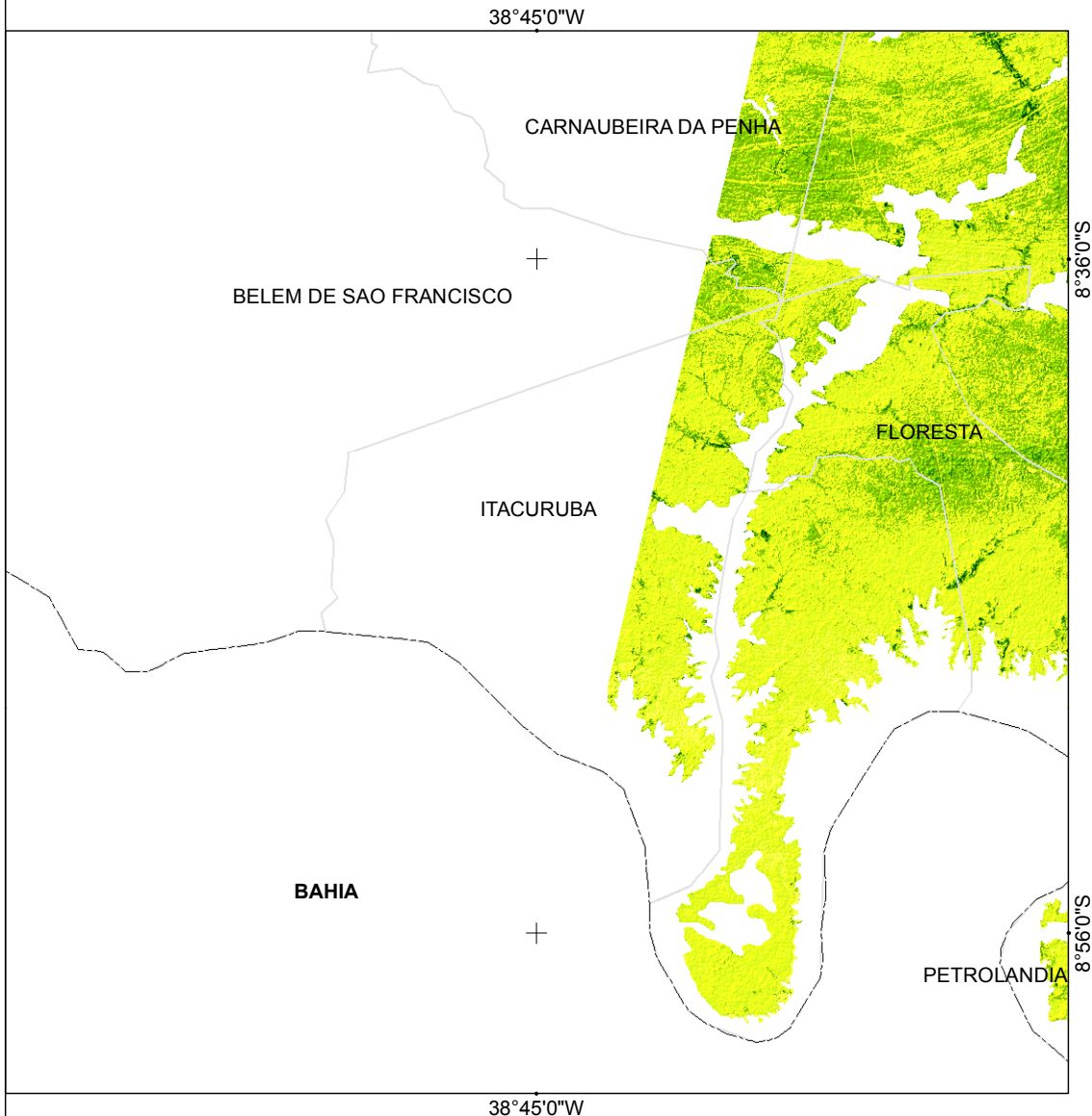


CENA (Orbita-Ponto): 337-082
CARTA - Nº: SC-24-X-B-II
NOME: Pesqueira

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

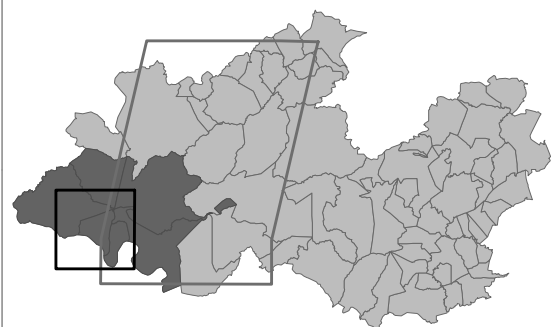
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

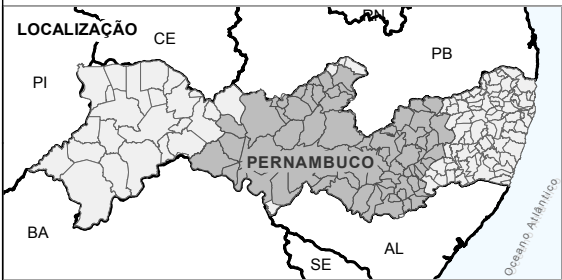
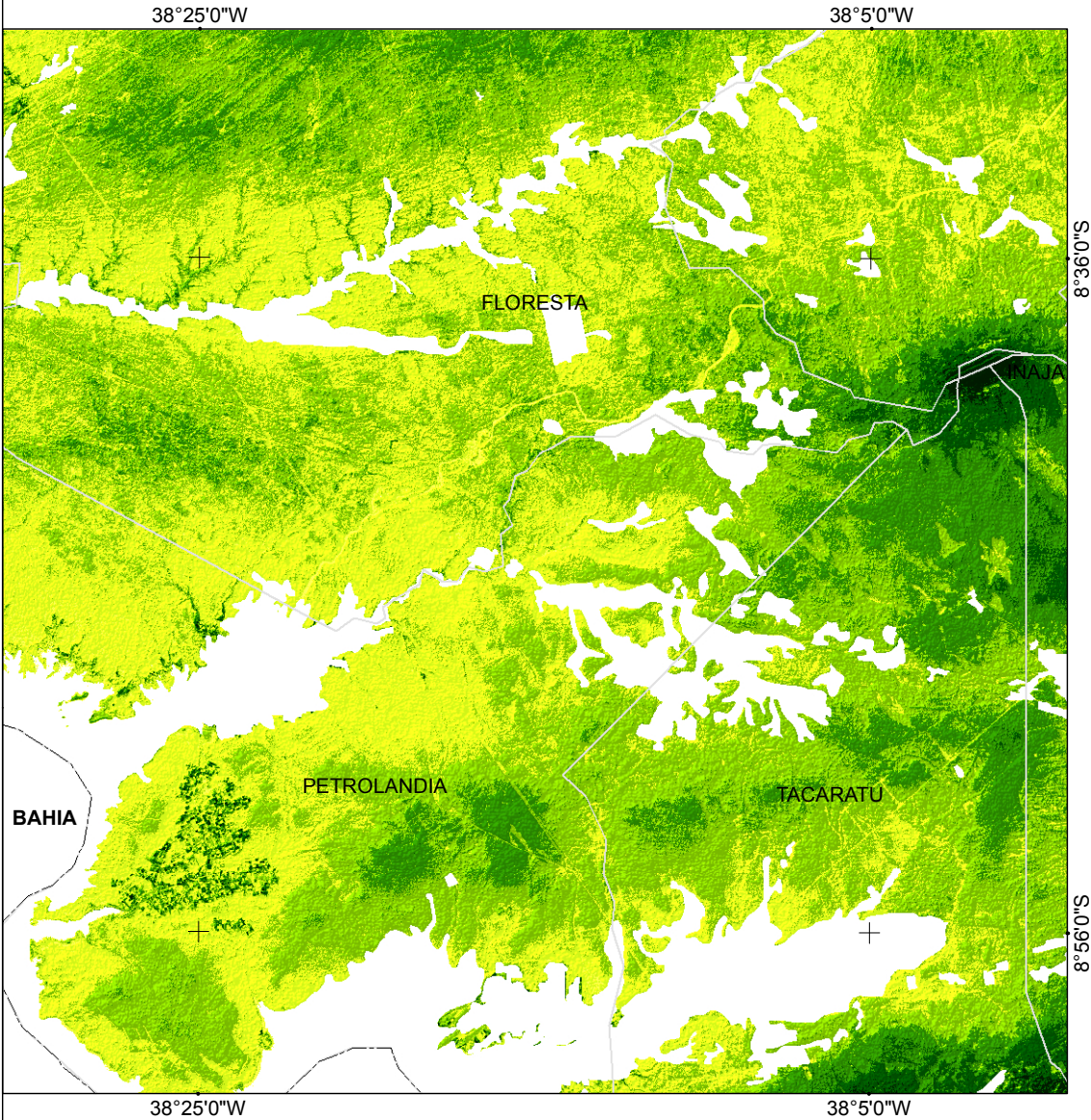
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 336-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-A-IV
 NOME: Floresta

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

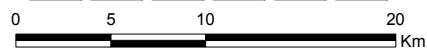


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

— LIMITE ESTADUAL □ LIMITE MUNICIPAL

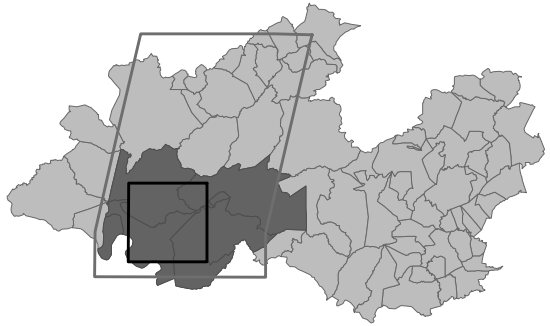
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



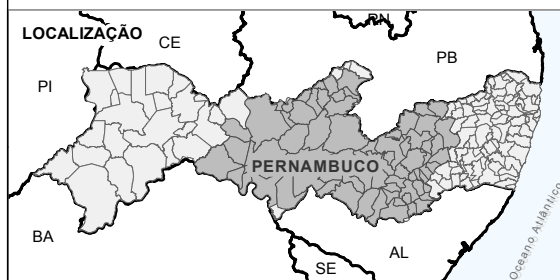
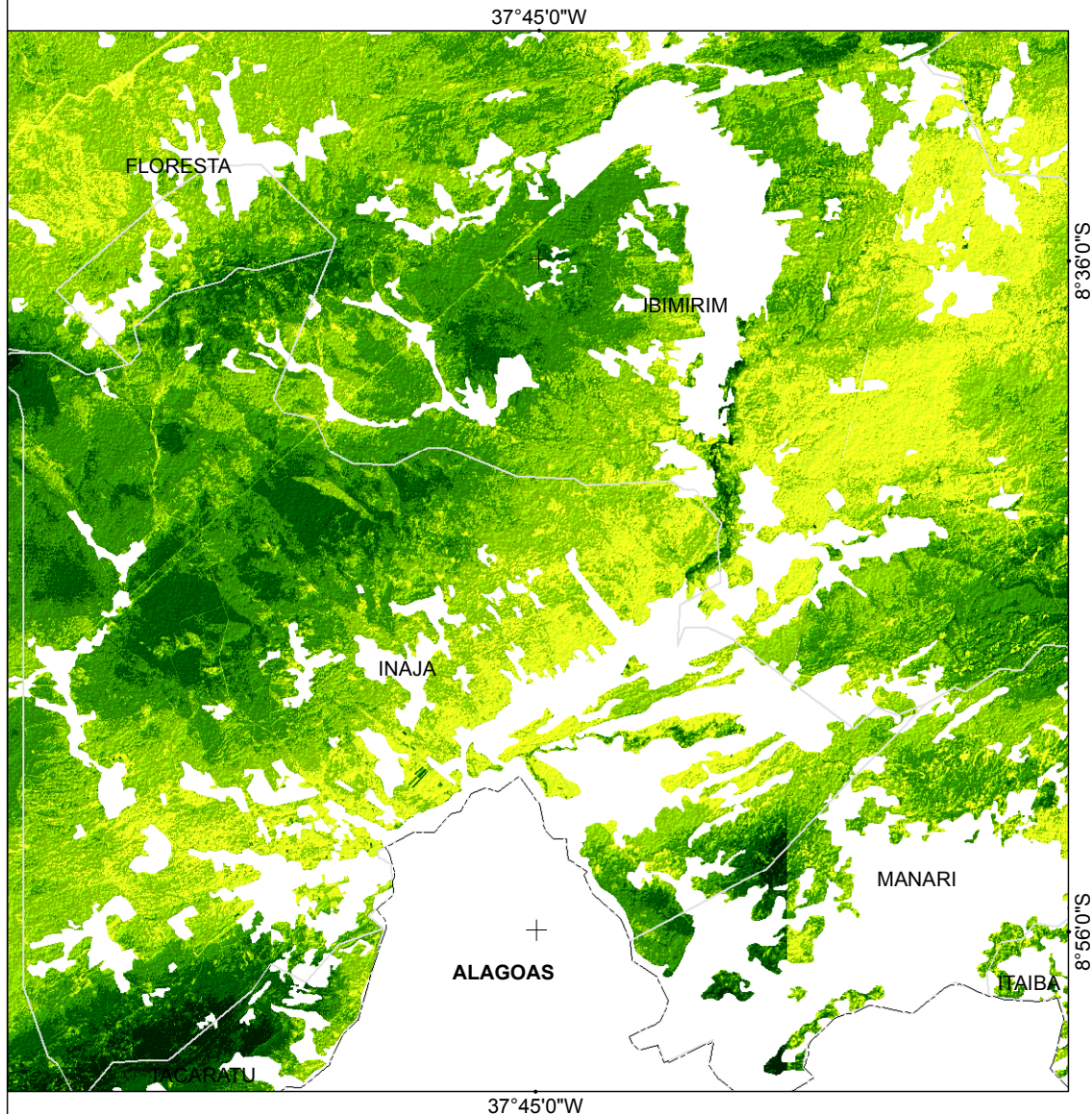
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 336-082
CARTA - Nº: SC-24-X-A-V
NOME: Ait

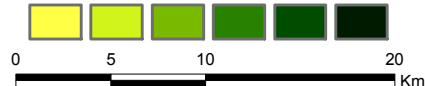
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

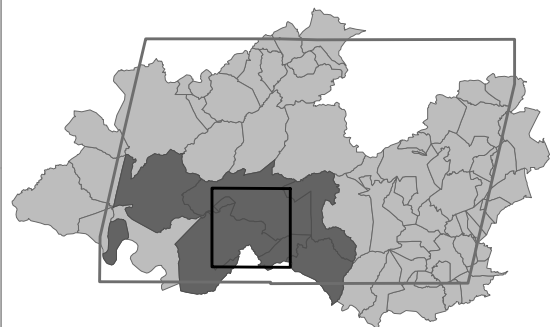
LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)



SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO

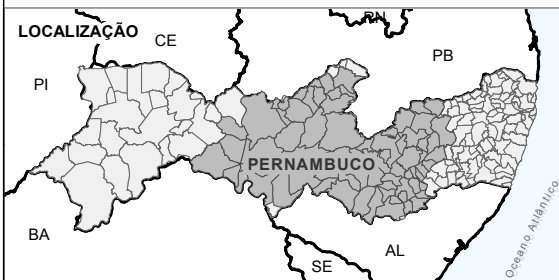
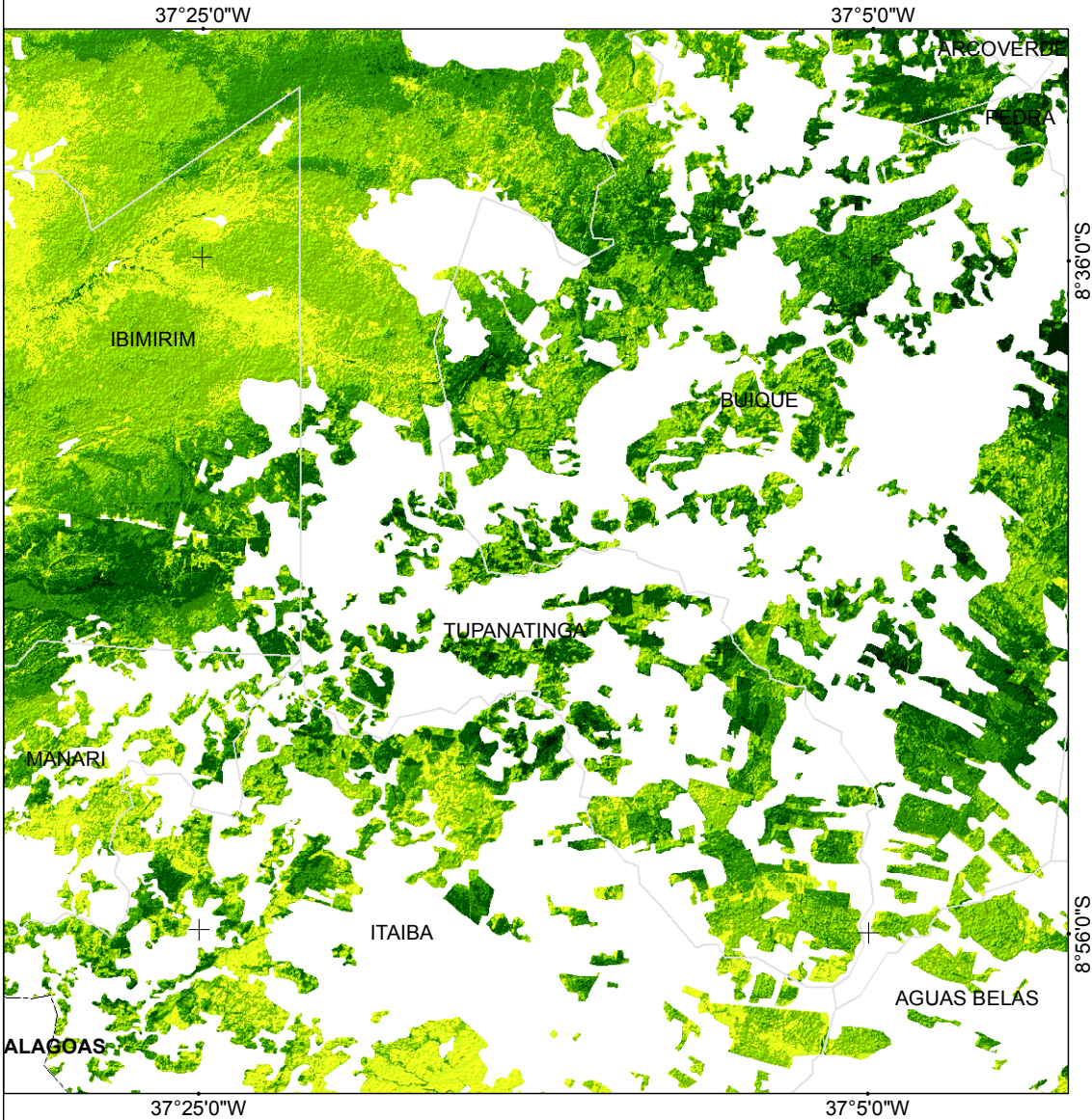


CENA (Orbita-Ponto): 337-082 e 336-082

CARTA - Nº: SC-24-X-A-VI

NOME: Poço da Cruz

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

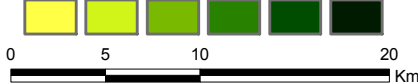


CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

— LIMITE ESTADUAL □ LIMITE MUNICIPAL

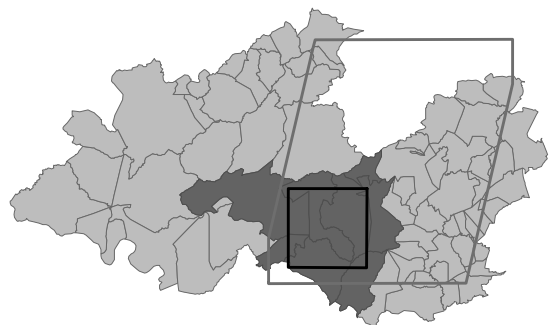
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10 10,1-20 20,1-30 30,1-40 40,1-50 >50



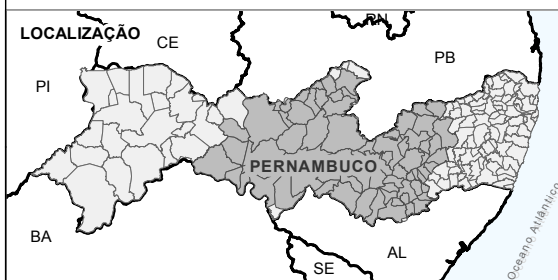
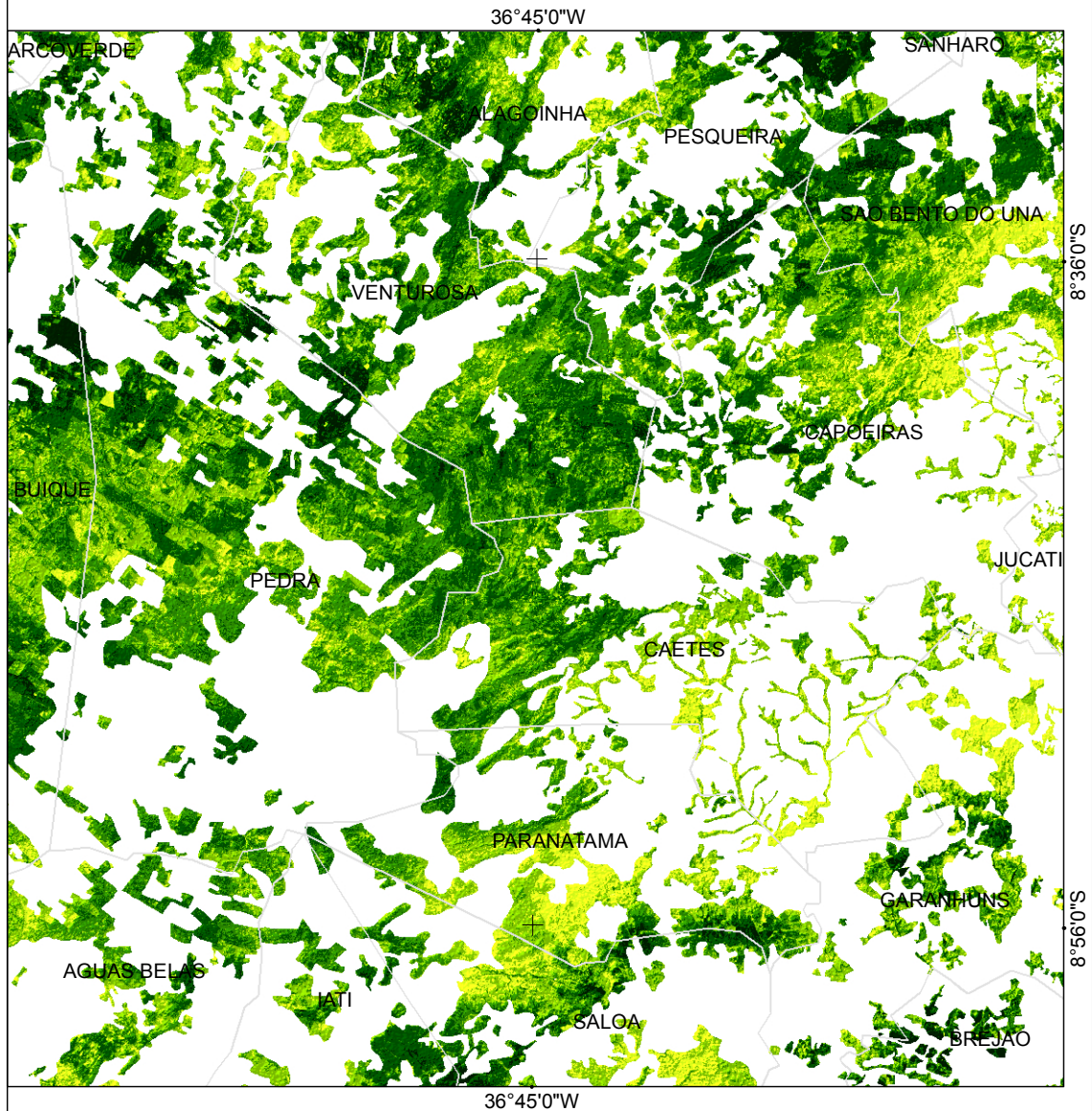
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
CARTA - Nº: SC-24-X-B-IV
NOME: Buique

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

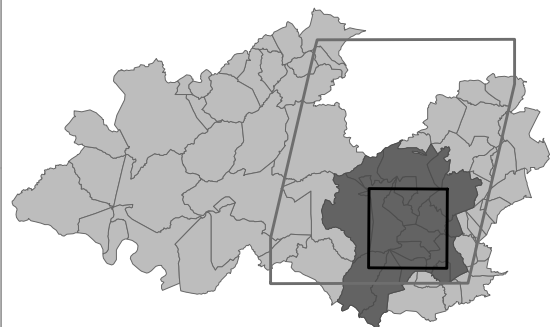
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

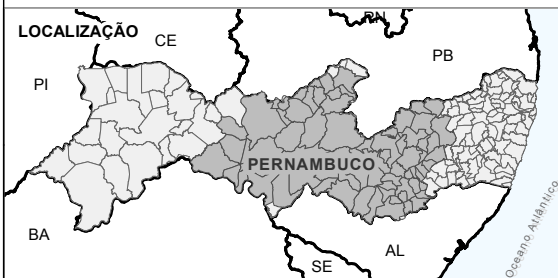
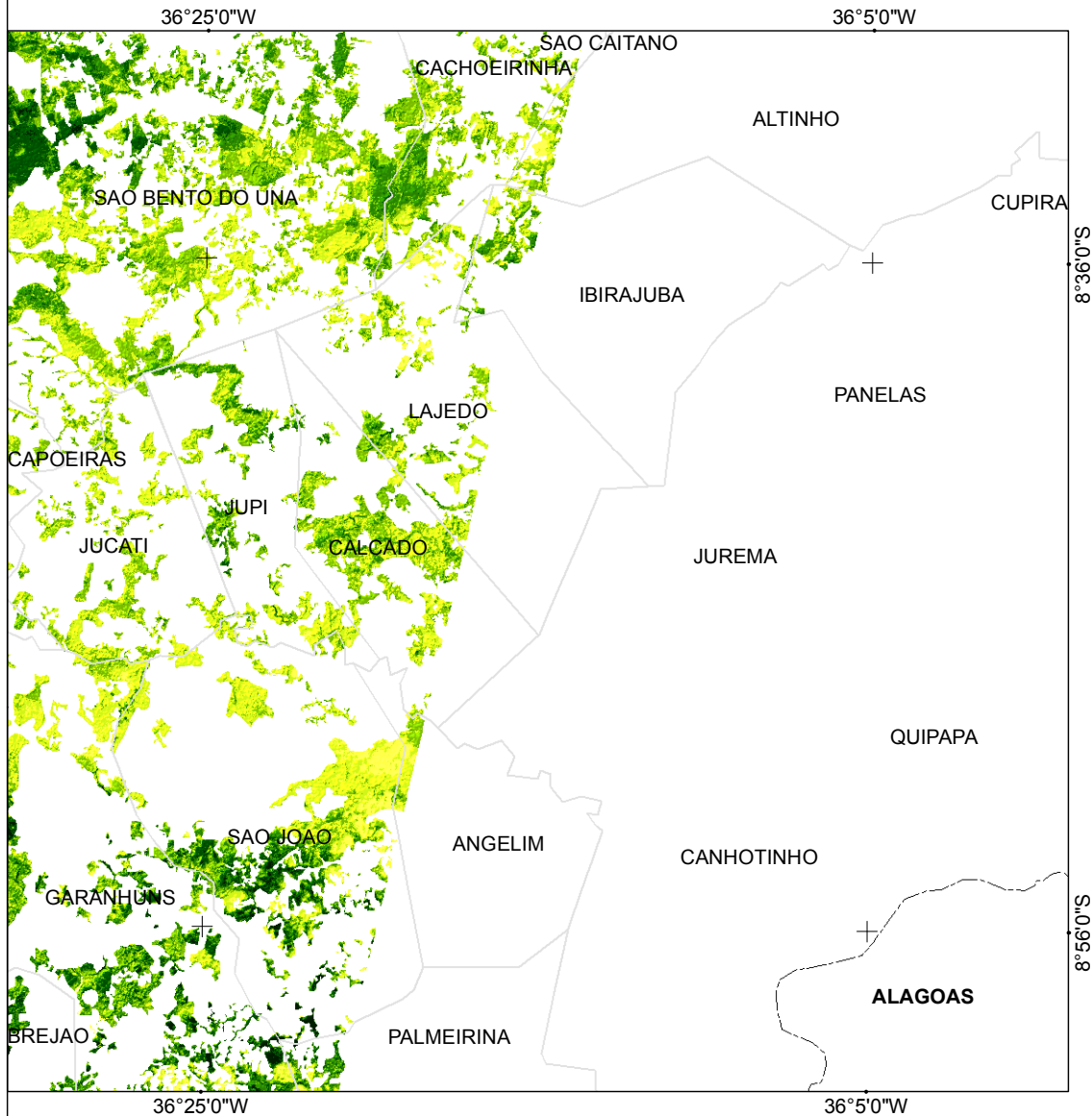
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-B-V
 NOME: Venturosa

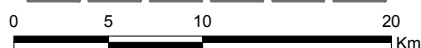
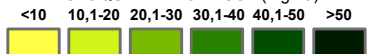
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

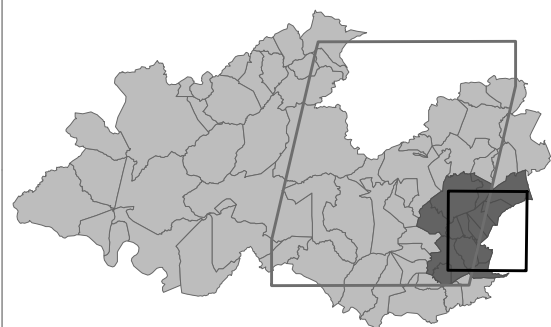
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)



SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

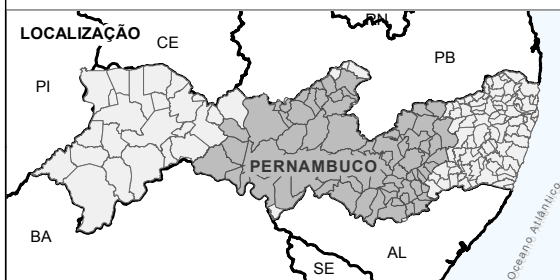
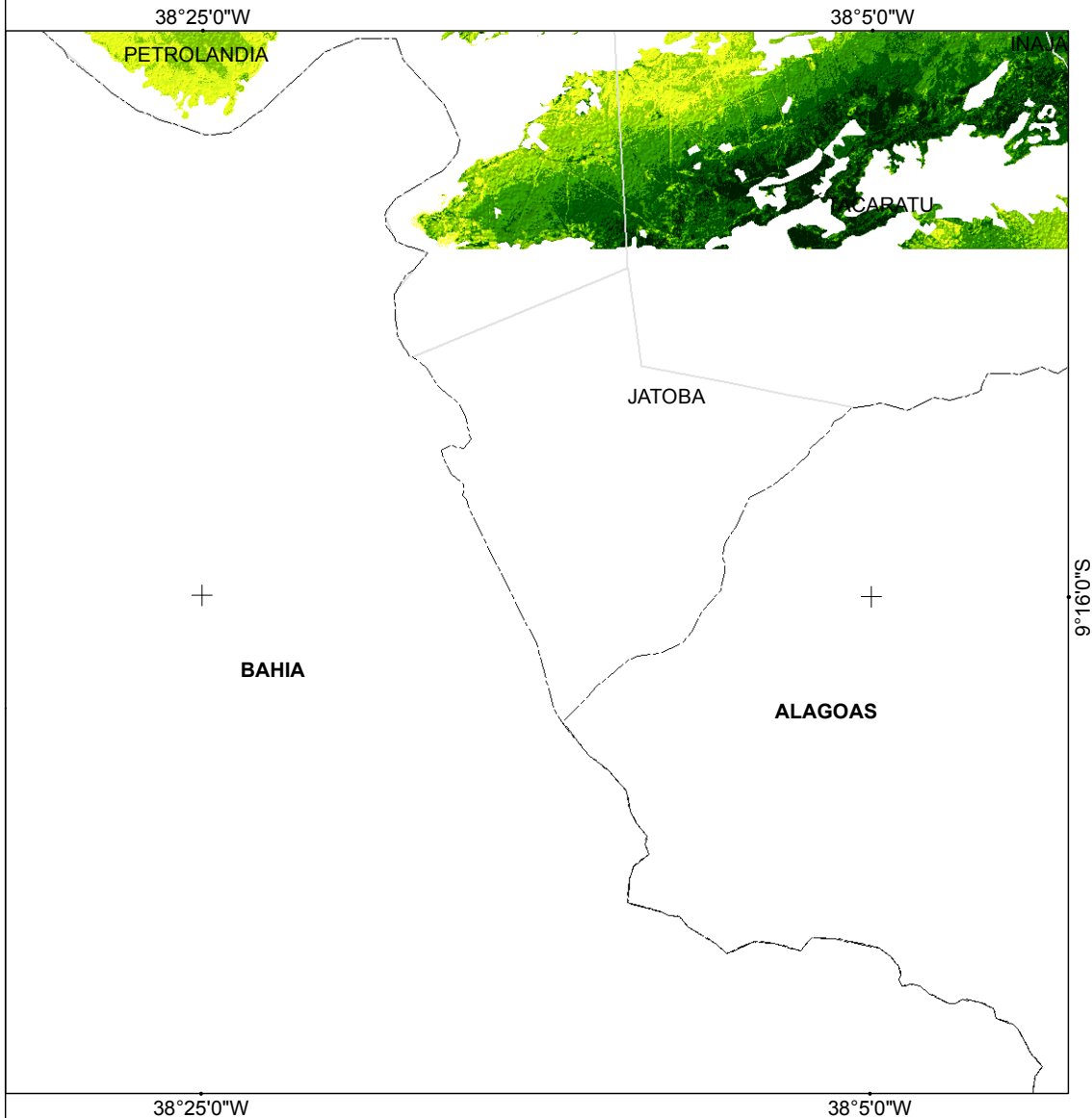


ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-B-VI
 NOME: Garanhuns

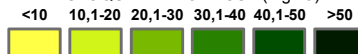
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

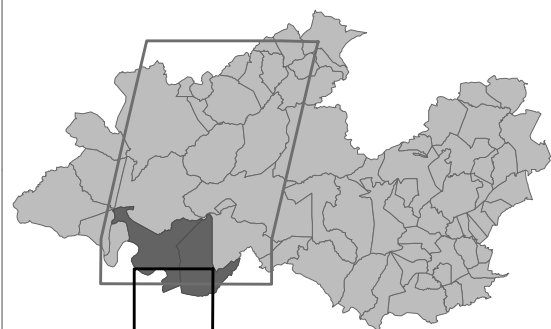
LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)



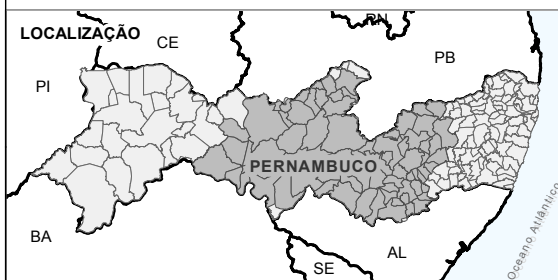
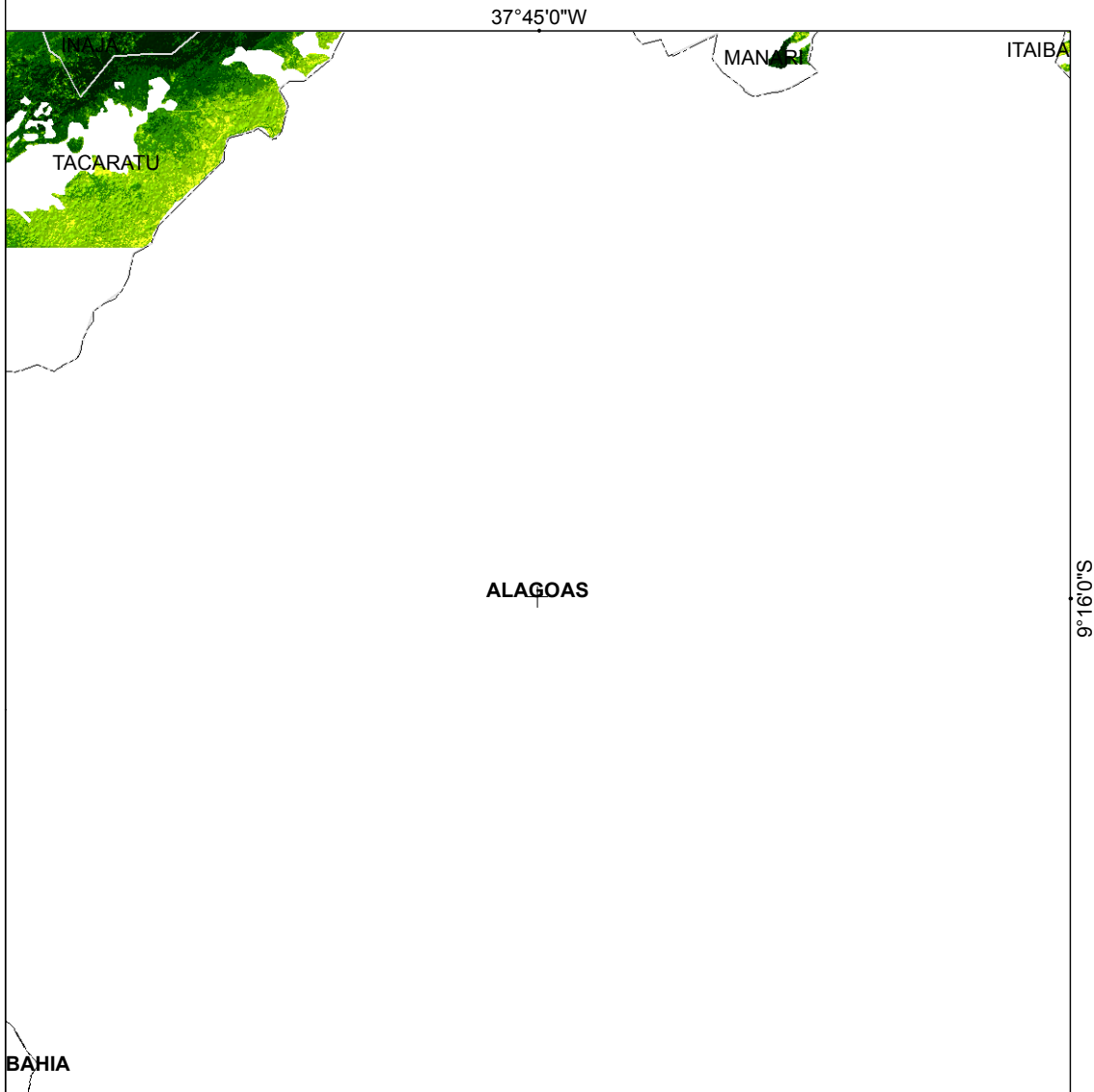
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Point): 336-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-C-II
 NOME: Paulo Afonso

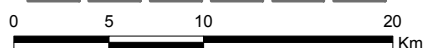
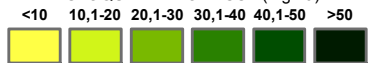
MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

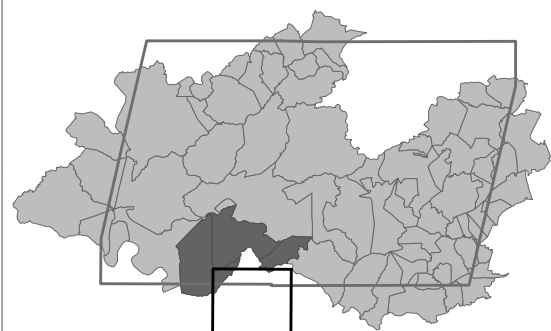
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)



SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

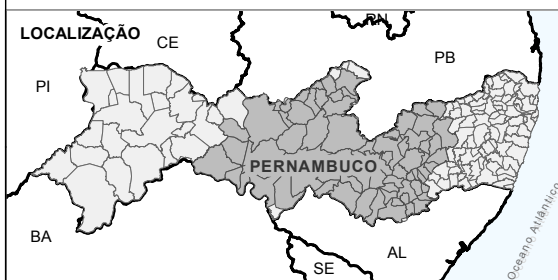
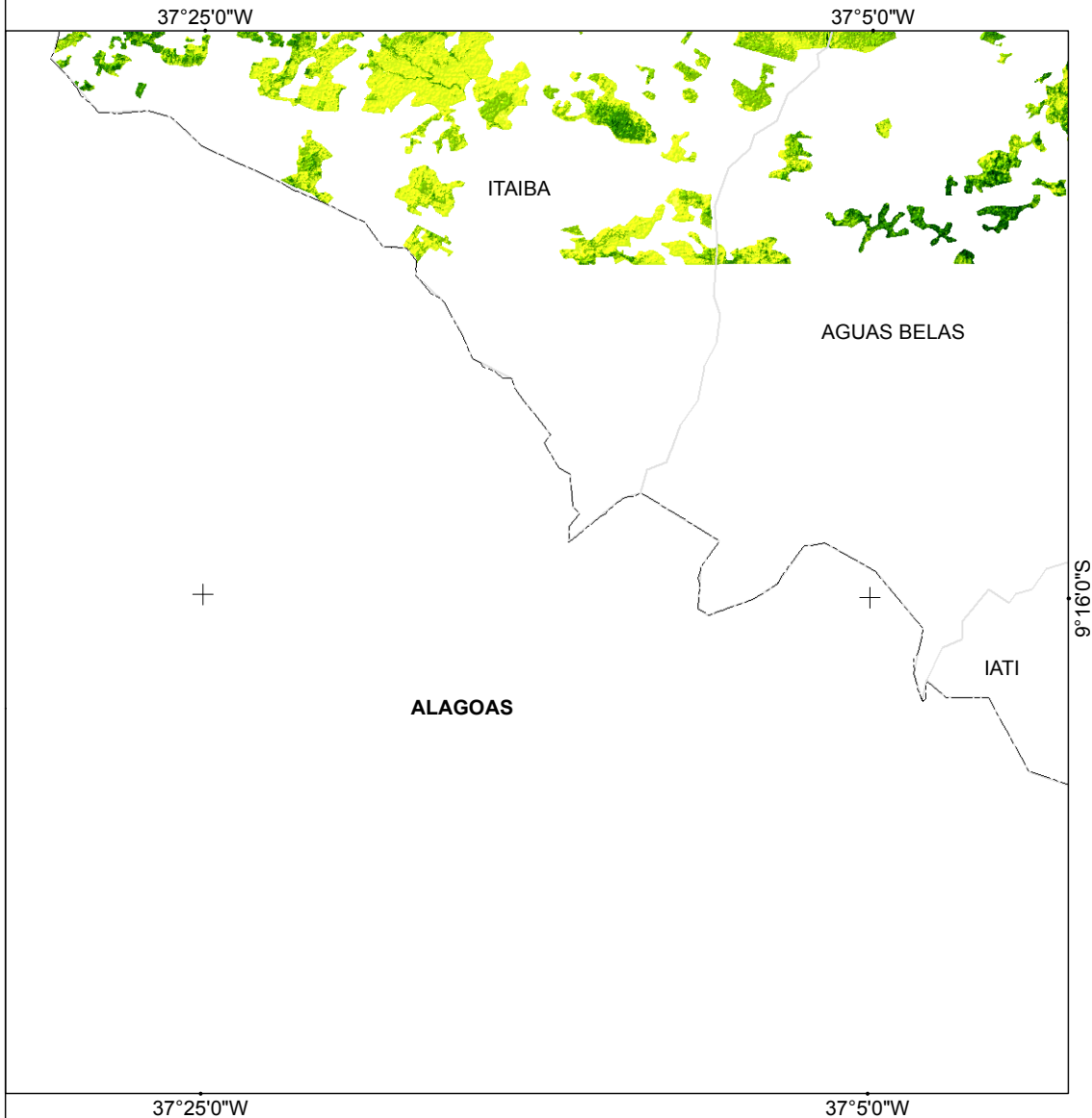


ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082 e 336-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-C-III
 NOME: Delmiro Golveia

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

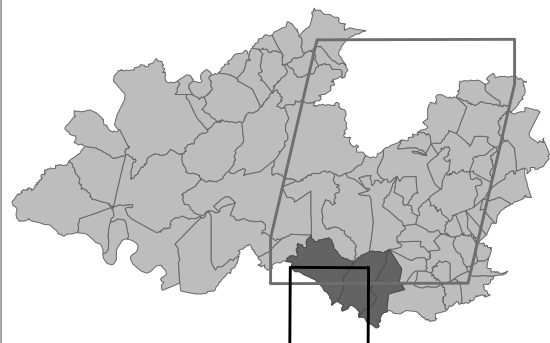
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

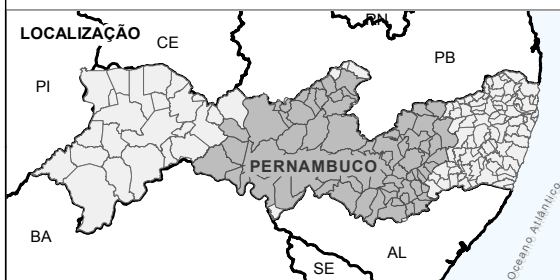
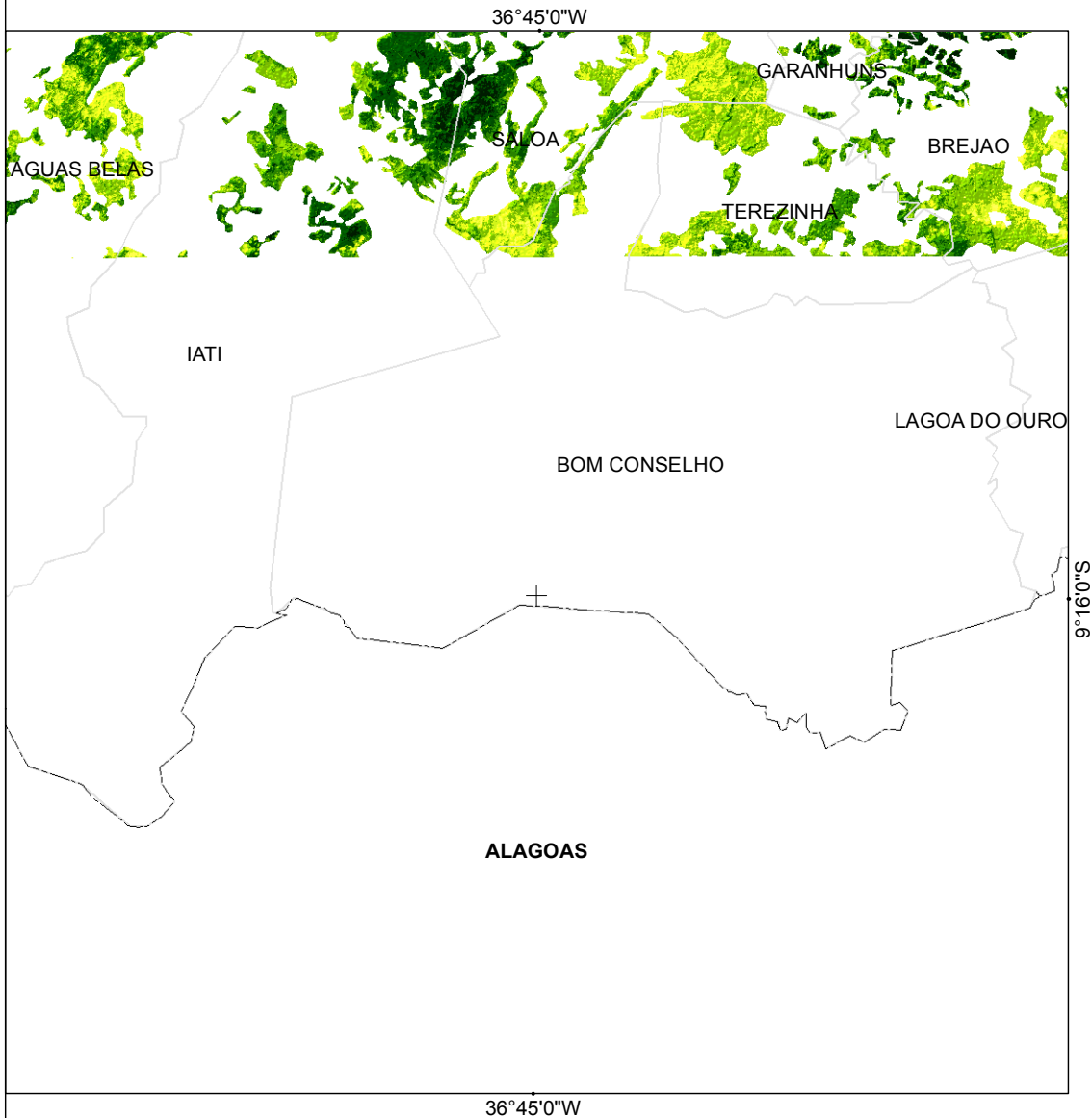
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-D-I
 NOME: Santana do Ipanema

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

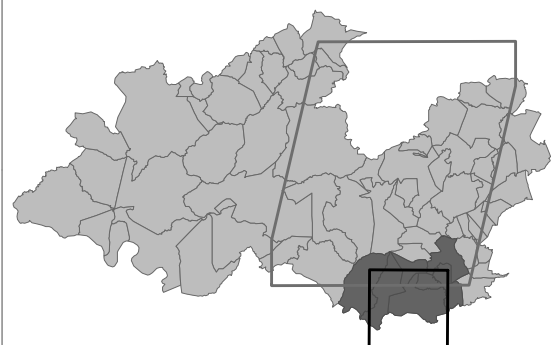
ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

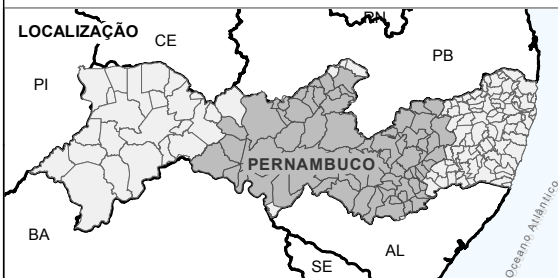
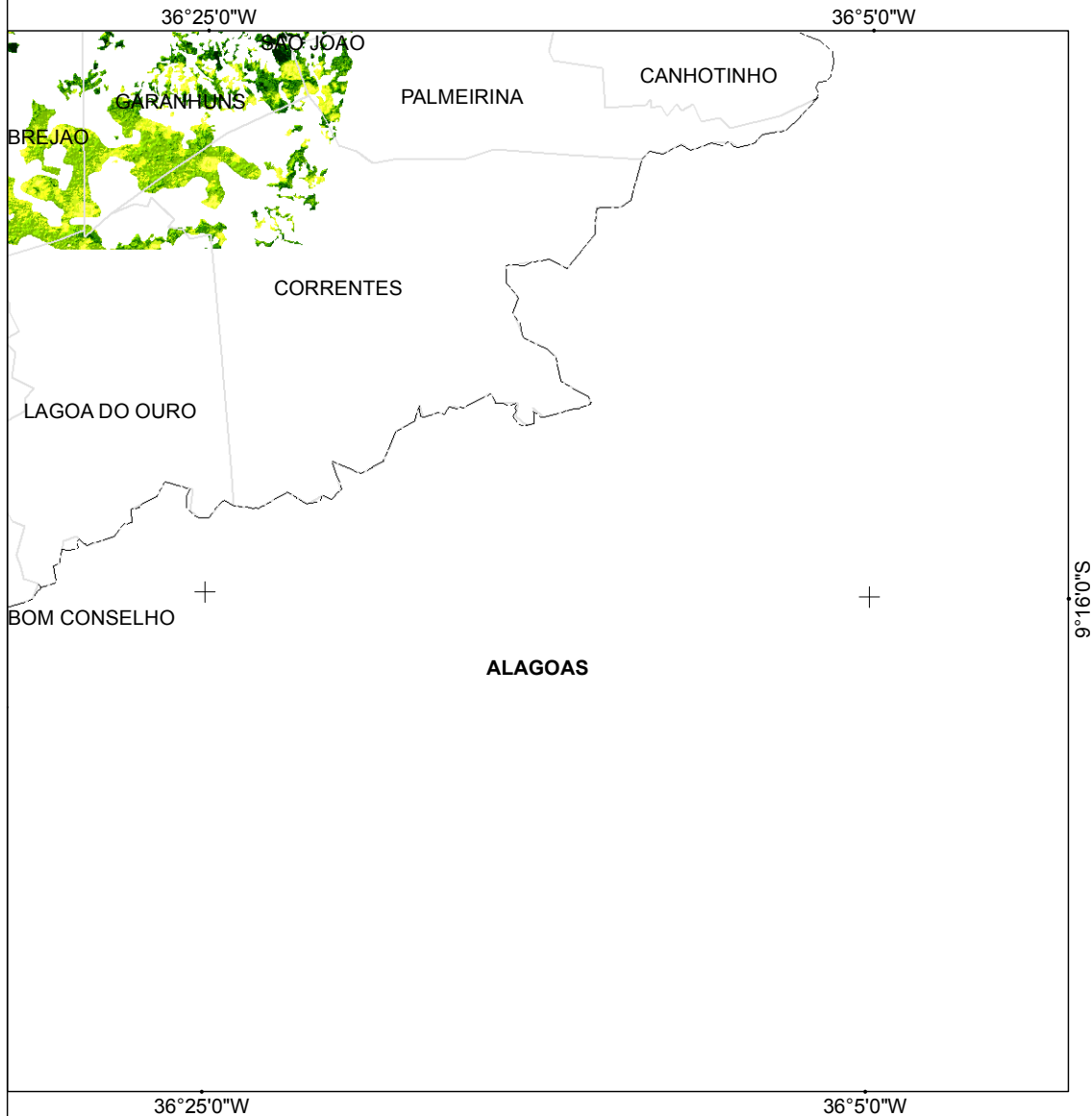
SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000

ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-D-II
 NOME: Palmeira dos Índios

MAPA DE ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE BIOMASSA PARA AS ÁREAS DE FLORESTA EM PARTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

LIMITE ESTADUAL
 LIMITE MUNICIPAL

ESTOQUE DE BIOMASSA (Mg/ha)

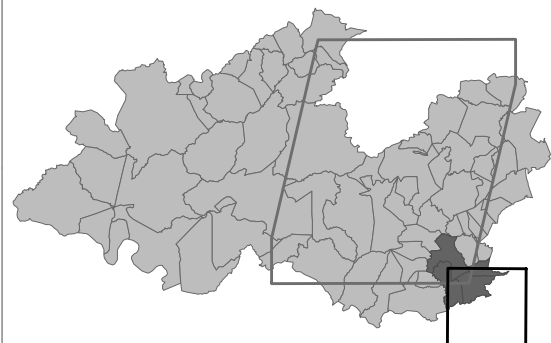
<10
 10,1-20
 20,1-30
 30,1-40
 40,1-50
 >50

0 5 10 20 Km

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOGRÁFICA: SIRGAS 2000



ARTICULAÇÃO



CENA (Orbita-Ponto): 337-082
 CARTA - Nº: SC-24-X-D-III
 NOME: União dos Palmares