



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JOAQUIM JOSÉ DE FREITAS NETO

QUANTIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA EM
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PERNAMBUCO

Recife
2018

JOAQUIM JOSÉ DE FREITAS NETO

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA EM UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Análise, conservação e monitoramento dos ecossistemas

Orientadora: Dr^a Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Coorientadora: Dr^a Larissa Monteiro Rafael

Recife
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

F866q Freitas Neto, Joaquim José de.
Quantificação da produtividade primária bruta em unidades de
conservação de Pernambuco / Joaquim José de Freitas Neto. – 2018.
96 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Prof^a. Dr^a. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira.
Coorientadora : Prof^a. Dr^a. Larissa Monteiro Rafael.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2018.
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Serviços ambientais. 3. Recursos naturais –
Conservação. 4. Solo – Uso. 5. Áreas protegidas. 6. Unidades de
conservação. I. Pereira, Eugênia Cristina Gonçalves (Orientadora). II.
Rafael, Larissa Monteiro (Coorientadora). III. Título.

918 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-179)

JOAQUIM JOSÉ DE FREITAS NETO

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA EM UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 31/08/2017.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira (Orientadora – Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Carlos Frederico Lins e Silva Brandão (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

Profa. Dra. Maria Fernanda Abrantes Torres (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha querida mãe, Marinalva, que sempre me apoiou irrestritamente em minhas escolhas;

A meu irmão Kerllyngton, em quem posso confiar sempre;

À Deane Andrade, meu amor.

AGRADECIMENTOS

É irônico que, ao final de um trabalho de mestrado, uma das tarefas mais complicadas seja a escrita dos agradecimentos. Com tantas pessoas contribuindo ativamente para a sua realização, o medo de esquecer alguém é constante. No entanto, gostaria de agradecer primeiramente à minha mãe, uma mulher guerreira, que após passar por muita dificuldade conseguiu educar dois filhos, com muito suor e amor. Obrigado mãe, sem você eu não estaria escrevendo isso aqui!

Deve-se agradecer sobretudo àqueles que proporcionam momentos de descontração e descompressão da árdua tarefa da escrita de um trabalho de mestrado. Dessa forma, meu irmão, Kerllyngton, sempre pronto a abrir uma cerveja e ouvir das mágoas da vida – não sem soltar uma gracinha – sempre esteve presente quando precisei! Tom, tu és importante para isso aqui também!

Gostaria de agradecer ao pessoal do Cepan por ter aturado minhas (MUITAS) ausências e esticado (alguns) prazos de entrega de produtos na instituição, em vista das minhas atividades de dissertação. Pessoal, vocês foram cruciais para esse momento! Rose, Gabriel, Fredê, Cris, Tiê e Biu, que sempre me motivou e me deu boas ideias!

A meu amor, Deane, sem a qual eu provavelmente não conseguiria entregar esse material da forma que está. Seu olho crítico com formatação, referências e essas “perfumarias” (no bom sentido) do produto me faltam e muito! Te amo!

Agradeço a todos os professores do PPGEIO, por terem me passado conhecimentos tão importantes para o desenvolvimento de um bom trabalho de mestrado, sobretudo à professora Eugênia, que com sua infinita paciência e disponibilidade me ajudou a montar o material na correria que foi minha vida no último ano.

Gostaria de citar aqui ainda a estratosféricamente importante contribuição da minha co-orientadora Larissa Rafael, que pacientemente se reuniu comigo em suas horas de tempo livre, me passando dicas importantíssimas sobre como sistematizar o trabalho todo e Fernanda Gomes, que mesmo da Inglaterra (CHIQUE!) atarefada com seus exames e artigos, teve um tempinho pra contribuir enormemente com o produto final.

RESUMO

Estudos demonstram a capacidade e a importância dos remanescentes florestais para a geração de serviços ambientais essenciais para as populações humanas. Assim, o reconhecimento da importância da prestação de serviços ambientais gerados pelas unidades de conservação da Mata Atlântica, figura como uma forma efetiva de se dar subsídios para estratégias de conservação do bioma, mostrando e quantificando a importância das florestas para a vida da população em diversos aspectos. No contexto das unidades de conservação presentes em Pernambuco, aquelas localizadas no entorno do território do Complexo Industrial Portuário de Suape se mostram emblemáticas para o desenvolvimento de estudos que quantifiquem os benefícios advindos de sua existência, sobretudo na geração de serviços ambientais. Nesse sentido, este trabalho objetiva quantificar a produtividade primária bruta (PPB) como um indicativo de fixação de carbono no Parque Estadual Mata do Zumbi e Estação Ecológica de Bita e Utinga, nos municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, em Pernambuco. As unidades de conservação apresentaram, no cenário atual, valores de PPB de $85 \text{ ton C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, para a ESEC Bita e Utinga e $34,94 \text{ ton C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o PE Mata do Zumbi. A ESEC Bita e Utinga apresentou ainda um potencial de incremento de 244% em sua captação de carbono em relação à situação atual caso sejam realizadas ações de restauração florestal. O PE Mata do Zumbi apresentou um potencial de incremento de 7% nas mesmas condições.

Palavras-chave: Serviços Ambientais. Unidades de Conservação. Fixação de Carbono.

ABSTRACT

Studies demonstrate the capacity and importance of forest remnants for the provision of essential environmental services for human populations. Thus, the recognition of the importance of environmental services generated by the Atlantic Forest protected areas is an effective way of providing subsidies for biome conservation strategies, showing and quantifying the importance of forests to the life of the population in various aspects. In Pernambuco's protected areas scenario, those located around the territory of the Industrial Port Complex of Suape are emblematic for the development of studies that quantify the benefits arising from its existence, especially the provision of environmental services. That being said, this work aims to quantify gross primary productivity (GPP) as an indicative of carbon sequestration in the Zumbi State Park (SP) and Bita and Utinga Ecological Station (E.S) in the municipalities of Cabo de Santo Agostinho and Ipojuca, Pernambuco. In the current scenario, the protected areas presented GPP values of $85 \text{ ton C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ for Bita and Utinga E.S. and $34.94 \text{ ton C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ for Zumbi SP. Bita and Utinga E.S. also showed a potential to increase by 244% in its carbon capture in comparison to the current situation if forestry restoration actions are carried out. Zumbi S.P. presented a potential increase of 7% under the same conditions.

Keywords: Environmental Services. Protected Areas. Carbon Fixation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização das áreas protegidas no mundo.....	18
Figura 2 - Crescimento do número de áreas protegidas através dos anos	20
Quadro 1 - Categorias e objetivos das áreas protegidas	21
Figura 3 - Distribuição das unidades de conservação do território brasileiro	22
Figura 4 - Distribuição das unidades de conservação do território pernambucano.....	24
Quadro 2 - Caracterização dos tipos de serviços ambientais.....	25
Figura 5 - Ciclo simplificado do Carbono	28
Figura 6 - Localização da Estação Ecológica de Bita e Utinga (azul) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (verde).....	32
Figura 7 - Temperatura (A) e precipitação (B) das áreas de estudo	35
Figura 8 - Climograma da área de estudo elaborado com médias históricas de 1911 a 1990 .	36
Quadro 3 - Quadro explicativo das classes de solo mais representativas para a região de estudo	37
Figura 9 - Classes de solo predominantes nas áreas de estudo.....	38
Figura 10 - Unidades geoambientais predominantes nas áreas de estudo.....	40
Figura 11 - Altitudes nas áreas de estudo	41
Figura 12 - Declividades nas áreas de estudo.....	42
Figura 13 - Hidrografia nas áreas de estudo	44
Figura 14 - Fluxograma de atividades para obtenção dos dados de produtividade primária bruta das áreas florestadas da unidade de conservação	445
Figura 15 - Balanço hídrico normal mensal segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955)	61
Figura 16 - Comparação entre as variáveis de temperatura (T °C) e precipitação (P mm) para o ano de 2010 (A) e os padrões de temperatura e precipitação entre 1911 e 1990 (B)	62
Figura 17 - Situações de uso e ocupação da terra identificados na Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e no Parque Estadual Mata do Zumbi (B) em 2010.	64
Figura 18 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010.	67
Figura 19 - Estimativa da temperatura de superfície em graus celsius da Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010.	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (cont.)

Figura 20 - Fotos de áreas classificadas como abandonadas da Estação Ecológica de Bitá e Utinga a imagem A representa uma área de pasto, onde avança a regeneração natural e a imagem B uma área de pomar no entorno de um fragmento florestal	71
Figura 21 - Imagem obtida através do Google Earth PRO, do ano de 2010, representando o limite sul do Parque Estadual Mata do Zumbi (em amarelo).	72
Figura 22 - Estimativa do saldo de radiação ($W\ m^{-2}$) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010.	74
Figura 23 - Estimativa do albedo de superfície da Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010.	75
Figura 24 - Estimativa da evapotranspiração real diária ($mm\ dia^{-1}$) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010.	78
Figura 25 - Estimativa da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.	81
Figura 26 - Estimativa da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.	82

LISTA DE FÓRMULAS

$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$ (1)	49
$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$ (2)	50
$a_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7$ (3).....	50
$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z$ (4)	50
$a = \frac{a_{toa} - a_p}{t_{sw}^2}$ (5)	51
$IVDN = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$ (6).....	51
$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{iv} - \rho_v)}{(L + \rho_{iv} + \rho_v)}$ (7)	51
$IAF = - \frac{\ln(\frac{0,69 - IVAS}{0,59})}{0,91}$ (8).....	52
$\varepsilon_{nb} = 0,97 \times 0,00331 \cdot IAF$ (9).....	52
$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF$ (10).....	52
$T_s = \frac{K_2}{\ln(\frac{E_{nb} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1)}$ (11).....	52
$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \theta \cdot T_s^4$ (12).....	53
$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw}$ (13).....	53
$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \theta \cdot T_a^4$ (14)	53
$R_n = R_{s\downarrow}(1 - \alpha_{sup}) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow}$ (15).....	54
$G = [T_s(0,0038 + 0,0074 a_{sup})(1 - 0,98IVDN^4)]R_n$ (16).....	54
$H = \rho \cdot C_p \cdot \frac{dT}{r_a}$ (17)	54
$U_x = \frac{Ku_x}{\ln(\frac{Z_x}{Z_{om}})}$ (18)	55
$U_{200} = \frac{Ku_{200}}{\ln(\frac{200}{Z_{om}})}$ (19)	55
$Z_{om} = \exp(-5,809 + 5,62 IVAS)$ (20).....	55
$r_{ah} = \frac{\ln(\frac{Z_2}{Z_1})}{u_* K}$ (21)	55
$H_{quente} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + b T_{sup})}{r_{ah}}$ (22)	56
$L = - \frac{\rho c U_*^3 T_{sup}}{KgH}$ (23).....	56

LISTA DE FÓRMULAS (cont.)

$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L}\right)^{0,25} (24)$	56
$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L}\right)^{0,25} (25)$	56
$x_{(200m)} = \left(1 - 16 \frac{200}{L}\right)^{0,25} (26)$	56
$\Psi_{h(0,1m)} = 2 \ln \left(\frac{1+x_{(0,1m)}^2}{2}\right) (27)$	56
$\Psi_{h(2m)} = 2 \ln \left(\frac{1+x_{(2m)}^2}{2}\right) (28)$	56
$\Psi_{m(200m)} = 2 \ln \left(\frac{1+x_{(200m)}}{2}\right) + \ln \left(\frac{1+x_{(200m)}^2}{2}\right) - 2 \arctg(x_{(200m)}) + 0,5\pi (29)$	56
$\Psi_{h(0,1m)} = -5 \left(\frac{0,1}{L}\right) (30)$	57
$\Psi_{h(2m)} = -5 \left(\frac{2}{L}\right) (31)$	57
$\Psi_{m(200m)} = -5 \left(\frac{200}{L}\right) (32)$	57
$u_* = \frac{u_{200} \cdot k}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right) - \Psi_{m(200m)}} (33)$	57
$r_{ah} = \frac{\ln(Z_2/Z_1) - \Psi_{h(z_2)} + \Psi_{h(z_{0,1})}}{k \cdot u^*} (34)$	57
$LE = R_n - G - H (35)$	57
$FE = \left(\frac{LE}{R_n - G}\right) = \frac{LE_{24h}}{Rn_{24h}} = FE_{24h} (36)$	58
$R_{n24h} = (1 - a)R_{s24h} - 110 \tau_{24h} (37)$	58
$\tau_{24h} = \frac{R_{s24h}}{R_{toa24h}} (38)$	58
$ET = 0,035 \left(\frac{LE}{R_n - G}\right) [(1 - a)R_{s24h} - 110\tau_{24h}] (39)$	58
$RFA = 0,48 \cdot R_{s24h} (40)$	58
$RFAA = RFA \cdot (-0,161 + 1,257 IVDN) (41)$	58
$\varepsilon = \varepsilon \cdot T1 \cdot T2 \cdot FE (42)$	58
$T_1 = 0,8 + 0,02T_{opt} - 0,0005T_{opt}^2 (43)$	58
$T_2 = \frac{1}{1 + \exp(0,2T_{opt} - 10 - T_{dia})} \cdot \frac{1}{1 + \exp[0,3(-T_{opt} - 10 + T_{dia})]} (44)$	59
$PPB = RFAA \cdot \varepsilon = RFA \cdot FPAR \cdot \varepsilon (45)$	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações das faixas espectrais e coeficientes de calibração utilizados no processamento	46
Tabela 2 - Precipitação nos dias anteriores à aquisição da imagem de satélite.....	63
Tabela 3 - Uso e ocupação da terra da Estação Ecológica de Bita e Utinga e Parque Estadual Mata do Zumbi em 2010... ..	65
Tabela 4 - Médias do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.	68
Tabela 5 - Médias da temperatura de superfície (Tsup) em graus celsius da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.	72
Tabela 6 - Médias do saldo de radiação ($W\ m^{-2}$) da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010	76
Tabela 7 - Médias do albedo de superfície da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010	76
Tabela 8 - Médias da evapotranspiração real diária(Etr 24h) (mm dia ⁻¹) da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010	79
Tabela 9 - Temperatura do ar máxima (Tmax), temperatura do ar mínima (Tmin), Radiação Fotossinteticamente ativa diária (RFA 24h) e parâmetros T1 e T2 para a data da passagem da imagem de satélite (06 de setembro de 2010).	80
Tabela 10 - Valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Produtividade Primária Bruta (PPB) e Fração Evaporativa (FE) para a data da passagem da imagem de satélite (06 de setembro de 2010)	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BH	Balanço Hídrico
CBD	<i>Convention on Biological Diversity</i>
CEPAN	Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste
CIPS	Complexo Industrial Portuário de Suape
CNUC	Cadastro Nacional De Unidades De Conservação
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco
ESEC	Estação Ecológica
FE	Fração Evaporativa
FURB	Reserva de Floresta Urbana
GEE	Gases de Efeito Estufa
GL2	Grupo de Bacias dos Pequenos Rios Litorâneos 2
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ND	Número Digital
PETROBRAS	Companhia Petróleo Brasileiro S/A
PNC	Parque Nacional do Catimbau
PPB	Produtividade Primária Bruta
RMR	Região Metropolitana do Recife
RFAA	Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
SEBAL	<i>Surface Energy Balance Algorithm</i>
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SNUC	Sistema Nacional De Unidades De Conservação
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UC	Unidade de Conservação
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZPEC	Zona de Preservação Ecológica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	PANORAMA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO MUNDO, BRASIL E EM PERNAMBUCO	18
2.2	SERVIÇOS AMBIENTAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	25
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA	27
3	METODOLOGIA	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.1.1	Aspectos gerais	31
3.1.2	Aspectos climáticos	34
3.1.3	Solos	37
3.1.4	Unidades geoambientais e relevo	39
3.1.5	Hidrografia	43
3.2	COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS	45
3.2.1	Mapeamento de uso e ocupação da terra das unidades de conservação	47
3.2.2	Processamento do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)	49
3.2.2.1	Calibração radiométrica	49
3.2.2.2	Reflectância espectral	50
3.2.2.3	Albedo no topo da atmosfera ou albedo planetário	50
3.2.2.4	Transmissividade atmosférica	50
3.2.2.5	Albedo de superfície	51
3.2.2.6	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)	51
3.2.2.7	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)	51
3.2.2.8	Índice de Área Foliar (IAF)	52
3.2.2.9	Emissividades	52
3.2.2.10	Temperatura de Superfície	52
3.2.2.11	Radiação de Onda Longa Emitida	53
3.2.2.12	Radiação de Onda Curta Incidente	53
3.2.2.13	Radiação de Onda Longa Incidente	53

3.2.2.14	<i>Saldo de Radiação</i>	54
3.2.2.15	<i>Fluxo de calor no solo</i>	54
3.2.2.16	<i>Fluxo de calor sensível</i>	54
3.2.2.17	<i>Fluxo de calor latente</i>	57
3.2.2.18	<i>Evapotranspiração real diária</i>	58
3.3	DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO E VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS DO ANO DA IMAGEM	60
4.2	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	63
4.3	PRODUTOS RESULTANTES DO BALANÇO DE ENERGIA	66
4.3.1	Índice de vegetação por diferença normalizada	66
4.3.2	Temperatura de superfície	69
4.3.3	Saldo de radiação e albedo de superfície	73
4.3.4	Evapotranspiração real diária	78
4.4	PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	80
4.4.1	Cenário atual de Produtividade Primária Bruta das unidades de conservação estudadas	80
4.4.2	Potencial de incremento da Produtividade Primária Bruta das unidades de conservação estudadas	85
5	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do planeta. Inicialmente situada em uma área que atualmente abrangeria territórios de 14 estados do Brasil, representando cerca de 15% do território nacional, passou por diversos processos de devastação e conversão de áreas para uso econômico. Isso gerou uma realidade onde a Mata Atlântica se encontra representada por apenas 11% de sua cobertura original, espalhados de forma difusa em fragmentos florestais de tamanhos diversos, normalmente representados por áreas deflorestadas no interior de propriedades agrícolas em maior parte, e unidades de conservação, em menor parte (TABARELLI *et al.*, 2005; 2006; DEAN, 1996; BRASIL, 2007; UCHOA NETO; TABARELLI, 2002).

Apesar de todo esse cenário de fragmentação e devastação ocorrido dentro de seus limites, a Mata Atlântica ainda retém uma grande biodiversidade, abrigando em seus remanescentes cerca de 8.567 espécies endêmicas entre 21.361 são plantas vasculares, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Isso faz com que esse bioma figure entre as prioridades globais de conservação de biodiversidade, sendo considerado um ponto quente (*i.e hotspot*), para a conservação mundial estando entre as áreas que abrigam mais de 60% das espécies terrestres do planeta, recobrando apenas 1,4% de sua superfície (TABARELLI *et al.*, 2006).

Tendo-se em vista o atual cenário da Mata Atlântica, várias são as iniciativas tomadas no intuito de aumentar a capacidade desse bioma de abrigar biodiversidade e, sobretudo, de gerar serviços ambientais essenciais para a população humana. Uma das mais conhecidas é o estabelecimento de áreas protegidas, regulamentada nacionalmente pela lei nº 9.985/2000 e no estado de Pernambuco pela lei 13.787/2009. Essas estratégias asseguraram a criação de várias unidades de conservação para proteção dos remanescentes florestais do bioma no Brasil e Pernambuco, incrementando as ações de conservação para essas áreas.

Por outro lado, a criação de uma unidade de conservação *per se* não assegura que a conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ambientais prestados por determinada área se consolidará. São necessárias diversas ações que promovam a implementação de áreas legalmente protegidas, reconhecendo também seu valor de conservação (CEPAN, 2002).

Nesse sentido, o reconhecimento da importância da prestação de serviços ambientais gerados pelas unidades de conservação da Mata Atlântica figura como uma forma efetiva de

se dar subsídios para estratégias de conservação do bioma, evidenciando e quantificando a importância dos remanescentes florestais para a vida da população.

No contexto das unidades de conservação presentes em Pernambuco, aquelas localizadas no entorno do território do Complexo Industrial Portuário de Suape se mostram emblemáticas para o desenvolvimento de estudos que quantifiquem os benefícios gerados por sua existência. Nesse local, as unidades são um fator-chave na geração de serviços ambientais, sobretudo os de regulação da qualidade hídrica e fixação de carbono, contribuindo com a boa qualidade e manutenção da disponibilidade hídrica para as operações e processos industriais do complexo e abastecimento humano e atenuando os efeitos de suas emissões de carbono para as populações. O reconhecimento desse valor e dos fatores que influem na sua perpetuação é imprescindível e permitirá direcionar estratégias e ações no sentido de manter ou melhorar a qualidade do serviço ambiental prestado.

Com um cenário pujante de mudanças climáticas apontado pelos últimos relatórios do painel intergovernamental para a mudança do clima, a mensuração dos estoques e potencial de captação de carbono dos ecossistemas se mostra, cada vez mais, uma nuance a ser observada no sentido de se promover a proteção e a recuperação ambiental dessas áreas, bem como no estabelecimento de estratégias para incremento da prestação desse serviço ambiental. Diversas iniciativas visando neutralizar as emissões de carbono e demais impactos ambientais se respaldam na criação de áreas protegidas como medida mitigatória.

Assim sendo, o presente trabalho visa realizar um diagnóstico da prestação do serviço ambiental de fixação de carbono através da mensuração da produtividade primária bruta na Estação Ecológica de Bita e Utinga e no Parque Estadual Mata do Zumbi, localizados nos arredores do complexo industrial portuário de Suape. O estudo visa ainda estimar a produtividade primária bruta das unidades de conservação no atual cenário de uso e ocupação da terra, e identificar a potencialidade de incremento nesse valor, através da recuperação das áreas não florestadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PANORAMA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO MUNDO, BRASIL E EM PERNAMBUCO

O estabelecimento de áreas protegidas (como são conhecidas globalmente) ou unidades de conservação (na designação brasileira) são a ferramenta mais comum para estratégias *in situ* de conservação da biodiversidade, sendo globalmente difundida, pelo fato de que promovem a proteção de áreas de ecossistemas naturais já estabelecidos, que tenham importância ecológica, cultural ou de suporte às atividades humanas em determinada paisagem (FERRARO, 2008; TENGBERG *et al.*, 2012).

Cobrindo 15,4% da superfície terrestre e 3,4% dos oceanos (WDPA, 2017) (figura 1), as áreas protegidas foram definidas pela convenção de diversidade biológica em 1992 como (tradução livre) “uma área geograficamente definida sendo designada ou regulada e manejada para atingir objetivos específicos de conservação” (CBD, 1992). A União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN - sigla em inglês), em 1994, atualizou esse conceito para “um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e manejado através de meios legais ou outros meios efetivos para atingir o objetivo de conservação da natureza a longo prazo, juntamente a seus serviços ambientais e valores culturais” (DUDLEY, 2008).

Figura 1 - Localização das áreas protegidas no mundo.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados vetoriais da WDPA (2017).

Desde 1965, na conferência internacional dos países de primeiro mundo pelos parques nacionais, foi levantada a necessidade de uma padronização internacional da nomenclatura das unidades de conservação. Uma série de termos eram utilizados e reconhecidos por cada

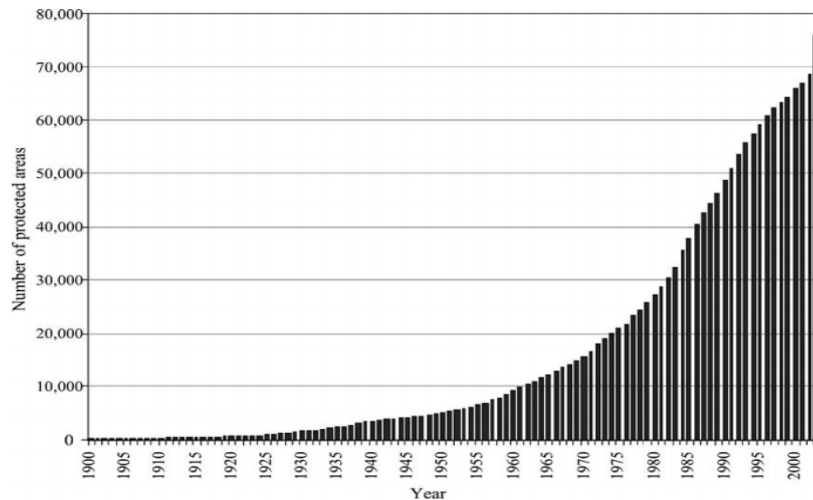
país para designar áreas protegidas de acordo com seu arranjo legal e interesses (CHAPE *et al.*, 2005; ADAMS, 1962). Dessa forma, a IUCN definiu classes para os tipos de unidades de conservação existentes ao redor do mundo, a fim de melhor sistematizar seus principais objetivos e usos, sendo caracterizadas como (traduções livres) (DUDLEY, 2008; CHAPE *et al.*, 2005):

- I- Áreas estritamente para proteção – Engloba áreas manejadas principalmente para interesses científicos ou monitoramento ambiental;
- II- Áreas voltadas para proteção e conservação de ecossistemas – Congrega áreas em que se busca proteger a integridade de um ou mais ecossistemas, excluindo usos voltados à exploração dos recursos naturais. Provêm ainda áreas com oportunidade de visita contemplativa, espiritual ou educacional.
- III- Áreas voltadas à conservação de feições/características naturais – Engloba áreas que possuem uma ou mais feições naturais sendo áreas únicas por conta de sua raridade, características estéticas ou herança cultural;
- IV- Áreas para conservação através do manejo ativo – Áreas sujeitas a intervenções ativas de manejo visando assegurar a manutenção de habitats ou de espécies;
- V- Áreas voltadas para proteção e recreação em paisagens terrestres e marítimas – Locais onde a interação com as pessoas produziu um valor característico estético, cultural ou ecológico, e frequentemente possuem grande biodiversidade;
- VI- Áreas voltadas ao uso sustentável dos recursos naturais – Áreas com predominância de ecossistemas naturais não modificados, manejadas para assegurar uma proteção de longo prazo e a manutenção da diversidade biológica, enquanto ao mesmo tempo, provém recursos para as necessidades de comunidades humanas.

Através dessa classificação, foi possível estabelecer bases para os diferentes tipos de usos e características de manejo dadas às áreas protegidas existentes em uma escala internacional, propiciando, sobretudo, discussão acerca dos tipos de manejo mais efetivos em cada categoria de área, fazendo com que vários países desenvolvessem um arcabouço legal/técnico de classificação desses ambientes.

Nos últimos 25 anos, a quantidade de áreas destinadas à conservação e proteção de ecossistemas no planeta cresceu exponencialmente, abrangendo até 2005 mais de 100.000 áreas legalmente estabelecidas (NAUGHTON-TREVES *et al.*, 2005) (Figura 2).

Figura 2 - Crescimento do número de áreas protegidas no mundo através dos anos.



Fonte: Naughton-Treves *et al.* (2005).

Atualmente o principal desafio em escala global é dar efetividade às áreas destinadas à conservação, ao mesmo tempo em que se tenta aumentar o número de áreas protegidas no mundo, visando salvaguardar a biodiversidade ainda não abrangida por algum status de proteção. Rodrigues *et al.* (2004) demonstram em seu estudo que 12% das espécies analisadas não estão cobertas pela proteção dos sistemas de áreas protegidas vigentes ao redor do mundo e em se tratando de espécies ameaçadas, esse número sobe para 20%. Isso se dá, primeiramente, pelo fato de que a escolha das áreas protegidas leva em consideração sobretudo fatores políticos, em grande medida, tentando atingir metas para aumentar o número espacial de hectares protegidos, sem atentar ao fato da efetividade de proteção e representatividade dessas áreas.

No Brasil, o marco legal vigente para definição e delimitação de unidades de conservação data do ano 2000 com a lei federal nº 9.985. A referida lei define unidades de conservação em seu artigo 2º como:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção;

A referida lei ainda faz a distinção entre duas categorias de unidades de conservação, sendo as de proteção integral, voltadas à manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas pela interferência humana, permitindo apenas o uso indireto dos seus atributos naturais, e as de uso sustentável, voltadas à exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e a perenidade dos processos ecológicos

mantendo a biodiversidade de forma socialmente justa e economicamente viável (BRASIL, 2000).

Dessa forma, as categorias dividem-se em subcategorias de classificação para cada tipo e objetivo almejado na criação de áreas protegidas, sendo expressas no quadro 1.

Quadro 1 - Categorias e objetivos das áreas protegidas.

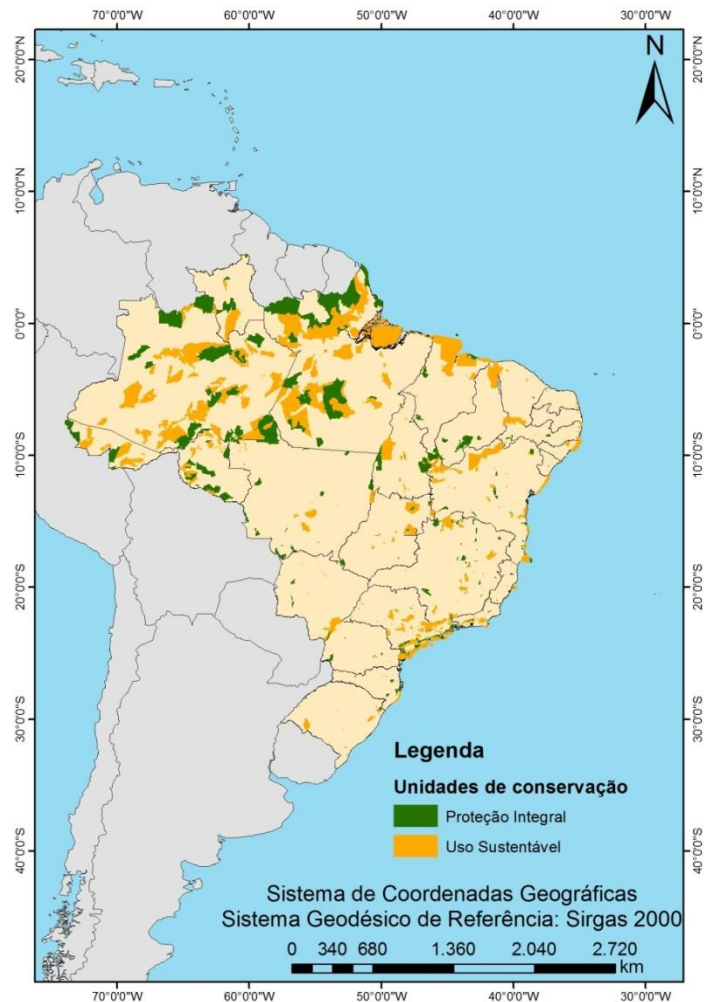
Proteção integral	
Categoria	Objetivo
I - Estação Ecológica	Preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.
II - Reserva Biológica	Preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.
III - Parque Nacional	Preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.
IV - Monumento Natural	Preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.
V - Refúgio de Vida Silvestre	Proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.
Uso sustentável	
Categoria	Objetivo
I - Área de Proteção Ambiental	Proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.
II - Área de Relevante Interesse Ecológico	Manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.
III - Floresta Nacional	Uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.
IV - Reserva Extrativista	Proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.
V - Reserva de Fauna	Proteção da fauna de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias.
VI – Reserva de Desenvolvimento Sustentável	Preservar a natureza e assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos e da qualidade de vida das populações tradicionais.
VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.	Conservar a diversidade biológica

Fonte: Lei federal Nº 9.985/2000.

Os estados e municípios também são livres para, dentro dos preceitos regidos nacionalmente, operar seus sistemas de áreas protegidas, inserindo novas categorias que se adequem à realidade vivenciada.

O Brasil possui hoje um total de 1.585.778 hectares de áreas protegidas em seu território, sendo 546.292 hectares voltados às áreas de proteção integral, com um uso mais restritivo dos recursos naturais pelas populações e 1.039.486 hectares voltados a áreas de uso sustentável, representando 18% do território nacional coberto por áreas sob algum regime de proteção (CNUC, 2017) (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição das unidades de conservação do território brasileiro.



Fonte: Elaboração própria com dados do Ministério do Meio Ambiente.

Apesar da expressiva área protegida, o sistema nacional de unidades de conservação (SNUC) enfrenta problemas para sua efetiva implementação, que vão desde a falta de recursos materiais e humanos para a gestão das áreas protegidas criadas (VERÍSSIMO *et al.*,

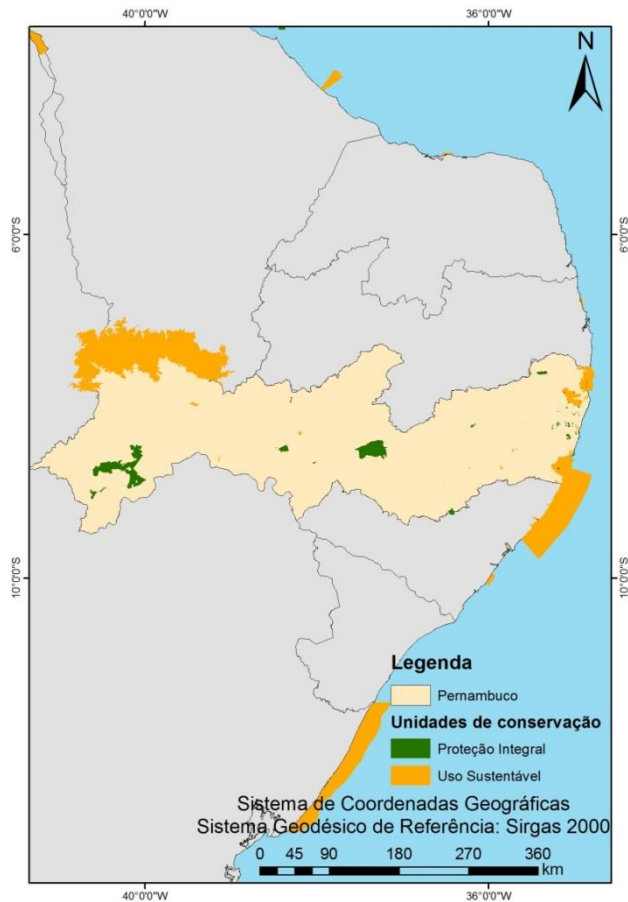
2011), até a existência do que se convencionou chamar de “parques de papel”, ou seja, áreas protegidas que, na prática, não têm sua função de proteção à biodiversidade efetivada (PIMENTEL, 2008), perfazendo apenas números e polígonos em bases de dados nacionais.

Mesmo com problemas o SNUC ainda se mostra com um grau de eficácia: se por um lado, apenas a criação de áreas protegidas não assegura sua efetividade, mecanismos como a criação do ICMBio – órgão específico para gerir as unidades de conservação federais – a destinação de recursos por meio de compensações ambientais para aplicação em UCs e ainda a criação bem planejada de áreas protegidas para que elas se enquadrem no contexto produtivo, populacional e de paisagem em que estão inseridas, são fatores decisivos para que se tenha uma agenda de conservação efetiva (BELLINASSI *et al.*, 2011; VERÍSSIMO *et al.*, 2011).

A exemplo da esfera nacional, o estado de Pernambuco possui seu próprio sistema de áreas protegidas. Definido pela lei estadual 13.787/2009, o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), tem sob sua égide todas as categorias previstas no sistema nacional, trazendo para a esfera estadual sua gestão, bem como a categoria de Reservas de Floresta Urbana (FURB), definida como “áreas de remanescentes de ecossistemas com a predominância de espécies nativas, localizadas no perímetro urbano”.

Pernambuco tem hoje sob sua gestão 81 unidades de conservação estaduais, sendo 40 de proteção integral e 41 de uso sustentável que se distribuem em 3 Estações Ecológicas, 5 Parques Estaduais, 31 Refúgios de Vida Silvestre, 1 Monumento Natural, 18 Áreas de Proteção Ambiental, 8 Reservas de Floresta Urbana, 14 Reservas Particulares do Patrimônio Natural e 1 Área de Relevante Interesse Ecológico (PERNAMBUCO, 2017) (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição das unidades de conservação do território pernambucano.



Fonte: Elaboração própria com dados da CPRH (PERNAMBUCO, 2017).

Em 2002, Uchoa Neto e Tabarelli demonstraram o status de representatividade das unidades de conservação então existentes em Pernambuco, chegando à conclusão de que 84% das áreas analisadas apresentaram uma precária situação de implementação e 86% não tiveram ações de manejo tomadas para garantir sua efetividade e o cumprimento de seus objetivos. Em matéria veiculada pelo jornal Folha de Pernambuco em 21/03/2017 é mencionado que apenas 10 unidades de conservação possuem planos de manejo no estado.

Mesmo com esses problemas, a agenda de criação de unidades de conservação se mostra ativa, tendo sido criadas desde 2012 cinco áreas protegidas na esfera estadual, abrangendo importantes áreas retentoras de biodiversidade e serviços ambientais.

2.2 SERVIÇOS AMBIENTAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Os serviços ambientais são definidos como a provisão de benesses essenciais para a população humana devido ao bom funcionamento dos ecossistemas naturais e manejados pelo homem, cuja classificação segundo Seehusen e Prem (2011), é mostrada no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização dos tipos de serviços ambientais

Tipos de serviços ambientais	Características
Serviços de provisão	Possuem uma relação direta com a capacidade de ecossistemas proverem bens, podendo estes ser alimentos, matéria-prima fibras, fármacos, entre outros
Serviços reguladores	Estão ligados aos benefícios que são obtidos através dos processos naturais, que regulam as condições ambientais necessárias para a vida humana no planeta. Entre seus exemplos estão a manutenção de recursos hídricos através do controle de erosão, manutenção de qualidade hídrica para as necessidades humanas, desintoxicação e controle de pragas, entre outros.
Serviços culturais	Tem relação com os benefícios recreacionais, educacionais, estéticos, espirituais, gerados por determinado ecossistema.
Serviços de suporte	Relacionados com os processos necessários para que outros serviços possam vir a existir, tais como ciclagem de nutrientes, formação de solos, polinização, dispersão de sementes, entre outros.

Fonte: Seehusen e Prem (2011).

Acerca da provisão de serviços ambientais, já existem estudos visando demonstrar e quantificar os benefícios oriundos da existência e funcionamento das áreas naturais, como subsídio de demonstrar argumentos e arranjos visando sua manutenção. Nesse sentido, Tengberg *et al.* (2012), demonstram em seu estudo como as florestas são responsáveis por prover serviços ambientais associados à herança e manifestações culturais das populações. Na categoria de serviços ambientais de provisão, Imperatriz-Fonseca e Nunes-Silva (2010) demonstram a importância dos polinizadores para a agricultura, enquanto Potts *et al.*, (2010) valoraram os serviços ecossistêmicos de polinização na América do Sul em 11,6 bilhões de Euros por ano.

Para os serviços reguladores, responsáveis por contribuir na provisão de condições ambientais compatíveis à vida, Souza Junior *et al.* (2011), apontam que as florestas ripárias têm o papel de diminuição de perdas de solo por meio de desagregação de partículas. Essas áreas possuem ainda um importante papel na regulação da disponibilidade e qualidade da água consumida pelas populações e diminuindo custos relativos a seu tratamento (FREITAS NETO *et al.*, 2012), atuam promovendo uma regularidade de fluxo hídrico auxiliando na produção de energia elétrica (GUO *et al.*, 2000). Ainda na classe dos serviços reguladores, destaca-se o papel das florestas na captação e sequestro de carbono da atmosfera (CHANG, 2002), consequentemente contribuindo para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (SOARES-FILHO *et al.*, 2010).

É importante ressaltar que ao redor do mundo já foram feitas várias pesquisas acerca da valoração dos serviços ambientais prestados por diferentes tipos de cobertura natural, chegando a valores expressivos. Na tentativa de valorar o serviço ambiental da biosfera, Constanza *et al.* (1997) chegaram a um valor que varia de 16 a 54 trilhões de dólares por ano, em 1994. Os mesmos autores chegaram a valorar ecossistemas florestais, com ênfase nas regiões tropicais, sendo orçado em cerca de US\$ 2.000,00 por hectare ao ano pelos seus diversos benefícios, demonstrando a grande importância econômica e o papel vital das florestas para manutenção de serviços ambientais essenciais para a existência da população humana.

As unidades de conservação enquanto ecossistemas funcionais, são também provedoras de serviços ambientais. Em estudo realizado visando identificar a contribuição econômica das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional, Medeiros *et al.*, (2011) chegaram à conclusão de que as áreas protegidas geram em serviços ambientais um valor superior ao destinado pelas instituições públicas à sua manutenção. Esse valor aparece sob a forma de produção de madeira em Florestas Nacionais (potencial para gerar entre 1,2 e 2,2 bilhões de reais/ano), produção de borracha nas reservas extrativistas (16,5 milhões de reais/ano), uso da água (80% da energia elétrica do País tem a contribuição de corpos hídricos à jusante de UCs), diminuição nos custos de tratamento da água, e estoque de carbono (entre 2,9 e 5,8 milhões de reais/ano).

Na discussão acerca de serviços ambientais, ganham destaque aqueles voltados a demonstrar a retenção de carbono pelas florestas. Estimativas demonstram que áreas florestadas armazenam atualmente um número próximo de 1,2 trilhões de toneladas de carbono em sua biomassa (vegetação) e no solo, estando um terço desse valor localizado em florestas tropicais (GCP, 2007). Por outro lado, a conversão de áreas florestadas para usos

alternativos do solo é hoje responsável por aproximadamente 15% das emissões de carbono de origem antrópica no mundo (GCP, 2007; PAULA, 2009).

Dessa forma, ganham força iniciativas com o objetivo de diminuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Dentre os arranjos construídos com esse objetivo, destacam-se as ações voltadas a implementar políticas de redução de emissões através de desmatamento e degradação (REDD), que prevê, em uma escala internacional, políticas de incentivo e compensações financeiras para os países que conseguirem comprovar a redução de emissões de GEE através da perda de áreas florestadas (MOUTINHO *et al.*, 2011).

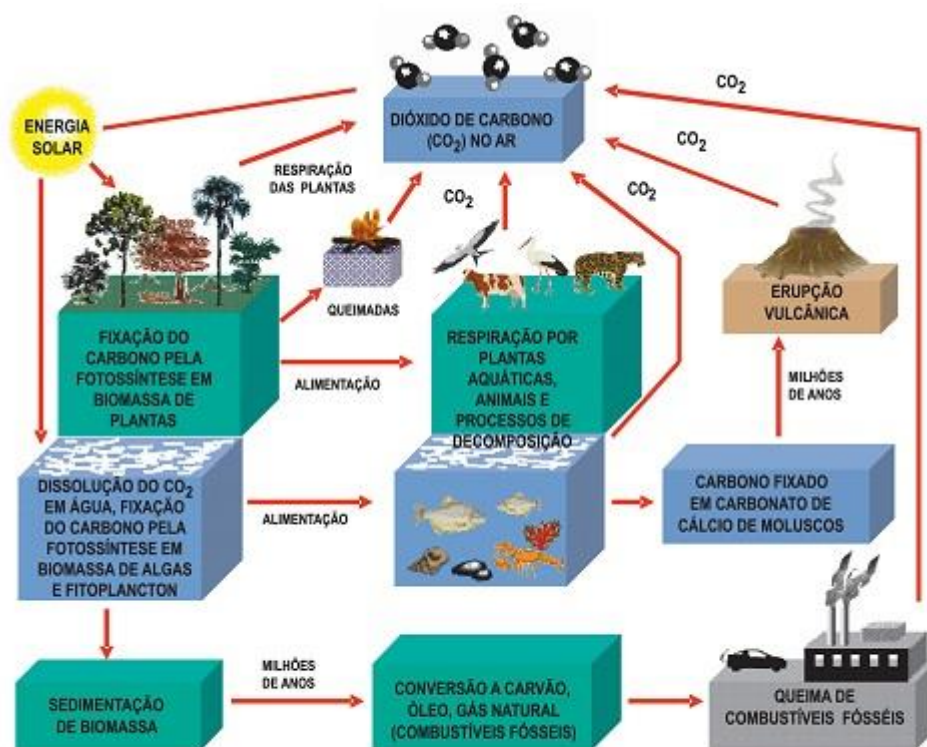
No Brasil, uma das formas mais custo-efetivas de incremento do estoque de carbono e mitigação do volume de emissões, se dá através de atividades de restauração florestal. Esses processos, por vezes oriundos de mecanismos legais de comando e controle, através de exigências ambientais para aqueles que possuem propriedades rurais ou almejam a implantação de empreendimentos com algum grau de impacto ambiental, são responsáveis por grande parte das atividades de recuperação de florestas, tendo-se ainda um potencial para a recuperação de áreas degradadas na Mata Atlântica de 17,4 milhões de hectares (PACTO, 2009). Em Pernambuco, o passivo é da ordem de 271.276 hectares considerando-se apenas as áreas de preservação permanente (CEPAN, 2017). Um estudo realizado levando-se em consideração 45 unidades de conservação no estado de Pernambuco, chegou ainda a resultados que demonstram um potencial da ordem de 8.560 hectares a serem restaurados dentro dos limites dessas áreas (CEPAN, 2016).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA

O dióxido de Carbono (CO₂), um dos principais gases de efeito estufa (GEE), tem sua concentração atmosférica aumentando ao longo dos anos (BAES JUNIOR *et al.*, 1977), e muito se tem discutido no sentido da responsabilidade das atividades humanas nesse fenômeno. A conversão de áreas florestadas para diversos fins, a utilização de combustíveis fósseis como matriz energética são algumas das razões apontadas por estudiosos para o aumento da concentração desse e de outros gases de efeito estufa na atmosfera, sendo os principais, além do já citado, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), ambos também com seus níveis de concentração atmosférica em ascensão, atingindo os maiores valores desde a era pré industrial (CIAIS *et al.*, 2014).

O processo de retirada do carbono da atmosfera é chamado de sequestro de carbono, que se dá através de diversas formas consolidando o ciclo do carbono, exemplificado na figura 5.

Figura 5 - Ciclo simplificado do Carbono.



Fonte: Martins *et al.*, 2003.

No esquema demonstrado, o carbono é proveniente de diversas fontes, sendo levado à atmosfera através da queima de matéria orgânica e combustíveis fósseis e do processo de respiração e decomposição de plantas e animais. Um balanço entre as fontes de emissão de carbono e seus sumidouros é o mecanismo responsável pelo controle natural da sua concentração na atmosfera, sendo reconhecidas como principais áreas onde ocorre a absorção do carbono os oceanos, por meio da difusão molécula nas águas, bem como a realização de processos biológicos da fauna e flora, e a fotossíntese realizada pela vegetação em terra (MACHADO, 2014).

A necessidade e o interesse de se avaliar e quantificar as dinâmicas de fixação de carbono em áreas florestadas ao redor do mundo se intensificou a partir de 1992, com a convenção das nações unidas para a mudança climática, realizada no Rio de Janeiro. Nessa convenção, definiu-se a elaboração de formas, tratados e acordos visando a diminuição da

emissão de GEEs à atmosfera. Em 1997, houve a assinatura do protocolo de Kyoto na 3ª conferência das partes na Convenção das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, realizada no Japão. Entrando em vigor em 2005, o acordo previu metas de redução da emissão de gases estufa, fixando uma redução de 5,2% na emissão de GEE pelos países desenvolvidos signatários, considerando-se as medições realizadas nos anos 90 (CERON; PORTO, 2013).

Com o ganho de escala das discussões acerca da redução de emissões, a necessidade de estudos e técnicas que pudessem mensurar o estoque de carbono ainda presente nos componentes naturais se intensificou. A realização de inventários de carbono dos oceanos, florestas e solos para delimitar em que medida ocorre sua participação na estocagem e sequestro de carbono e o impacto em cenários de mudanças de uso de solo nos níveis de carbono liberado para a atmosfera, movimentaram a utilização de diversas metodologias utilizadas para este fim.

No caso das florestas, as metodologias capazes de um maior grau de exatidão são aquelas que utilizam a mensuração de dados coletados em campo através da pesagem de biomassa. No entanto, essas metodologias além de terem um custo alto, necessitando de equipamentos de alto valor agregado para sua medição, são destrutivas, ou seja, no objetivo de se conseguir realizar a medição, é necessário o desmatamento de áreas para sua operacionalização, e na maioria dos casos, a efetividade de seus resultados se limita a áreas homogêneas e de pequena extensão (LAGE *et al.*, 2015; PAULA, 2009; CHANG, 2002).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto se mostra como uma alternativa viável, por ter um conjunto de técnicas para mensuração das dinâmicas de carbono acima do solo e nos oceanos relativamente baratas, dependendo de insumos por vezes disponibilizados de forma gratuita, e com um grau de acurácia considerável, que pode ser aplicado em escala de paisagem (VELOSO *et al.*, 2015).

Dessa forma, uma das técnicas mais utilizadas é a que combina os componentes dos modelos de radiação fotossinteticamente ativa de Monteith (1972), de eficiência no uso da luz de Field *et al.*, (1995) e componentes oriundos do balanço de energia através do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm*) idealizado por Bastiaanssen *et al.* (1998a; b). Essa técnica, conseguindo-se seu principal insumo que são imagens de satélite compatíveis com o cômputo dos algoritmos, com baixa cobertura de nebulosidade, e dados micrometeorológicos confiáveis, hoje disponíveis através de uma rede de estações meteorológicas automáticas, permite a estimativa de produtividades primárias do ambiente, relacionando-se essas com as taxas de fixação de carbono pela vegetação.

Essas técnicas associadas com uma série de outros ferramentais são utilizadas e calibradas largamente ao redor do globo. Xiao *et al.* (2005) utilizaram o sensoriamento remoto para estimar a produtividade primária bruta das áreas de florestas úmidas em Santarém no Pará, alcançando resultados de $327 \text{ gCm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em outubro de 2002 e $162 \text{ gCm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em abril de 2002.

Turner *et al.* (2003) utilizaram a mesma técnica para verificar o status da produtividade primária bruta em florestas decíduais e boreais, chegando a valores que variaram entre $10 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e $11 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$.

Silva *et al.* (2012), também por meio de sensoriamento remoto, estimaram a produtividade primária bruta do perímetro irrigado de São Gonçalo (PB), obtendo médias de 3,96 a $5,57 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, nos meses de agosto, setembro, novembro e dezembro de 2008. Obtiveram ainda um valor de carbono fixado pelas áreas de estudo de 200,3 a 295,3 ton C dia^{-1} . Machado (2014), fazendo uso da mesma metodologia, quantificou para o Parque Nacional do Catimbau (PE) valores que variaram entre 166,67 e 247,52 $\text{ton C m}^{-2}\text{dia}^{-1}$.

3 METODOLOGIA

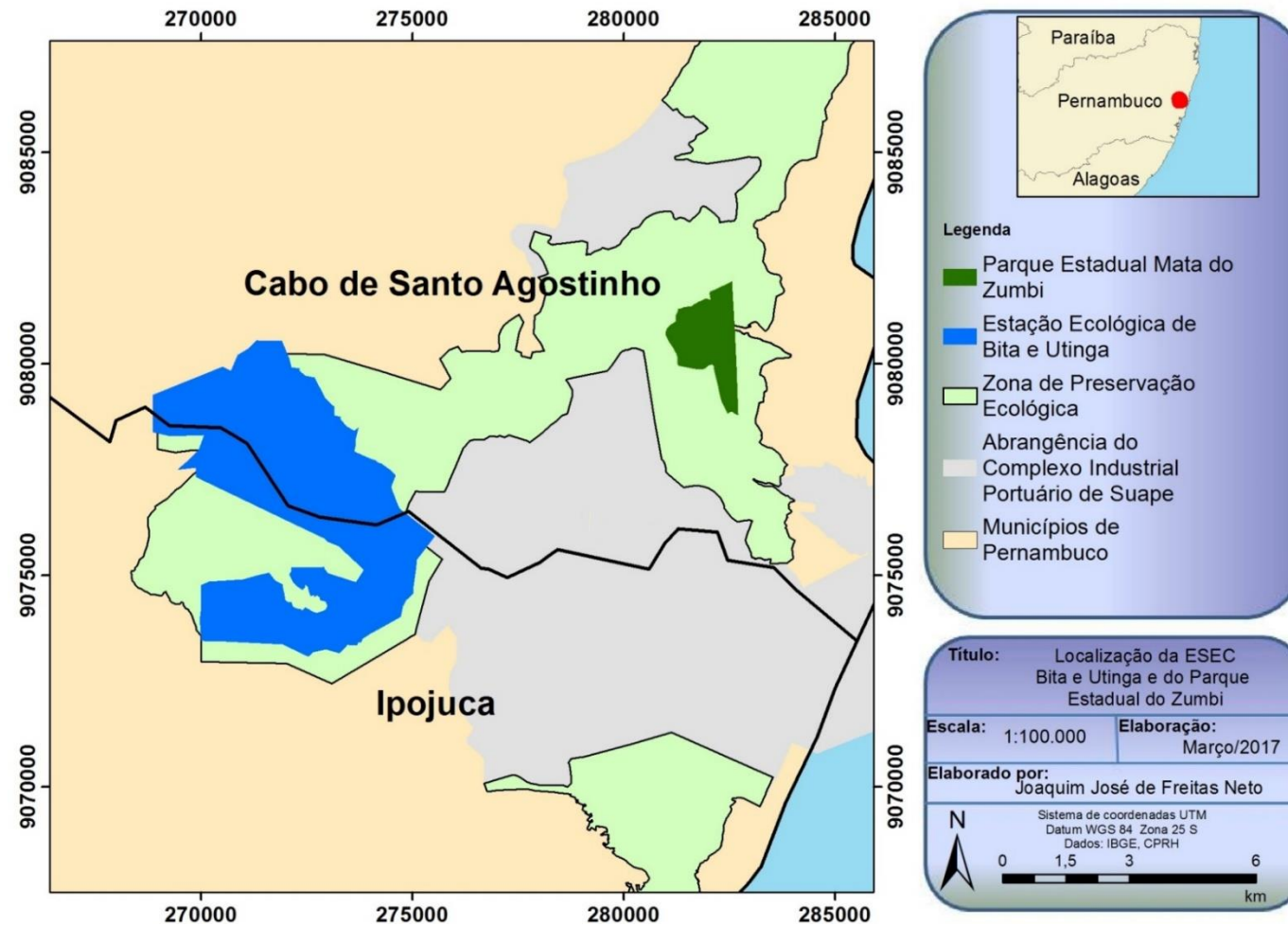
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Aspectos gerais

A Estação Ecológica de Bitá e Utinga (ESEC Bitá e Utinga) e o Parque Estadual Mata do Zumbi (PE Mata do Zumbi) são unidades de conservação de proteção integral sob a administração do Estado de Pernambuco, localizadas na área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS). A ESEC Bitá e Utinga está localizada na divisa dos municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca e o PE Mata do Zumbi localiza-se no município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 6). As unidades de conservação distam entre si 7,8km estando ambas inseridas no âmbito do zoneamento do CIPS na Zona de Preservação Ecológica (ZPEC), área sob o domínio do Complexo Industrial Portuário de Suape, compondo 10.538 hectares de áreas com finalidade estrita de preservação ambiental e compensação de passivos florestais (PERNAMBUCO, 2011).

As fitofisionomias da região estão classificadas como sendo de floresta ombrófila densa de terras baixas (VELOSO *et al.*, 1991), estando inteiramente inseridas no domínio do bioma Mata Atlântica.

Figura 6 - Localização da Estação Ecológica de Bita e Utinga (azul) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (verde escuro) dentro da Zona de Preservação Ecológica do Complexo Industrial Portuário de Suape (verde claro).



Fonte: Elaboração própria com dados de limites de unidades de conservação da CPRH (PERNAMBUCO, 2017) e limites municipais do IBGE (2016).

A Estação Ecológica de Bitá e Utinga teve sua existência vinculada ao Complexo Industrial Portuário de Suape. Em 1983, por ocasião de seu primeiro plano diretor, a área, juntamente com as demais áreas reconhecidas como de importância biológica para a mitigação dos impactos dos empreendimentos que viriam a ser instalados, passaram a se constituir em uma Zona de Preservação (ZPE), com o objetivo de, unicamente, favorecer a preservação de fauna e flora (GOUVEIA, 2010).

Após a implantação da zona, já sendo reconhecida pela disponibilidade hídrica das barragens de Bitá e Utinga, implantadas nos anos 1970, foi realizada uma tentativa de criação de um parque estadual na região. O parque estadual de Suape abrangeria os fragmentos florestais existentes no entorno das barragens, sendo planejada ainda a instalação de um centro de referência para experimentos em recuperação florestal e educação ambiental (PERNAMBUCO, 2012). No entanto, esse parque nunca chegou a ser implementado.

Em 2010, a companhia Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS) apresentou um estudo com uma proposta de criação de uma área protegida como forma de sanar parte dos passivos pela instalação de uma refinaria de petróleo na região. Essa proposta foi analisada, sendo realizados redimensionamentos para a efetividade de criação de uma unidade de conservação. Já à época, era reconhecido o grande número de posseiros na região, o que, no caso da criação de uma UC de proteção integral, para a área proposta pela Petrobras, geraria um grande passivo de regularização fundiária. Nesse sentido, em 2012 foi apresentada uma nova proposta de área protegida com pouco mais de 2.400 hectares.

Em junho de 2012 foi assinado o decreto estadual número 38.261, criando a Estação Ecológica de Bitá e Utinga, sendo poucos meses depois apresentado seu plano de manejo.

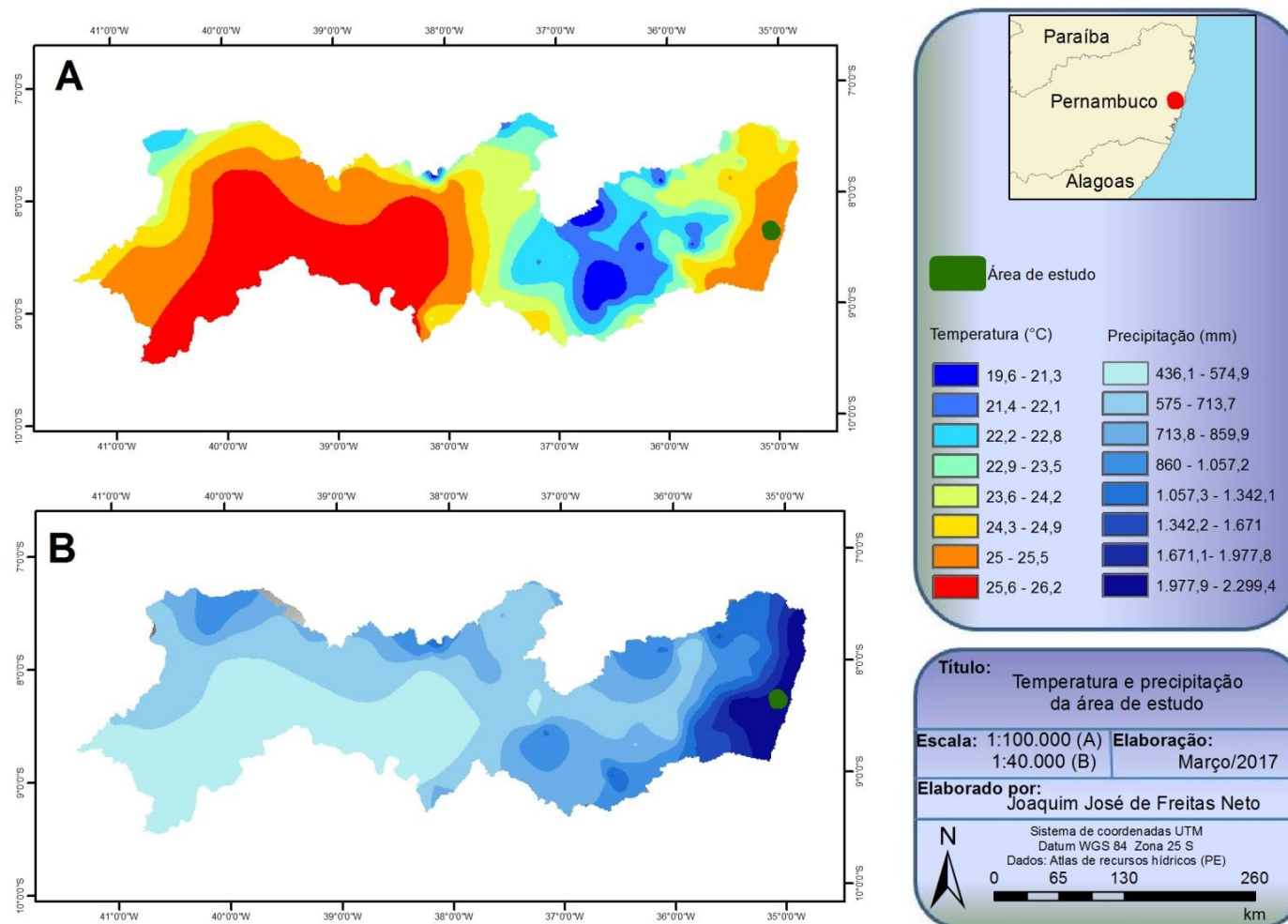
O Parque Estadual Mata do Zumbi também tem uma forte ligação com a existência do Complexo Industrial Portuário de Suape. Localizado também em sua Zona de Preservação Ecológica, essa unidade de conservação começou a despertar interesse de proteção a partir de 1987, quando a lei estadual nº 9989 definiu uma série de remanescentes florestais da região metropolitana do Recife como Reservas Ecológicas. Anteriormente, em meados dos anos 1930, a mata havia sofrido um processo de corte raso, por ocasião de sua venda à *Great Western Railway*, a fim de exploração de lenha e carvão (SIQUEIRA, 1997).

Em junho de 2011, foi realizada a recategorização das unidades de conservação da Região Metropolitana do Recife (RMR), com fins à adequação dessas áreas às categorias de áreas protegidas preconizadas pela lei estadual 13.787/09, que instituiu o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), passando então a ser um Parque Estadual, até então, sem plano de manejo.

3.1.2 Aspectos climáticos

O clima das áreas de estudo é classificado como As', clima quente e úmido, que apresenta chuvas de inverno antecipadas no outono (PERNAMBUCO, 2012). As áreas de estudo apresentam volumes de precipitação entre 1.900 e 2.300 mm aproximadamente e uma temperatura média que varia entre 25 e 25,5 °C (Figura 7).

Figura 7 - Temperatura (A) e precipitação (B) da área de abrangência da ESEC Bita e Utinga e PE Mata do Zumbi, Pernambuco.



Fonte: Elaboração própria com base em dados de Torres e Pfaltzgraff (2014)

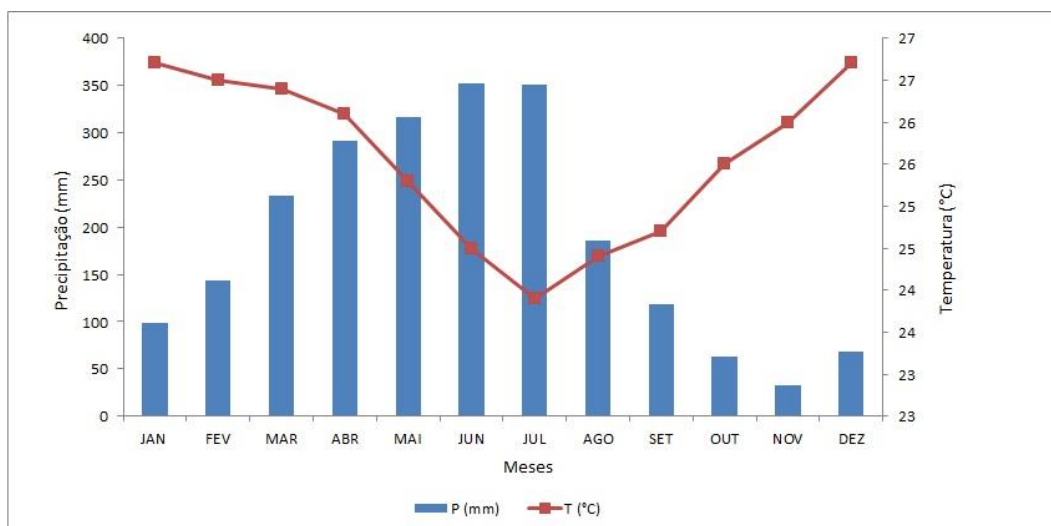
Os principais sistemas meteorológicos atuantes na região são a Frente Polar Atlântica, responsável por parte do volume hídrico registrado na região, e pelos distúrbios ondulatórios de leste, formados através das diferenças de pressão atmosférica na área tropical do globo, que sob influência dos ventos alísios, deslocam-se de oeste para leste, sendo responsáveis por eventos de precipitação desde a costa africana ao litoral do Brasil (PERNAMBUCO, 2012).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), composta como resultado da convergência de ventos alísios do norte e os alísios do sul, faz com que o ar quente e úmido ascenda, favorecendo a formação de nuvens. Episódios de temperatura de superfície do mar elevada e baixas pressões se unem a este fator, sendo um dos principais fatores para a definição da presença ou não de chuvas no Nordeste brasileiro (FERREIRA; SILVA MELO, 2005).

O climograma com as normais de temperatura e precipitação para a região (Figura 8) demonstra como se dá a distribuição mensal dessas variáveis climáticas ao longo do ano. Nota-se que historicamente, os meses de dezembro e janeiro apresentam os maiores valores de temperatura ($26,7^{\circ}\text{C}$). As menores temperaturas são registradas no mês de julho, com uma média de $23,9^{\circ}\text{C}$. Nos eventos de precipitação, junho aparece como sendo o mês mais chuvoso, com uma média de 352,5mm. Os meses de maio e julho também registram valores expressivos de precipitação, com 253mm e 351mm, respectivamente.

Os meses de outubro, novembro e dezembro registram os menores valores históricos de precipitação, com 62,8mm, 32,8mm e 68mm, respectivamente.

Figura 8 - Climograma da área de abrangência da ESEC Bitá e Utinga e Parque Estadual Mata do Zumbi, elaborado com base nas médias históricas de 1911 a 1990.



Fonte: Elaboração própria com dados do DCA/UFCG.

3.1.3 Solos

As classes predominantes de solos no interior da ESEC Bitá e Utinga são os Argissolos vermelho-amarelos, e os Gleissolos, com uma pequena área de ocorrência dos Argissolos amarelos. Já no Parque Estadual Mata do Zumbi, é possível verificar a predominância de Argissolos amarelos, com a presença também dos Gleissolos (Figura 9; Quadro 3).

Os Argissolos, anteriormente conhecidos como Podzólicos, são solos profundos, apresentando o horizonte B textural, contendo uma baixa presença de óxidos de ferro e bases trocáveis, apresentando um alto grau de intemperismo e sendo quimicamente pobres, apresentando uma diferença de textura entre os horizontes A e B, favorecendo processos erosivos (PERNAMBUCO, 2012).

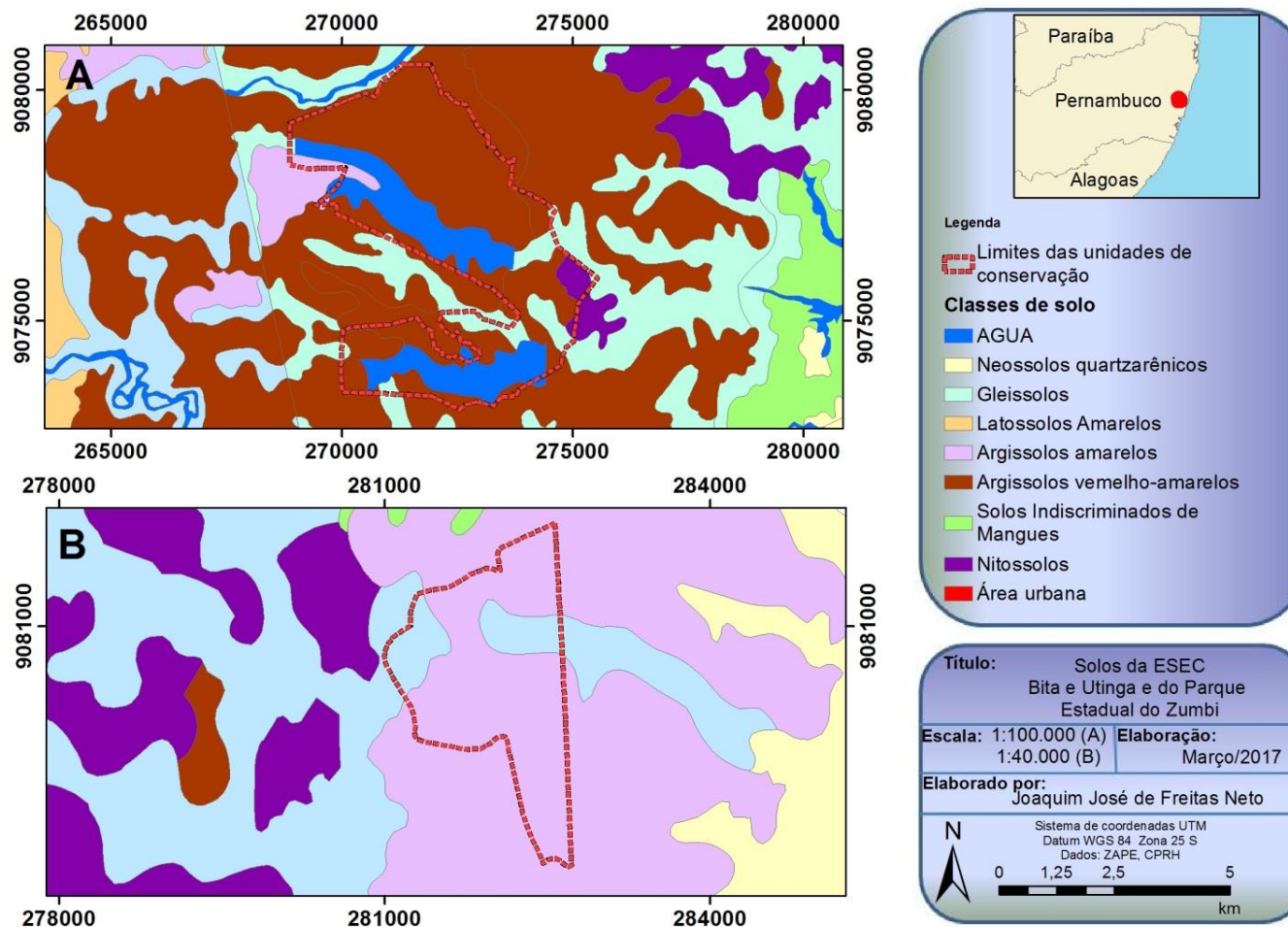
Os Gleissolos apresentam a característica de serem susceptíveis a alagamentos ou encharcamentos. Característicos de entorno de corpos hídricos, apresentam cores acinzentadas ou próximos de tons de verde, de acordo com a quantidade de vegetação em sua face superficial. Apresentam o horizonte A Chernozêmico seguido do horizonte C ou em conjunto com o horizonte B textural, apresentando argila de alta atividade e saturação de bases (EMBRAPA, 2006).

Quadro 3 - Quadro explicativo das classes de solo mais representativas para a região de estudo.

Classe de solo	Características
Argissolo Vermelho-Amarelo	Associação de Argissolo Vermelho Amarelo com argila de atividade baixa (Tb) distrófico, horizonte A proeminente, textura média/argilosa com e sem cascalho + Neossolos Litólicos eutróficos e distróficos, horizonte A moderado e proeminente, textura média, com cascalho a cascalhento, em substrato gnaisse e granito + Argissolo Amarelo e Vermelho Amarelo, com argila de atividade baixa (Tb) e horizonte A moderado e proeminente, de textura média/argilosa, com e sem cascalho; todos em ambiente de floresta subcaducifólia e/ou caducifólia e relevo suave ondulado a forte ondulado + afloramentos de rocha (40-25-20-15 %).
Argissolo Amarelo	Associação de Argissolo Amarelo e Vermelho Amarelo, com argila de atividade baixa (Tb), profundos e pouco profundos, com horizonte A moderado e proeminente, de textura média/argilosa + Neossolos Litólicos com horizonte A moderado, textura média, cascalhento com substrato de gnaisse, granito e sienito; ambos distróficos e eutróficos, em floresta subcaducifólia e/ou caducifólia e relevo ondulado e suave ondulado + afloramentos de rocha (60-25-15 %).
Gleissolos	Hidromorfia expressa por forte gleização, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.

Fonte: Embrapa (2006).

Figura 9 - Classes de solo predominantes nas áreas da ESEC Bitá e Utinga(A) e Parque Estadual Mata do Zumbi (B). Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria com dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (2001).

3.1.4 Unidades geoambientais e relevo

Segundo Mabesoone e Silva (1991), as áreas imediatamente ao sul do Recife estão caracterizadas pela presença de um relevo colinoso de baixas altitudes, estruturada em rochas provenientes do embasamento cristalino pré-cambriano e os sedimentos da formação Cabo. Essa faixa recebe o nome de Superfícies Remobilizadas, se estendendo desde as planícies flúvio-marinhas até a escarpa oriental do planalto da Borborema.

É possível verificar a presença dessa unidade nas áreas da ESEC Bitá e Utinga e do PE Mata do Zumbi como sendo as mais proeminentes. Há ainda a presença das várzeas e terraços aluviais e das planícies aluviais (Figura 10).

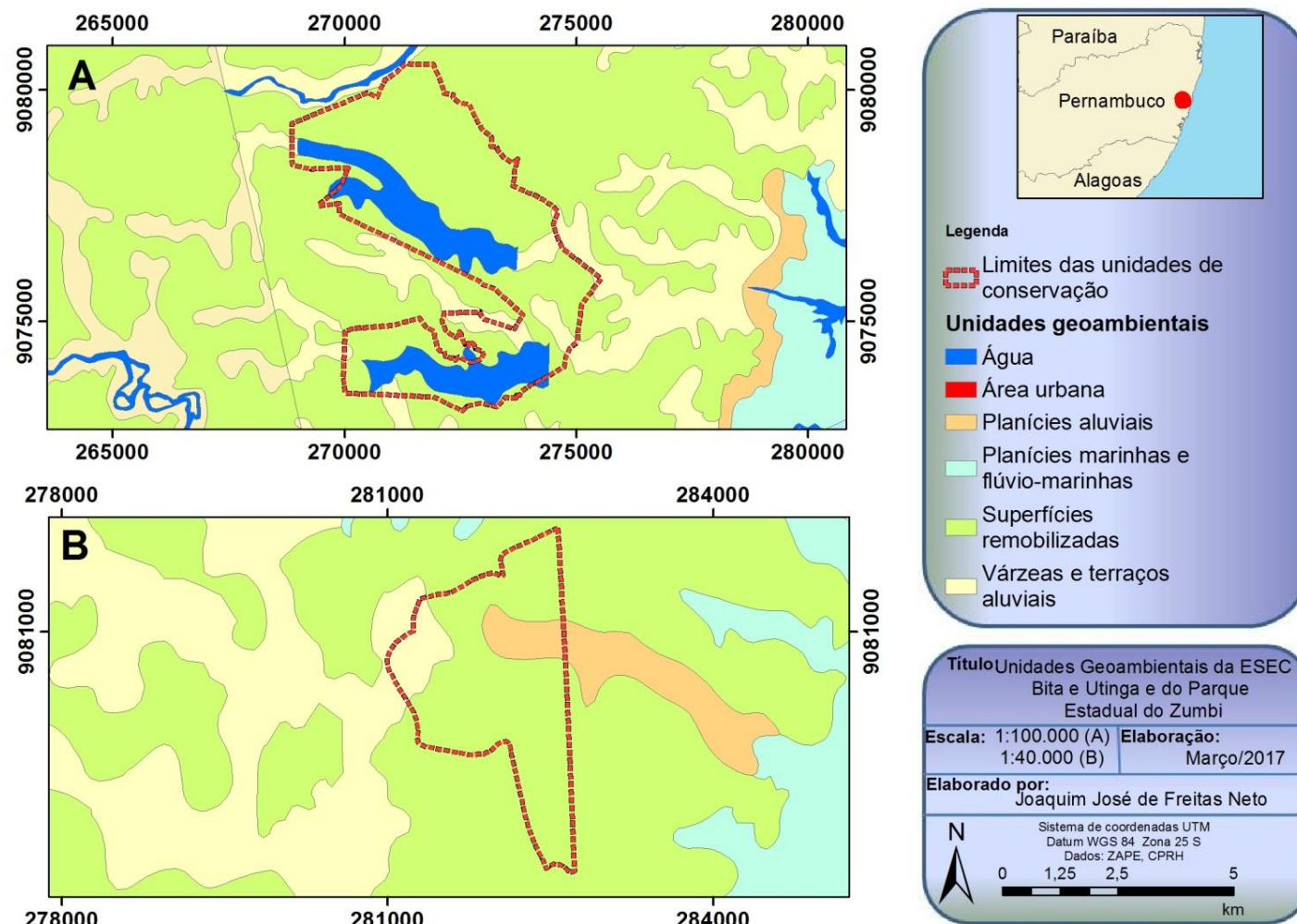
As várzeas e terraços aluviais são unidades geomorfológicas constituídas pelas faixas de terra que se distribuem ao longo ou sob a influência de rios e riachos, sendo formados por materiais oriundos do transporte fluvial, o que acarreta em solos de composição diversificada (LIRA, 2010).

As planícies aluviais são unidades geoambientais situadas entre uma área de rio e uma depressão inundável (CUNHA, 2002). Essas áreas, por essa característica, favorecem a formação de Gleissolos e Vertissolos. São compostas de sedimentos trazidos pelos rios, formando solos de origem aluvionar.

A ESEC Bitá e Utinga apresenta elevações com altitudes máximas no interior de seus limites entre 116 e 119 metros e mínimas de 23,3 metros, estando as maiores localizadas em sua área centro-norte. Apresenta ainda declividades que vão de 0 a aproximadamente 24 graus de inclinação (Figuras 11 e 12).

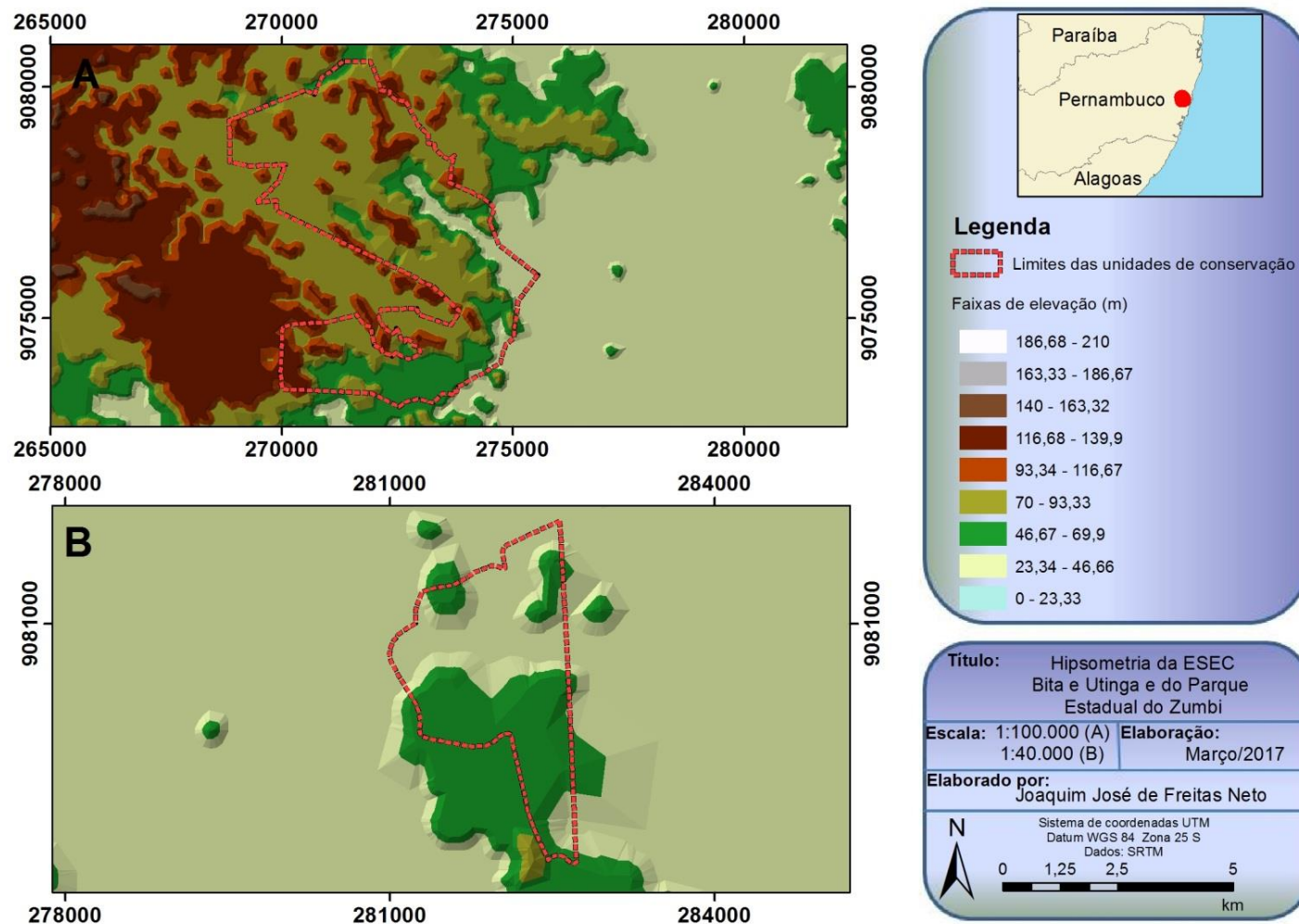
O PE Mata do Zumbi apresenta altitudes máximas de até aproximadamente 60 metros, e mínimas de aproximadamente 23,3 metros. As maiores elevações dentro de seus limites estão localizadas na sua área central-sul. Apresenta também declividades que vão de 0,8 a 14,6 graus de inclinação em seu interior (Figuras 11 e 12).

Figura 10 - Unidades geoambientais predominantes nas áreas da ESEC Bitá e Utinga(A) e do PE Mata do Zumbi(B), Pernambuco.



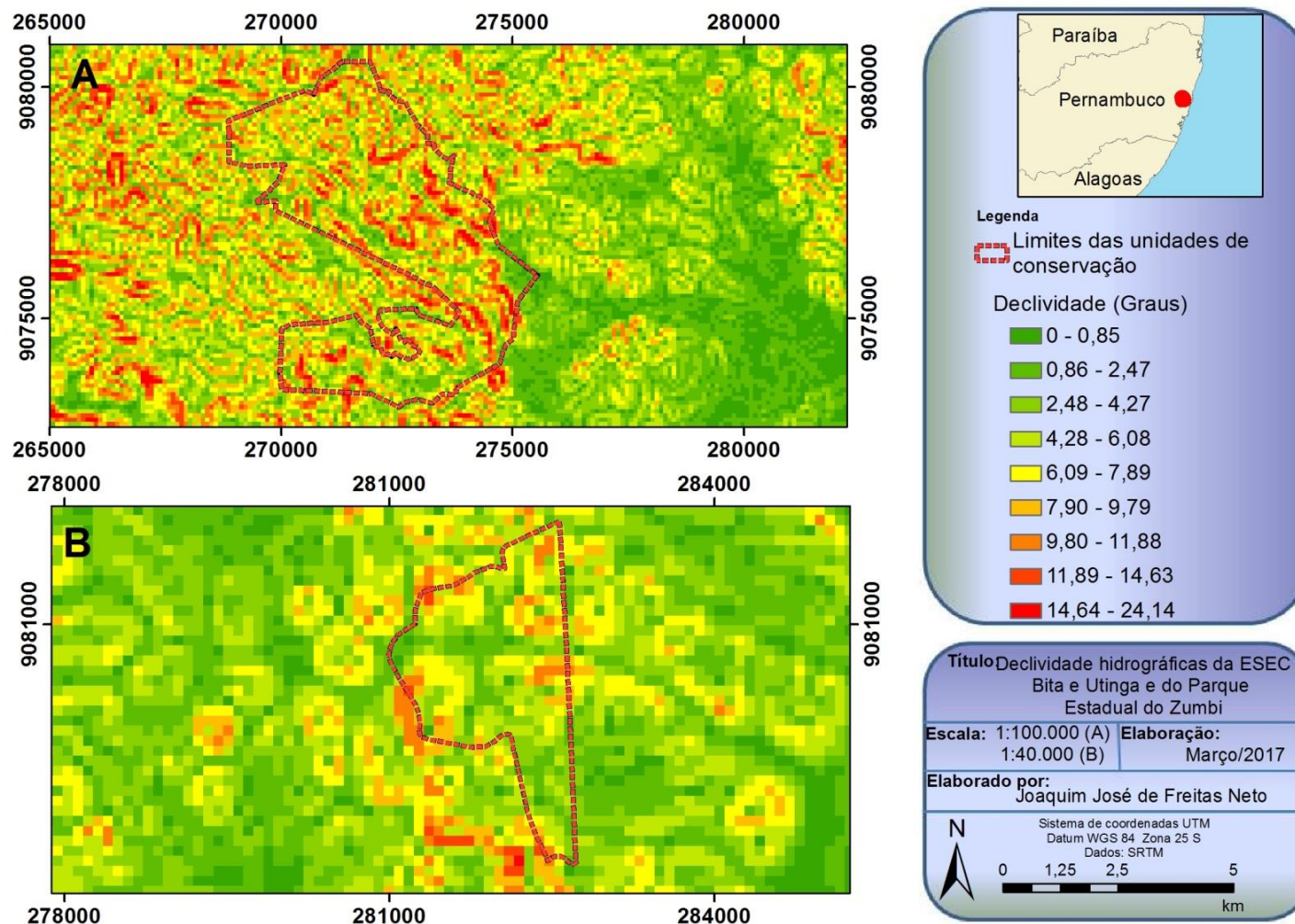
Fonte: Elaboração própria com dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (2001)

Figura 11 - Altitudes nas áreas da ESEC Bitá e Utinga(A) e PE Mata do Zumbi (B). Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria com dados do SRTM.

Figura 12 - Declividades nas áreas da ESEC Bitá e Utinga (A) e Parque Estadual Mata do Zumbi (B). Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria com dados do SRTM.

3.1.5 Hidrografia

Quanto à hidrografia, a Estação Ecológica de Bita e Utinga está localizada no divisor de águas entre a bacia do rio Ipojuca e o grupo de bacias dos pequenos rios litorâneos 2 (GL2). A unidade de conservação possui em seu interior diversos cursos hídricos, sendo os mais proeminentes deles o rio Bita, que foi represado nos anos 1970 com vistas a atender a demanda hídrica do Complexo Industrial Portuário de Suape, e o rio Utinga de baixo, também represado com este fim. O primeiro localiza-se a norte da unidade de conservação, enquanto o segundo localiza-se mais próximo de seu limite sul (Figura 13) (PERNAMBUCO, 2012).

As barragens, no entanto, atendem a diversos distritos do Cabo de Santo Agostinho, tendo a barragem de Bita uma capacidade de acumulação de $2.700.000\text{m}^3$, com uma captação de 300 litros de água por segundo. A barragem de Utinga possui $10.400.000\text{m}^3$ de capacidade, com uma vazão de captação de 350 litros de água por segundo (PERNAMBUCO, 2012).

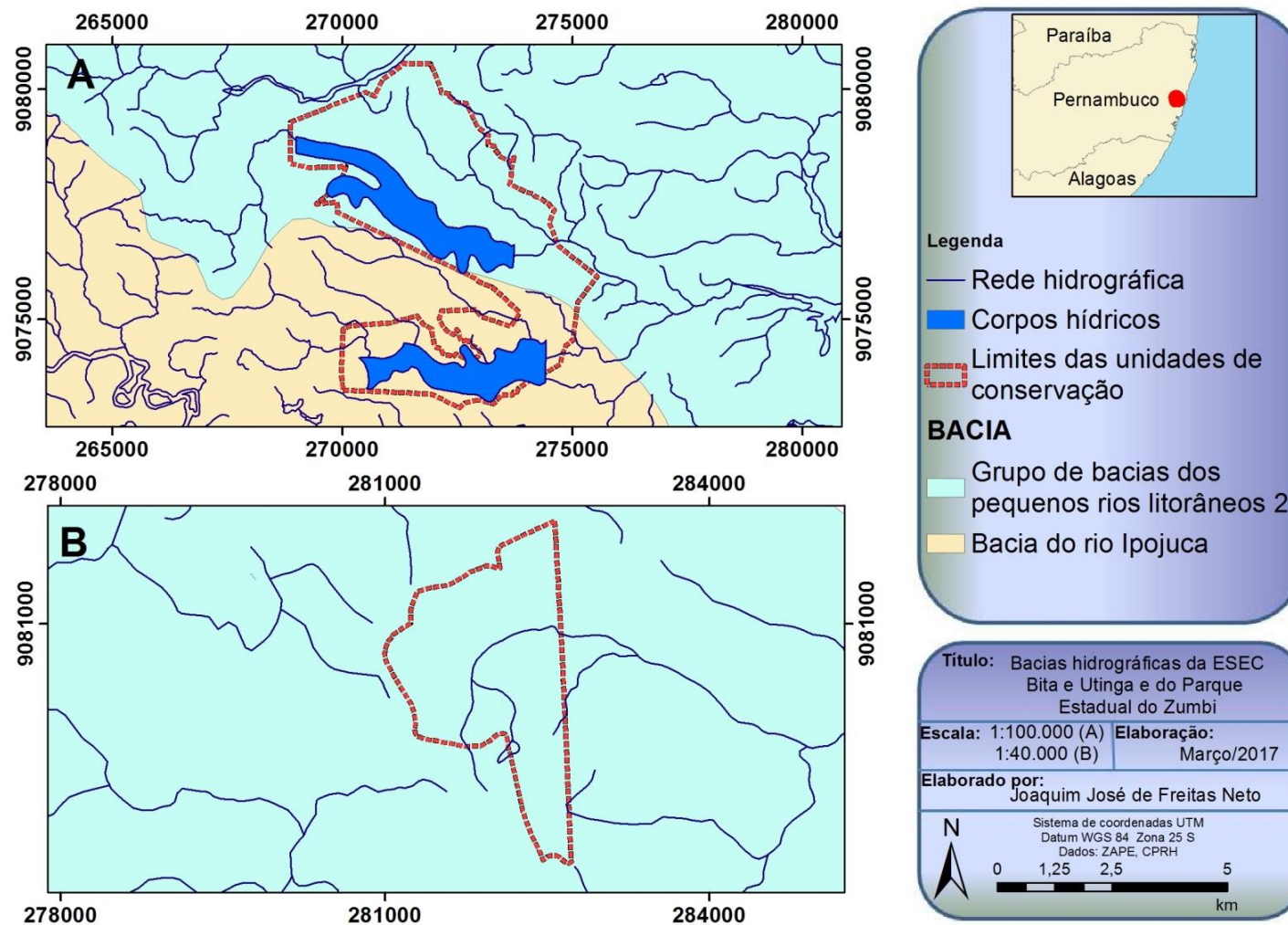
Acerca da qualidade da água dos reservatórios de Bita e Utinga, Silva (2015) demonstra que em análises realizadas no período de 2005 a 2013, foram encontrados altos valores de coliformes termotolerantes e de teor de fósforos totais na água. A autora avalia ainda que os reservatórios se demonstravam bastante impactados, havendo baixos valores de pH e de oxigênio dissolvido. As análises indicaram a presença de contaminações provenientes das lavouras de cana-de-açúcar, localizadas à montante dos corpos hídricos, bem como indícios de contaminação originária de efluentes domésticos.

Além dos reservatórios, a unidade de conservação conta com uma densa rede hidrográfica e diversos cursos hídricos, sendo alguns de caráter perene e outros de caráter intermitente. A área possui ainda uma série de nascentes que alimentam os cursos hídricos da região.

O Parque Estadual Mata do Zumbi localiza-se inteiramente na bacia dos pequenos rios litorâneos 2, sendo formado por dois córregos perenes que ao se juntarem recebem a alcunha de riacho do Zumbi, nos limites externos da UC. Apresenta ainda áreas alagáveis de dois corpos hídricos no interior da vegetação, que de forma intermitente, formam espelhos d'água (SIQUEIRA, 1997).

Em relação à qualidade da água proveniente do riacho do Zumbi, o relatório de qualidade de águas das bacias hidrográficas da região metropolitana do Recife indica que o índice de qualidade de água foi considerado como bom em 5 das 6 medições realizadas, sendo seu estado considerado como mesotrófico (PERNAMBUCO, 2012).

Figura 13 - hidrografia na ESEC Bitá e Utinga (A) e no Parque Estadual Mata do Zumbi (B). Pernambuco, Brasil.

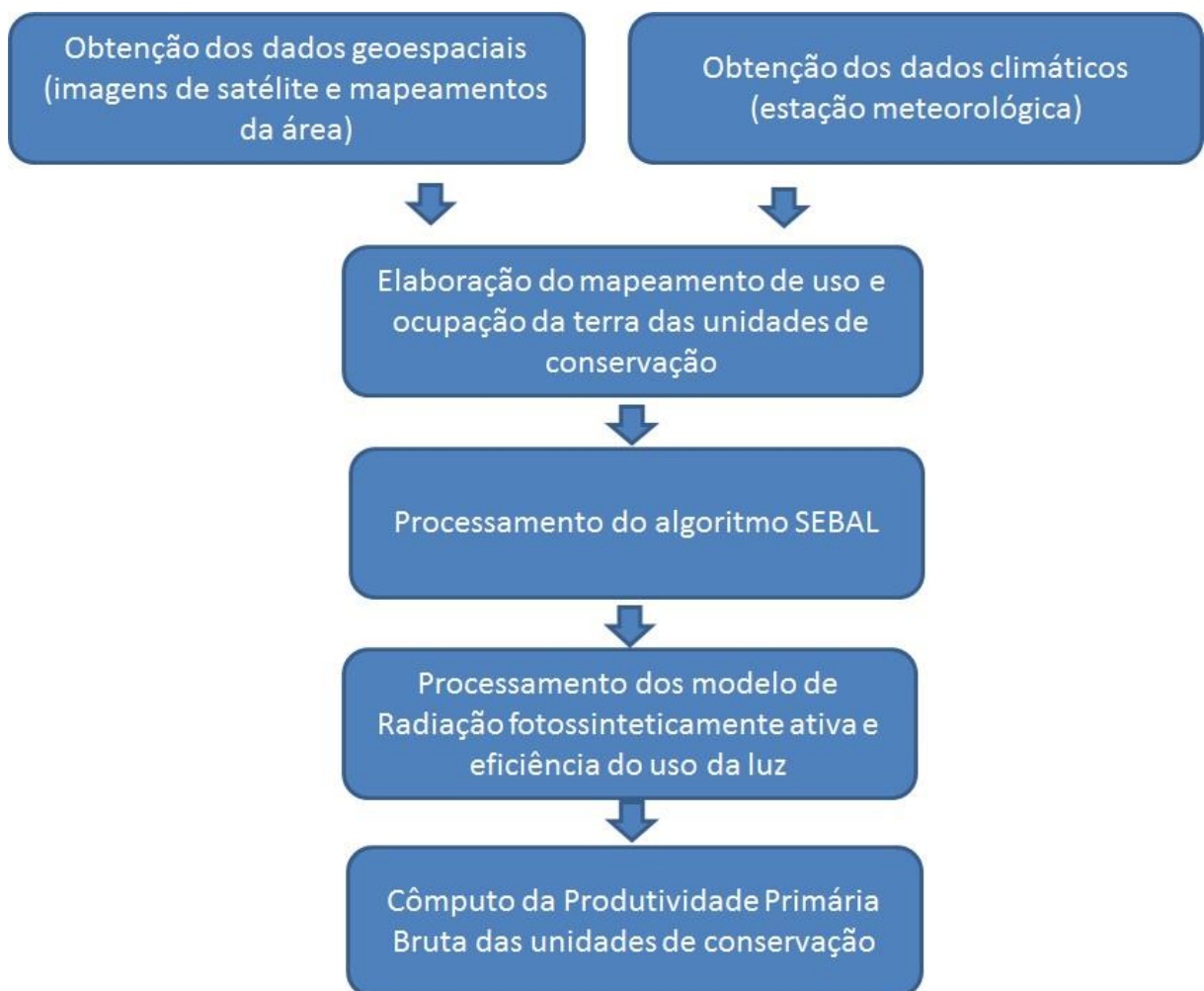


Fonte: Elaboração própria com dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (2001)

3.2 COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

No intuito de realizar as análises geoespaciais a fim de quantificar a produtividade primária bruta das unidades de conservação em estudo, é necessária a obtenção e processamento de um conjunto de dados climáticos e orbitais. Dessa forma, a metodologia adotada segue o seguinte fluxo de atividades (Figura 14).

Figura 14 - Fluxograma de atividades para obtenção dos dados de produtividade primária bruta das áreas florestadas da unidade de conservação.



Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, para a elaboração dos mapeamentos de uso e ocupação da terra e cômputo dos algoritmos, foi utilizada a imagem do satélite Landsat 5, capturada através do sensor *Thematic Mapper* (TM) da órbita 214 e ponto 66 da data de 6 de setembro de 2010. Exclusivamente para o mapeamento de uso e ocupação da terra, as classes de uso obtidas através da imagem de satélite foram validadas de acordo com os dados vetoriais provenientes

do diagnóstico ambiental e elaboração do projeto de restauração florestal da zona de preservação ecológica do complexo industrial e portuário de Suape (PERNAMBUCO, 2010).

É reconhecida a dificuldade de disponibilidade de imagens orbitais do litoral nordestino do Brasil com baixa presença de nuvens para a realização de análises de geoprocessamento e sensoriamento remoto (SOS MATA ATLÂNTICA, 2015), sobretudo nas áreas de estudo. Dessa forma, dentre todo o catálogo de imagens landsat da série 5, 6, 7 e 8, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), apenas a imagem de 2010 tinha condições de nebulosidade favoráveis à execução dos trabalhos nas áreas de estudo.

As imagens da série Landsat 5 captadas pelo sensor *Thematic Mapper*, são compostas de 7 bandas espectrais, realizando os imageamentos da superfície terrestre em cenas de 185 km de largura, apresentando média resolução da superfície terrestre, com um píxel de 30x30 metros nas bandas de reflexão e 120x120 metros na banda termal. O satélite apresenta ainda uma órbita heliossíncrona, com tempo de reimageamento de 16 dias (LIU, 2006).

A fim de realizar o processamento dos algoritmos, em uma série de etapas, são utilizadas informações de reflectância e radiância espacial. No cômputo dessas informações, são utilizados coeficientes de calibração das imagens de satélite, para cada um dos comprimentos de onda de suas bandas. A tabela 1 detalha os coeficientes utilizados de com a faixa espectral de cada banda.

Tabela 1 - Informações das faixas espectrais e coeficientes de calibração utilizados no processamento.

Coeficiente de Calibração									
Bandas	Faixa espectral (μm)	(W m ⁻² μm ⁻¹)						ESUN _λ (W m ⁻² μm ⁻¹)	W _{λi}
		De 01/03/1984 até		De 05/05/2003 até		Após 02/04/2007			
		04/05/2003		01/04/2007					
		a	b	a	b	a	b		
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1.52	152.10	-1.52	193.00	-1.52	169.00	1957	0.293
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2.84	296.81	-2.84	365.00	-2.84	333.00	1826	0.274
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1.17	204.30	-1.17	264.00	-1.17	264.00	1554	0.233
4 (IV-próx.)	0,76 – 0,90	-1.51	206.20	-1.51	221.00	-1.51	221.0	1036	0.155
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0.37	27.19	-0.37	30.20	-0.37	30.2	215.0	0.032
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1.2378	15.303	1.2378	15.303	1.2378	15.303	-	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0.15	14.38	-0.15	16.50	-0.15	16.50	80,67	0.012

Fonte: Chander *et al.*, 2007.

Ainda, para o cômputo da transmissividade atmosférica foram utilizados dados de altimetria provenientes da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), e para o processamento do algoritmo SEBAL foram utilizados os dados meteorológicos provenientes da estação meteorológica do Recife, localizada a aproximadamente 30 km das áreas.

3.2.1 Mapeamento de uso e ocupação da terra das unidades de conservação

A fim de realizar um reconhecimento da região, com o objetivo de, além de quantificar os diferentes usos identificados no interior das unidades de conservação estudadas, é imprescindível uma caracterização geoespacial das situações de uso e ocupação da terra existentes nos locais. O mapeamento se deu no sentido de caracterizar e quantificar as categorias de uso de solo presentes nas unidades de conservação, a fim de demonstrar como se dá a dinâmica das variáveis estudadas em cada uma delas, sobretudo nos remanescentes florestais. Essa classificação permitiu a análise dos resultados para cada área separadamente, de acordo com sua categoria.

Para o levantamento do uso e ocupação da terra, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para a execução de mapeamentos da área, juntamente com as expedições de campo para validação dos dados obtidos.

Para o mapeamento de uso e ocupação da terra, foram seguidos alguns passos:

Passo 1 – Aquisição e correção das imagens: As imagens foram adquiridas através da plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que permite o download de uma série de dados de satélite presentes em seu catálogo. Após a aquisição foi necessário o processo conhecido como “empilhamento”, onde as imagens que são baixadas com suas bandas de forma separada, são alocadas no software ERDAS 9.3 para fins de que se possa trabalhar com todas as bandas em um mesmo processamento, diminuindo o tempo de trabalho.

Após o empilhamento, as imagens tiveram corrigidos seus sistemas de coordenadas e datum através do processo de reprojeção, visando diminuir erros cartográficos intrínsecos à captura e disponibilização das imagens na plataforma.

Após a reprojeção, foi realizado um recorte da área de interesse de trabalho, para que se pudesse diminuir o número de dados a ser processados e aumentar a acurácia dos processamentos.

Passo 2 – Digitalização das situações ambientais: Para a realização do mapeamento a fim de quantificar os diferentes usos de solo das áreas de estudo, foram criados manualmente, através de fotointerpretação, arquivos vetoriais que expressam as feições presentes na paisagem (*shapefiles*), possibilitando a medição de áreas e quantificação das situações ambientais encontradas no interior das Unidades de Conservação estudadas. Para isso, utilizou-se o *shapefile* com os limites das Unidades de Conservação disponível no Sistema de Informações Geoambientais de Pernambuco (Caburé), sendo dentro desses limites, produzidas informações que compõem os bancos de dados.

Passo 3 – Caracterização das áreas: Após o processo de digitalização das feições verificadas nas Unidades de Conservação em estudo, ainda através de fotointerpretação, foram atribuídas as prováveis situações ambientais das áreas mapeadas. Assim, foram elaborados pré-mapas que auxiliaram na validação *in loco* das informações presentes na imagem. Nessa atividade foi utilizado um aparelho receptor GPS do modelo Garmin 62-s, para que pudessem ser coletados pontos em campo para uma melhor identificação e validação da situação ambiental das áreas do mapeamento após as visitas de campo. Esses pontos foram plotados no pré-mapeamento, permitindo a adição ou correção das situações ambientais encontradas, ajustando o produto final.

Passo 4 – Compatibilização das classes encontradas para a época do imageamento: A fim de se corrigir os dados verificados em campo e através das imagens para a época do imageamento, foram utilizados os produtos oriundos do mapeamento Diagnóstico Ambiental e Plano de Restauração das áreas da Zona de Preservação Ecológica de Suape (2010). Esse projeto teve o objetivo de caracterizar toda a área da ZPEC do território de Suape, onde se encontram inseridas as unidades de conservação. Através desse mapeamento foi possível identificar os usos de solo pretéritos como a real extensão das áreas em uso agropecuário e áreas abandonadas à época do imageamento, bem como a extensão das florestas da região no ano de 2010.

Como resultado desses passos teve-se um arquivo vetorial em formato *shapefile* com as metragens e localizações das diversas situações ambientais de uso e ocupação da terra existentes nas áreas em 2010.

3.2.2 Processamento do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)

O algoritmo SEBAL foi desenvolvido por Bastiaanssen (1998a;b) e desde então vem sendo testado e aprimorado sob a influência de diversos ecossistemas e condições climáticas na Terra. O algoritmo tem como objetivo o cômputo instantâneo dos diversos componentes do balanço de radiação da superfície terrestre, utilizando-se como base imagens de satélite que possuam as bandas de reflexão e termal necessárias, bem como dados coletados através de estações meteorológicas na superfície terrestre.

A utilização do algoritmo se difundiu, sobretudo, por ser de um processamento relativamente simples, onde os sistemas computacionais comuns disponíveis atualmente estão aptos a rodar, bem como de ter uma acurácia expressiva, apresentando dados de até 1% de erro em escalas menores, quando comparados com as medições realizadas por meio de instrumentos em campo (BASTIAANSEN, 2000). Uma vez que compreendida as etapas e conceitos atrelados a seu processamento, se torna ainda uma opção mais barata e viável para aferição dos componentes do balanço de energia, sobretudo em escalas médias.

3.2.2.1 Calibração radiométrica

Para a realização dos processamentos necessários à obtenção dos componentes do balanço de energia das áreas de estudo, foram utilizados uma série de processamentos alocados no módulo *model maker* do software ERDAS 9.3. Dessa forma, o primeiro passo necessário ao processamento das imagens é a transformação dos dados de número digital (ND) em radiância espectral monocromática ($L_{\lambda i}$), representando a energia solar refletida por cada píxel da imagem por unidade de área, tempo, ângulo sólido e comprimento de onda, medido no satélite a nível de suas 7 bandas. Para isso, foi utilizada a equação 1 (MARKHAM e BAKER, 1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde a e b representam as radiâncias espectrais máxima e mínima ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) o ND é o número digital de cada píxel, que varia de 0 a 255 e o i corresponde às respectivas bandas da imagem.

3.2.2.2 Reflectância espectral

Seguidamente ao cálculo da radiância espectral de cada banda da imagem de satélite, realiza-se o cálculo da reflectância espectral planetária, que tem como definição, ser a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, tendo seu cômputo através da equação (ALLEN *et al.*, 2002) (Eq. 2):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde $\rho_{\lambda i}$ é a reflectância espectral planetária de cada banda, $L_{\lambda i}$ a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a radiância solar espectral no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), Z é o ângulo zenital e d_r é quadrado da razão entre a distância média terra-sol e a distância terra-sol no dia do imageamento.

3.2.2.3 Albedo no topo da atmosfera ou albedo planetário

Corresponde ao albedo computado no topo da atmosfera terrestre, ou seja, sem a aplicação de correções atmosféricas, obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas assim sendo (Eq.3):

$$a_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (3)$$

Onde a_{toa} corresponde ao albedo no topo da atmosfera, ρ_n corresponde à banda da imagem de satélite onde estão sendo realizadas as operações.

3.2.2.4 Transmissividade atmosférica

Em condições de céu claro, a transmissividade atmosférica pode ser obtida através da equação (ALLEN *et al.*, 2002) (Eq. 4):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z \quad (4)$$

Onde τ_{sw} representa o valor de transmissividade atmosférica e Z representa o valor da altitude de cada píxel, obtido através de um modelo digital de terreno. No caso, foi utilizado o modelo SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para o cálculo.

3.2.2.5 Albedo de superfície

O albedo corrigido aos efeitos da atmosfera, é denominado albedo de superfície, sendo dado pela equação (eq.5):

$$a = \frac{a_{toa} - a_p}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Onde a é o albedo de superfície, a_{toa} é o albedo no topo da atmosfera, a_p é a reflectividade da atmosfera, que varia de 0,025 a 0,04. Bastiaassen (2000) recomenda para o cômputo dos produtos do algoritmo SEBAL, o valor de 0,03. O τ_{sw} representa na fórmula os valores de transmissividade atmosférica.

3.2.2.6 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

O IVDN, índice de vegetação característico por apontar a quantidade e condição da vegetação, apresenta uma variação de valores que vai de -1 a +1, sendo os valores negativos computados para corpos hídricos e áreas com nebulosidade, e os valores mais próximos de 1 computados para áreas com a presença de vegetação.

O índice vem sendo utilizado largamente em estudos de vegetação desde os anos 1980, e seu computo é dado pela razão da diferença e soma entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo, conforme a equação (eq. 6).

$$IVDN = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (6)$$

Onde ρ_{iv} é a banda do infravermelho (banda 4) e ρ_v é a banda correspondente ao vermelho (banda 3).

3.2.2.7 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)

O IVAS, do inglês *Soil Adjusted Vegetation Index*, é um índice de vegetação que busca adicionar os efeitos de presença do solo ao cálculo estabilizando os valores do IVDN no modelo entre -1 e +1 (OLIVEIRA, 2012). Seu cômputo é dado com base na equação 7 (HUETE, 1988).

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{iv} - \rho_v)}{(L + \rho_{iv} + \rho_v)} \quad (7)$$

Onde o L será o fator de ajuste ao solo, sendo mais frequentemente utilizado o valor de 0,5 (MACHADO, 2014; MOREIRA, 2014; OLIVEIRA, 2012). O ρ_{iv} é a banda do infravermelho (banda 4) e ρ_v é a banda correspondente ao vermelho (banda 3).

3.2.2.8 Índice de Área Foliar (IAF)

O IAF pode ser entendido como a área foliar integrada ao dossel da planta, por unidade de área projetada no solo ($m^2 \times m^2$) (MACHADO, 2014). Esse índice, pode ser entendido como a expressão da quantidade de biomassa em cada píxel da imagem, dessa forma, seu cálculo é dado pela equação 8 (ALLEN *et al.*, 2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69-IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

3.2.2.9 Emissividades

A emissividade de um corpo pode ser definida como a razão entre a energia emitida por este corpo e a energia emitida por um corpo negro, estando ambos sujeitos à mesma temperatura (MEIRELES, 2007). Dessa forma, as emissividades no âmbito do SEBAL são calculadas através das fórmulas 9 e 10 (ALLEN *et al.*, 2002).

$$\varepsilon_{nb} = 0,97 \times 0,00331 \cdot IAF \quad (9)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF \quad (10)$$

Onde ε_{nb} corresponde à emissividade do canal termal e ε_0 corresponde às emissividades de cada píxel. IAF é o índice de área foliar. As equações se aplicam para os valores de IVDN > 0 e IAF < 3 para IAF maior ou igual a 3, os valores de ε_{nb} e ε_0 se igualam a 0,98. Para IVDN < 0 , o $\varepsilon_0=0,985$ e $\varepsilon_{nb}= 0,99$.

3.2.2.10 Temperatura de Superfície

A temperatura de superfície dos alvos da imagem de satélite é dada em Kelvin (k), sendo computada pela equação 11:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{nb} K_1}{L_{\lambda_6}} + 1\right)} \quad (11)$$

Onde k_1 e k_2 são as constantes de calibração do satélite Landsat 5, com valores de $607,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $1.260,56 \text{ K}$ (ALLEN *et al.*, 2002). L_{λ_6} é a radiância espectral da banda do termal e ε_{nb} as emissividades do termal.

3.2.2.11 Radiação de Onda Longa Emitida

Para o cômputo da radiação de onda longa emitida pela superfície, é utilizada a equação de Stephan-Boltzmann (Eq. 12)

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \theta \cdot Ts^4 \quad (12)$$

Sendo na fórmula o $R_{L\uparrow}$ a radiação de onda longa emitida, ε_0 a emissividade de cada pixel, calculada nas etapas anteriores, θ representa o valor da constante de Stephan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$). Ts representa a temperatura de superfície.

3.2.2.12 Radiação de Onda Curta Incidente

Pode ser definida como a radiação solar que incide no sensor no momento da passagem do satélite. Pode ser computada para cada píxel da área de trabalho de acordo com a equação (Eq. 13) (ALLEN *et al.*, 2002):

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (13)$$

Onde $R_{s\downarrow}$ representa a radiação de onda curta incidente, S representa a constante solar (1.367 W m^{-2}), Z é o ângulo zenital solar d_r é quadrado da razão entre a distância média terra-sol e a distância terra-sol no dia do imageamento e τ_{sw} representa a transmissividade atmosférica.

3.2.2.13 Radiação de Onda Longa Incidente

Sendo a radiação que incide da atmosfera em direção à superfície terrestre, é calculada em função da emissividade atmosférica através da equação de Stephan-Boltzmann (Eq. 14)

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \theta \cdot Ta^4 \quad (14)$$

Onde ε_a representa a emissividade atmosférica calculada por $\varepsilon_a = 0,085(-\ln[\tau_{sw}])^{0,09}$, θ representa o valor da constante de Stephan-Boltzmann

$(5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4})$ e Ta é a temperatura do ar coletada na estação meteorológica e convertida em kelvin.

3.2.2.14 Saldo de Radiação

O saldo de radiação instantâneo à superfície pode ser calculado utilizando a equação de balanço de radiação (Eq. 15) (ALLEN *et al.*, 2002):

$$R_n = R_{s\downarrow}(1 - \alpha_{sup}) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (15)$$

Onde R_n é o saldo de radiação, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente em cada pixel da imagem, α_{sup} é o albedo com os efeitos da atmosfera corrigidos, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa incidente, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_0 é a emissividade de cada pixel da imagem.

3.2.2.15 Fluxo de calor no solo

Para o cômputo do fluxo de calor no solo, utiliza-se o saldo de radiação, produto da etapa anterior, inserindo-o na equação empírica, proposta por Bastiaanssen (2000), válida para valores próximos ao meio dia (Eq. 16).

$$G = [T_s(0,0038 + 0,0074 \alpha_{sup})(1 - 0,98IVDN^4)]R_n \quad (16)$$

Onde G representa o fluxo de calor no solo, T_s a temperatura de superfície, α_{sup} representa o albedo de superfície, $IVDN$ é o índice de vegetação por diferença normalizada e R_n é o saldo de radiação. Foi adicionada uma condicionante a fim de evitar a interferência dos valores negativos de $IVDN$, sendo $IVDN < 0 \rightarrow G = 0,5R_n$ (ALLEN *et al.*, 2002).

3.2.2.16 Fluxo de calor sensível

O cômputo do fluxo de calor sensível constitui uma das etapas mais importantes e complexas no processamento do algoritmo. Sua estimativa é dada através dos valores de velocidade do vento a 200 metros de altura e da temperatura de superfície calibrando-se a diferença de temperaturas entre dois níveis da superfície, segundo a equação 17 (BASTIAANSEN, 2000).

$$H = \rho \cdot C_p \cdot \frac{dT}{r_a} \quad (17)$$

Onde ρ constitui a densidade do ar (Kg m^{-3}), C_p é o calor específico do ar ($1004 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), dT (K) é a diferença de temperatura a um nível de referência e r_a é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm^{-1}), H é o fluxo de calor sensível dado em função da variação vertical da temperatura, rugosidade da superfície e velocidade do vento.

Para que se tenha conhecimento do fluxo de calor sensível, é necessário inicialmente a estimativa da velocidade de fricção, calculada através de um perfil logarítmico da atmosfera em equilíbrio neutro (Eq. 18)

$$U_x = \frac{Ku_x}{\ln\left(\frac{z_x}{z_{0m}}\right)} \quad (18)$$

Onde K será a constante de Von Karman (0,41), U_x é a velocidade do vento à altitude fornecida pela estação meteorológica, e z_{0m} representa o coeficiente de rugosidade local.

Em um passo posterior, ainda com a hipótese da atmosfera em equilíbrio neutro, realiza-se a projeção da velocidade do vento à altura denominada de *blending height*, onde esta não é afetada pelas rugosidades da superfície. Para a condição do local de estudo, adotou-se a altura de 200 metros (MOREIRA, 2014), podendo agora a velocidade de fricção ser obtida para cada píxel da imagem (Eq. 19)

$$U_{200} = \frac{Ku_{200}}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right)} \quad (19)$$

Onde U_{200} representa a velocidade do vento a 200m (ms^{-1}), e z_{0m} representa o coeficiente de rugosidade local, obtido em função do IVAS, conforme a equação 20 (BASTIAANSSEN, 2000).

$$z_{0m} = \exp(-5,809 + 5,62 \text{ IVAS}) \quad (20)$$

Após a realização do processo, já se tem os insumos necessários para o cômputo da resistência aerodinâmica ao transporte do calor sensível, através da equação 21 (ALLEN *et al.*, 2002; TREZZA, 2002).

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{u_*K} \quad (21)$$

Onde z_1 e z_2 são níveis de altura acima da superfície. as demais componentes já foram citadas anteriormente.

Na continuidade do processo iterativo, é necessário a escolha dos pixels âncoras da imagem, sendo um píxel quente (preferivelmente em áreas onde existe solo exposto ou impermeabilizado, onde o calor latente é nulo) e o píxel frio (áreas úmidas, irrigadas ou próximas de corpos hídricos, com um baixo valor de calor sensível) (OLIVEIRA, 2012). Na área em questão, o píxel frio se localizou nas áreas de floresta ciliar no entorno do

reservatório de Utinga, e o pixel quente no centro da cidade do Cabo de Santo Agostinho. Dessa forma, o fluxo de calor sensível do pixel quente vai ser dado por (Eq. 22):

$$H_{quente} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + b T_{sup})}{r_{ah}} \quad (22)$$

Onde H_{quente} é o fluxo de calor latente do pixel quente, R_n representa o saldo de radiação do pixel quente, G é o fluxo de calor no solo do pixel quente, ρ é a massa específica do ar (Kg m^{-3}), c_p é o calor específico à pressão constante ($\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$).

Seguindo os passos, tem-se no pixel frio $dT=0$, resultando em $a + b T_{sup} = 0$, forma-se um sistema biequacional com duas incógnitas a serem resolvidas, possibilitando o cálculo de a e b . Dessa forma, pode-se obter o H através da equação 22, no entanto, esses valores ainda serão utilizados como valores iniciais para a realização do processo de interações para a correção da estabilidade. Aplica-se então a teoria de similaridade de Monin-Obukhov (1954). Essa teoria será agora aplicada a todos os pixels para o cálculo do calor sensível através da equação 23.

$$L = - \frac{\rho c U_*^3 T_{sup}}{K g H} \quad (23)$$

Onde o L será o indicativo de estabilidade. Se $L < 0$, a atmosfera considera-se instável. Se $L = 0$ a atmosfera é considerada neutra. Se $L > 0$ a atmosfera é considerada estável. De acordo com as derivações atmosféricas, devem ser inseridas as variáveis de transporte de momentum (Ψ_m) e de transporte de calor (Ψ_h), através das equações utilizadas por Paulson (1970) e Webb (1970):

I – Se $L < 0$ (Condição de instabilidade):

$$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L}\right)^{0,25} \quad (24)$$

$$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L}\right)^{0,25} \quad (25)$$

$$x_{(200m)} = \left(1 - 16 \frac{200}{L}\right)^{0,25} \quad (26)$$

$$\Psi_{h(0,1m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(0,1m)}^2}{2} \right) \quad (27)$$

$$\Psi_{h(2m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(2m)}^2}{2} \right) \quad (28)$$

$$\Psi_{m(200m)} = 2 \ln \left(\frac{1 + x_{(200m)}}{2} \right) + \ln \left(\frac{1 + x_{(200m)}^2}{2} \right) - 2 \arctg(x_{(200m)}) + 0,5\pi \quad (29)$$

II – Se $L > 0$ (Condição de estabilidade):

$$\Psi_{h(0,1m)} = -5 \left(\frac{0,1}{L} \right) \quad (30)$$

$$\Psi_{h(2m)} = -5 \left(\frac{2}{L} \right) \quad (31)$$

$$\Psi_{m(200m)} = -5 \left(\frac{200}{L} \right) \quad (32)$$

O valor corrigido para a velocidade de fricção é dada pela equação:

$$u_* = \frac{u_{200} \cdot k}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right) - \Psi_{m(200m)}} \quad (33)$$

Onde $\Psi_{m(200m)}$ é a correção de estabilidade para o transporte de momentum a 200m. As demais componentes já foram demonstradas anteriormente.

Tendo-se obtido o valor corrigido da velocidade de fricção, é possível o cômputo da resistência aerodinâmica corrigida através da fórmula:

$$r_{ah} = \frac{\ln(Z_2/Z_1) - \Psi_{h(z_2)} + \Psi_{h(z_{0,1})}}{k \cdot u^*} \quad (34)$$

Onde, $Z_2 = 2,0m$, $Z_1 = 0,1m$, $\Psi_{h(z_2)}$ e $\Psi_{h(z_{0,1})}$ representam as correções de estabilidade para transporte de calor.

Tendo-se os valores de u^* corrigido e r_{ah} corrigida, retorna-se ao cálculo da diferença de temperatura (dT), realizando-se todos os cálculos novamente, até que os valores de estabilidade sejam condizentes com a metodologia.

3.2.2.17 Fluxo de calor latente

Com base nas informações obtidas anteriormente para os fluxos de calor no solo, fluxo de calor sensível e saldo de radiação, foi possível o cômputo do fluxo de calor latente, definido como um fluxo total do transporte de água da superfície do solo ou da atmosfera pela evaporação e do processo de transporte de água da vegetação para atmosfera pelo processo de transpiração (LIU, 2006). O fluxo de calor latente pode ser calculado através da equação (MEIRELES, 2007)

$$LE = R_n - G - H \quad (35)$$

Onde LE representa o fluxo de calor latente, R_n representa o saldo de radiação, G representa o fluxo de calor no solo e H representa o fluxo de calor sensível.

3.2.2.18 Evapotranspiração real diária

A evapotranspiração real diária é dada em mm dia⁻¹, sendo calculada com base na fração evaporativa instantânea através da equação (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1989)

$$FE = \left(\frac{LE}{R_n - G} \right) = \frac{LE_{24h}}{Rn_{24h}} = FE_{24h} \quad (36)$$

Onde LE_{24h} e Rn_{24h} são os valores diários do fluxo de calor latente e saldo de radiação. O Rn_{24h} pode ser obtido através da equação:

$$Rn_{24h} = (1 - a)R_{s24h} - 110 \tau_{24h} \quad (37)$$

Onde, R_{s24h} é obtida como a soma da radiação solar incidente no dia, medida pela estação meteorológica. τ_{24h} representa a transmissividade atmosférica diária, computada através da equação (ALLEN *et al.*, 1998).

$$\tau_{24h} = \frac{R_{s24h}}{R_{toa24h}} \quad (38)$$

Onde R_{toa24h} é a radiação solar no topo da atmosfera no dia da passagem do satélite.

Com base nesses dados, é possível o cômputo da evapotranspiração real diária (mm dia⁻¹) através da equação:

$$ET = 0,035 \left(\frac{LE}{R_n - G} \right) [(1 - a)R_{s24h} - 110\tau_{24h}] \quad (39)$$

3.3 DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA

O Cômputo da Produtividade Primária Bruta (PPB) foi realizado utilizando-se o modelo de eficiência do uso da luz na fotossíntese (FIELD *et al.*, 1995) adaptado por Bastiaanssen e Ali (2003), com o modelo que computa a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (RFAA) (MONTEITH, 1972). Estes modelos fazem uso da fração evaporativa, um dos resíduos do balanço de energia realizado pelo SEBAL e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que pode ser estimada com base na radiação solar global diária, através da equação (Eq.40) (BASTIAANSSEN; ALI, 2003):

$$RFA = 0,48 \cdot R_{s24h} \quad (40)$$

Uma vez computada a radiação fotossinteticamente ativa, é possível realizar o cômputo da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) dada em W m⁻² dia⁻¹, em função do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) (DAUGHTRY *et al.*, 1995):

$$RFAA = RFA \cdot (-0,161 + 1,257 \text{ IVDN}) \quad (41)$$

A eficiência no uso da luz pode ser calculada através do modelo proposto por Field *et al.* (1995) modificado por Bastiaanssen e Ali (2003):

$$\varepsilon = \varepsilon \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot FE \quad (42)$$

Onde ε representa a eficiência máxima do uso da luz pela vegetação (considerada 1.6 gCMJ⁻¹) o T_1 e T_2 são os parâmetros que exprimem a contribuição da temperatura na eficiência do uso da luz pelas plantas, podendo ser expressos pelas equações:

$$T_1 = 0,8 + 0,02T_{opt} - 0,0005T_{opt}^2 \quad (43)$$

$$T_2 = \frac{1}{1+\exp(0,2T_{opt}-10-T_{dia})} \cdot \frac{1}{1+\exp[0,3(-T_{opt}-10+T_{dia})]} \quad (424)$$

Onde T_{opt} é a temperatura média do ar em celsius do mês de maior IVDN e T_{dia} é a temperatura média diária do ar.

Após isso, a PPB pode ser computada através da equação (MONTEITH, 1972):

$$PPB = RFAA \cdot \varepsilon = RFA \cdot FPAR \cdot \varepsilon \quad (45)$$

Onde a RFAA é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (W m⁻²), ε é a eficiência máxima no uso da luz pela vegetação(gCMJ⁻¹) e FPAR será a porção de radiação absorvida pelas plantas.

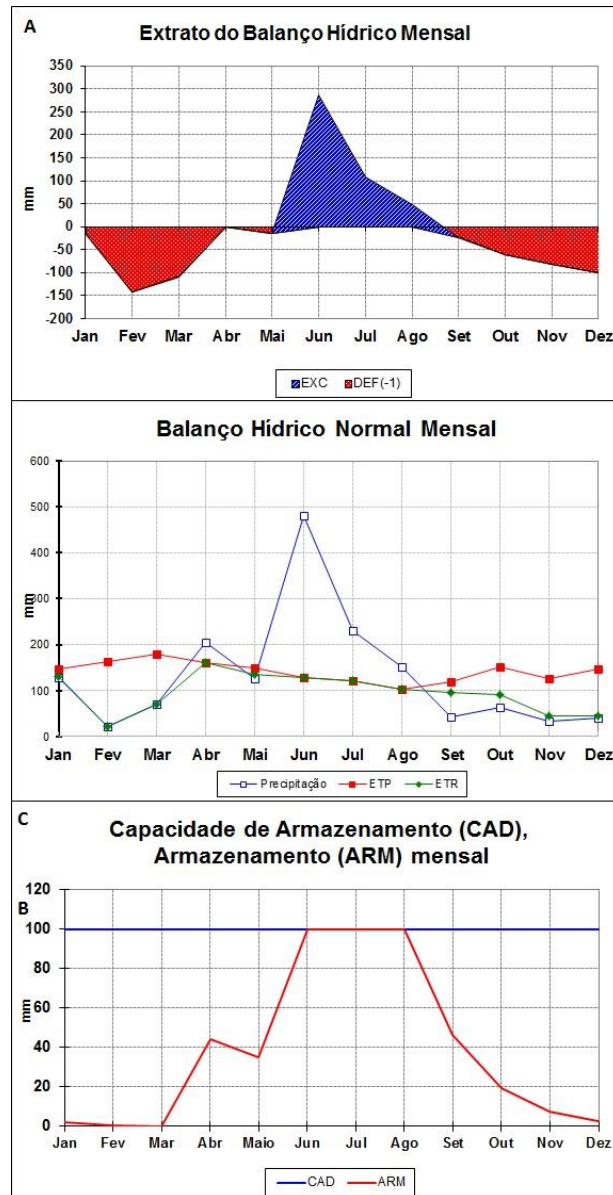
4 **Resultados e discussão**

4.1 ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO E VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS DO ANO DA IMAGEM

Para explicitar as condições climáticas, bem como realizar uma caracterização da dinâmica hídrica no período de captação da imagem, foi realizado o balanço hídrico (BH) normal do ano de 2010. Para isso, foram utilizadas as médias mensais de precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) da estação meteorológica de Recife (PE), sendo utilizado para isso o modelo proposto por Thorntwaite e Mather (1955). Para a capacidade de armazenamento (CAD) foi considerado o valor de 100 mm, adequado aos solos da região.

Como é possível verificar na figura 15 foram elaborados os gráficos do BH no ano de 2010:

Figura 15 - Balanço hídrico normal mensal com base em dados da estação meteorológica do Recife segundo a metodologia de Thorntwaite e Mather (1955). A representa a deficiência (DEF) e excedentes (EXC) hídricos no solo, B mostra os valores de precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) e C representa o armazenamento de água no solo (ARM).



Fonte: Elaborado pelo autor com dados provenientes da estação meteorológica do Recife.

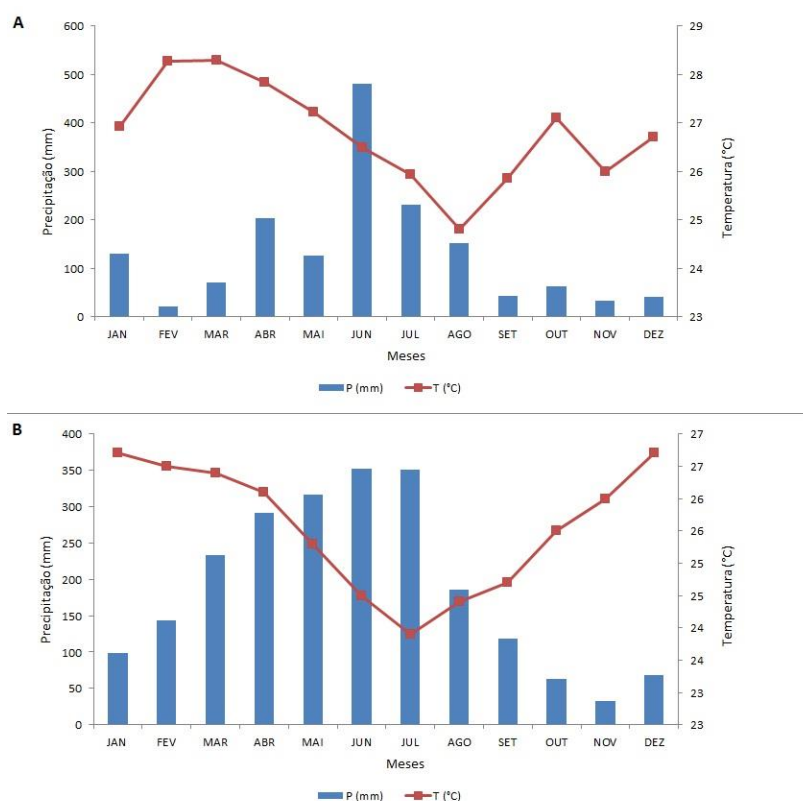
Através da análise dos gráficos, é possível verificar que o mês de maior precipitação acumulada foi junho, apresentando 481,5 mm. Ainda é possível verificar o excedente hídrico no solo nos meses de junho (288 mm), julho (109,1 mm) e agosto (48,7 mm).

Com exceção dos meses de abril, junho, julho e agosto, um déficit hídrico é notado nos demais. Nesses mesmos meses, o solo encontra-se com todo seu CAD preenchido.

No mês de setembro, mês de aquisição das imagens, é possível verificar que há uma deficiência hídrica da ordem de 23,2mm. Quanto à água armazenada no solo, o valor foi de 46,4mm.

Ainda com base nos dados do ano de 2010, foi elaborado um climograma visando demonstrar como se deu a relação temperatura/precipitação, comparando-o com os dados das médias mensais de temperatura (estimativas) e precipitação entre 1911 e 1990 obtidos através do site do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (Figura 16).

Figura 16 - Comparação entre as variáveis de temperatura (T °C) e precipitação (P mm) para o ano de 2010 (A) e os padrões de temperatura e precipitação entre 1911 e 1990 (B) para a área de abrangência da estação meteorológica do Recife.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da estação meteorológica do Recife e séries históricas obtidas através do DCA/UFCG.

Nota-se que o ano de 2010, apesar de ter apresentado picos de precipitação no mês de junho (481,5 mm) de forma geral, apresentou uma precipitação menor que as médias dos dados identificados. O mês de setembro, onde foi realizada a captura da imagem, apresentou uma precipitação de 43 mm enquanto a média histórica para este mês é de 118,6 mm.

Quanto às temperaturas, é possível verificar que o ponto mínimo em 2010 ocorreu no mês de agosto (24,8°C), no entanto, um pouco maior do que a temperatura média para este mês (24,4°C). Em setembro de 2010, a temperatura média foi de 25,85°C acima da média para este mês, que é de 24,7 °C.

Na tabela 2 é possível verificar a precipitação no dia da aquisição da imagem, bem como nos dias que a antecederam.

Tabela 2 – Precipitação na área de estudo nos dias anteriores à aquisição da imagem de satélite.

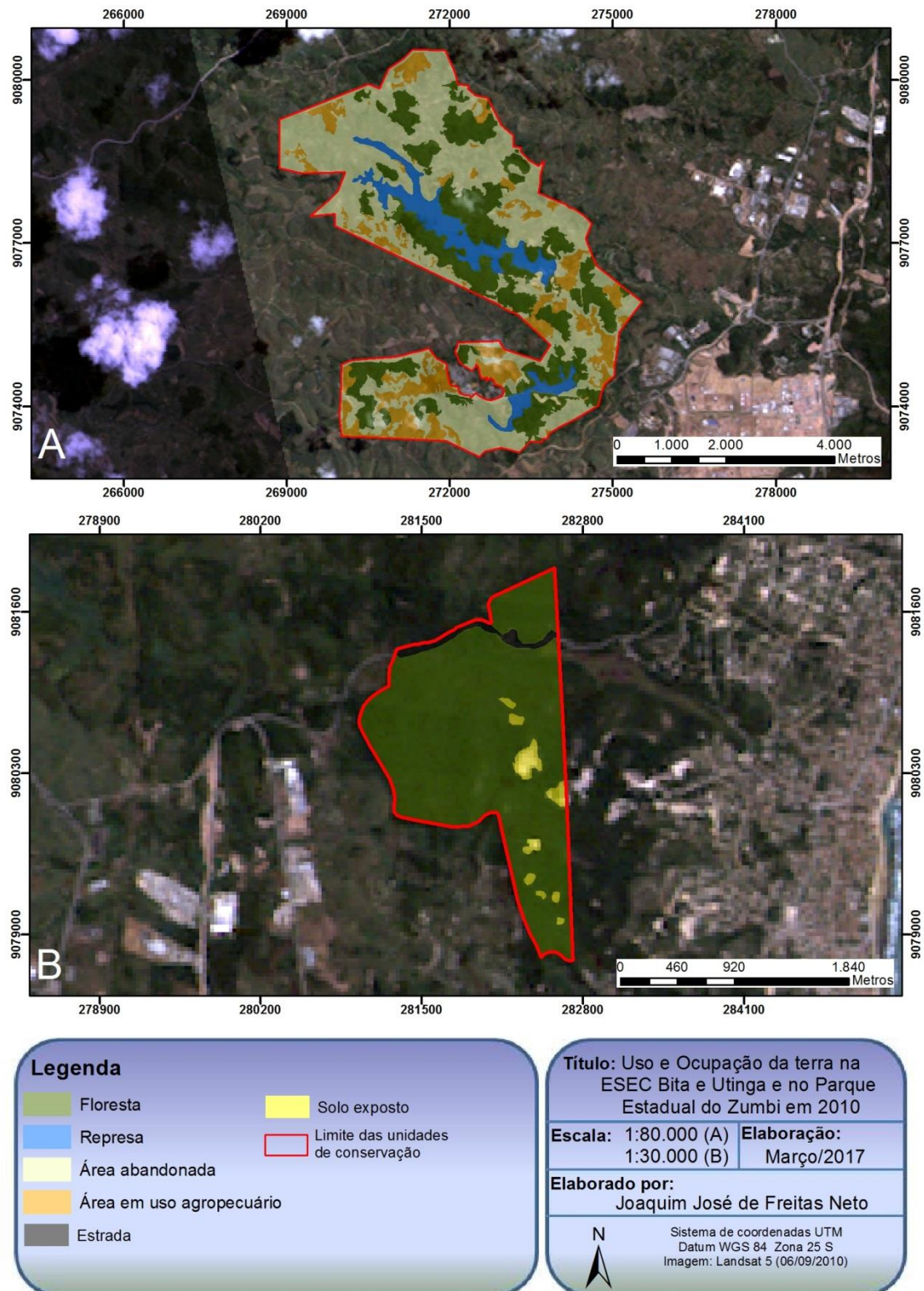
Data	Precipitação (mm)
06/09/2010	0
05/09/2010	1
04/09/2010	0,75
03/09/2010	0
Total	1,75

Fonte: Elaborado pelo autor com dados provenientes da estação meteorológica do Recife.

4.2 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Foi realizado um mapeamento de uso e ocupação da terra nas áreas das unidades de conservação estudadas com o objetivo de identificar a presença e tamanho dos fragmentos florestais que compõem essas unidades de conservação. Dessa forma, a figura 17 mostra as situações encontradas e a tabela 3 dá a quantificação para cada uma das situações.

Figura 17 - Situações de uso e ocupação da terra identificados na Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e no Parque Estadual Mata do Zumbi (B) em 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 3 - Uso e ocupação da terra da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e Parque Estadual Mata do Zumbi em 2010

Estação Ecológica de Bitá e Utinga		
Classe de uso	Área (hectares)	Porcentagem (%)
Floresta	666,65	27,02
Área abandonada	1.247,38	50,56
Área em uso agropecuário	354,26	14,36
Represa	198,89	8,06
Total	2.467,18	100
Parque Estadual Mata do Zumbi		
Classe de uso	Área (hectares)	Porcentagem (%)
Floresta	269,2	93,24
Solo exposto	11,23	3,89
Estrada	8,28	2,87
Total	288,71	100

Fonte: Elaboração própria.

É possível verificar, através dos resultados do mapeamento, que a área da Estação Ecológica de Bitá e Utinga apresenta apenas 27,02% de sua área total florestada, com 666,65 hectares. Isso se deve, sobretudo, ao fato de que no ano de 2010 a área da unidade de conservação, apesar de já estar inclusa no zoneamento do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) como sendo destinada à manutenção e preservação da fauna e flora, não sendo admitidos outros usos (GOUVEIA, 2010; PERNAMBUCO, 1983) desde 1983, ainda não se constituía em uma Estação Ecológica, havendo uma grande presença de áreas em uso agropecuário (354,25 hectares ou 14,36% da área total). Nota-se ainda a presença de áreas abandonadas da ordem de 1.247,38 hectares, sendo, em grande parte, provenientes do processo de desapropriação de terras realizadas para o estabelecimento do complexo.

A área apresenta ainda 198,89 hectares de represas, sendo os dois espelhos d'água que dão nome à unidade de conservação, e servem à captação de água para distribuição.

No Parque Estadual Mata do Zumbi, 269,2 hectares de sua área estão cobertos de área florestada, perfazendo 93,24% de sua área total. O parque possui ainda a presença de solo exposto (3,89%) e uma estrada que o cruza pelo limite norte, perfazendo 2,87% de sua área.

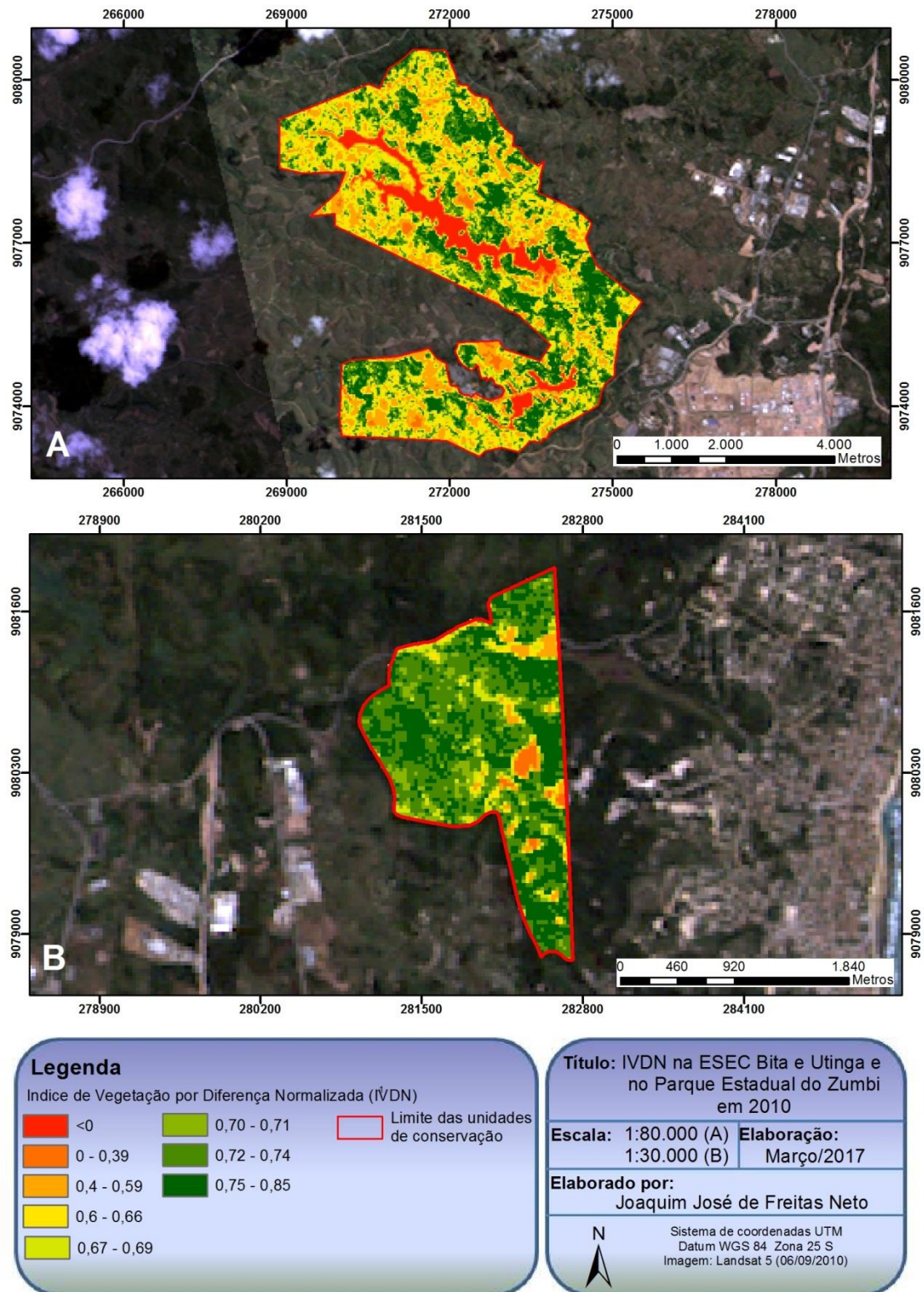
4.3 PRODUTOS RESULTANTES DO BALANÇO DE ENERGIA

Com o entendimento que as etapas para obtenção do resultado final dependem diretamente de uma série de outros resultados provenientes do algoritmo SEBAL, a seguir serão demonstrados os principais resultados alcançados com seu cômputo, visando uma melhor caracterização da dinâmica ambiental da região e demonstrar a consistência dos dados obtidos.

4.3.1 Índice de vegetação por diferença normalizada

Já reconhecido como um índice capaz de demonstrar a cobertura verde, caracterizando sua localização e distribuição, e que tem interface direta com os componentes do balanço de energia, foi realizado o cômputo do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) (Figura 18). As médias alcançadas de IVDN para cada uso de solo estão reunidas na tabela 4.

Figura 18 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4 - Médias do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.

Unidade de conservação	Tipo de uso	IVDN médio	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	0,59	0,2
	Floresta	0,7	0,11
	Áreas em uso agropecuário	0,66	0,08
	Áreas abandonadas	0,62	0,14
Unidade de conservação	Tipo de uso	IVDN médio	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	0,71	0,07
	Floresta	0,72	0,04
	Solo exposto	0,46	0,19

Fonte: Elaboração própria

É possível verificar que a concentração dos maiores valores de IVDN se dá nas áreas identificadas como áreas de floresta, como esperado. O índice apresentou uma variação nos alvos não líquidos de 0 a 0,85 sendo, para a ESEC de Bitá e Utinga, o valor médio geral apresentado de 0,59 com desvio padrão de 0,2. Considerando-se apenas os remanescentes de floresta da área, o índice apresentou um valor médio de 0,7 com o desvio padrão de 0,11.

Já para as áreas em uso agropecuário, a ESEC Bitá e Utinga apresentou o valor médio de 0,66 com desvio padrão de 0,08. Para aquelas áreas catalogadas como abandonadas, onde não havia nenhum tipo de uso agrícola, foi computado o valor médio de 0,62 com desvio padrão de 0,14.

No PE Mata do Zumbi, é possível verificar que não há diferença significativa das médias de IVDN comparando-se toda a área da unidade de conservação, em relação aos valores computados apenas para a área de floresta. Isso se dá pelo fato de que em sua maior parte, a UC é composta por um fragmento de floresta apenas, diminuindo as interferências de outros tipos de uso de solo nas médias. A unidade de conservação apresentou um valor médio para sua área como um todo de 0,71 com desvio padrão de 0,07. Para as áreas de floresta, o IVDN médio foi de 0,72 com desvio padrão de 0,04 e para as áreas de solo exposto os valores do índice foram de 0,46 com desvio padrão de 0,19.

Vale ressaltar, na área do PE Mata do Zumbi, que as áreas de borda de floresta apresentaram diferenças significativas de valores em relação às áreas *core* do fragmento florestal. Os valores apresentados para essas áreas foram de 0,61 a 0,65, evidenciando diferentes realidades da presença de cobertura verde nos limites da unidade de conservação.

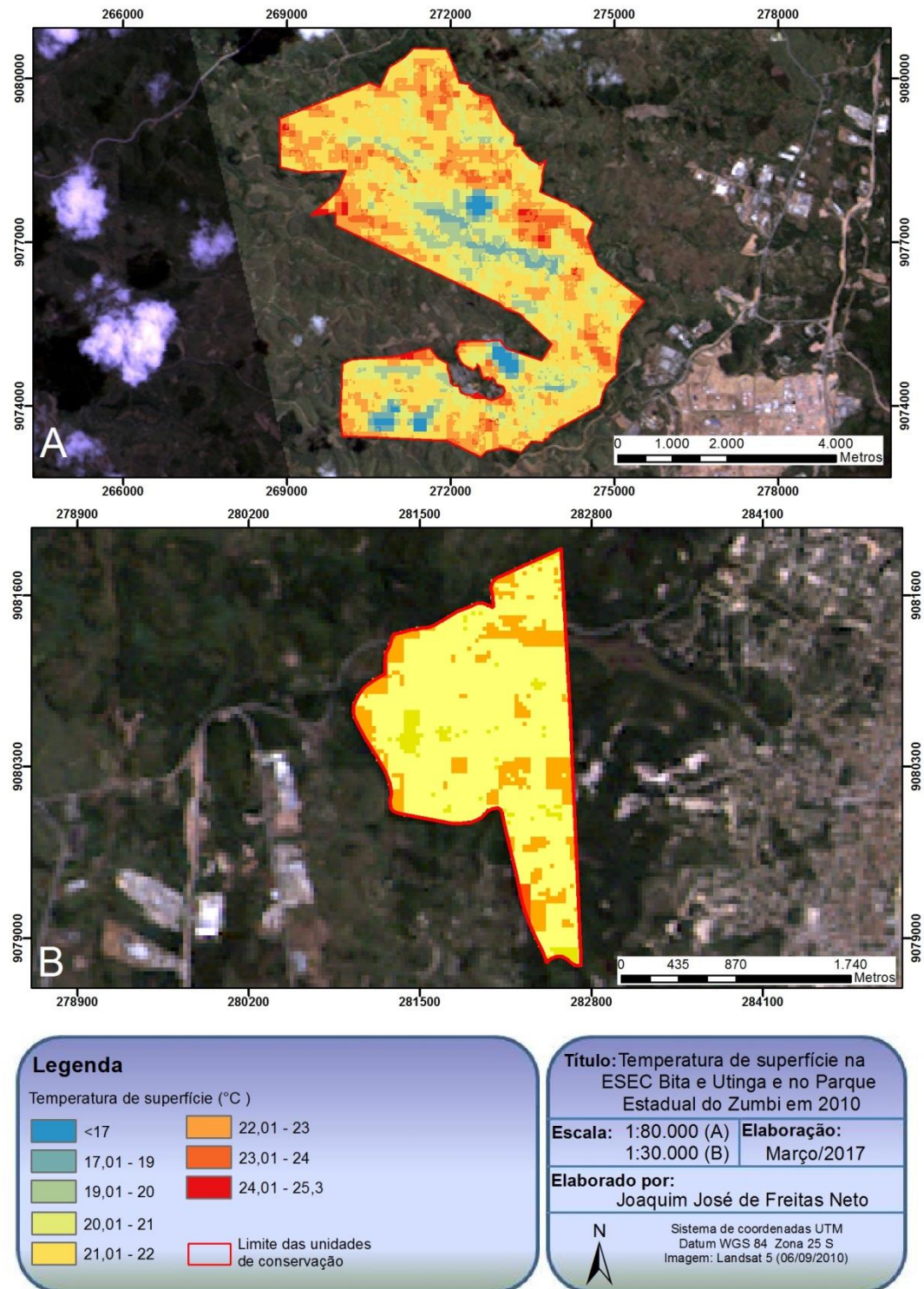
Em um estudo realizado na Ilha de Itamaracá, Pernambuco, Silva *et al.* (2009) encontraram valores similares, citando valores de IVDN para solo exposto de até 0,408 e para

áreas de atividades agrícolas, valores de até 0,524. Os valores para vegetação apresentados em um estudo no entorno do reservatório de Botafogo, em Igarassu, Pernambuco, demonstraram valores de IVDN para áreas de floresta densa entre 0,635 e 0,812 (SANTIAGO *et al.*, 2009).

4.3.2 Temperatura de superfície

Um dos subprodutos do balanço de energia, a temperatura de superfície é estimada em função da emissividade e radiância da banda termal das imagens. A figura 19 demonstra a temperatura de superfície para as áreas das unidades de conservação em estudo.

Figura 19 - Estimativa da temperatura de superfície em graus celsius da Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Através da análise da figura 19, nota-se que as áreas de floresta na ESEC Bitá e Utinga apresentam temperaturas mais baixas do que os demais usos. Nas áreas de floresta, as temperaturas variaram entre 20 e 21°C, sendo representada na figura pelas áreas amarelas. As áreas mapeadas como sendo de uso agropecuário, elucideram temperaturas entre 21 e 23°C, sendo representados pelas cores amarelas e laranja e as áreas abandonadas tiveram valores que variaram entre 21 e 25°C, evidenciando uma heterogeneidade de temperaturas para essa classe. Isso se deve ao fato de que as áreas destacadas nessa classe, possuíam usos que iam desde pomares, com uma expressiva densidade vegetal de frutíferas, até áreas de pasto, onde atualmente verifica-se a presença de gramíneas (Figura 20).

Figura 20 - Fotos de áreas classificadas como abandonadas da Estação Ecológica de Bitá e Utinga a imagem A representa uma área de pasto, onde avança a regeneração natural e a imagem B uma área de pomar no entorno de um fragmento florestal

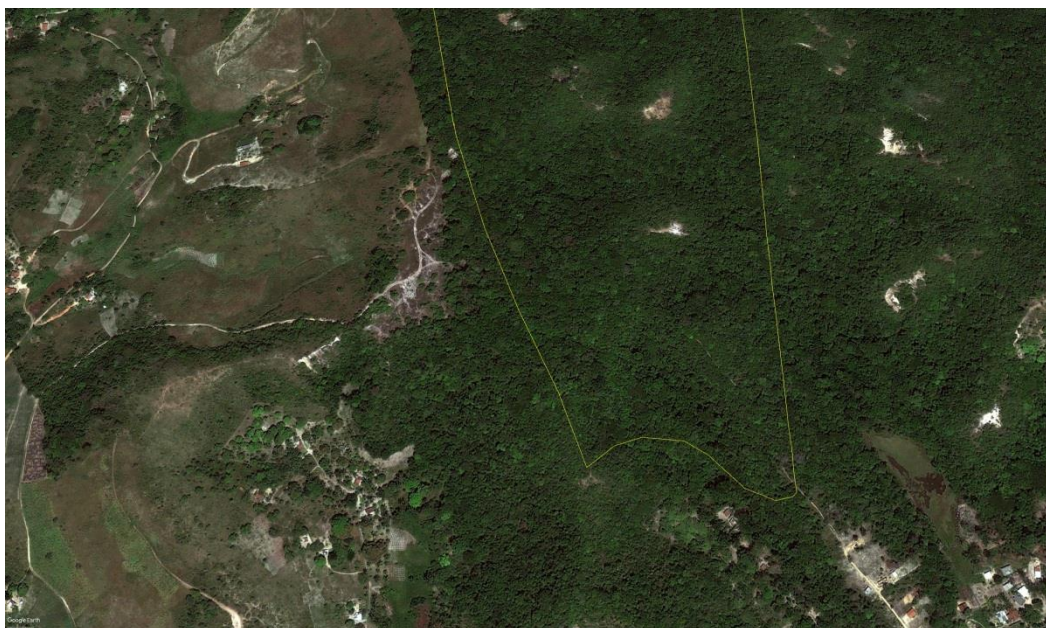


Fonte: Matheus Dantas, 2010.

Na área do Parque Estadual Mata do Zumbi, nota-se diferenciação de temperaturas em áreas florestadas e em áreas de solo exposto. Analisando-se a figura 19, verifica-se que as áreas de floresta apresentaram valores de temperatura de superfície entre 19,01 e 22 °C, representados pela coloração verde clara e os tons mais claros de amarelo. As áreas de solo exposto apresentaram uma temperatura que variou de 22,01 a 23 °C, representadas pela cor laranja no mapa. Poucos talhões de área florestada ao sul da unidade de conservação apresentaram valores de temperatura de superfície aproximados aos de solo exposto, o que se deve ao fato de essas áreas possuírem um grande número de trilhas, facilitando o acesso a pessoas da região que fazem o corte de árvores para diversos fins, existindo inclusive

construções nessas áreas. Na figura 21 é possível verificar caminhos que levam ao interior do fragmento florestal, bem como a presença de comunidades do entorno. Há ainda o fato de haverem nessas áreas pequenas manchas de solo exposto, não captadas na resolução espacial do Landsat 5.

Figura 21 - Imagem obtida através do Google Earth PRO, do ano de 2010, representando o limite sul do Parque Estadual Mata do Zumbi (em amarelo).



Fonte: Google Earth PRO, 2017.

A tabela 5 demonstra os valores de médias e desvio padrão das temperaturas para cada uso de solo identificado.

Tabela 5 - Médias da temperatura de superfície (Tsup) em graus celsius da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.

Unidade de conservação	Tipo de uso	Tsup (°C) médio	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	21,27	1,37
	Floresta	20,74	1,31
	Áreas em uso agropecuário	21,29	1,74
	Áreas abandonadas	21,69	1,13
Unidade de conservação	Tipo de uso	Tsup (°C) médio	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	21,68	0,44
	Floresta	21,66	0,44
	Solo exposto	22,03	0,41

Fonte: Elaboração própria

Através da análise dos dados apresentados na tabela, nota-se uma tendência de as áreas florestadas apresentarem as menores médias de temperatura em relação aos demais usos de solo. As áreas de floresta da ESEC Bitá e Utinga apresentam uma média de temperatura de

superfícies de 20,74°C, enquanto as áreas de uso agropecuário apresentaram 21,29°C, com uma diferença entre as duas de 0,55°C. Analisando-se as áreas abandonadas, verifica-se uma temperatura média de 21,69°C, uma diferença de 0,95°C em relação às áreas florestadas.

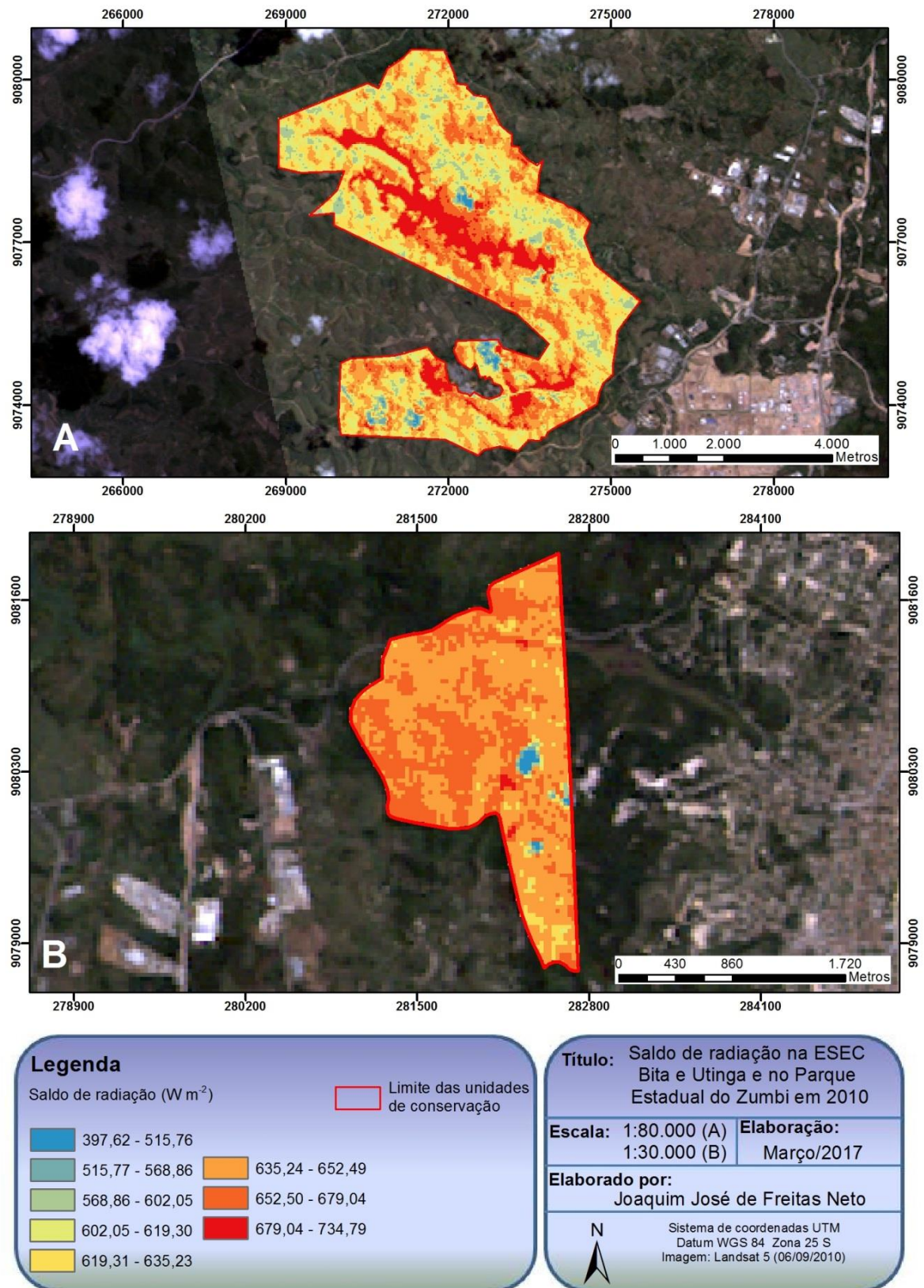
Essa tendência ocorre também na área do PE Mata do Zumbi, que apresenta um valor médio de 21,66 °C em sua área de floresta, em contraste com a classe de solo exposto que apresenta uma média de 22,03 °C, marcando uma diferença de 0,37 °C.

Em estudos similares, a tendência de a vegetação apresentar valores de temperatura menores que usos de maior interferência antrópica já é sinalizada, como no caso em que Moreira (2014) em um estudo de temperatura de superfície na cidade do Recife, evidenciou, para o ano de 2010, que as áreas florestadas apresentam valores mais baixos em até 4°C em relação às manchas urbanas, encontrando valores para as áreas de floresta que variaram de 19 a 24°C, sendo o primeiro para áreas de floresta mais densa e o segundo para áreas de floresta menos densa. Machado *et al.* (2014) também indicou, em um estudo conduzido na Reserva Biológica de Saltinho, a tendência de valores de temperatura de superfície serem maiores em áreas com menor cobertura vegetal, apontando o solo exposto como fonte das maiores ocorrências de temperatura de superfície.

4.3.3 Saldo de radiação e albedo de superfície

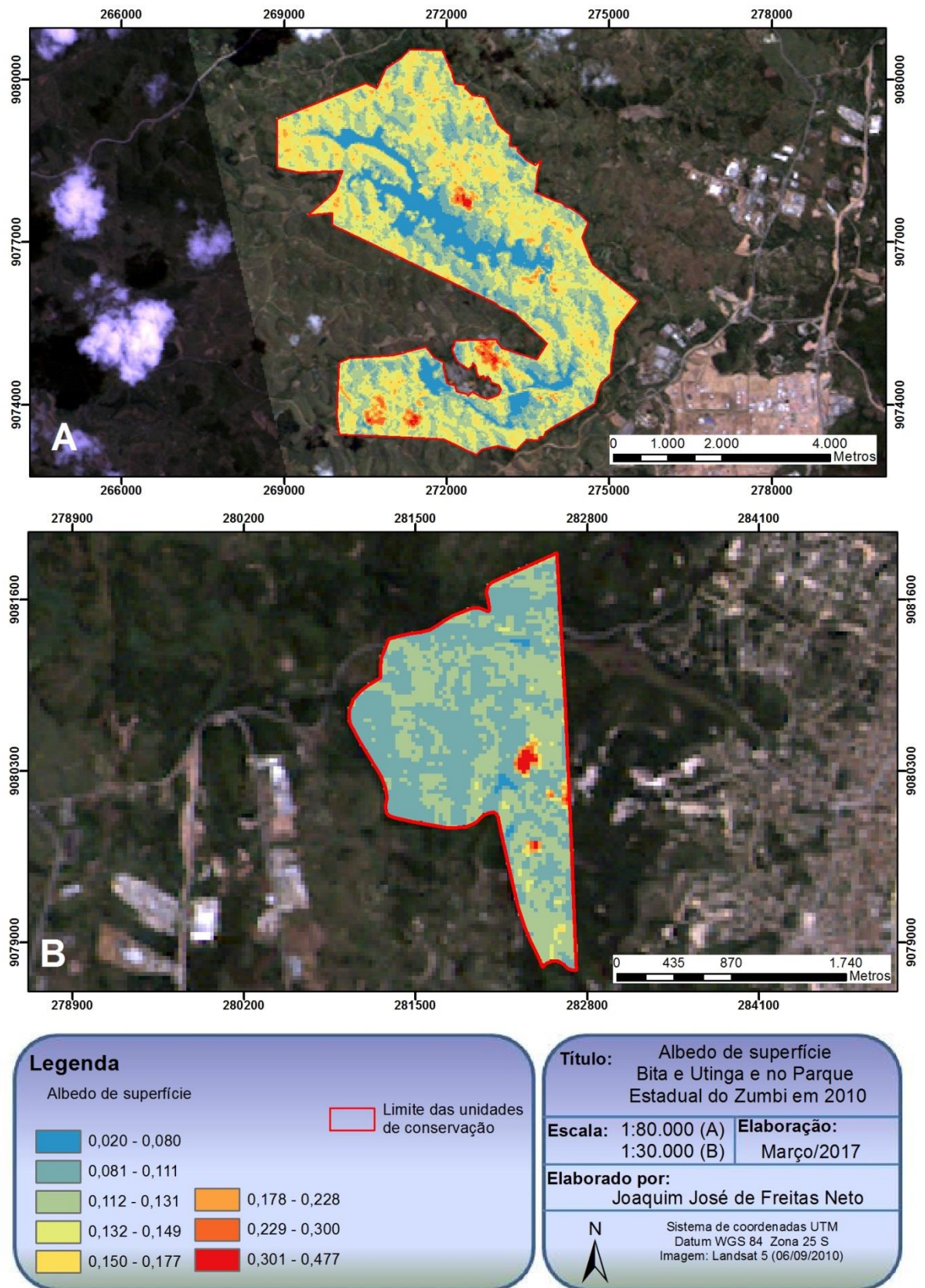
O Saldo de Radiação representa diretamente a quantidade de energia disponível para a realização dos processos bioquímicos (fotossíntese, respiração) e aquecimento do ar e solo (FIETZ; FISCH, 2008). Já o albedo de superfície representa a razão entre a radiação incidente em uma superfície e a porção dessa radiação refletida para a atmosfera. A figura 22 demonstra os valores de saldo de radiação em $W\ m^{-2}$ para cada área estudada e a figura 23 os valores de albedo de superfície.

Figura 22 - Estimativa do saldo de radiação ($W m^{-2}$) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 - Estimativa do albedo de superfície da Estação Ecológica de Bita e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Através da análise das figuras, verifica-se que as áreas de corpos hídricos apresentam os maiores valores de saldo de radiação, entre 679,04 e 734,09 W m⁻², representados pelos tons mais escuros de azul na figura 23. Isso se deve ao fato de que os alvos líquidos possuem uma menor reflexão de energia de ondas curtas por meio do albedo, apresentando valores entre 0,2 e 0,08% tendo evidenciados os processos de absorbância e transmitância energética, apresentando essa forma, uma maior radiação armazenada.

Os fragmentos florestais que compõem as análises apresentaram também, altos valores de saldo de radiação, variando entre 635,24 e 679,04 W m⁻², representados pelos tons de laranja na figura 22. Esses valores acontecem pelo fato de que as áreas florestadas possuem também a característica de um baixo Albedo de superfície, apresentando valores entre 0,08 e 0,13%, representado pelas tonalidades de azul mais claro na carta de albedo.

As tabelas 6 e 7 demonstram as médias de saldo de radiação e de albedo para cada classe de uso de solo identificado.

Tabela 6 - Médias do saldo de radiação (W m⁻²) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.

Unidade de conservação	Tipo de uso	Saldo de radiação (W m ⁻²)	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	637,02	29,3
	Floresta	647,51	25,34
	Áreas em uso agropecuário	627,61	27,26
	Áreas abandonadas	626,75	22,39
Unidade de conservação	Tipo de uso	Saldo de radiação (W m ⁻²)	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	647,42	21,73
	Floresta	650,20	8,73
	Solo exposto	583,64	26,59

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 - Médias do albedo de superfície da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.

Unidade de conservação	Tipo de uso	Albedo de superfície (%)	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	0,128	0,03
	Floresta	0,012	0,03
	Áreas em uso agropecuário	0,139	0,03
	Áreas abandonadas	0,138	0,02
Unidade de conservação	Tipo de uso	Albedo de superfície (%)	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	0,112	0,02
	Floresta	0,109	0,01
	Solo exposto	0,187	0,09

Fonte: Elaboração própria

Através da análise das tabelas, verifica-se que a Estação Ecológica de Bita e Utinga apresentou valores médios, considerando-se toda a área da unidade de conservação, de $637,02 \text{ W m}^{-2}$ com um desvio padrão de 29,3. Para os dados de albedo, considerando-se toda a área da uc, foram apresentados os valores médios de 0,128% com desvio padrão de 0,03. Considerando-se apenas as áreas de floresta, foi possível verificar um aumento desse valor médio para $647,51 \text{ W m}^{-2}$ com desvio padrão de 25,34, diminuindo o valor médio do albedo para 0,12% e desvio padrão de 0,03. As áreas em uso agropecuário da uc apresentaram valores médios de $627,61 \text{ W m}^{-2}$ com desvio padrão de 27,26, tendo como albedo 0,139% com desvio padrão de 0,03 e as áreas abandonadas apresentaram o valor de $626,75 \text{ W m}^{-2}$ com desvio padrão de 22,39 com albedo médio de 0,138% e desvio padrão de 0,02.

Os resultados no Parque Estadual Mata do Zumbi reproduzem os mesmos padrões da ESEC Bita e Utinga, com as áreas de floresta apresentando maiores valores médios de saldo de radiação e menores valores médios de albedo que as demais usos de solo. Considerando-se toda a área do parque, o valor médio encontrado foi de $647,42 \text{ W m}^{-2}$ com desvio padrão de 21,73 enquanto o albedo de superfície apresentou valores de 0,112% com desvio padrão de 0,02. Considerando-se apenas as áreas florestadas, o valor médio de saldo de radiação sobe para $650,20 \text{ W m}^{-2}$, com desvio padrão de 8,73, tendo uma queda no valor médio de albedo para 0,109% e desvio padrão de 0,01. Os menores valores médios de saldo de radiação estão concentrados nas áreas com solo exposto, apresentando $583,64 \text{ W m}^{-2}$ e desvio padrão de 26,59, com o maior valor médio de albedo, apresentando 0,187% com desvio padrão de 0,09.

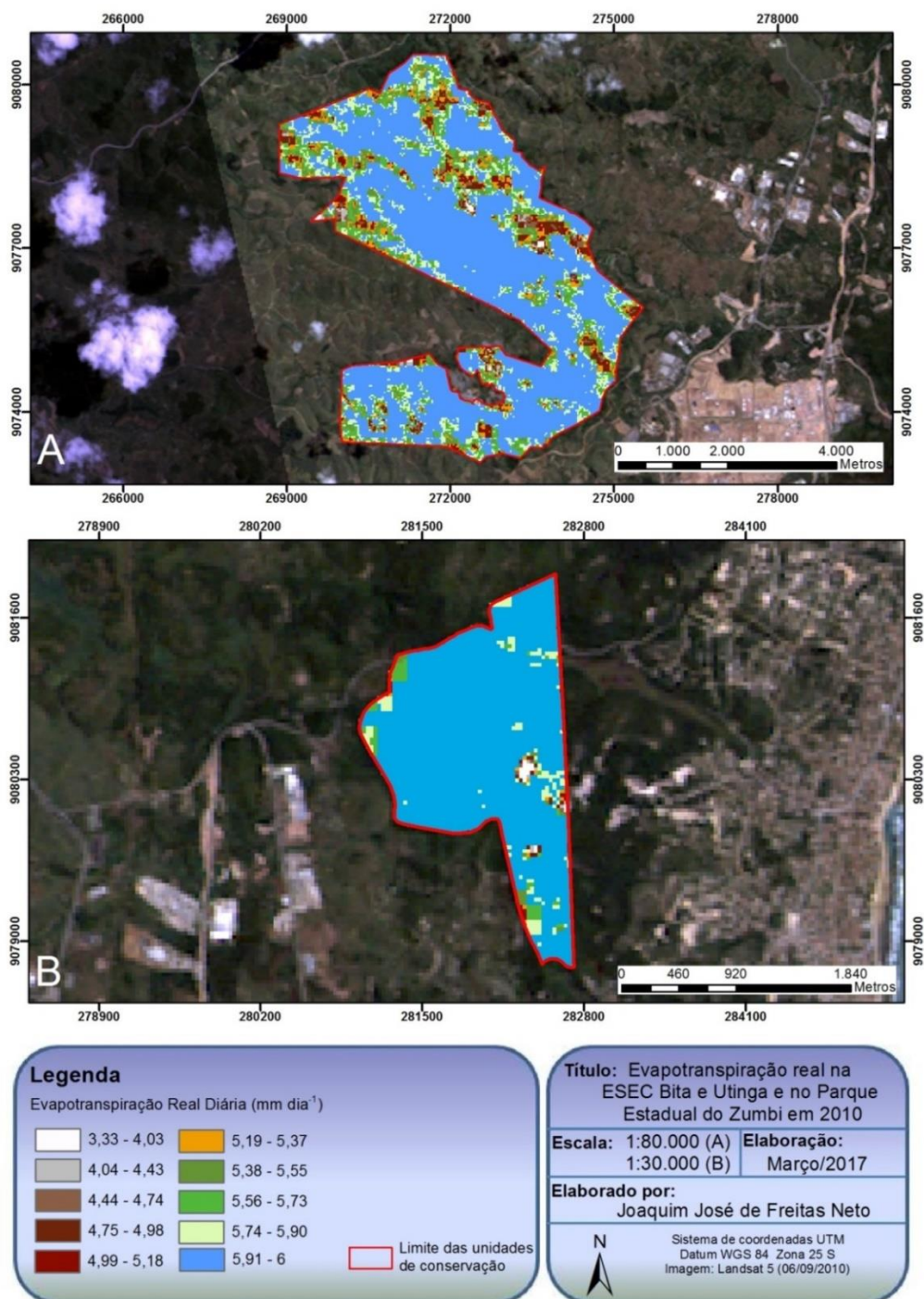
É bastante conhecida a relação entre os valores de saldo de radiação e de albedo ajustado à superfície, sendo o Albedo a razão entre a quantidade de energia incidente no sistema e sua porção refletida, e o saldo de radiação a porção de energia disponível à superfície, existe uma correlação inversa entre estes produtos, ou seja, onde houverem os menores valores de albedo, haverão os maiores valores de radiação disponível (GIONGO, 2008; OLIVEIRA, 2012; MOREIRA, 2014). Os resultados alcançados na análise corroboram essa tendência.

Em análises realizadas na cidade do Recife, Oliveira (2012) e Moreira (2014) encontraram resultados similares, verificando os maiores valores de saldo de radiação em áreas florestadas da cidade, tendo Oliveira (2012) encontrado valores para as áreas florestadas entre 510 W m^{-2} e 650 W m^{-2} em relação direta com a densidade da cobertura florestal. Moreira (2010), encontrou valores de até 585 W m^{-2} em áreas florestadas. Estas mesmas áreas, em ambos os estudos, apresentaram valores mais baixos de albedo que as demais.

4.3.4 Evapotranspiração real diária

A figura 24 mostra a distribuição dos valores de evapotranspiração real diária (mm d^{-1}) nas áreas da ESEC Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi.

Figura 24 - Estimativa da evapotranspiração real diária (mm dia^{-1}) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga (A) e do Parque Estadual Mata do Zumbi (B) para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Analisando-se a figura 24, verifica-se que as áreas florestadas e os corpos hídricos apresentam os maiores valores de evapotranspiração diária. Na ESEC Bitá e Utinga, é notável que grande parte da área, mesmo sem floresta propriamente dita, apresenta usos agropecuários com pomares e um grande número de árvores frutíferas, que contribuem para um adensamento da vegetação na área. Mesmo as áreas abandonadas apresentam locais onde o adensamento arbóreo é significativo, bem como a cobertura do solo por gramíneas de até 1,5 metro, por conta do não uso dessas áreas. Remanescentes de lavouras abandonadas apresentam cobertura vegetal, contribuindo para uma uniformidade dos valores de evapotranspiração na área, que apresentou valores para as florestas e corpos hídricos entre 5,91 e 6 mm dia⁻¹, representados no mapa pela cor azul.

Em estudo realizado na Chapada do Araripe, Bezerra *et al.* (2008) identificaram valores de evapotranspiração diária superiores a 6 mm dia⁻¹. Vale ressaltar que o trabalho por eles desenvolvido, está localizado em uma área de caatinga. Uda *et al.* (2013) encontraram valores médios de evapotranspiração para áreas florestadas na bacia do rio Negrinho, em Santa Catarina, da ordem de 4,3 mm dia⁻¹. Oliveira (2012), em seu estudo realizado na cidade do Recife, encontrou valores superiores a 5,01 mm dia⁻¹ para as áreas florestadas da cidade, e essa mesma tendência foi identificada por Moreira (2014), também em Recife com valores médios de 6,01 mm dia⁻¹ para áreas vegetadas da cidade.

A tabela 8 demonstra os valores médios de evapotranspiração real diária para as áreas em estudo.

Tabela 8 - Médias da evapotranspiração real diária (Etr 24h) (mm dia⁻¹) da Estação Ecológica de Bitá e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.

Unidade de conservação	Tipo de uso	Etr 24h (mm dia ⁻¹)	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	5,70	0,33
	Floresta	5,94	0,20
	Áreas em uso agropecuário	5,74	0,33
	Áreas abandonadas	5,70	0,30
Unidade de conservação	Tipo de uso	Etr 24h (mm dia ⁻¹)	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	5,94	0,25
	Floresta	5,97	0,09
	Solo exposto	5,22	0,91

Fonte: Elaboração própria

Considerando-se toda a área da ESEC Bitá e Utinga foram encontrados valores médios de 5,70 mm dia⁻¹ com desvio padrão de 0,33. Considerando-se apenas as áreas de floresta, foi possível encontrar valores de 5,94 mm dia⁻¹ com desvio padrão de 0,20. As áreas em uso agropecuário apresentaram o valor médio de 5,74 mm dia⁻¹ com desvio padrão de 0,33 e as áreas abandonadas tiveram a média de 5,7 mm dia⁻¹ com desvio padrão de 0,30. Vale ressaltar

que os valores médios exprimem, mesmo que de forma tímida, a diferença entre os valores de evapotranspiração das áreas florestadas e os demais usos de solo, tendo as florestas valores médios superiores.

No Parque Estadual da Mata do Zumbi, considerando-se toda a área da unidade de conservação, o valor médio de evapotranspiração diária é de 5,94 mm dia⁻¹. Considerando-se apenas as áreas de floresta, foi encontrado o valor médio de 5,97 mm dia⁻¹ e para as áreas de solo exposto, o valor médio encontrado foi de 5,22 mm dia⁻¹.

As áreas de solo exposto apresentaram valores de evapotranspiração diária acima do esperado. No entanto, isso pode se dever à resolução espacial dos dados de evapotranspiração, baseados na banda termal das imagens, maiores do que a resolução utilizada nas imagens para captação do uso e ocupação do solo. No processo de reamostragem, é possível que os dados para as áreas de solo exposto, cercadas de vegetação, pudessem ter sido afetados, dado que essas áreas possuem uma dimensão espacial pequena.

4.4 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

4.4.1 Cenário atual de Produtividade Primária Bruta das unidades de conservação estudadas

A tabela 9 mostra os dados complementares que são utilizados no cômputo da produtividade primária bruta nas unidades de conservação em estudo. Na data de 06 de setembro de 2010, a temperatura máxima alcançada foi de 25,5 °C, e a mínima de 21°C, tendo uma amplitude térmica de 4,5 °C ao longo de 24 horas, considerada normal no mês de setembro. A radiação solar do dia do imageamento foi de 25,1 MJ m⁻² e a radiação fotossinteticamente ativa, estimada em função da radiação solar do dia, foi de 12,04 MJ m⁻² dia⁻¹.

Os parâmetros T1 e T2, que expressam a contribuição da temperatura na eficiência do uso da luz pelas plantas (MACHADO, 2014) apresentaram valores de 0,978946 e 1,036312 respectivamente.

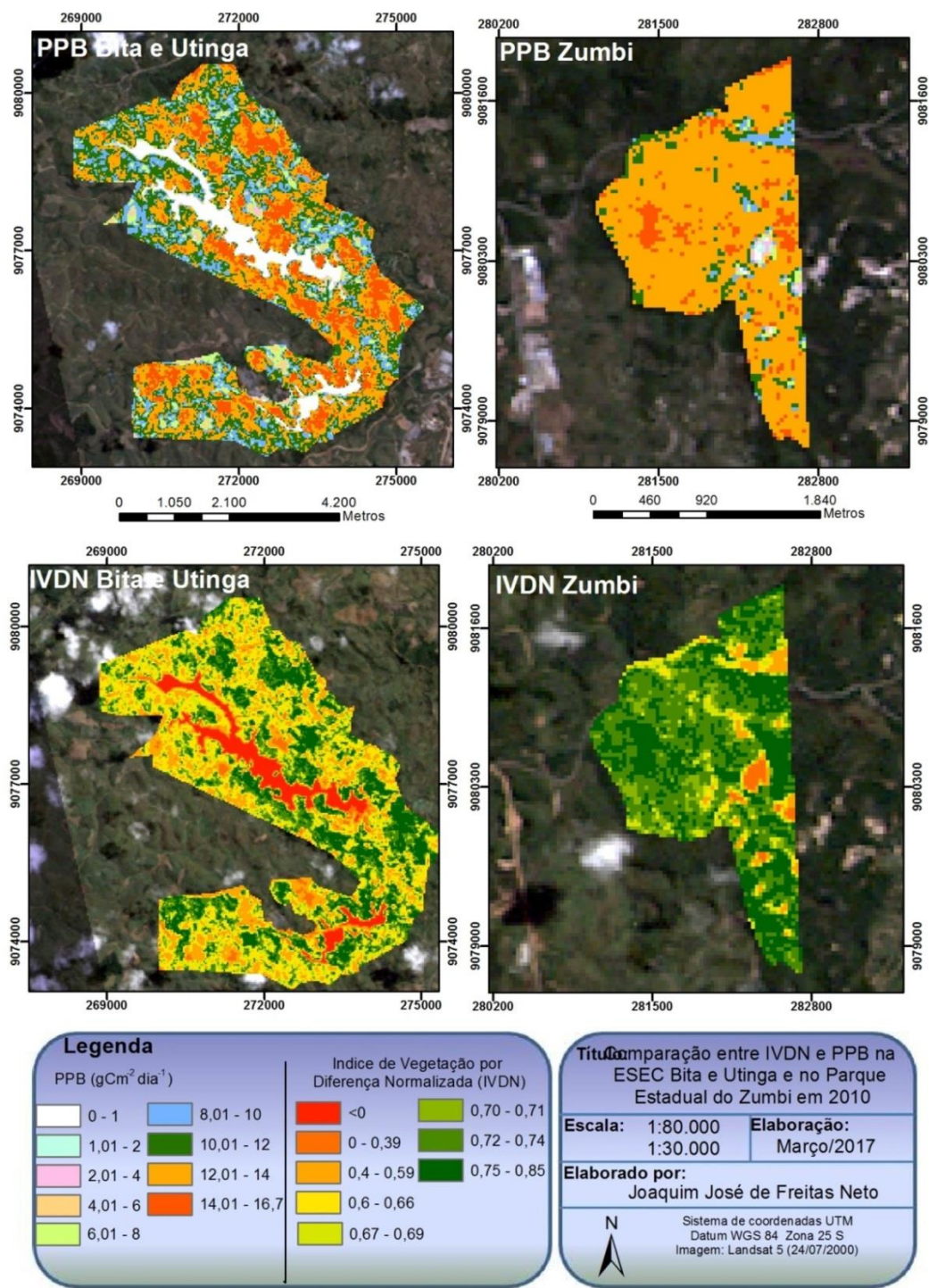
Tabela 9 - Temperatura do ar máxima (Tmax), temperatura do ar mínima (Tmin), Radiação Fotossinteticamente ativa diária (RFA 24h) e parâmetros T1 e T2 para a data da passagem da imagem de satélite (06 de setembro de 2010).

Tmax (°C)	Tmin (°C)	RFA 24h (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Rs 24h (MJ m ⁻²)	T1	T2
25,5	21	12,04	25,1	0,978946	1,036312

Fonte: Elaboração própria

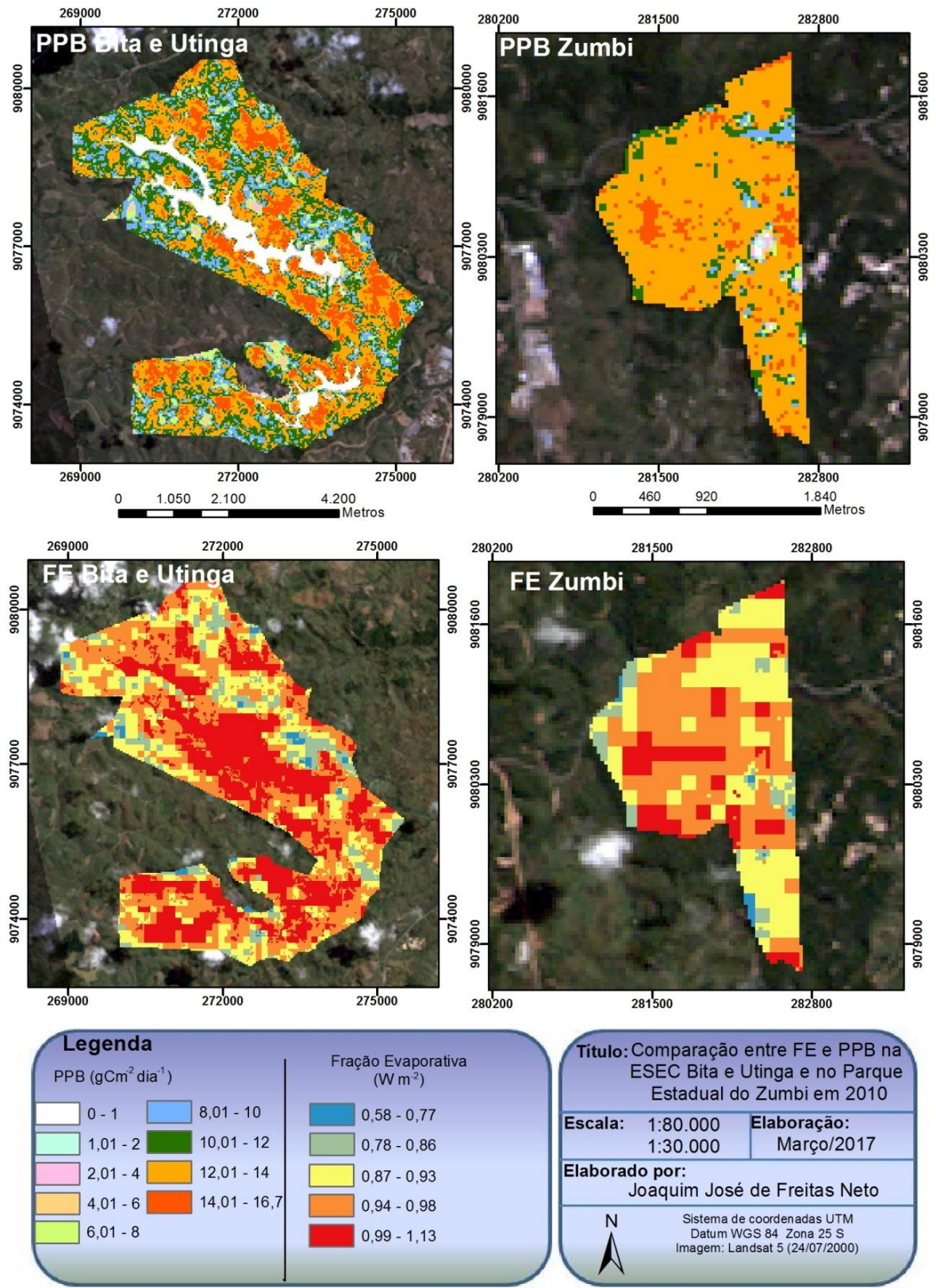
Para fins de comparação, foram montados dois mapas com os valores do IVDN, Produtividade Primária Bruta (PPB) e fração evaporativa (FE) em cada uma das unidades de conservação analisadas (Figuras 25 e 26).

Figura 25 - Estimativa da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010.Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria

Figura 26 - Estimativa da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Fração Evaporativa (FE) da Estação Ecológica de Bita e Utinga e do Parque Estadual Mata do Zumbi para o ano de 2010. Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaboração própria

Analisando-se as figuras, verifica-se que as áreas de espelho d'água da ESEC Bitá e Utinga apresentaram valores de PPB entre 0 e $1 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, evidenciados pela coloração branca. As áreas florestadas, como esperado, apresentaram os maiores valores de PPB, com valores entre 12,1 e $16,7 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, como demonstrado pela coloração laranja e vermelha no mapa. Os usos agropecuários apresentaram, em sua maioria, valores de PPB entre 8,01 e $12 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, representados nas colorações azul e verde. As áreas abandonadas apresentaram valores que vão desde 8,01 a $14 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, se devendo aos fatores já explicados anteriormente de sua heterogeneidade de usos envolvidos.

No Parque Estadual Mata do Zumbi, nota-se que as áreas florestadas apresentaram uma PPB que variou entre 12,01 e $16,7 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo representado pelo gradiente laranja e vermelho na figura. A diferença de produtividade primária entre os usos de solo ficou bastante evidenciada nas figuras 25 e 26, tendo as áreas de solo exposto apresentado valores de PPB entre 0 e $4,01 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Nota-se ainda no setor norte da unidade de conservação, a predominância de uma coloração azul representando valores entre 8,01 e $10 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Essa área é um local onde a vegetação assume feições mais baixas, típica de áreas em regeneração. Sendo ainda, por ser mais baixa, susceptível a alagamentos, com a presença de um curso hídrico que contribui para o encharcamento do solo, tendo este fator contribuído para o resultado apresentado.

Levando-se em consideração os dados de IVDN e fração evaporativa, percebe-se uma tendência às áreas com um maior IVDN terem uma maior PPB. A área alagável do PE Mata do Zumbi aparece no IVDN entre 0 e 0,39 na maior parte de sua extensão, evidenciando um menor volume de cobertura florestal na área, bem como a influência da presença hídrica em sua resposta. Essa mesma área apresenta valores de fração evaporativa mais altos do que a maior parte da área florestada da UC, demonstrando mais uma vez a interferência hídrica no resultados.

Em relação à fração evaporativa, a ESEC de Bitá e Utinga apresentou seus maiores valores no interior de remanescentes florestais e nas áreas de cursos hídricos, com valores que foram de 12,02 a $16,01 \text{ W m}^{-2}$. Essas áreas, com a exceção dos cursos hídricos apresentaram IVDN de 0,75 a 0,85 em sua maior parte.

Nota-se ao se analisar as imagens, a ligação entre altos valores de PPB e a combinação de altos valores de IVDN e de FE. Essa relação já é conhecida em literatura, tendo Silva *et al.* (2013) pontuando terem encontrado valores que superavam os $10 \text{ gCm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no perímetro irrigado de São Gonçalo, na Paraíba, resultando da combinação de áreas com altos valores de IVDN e de FE.

Em um estudo similar realizado na área do Parque Nacional do Catimbau (PE), ou seja, uma área de caatinga, Machado *et al.* (2014) encontraram valores de PPB para as áreas florestadas que variaram entre 3 e 6 gCm⁻² dia⁻¹. Turner *et al.* (2003) encontraram valores de, em média, 10 gCm⁻² dia⁻¹ em áreas de florestas de eucalipto. Xiao *et al.* (2005) encontraram valores de PPB que variaram de 4 a 14 gCm⁻² dia⁻¹ em florestas tropicais da Amazônia.

A tabela 10 demonstra os valores médios de IVDN, PPB e FE para cada uma das classes de uso de solo identificadas.

Tabela 10. Valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Produtividade Primária Bruta (PPB) e Fração Evaporativa (FE) para a data da passagem da imagem de satélite (06 de setembro de 2010) nas áreas de estudo.

Unidade de conservação	Tipo de uso	IVDN médio	Desvio Padrão	PPB (gCm ⁻² dia ⁻¹)	Desvio Padrão	FE (W m ⁻²)	Desvio Padrão
ESEC Bitá e Utinga	Toda a área da UC	0,59	0,2	10,6	6,01	0,95	0,06
	Floresta	0,7	0,11	12,9	2,50	0,98	0,04
	Áreas em uso agropecuário	0,66	0,08	11,47	1,99	0,94	0,05
	Áreas abandonadas	0,62	0,14	10,67	3,16	0,93	0,06
Unidade de conservação	Tipo de uso	IVDN médio	Desvio Padrão	PPB (gCm ⁻² dia ⁻¹)	Desvio Padrão	FE (W m ⁻²)	Desvio Padrão
PE Mata do Zumbi	Toda a área da UC	0,71	0,07	12,73	1,81	0,94	0,02
	Floresta	0,72	0,04	12,98	1,14	0,95	0,02
	Solo exposto	0,46	0,19	7,10	4,04	0,91	0,03

Fonte: Elaboração própria

Através da análise dos dados presentes na tabela 10 percebe-se que na Estação Ecológica de Bitá e Utinga, considerando-se a área total da unidade de conservação e abrangendo todos os tipos de uso de solo apresentados, o valor médio de produtividade primária bruta foi de 10,6 gCm⁻² dia⁻¹, com desvio padrão de 6,01. Considerando-se apenas as áreas de floresta desta unidade de conservação, foi levantando o valor médio de 12,9 gCm⁻² dia⁻¹, com desvio padrão de 2,50. Para as áreas em uso agropecuário, verificou-se o valor de PPB de 11,47 gCm⁻² dia⁻¹, com desvio padrão de 1,99 e nas áreas abandonadas o valor foi de 10,67 gCm⁻² dia⁻¹ com desvio padrão de 3,16.

No Parque Estadual Mata do Zumbi, ao se considerar toda a área abrangida pela unidade de conservação, os valores médios de PPB foram de 12,73 gCm⁻² com desvio padrão de 1,81. Considerando-se apenas a área florestada do parque, verifica-se o valor médio de 12,98 gCm⁻² com desvio padrão de 1,14 e nas áreas com solo exposto o valor da PPB foi de 7,10 gCm⁻² com desvio padrão de 4,04.

Assim, por meio dos dados das médias de PPB apresentados na tabela 10, considerando-se as áreas florestadas no momento da passagem da imagem na Estação Ecológica de Bita e Utinga, tem-se um montante de 666,65 hectares florestados, tendo-se uma PPB média de 85 ton C dia⁻¹. Realizando-se os mesmos cálculos considerando a área do Parque Estadual Mata do Zumbi, encontra-se um cenário com 269,2 hectares de floresta, com uma fixação de carbono média de 34,94 t C dia⁻¹.

4.4.2 Potencial de incremento da Produtividade Primária Bruta das unidades de conservação estudadas

Tendo-se em vista os dados de mapeamento de uso e ocupação da terra obtidos, nota-se uma clara potencialidade de incremento de áreas florestadas no interior das unidades de conservação através da execução de atividades de restauração florestal. A Estação Ecológica de Bita e Utinga apresenta um potencial de incremento de áreas florestadas de 1.601,64 hectares, hoje ocupados pelas áreas abandonadas e áreas em uso agropecuário. Já o Parque Estadual Mata do Zumbi, possui 19,51 hectares ocupados por áreas sem floresta, sendo representados pelas áreas com solo exposto e uma estrada que corta seu limite norte.

Na ESEC Bita e Utinga, se for considerado o cenário em que toda a área da UC venha a ser florestada, apresentando padrões de PPB similares às áreas florestadas atualmente, desconsiderando-se as áreas de superfície hídrica, ter-se-ia 2.268,29 hectares de área florestada, com uma PPB média de 292,61 ton C dia⁻¹. Um incremento de 207,6 ton C dia⁻¹, ou 244,2% em relação ao cenário atual.

Considerando o cenário em que toda a área do Parque Estadual Mata do Zumbi seja florestado, ter-se-ia 288,71 hectares de áreas florestadas apresentando uma produtividade primária bruta de 37,47 ton C dia⁻¹. Um incremento de 2,53 ton C dia⁻¹, ou 7,2%.

Machado (2014) em seu estudo para o Parque Nacional do Catimbau, portanto, uma área de caatinga, utilizando a mesma metodologia deste estudo, demonstrou o potencial de fixação de carbono para as áreas do PNC, chegando a 373,14 ton C dia⁻¹, em uma área de 12.438 hectares. Já Silva (2013), realizando o mesmo estudo no Perímetro Irrigado de São Gonçalo na Paraíba, em uma área com 17.200 hectares encontrou valores que variaram entre 200,3 e 295,3 ton C dia⁻¹. A discrepância dos valores encontrados em relação às ambas as literaturas, se deve ao fato de que nas áreas tratadas, a produtividade primária bruta encontrada foi mais baixa. Percebe-se uma diferença nos valores, ao se comparar o tamanho das áreas avaliadas no presente estudo em relação aos evidenciados nas referências. As áreas

da ESEC Bitá e Utinga e PE Mata do Zumbi apresentaram valores médios de captação de carbono de aproximadamente $0,12 \text{ ton C hectare dia}^{-1}$ muito superiores ao Parque Nacional do Catimbau ($0,03 \text{ ton C hectare dia}^{-1}$) e o Perímetro Irrigado de São Gonçalo (entre $0,012$ e $0,017 \text{ ton C hectare dia}^{-1}$). Isso pode se dever ao fato de que, por serem áreas de caatinga, sua densidade florestal tende a ser mais baixa, afetando diretamente os índices de captação de carbono.

5 CONCLUSÕES

Através da realização das análises, foi possível verificar que o método se mostrou adequado para a avaliação da produtividade primária bruta em áreas vegetadas, tendo apresentado resultados condizentes com a literatura para áreas de floresta úmida, podendo ser utilizado como base para estudos integrados onde seja importante a abordagem dos fluxos de carbono.

O mapeamento realizado permitiu uma caracterização detalhada das variáveis biofísicas das unidades de conservação. Aliado ao mapeamento de uso e ocupação da terra, a análise dos dados constantes nos produtos de sensoriamento remoto se torna mais efetiva, permitindo comparações acerca do comportamento destas em relação à variação das situações ambientais.

Fica demonstrada a contribuição das áreas florestadas das unidades de conservação para o serviço ambiental de captação de carbono. As áreas analisadas possuem uma capacidade já instalada de prestação desses serviços através da vegetação existente de 85 ton C dia⁻¹, para a ESEC Bita e Utinga e 34,94 ton C dia⁻¹, para o PE Mata do Zumbi.

As áreas apresentam ainda um potencial de incremento de produtividade primária bruta, no caso da ESEC Bita e Utinga, de 244% relação à situação atual. No caso do PE Mata do Zumbi esse incremento seria de 7%.

Ficou evidenciada através dos dados a prestação do serviço ambiental de captação de carbono pelas unidades de conservação, sobretudo em suas áreas florestadas. Em especial, que as áreas estudadas possuem um potencial de aumentar sua captação de carbono, sobretudo a ESEC Bita e Utinga, onde se clarificou a possibilidade de mais que dobrar a prestação desse serviço, caso sejam adotadas ações de restauração no local.

Constatou-se ainda, a necessidade de se ter estudos que possam valorar e propor iniciativas de Pagamentos por Serviços Ambientais pela captação de carbono, não só nessas, mas em todas as unidades de conservação do estado de Pernambuco, havendo diversas áreas com cenários similares às áreas estudadas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, A. B. **First World Conference on National Parks**: Proceedings of a Conference Organized by The International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Cosponsored by United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization; United Nations Food and Agriculture Organization; United States National Park Service; Natural Resources Council of America. 1962. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/1964-001-pgs.129-147.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017
- ALLEN, Richard G. *et al.* **Crop Evapotranspiration**: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1998. 300p. Disponível em: <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- ALLEN, Richard G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land - Idaho Implementation**. Idaho: Idaho Department Of Water Resources, 2002. 98 p.
- BAES JUNIOR, C. F.; OLSON, Goeller J. S.; ROTT, R. M. Carbon Dioxide and Climate - The Uncontrolled Experiment: Possibly severe consequences of growing CO₂ release from fossil fuels require a much better understanding of the carbon cycle, climate change, and the resulting impacts on the atmosphere. **American Scientist**, Estados Unidos, v. 6, n. 65, p.310-320, jun. 1977. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/27847841?seq=1#metadata_info_tab_contents>. Acesso em: 14 ago. 2016.
- BASTIAANSEN, W.G.M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, [S.I.], v. 212-213, p.198-212, dez. 1998a. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002534>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- BASTIAANSEN, W.G.M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). **Journal of Hydrology**, [S.I.], v. 212-213, p.213-229, dez. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00254-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00254-6). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002546>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, [S.I.], v. 229, n. 1-2, p.87-100, mar. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169499002024>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.I.], v. 94, n. 3, p.321-340, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00034-8). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880902000348>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

BELINASSI, S.; PAVÃO, A. C.; CARDOSO-LEITE, E. Gestão e Uso Público de Unidades de Conservação: um olhar sobre os desafios e possibilidades. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v. 2, n. 4, p.274-293, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.sbecotur.org.br/rbecotur/seer/index.php/ecoturismo/article/view/132/82>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 23, n. 3, p.305-317, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862008000300005>.

BRASIL. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (cnuc). Ministério do Meio Ambiente. **Relatório da situação das unidades de conservação no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>>. Acesso em: 06 jul. 2017.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e dá outras providências. Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 14 abr. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização**. Brasília: Secretaria Nacional de Biodiversidade e Florestas, 2007. 301 p. CD-ROM.

CBD (Suíça). Convention on Biological Diversity. **Convention on Biological Diversity: text and annexes convention on biological diversity interim secretariat**. Chatelaine: United Nations, 1992. 30 p. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

CENTRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS DO NORDESTE (Brasil). Agência Estadual de Meio Ambiente (cprh). **Relatório técnico do projeto “Elaboração de um Banco de Áreas Degradadas em Unidades de Conservação de Pernambuco, visando iniciativas de Restauração Ecológica**. Recife: Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste, 2016. 423 p.

CENTRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS DO NORDESTE (Pernambuco). União Internacional Para Conservação da Natureza. **Relatório técnico para implantação subnacional da metodologia ROAM – Restoration Opportunities Assessment Methodology – No estado de Pernambuco**. Recife: Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste, 2016. 426 p.

CERON, L. F.; PORTO, L. P. CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS: Protocolo de Kyoto e a Política Nacional Sobre Mudança do Clima. **Revista Eletrônica do Curso de Direito - Ufsm**, Santa Maria, v. 8, p.529-540, ago. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/viewFile/8368/5056>>. Acesso em: 8 jun. 2016.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, Estados Unidos, v. 4, n. 3, p.490-494, maio 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4271443/authors>>. Acesso em: 1 abr. 2016.

CHANG, M. Seqüestro de carbono florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 102, n. 1, p.85-101, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/ojs/index.php/revistaparanaense/article/view/213/175>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

CHAPE, S. *et al.* Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 360, n. 1454, p.443-455, 28 fev. 2005. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2004.1592>. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/360/1454/443>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CIAIS, P. *et al.* Carbon and Other Biogeochemical Cycles. **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**, [s.l.], p.465-570, jun. 2014. Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9781107415324.015>. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2013-the-physical-science-basis/carbon-and-other-biogeochemical-cycles/10D7F863C0763DC257614CA4C81C7FE9>>. Acesso em: 1 ago. 2015.

COSTANZA, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, [s.l.], v. 387, n. 6630, p.253-260, maio 1997. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/387253a0>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

CUNHA, P. Proença. Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial - o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001. **Territorium**, [S.l.], n. 9, p. 13-35, set. 2002. ISSN 1647-7723. Disponível em: <<http://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3491>>. Acesso em: 04 set. 2016.

DAUGHTRY, C. S. T. *et al.* Potential for Discriminating Crop Residues from Soil by Reflectance and Fluorescence. **Agronomy Journal**, [S.l.], v. 87, n. 2, p.165-171, 1995. American Society of Agronomy. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020005x>.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo**: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484 p.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Séries históricas de precipitação e temperatura 1911-1990. **UFCG**, 2010. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospb.htm>>. Acesso em 06/09/2016.

DUDLEY, N. (Ed.). **Guidelines for applying protected area management categories**. Gland: International Union For Conservation Of Nature, 2008. 88 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERRARO, P. J. Protected areas and human well-being. **Economics And Conservation In The Tropics: A Strategic Dialogue**, Atlanta, v. 1, n. 1, p.1-9, fev. 2018

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e as influências do Oceano Pacífico e Atlântico sobre o clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.15-28, dez. 2005.

FIELD, C. B.; RANDERSON, J. T.; MALMSTRÖM, C. M. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 51, n. 1, p.74-88, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00066-v](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)00066-v)

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.449-453, ago. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662009000400012>.

FOLHA DE PERNAMBUCO. UCs: só dez têm plano de manejo. **Folha de Pernambuco**. Recife, p. 1-1. 21 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/noticias/cotidiano/2017/03/21/NWS,21724,70,449,NOTICIAS,2190-UCS-DEZ-TEM-PLANO-MANEJO.aspx>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

FREITAS NETO, J. J. *et al.* Pagamento por serviços ambientais como ferramenta para a manutenção dos recursos hídricos – o caso do Parque Estadual Dois Irmãos. **Anais do IV Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos e I Workshop Internacional Sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade**, Recife, v. 1, n. 1, p.456-468, ago. 2012.

GIONGO, P. R. **Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

GLOBAL CARBON PROJECT (Austrália). Global Carbon Project. **Carbon Reductions and Offsets**. [s.i.], 2006. 33 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Liese_Coulter/publication/237459128_A_GCP_report_for_the_ESSP/links/00b7d528eacd616a88000000.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2016.

GOOGLE Earth PRO. Versão 6.3. [S.l.]: Google, 2017.

GOUVEIA, e L. **Aspectos Ambientais e Gestão dos Recursos Hídricos no litoral sul da Região Metropolitana do Recife RMR: o caso da Microrregião de Suape**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

GUO, Z.; XIAO, X.; LI, D. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. **Ecological Applications**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.925-936, jun. 2000. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0925:aaesw\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0925:aaesw]2.0.co;2).

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; NUNES-SILVA, P. As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o Código Florestal Brasileiro. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.59-62, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032010000400008>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. CD ROM.

LAGE, C. A.; RIBEIRO, J. P. F. M.; BAPTISTA, G. M. M. Análise do Sequestro de Carbono com Dados Hiperespectrais Hyperion Reamostrados para WorldView. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p.6042-6048, abr. 2015.

LIRA, D. R. **Zoneamento das áreas de várzea de pequenas bacias no Agreste Central, Pernambuco: cobertura vegetal, geomorfologia e aspectos da fertilidade de solos.** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** 2. ed. Campo Grande: Oficina de Textos, 2006. 900 p. (ISBN: 978-85-7975-177-6).

MABESOONE, J. M.; SILVA, J. C. **Aspectos geomorfológicos.** Estudos Geológicos. Série B, Vol. 10, p. 117-132. 1991.

MACHADO, C. C. C. **Alterações na superfície do Parque Nacional do Catimbau (PE-Brasil): consolidação dos aspectos biofísicos na definição dos indicadores ambientais do bioma Caatinga.** 2014. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MACHADO, Célia Cristina *et al.* Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.55-67, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862014000100006>.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.517-523, mar. 1987. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168708948658>.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a Importância na Química da Atmosfera. **Química Nova**, [S.I.] v.5, n.3, 2003.

MEDEIROS, R. *et al.* **Contribuição das unidades de conservação para a economia nacional:** Sumário Executivo. Brasília: Unep, 2011. 55 p.

MEIRELES, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL imagem Landsat 5 – TM na bacia do Acaraú – CE.** 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18632/1/2007_dis_mmeireles.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2017.

MONIN, A S.; OBUKHOV, A. M. Dimensionless characteristics of turbulence in the surface layer of the atmosphere. **Trudy Akad Nauk SSSR Geophizica**. [S.I]. Vol. 24, p.163-187. 1954.

MONTEITH, J. L. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. **The Journal of Applied Ecology**, [S.I.], v. 9, n. 3, p.747-766, dez. 1972. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2401901>.

MOREIRA, E. B. M. **Balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto.** 2014. 155 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MOUTINHO, P. *et al.* **REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal–REDD**. 3. ed. Brasília: Ipam, 2012. 160 p.

NAUGHTON-TREVES, L.; HOLLAND, M. B.; BRANDON, K. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. **Annual Review Of Environment And Resources**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.219-252, 21 nov. 2005. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.164507>.

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA. **Método utilizado para o mapeamento de áreas potenciais de restauração na Mata Atlântica**. Boletim de pesquisa. 2009. 52 p.

PAULA, M. D. **Papel da biodiversidade na retenção de carbono em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica Nordestina**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

PAULSON, C. A. The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface Layer. **Journal of Applied Meteorology**, [S.I.], v. 9, n. 6, p.857-861, dez. 1970. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1970\)0092.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1970)0092.0.co;2).

PERNAMBUCO (Estado). Decreto nº 8447, de 2 de março de 1983. PERNAMBUCO (Estado). Decreto nº 8447, de 2 de março de 1983. Aprova as Normas de Uso do Solo, Uso dos Serviços e Preservação Ecológica do Complexo Industrial Portuário de SUAPE. Pernambuco, PE,, CEPE, Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/dec8447.doc>. Acesso em: 2 fev. 2015.

PERNAMBUCO (Estado). Lei nº 13.787, de 8 de junho de 2009. Regulamenta o Sistema Estadual de Unidades de Conservação. Recife, PE: Assembléia Legislativa de Pernambuco, Disponível em: http://www.institutohorus.org.br/download/marcos_legais/LEI%2013.787%20PE_SEUC_2009.pdf. Acesso em: 12 abr. 2015.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Meio Ambiente (cprh). Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Bita e Utinga**. Recife: Agência Estadual de Meio Ambiente, 2012. 304 p. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/unidades_conservacao/Protecao_Integral/Estacao_Ecologica_ES_EC/40032%3B54451%3B223703%3B0%3B0.asp. Acesso em: 24 abr. 2015.

PERNAMBUCO. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). **Sistema Integrado de Informações Geoambientais de Pernambuco – SIG Caburé**. 2017. Disponível em: <http://sigcabure.cprh.pe.gov.br/>. Acesso em: 13 jul. 2017.

PERNAMBUCO. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). **Relatório de medição da qualidade da água em bacias hidrográficas de Pernambuco**. 2012. Disponível

em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/L_Relat12-JB.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2017.

PERNAMBUCO. Complexo Industrial Portuário de Suape. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. **Diagnóstico ambiental e elaboração do projeto de restauração florestal da zona de preservação ecológica**. Cabo de Santo Agostinho: Complexo Industrial Portuário de Suape, 2010.

PERNAMBUCO. Complexo Industrial Portuário de Suape. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. **Plano diretor de SUAPE 2030**. Cabo de Santo Agostinho: Complexo Industrial Portuário de Suape, 2011.

PIMENTEL, D. S. **Os parques de papel e o papel social dos parques**. 2008. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13102008-134757/pt-br.php>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends In Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 25, n. 6, p.345-353, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>.

RODRIGUES, A. S. L. *et al.* Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. **Nature**, [s.l.], v. 428, n. 6983, p.640-643, abr. 2004. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/nature02422>.

SANTIAGO, M. M. *et al.* Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, v. 1, n. 1, p.3003-3009, abr. 2009.

SEEHUSEN, S. E.; PREM, I. Por que pagamentos por serviços ambientais. Em: **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Ministério do Meio Ambiente, 1 Ed.p. 15-53, Brasília, 2011.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM. **USGS**, 2007.

SHUTTLEWORTH, W. J. *et al.* the variation in energy partition at surface flux sites. **IAHS Publ.** Número 186, 1989.

SILVA, A. M. R. B. **Avaliação da qualidade da água bruta superficial das barragens de Bita e Utinga de Suape aplicando estatística e sistemas inteligentes**. 2015. 278 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17404/1/Tese%20SILVA%20AMRB.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

SILVA, B. B. *et al.* Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.57-64, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862013000100006>.

SILVA, C. A. V. *et al.* Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá-PE. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, v. 1, n. 1, p.3079-3085, abr. 2009.

SIQUEIRA, D. R. **Estudo florístico e fitossociológico de um trecho da Mata do Zumbi, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco**. 1997. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1997.

SOARES-FILHO, B. *et al.* Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 107, n. 24, p.10821-10826, 26 maio 2010. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0913048107>.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica** Período 2013-2014 – Relatório Final. Márcia Makiro Hirota (coord.). São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015.

SOUZA JÚNIOR, W. C.; PAVANI, B. F.; GONÇALVES, D. A.. Estimativas de erosão e transporte de sedimentos para corpos d'água como indicadores para pagamentos por serviços ambientais. **Xix Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, p.1-17, jul. 2011. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/97497fb0afb0a6e0a665c72e042cc5a_1c2b6d35137b51a41afc287c86ed5ad8.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2017

TABARELLI, M. *et al.* Desafios e Oportunidades para Conservação da Biodiversidade Na Mata Atlântica Brasileira. **Megadiversidade**, [s.i], v. 1, n. 1, p.132-138, jul. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260591848_Desafios_e_oportunidades_para_a_conservacao_da_biodiversidade_na_Mata_Atlantica_brasileira>. Acesso em: 4 de maio de 2017.

TABARELLI, M; SIQUEIRA FILHO, J. A.; SANTOS, A. M. M. A Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. In: BRASÍLIA. Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. Cap. 1. p. 46-67

TENGBERG, A. *et al.* Cultural ecosystem services provided by landscapes: Assessment of heritage values and identity. **Ecosystem Services**, [S.l.], v. 2, p.14-26, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.006>.

TORRES, F. S. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S. **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2014. 282 p + DVD-ROM (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade).

TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control**. 2002. 341 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biological and Agricultural Engineering Graduate Program, Utah State University, [s.i], 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/34024981_Evapotranspiration_using_a_satellite-

based_surface_energy_balance_with_standardized_ground_control>. Acesso em: 14 maio 2017.

TURNER, David P. et al. Scaling Gross Primary Production (GPP) over boreal and deciduous forest landscapes in support of MODIS GPP product validation. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 88, n. 3, p.256-270, dez. 2003. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.06.005>.

UCHÔA NETO, C. A. M.; TABARELLI, M. **Diagnóstico e estratégia de conservação do Centro de Endemismo Pernambuco**. Recife: Cepan, 2002. 74 p.

UDA, P. K. et al. Análise da evapotranspiração real diária para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho–SC por meio do modelo SEBAL e imagens ASTER. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr**, Foz do Iguaçu, v. 1, n. 1, p.5856-5863, abr. 2013.

VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. A.; SILVA, B. B. Análise da Biomassa Epígea Obtida por Sensoriamento Remoto: um estudo de caso no Projeto de Irrigação Jaíba–Minas Gerais. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p.2677-2684, abr. 2015.

VELOSO, H. P. *et al.* **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 12 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2017.

VERÍSSIMO, A. *et al.* (Org.). **Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 90 p. 2011

WEBB, E. K. Profile relationships: The log-linear range, and extension to strong stability. **Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society**, [S.l.], v. 96, n. 407, p.67-90, jan. 1970. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49709640708>.

WORLD DATABASE OF PROTECTED AREAS (WDPA). **World Protected Areas Geospatial Database**. Disponível em < <https://protectedplanet.net/>>. Acesso em 12 janeiro de 2017.

ZAPE DIGITAL. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco**. Recife, 2001. CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 35).