



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

MAYARA SOARES CAMPOS

**ESTUDO DO ALBEDO DA PALMA DE ÓLEO EM COMPARAÇÃO A
DIFERENTES USOS E COBERTURA DO SOLO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

BELÉM - PA

2018

MAYARA SOARES CAMPOS

**ESTUDO DO ALBEDO DA PALMA DE ÓLEO EM COMPARAÇÃO A
DIFERENTES USOS E COBERTURA DO SOLO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Ecossistemas Amazônicos.

Orientador: Dr. Marcos Adami

Coorientador: Dr. Alessandro Carioca de Araújo

BELÉM - PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Campos, Mayara Soares, 1989-

Estudo do albedo da palma de óleo em comparação a diferentes usos e cobertura do solo no Leste da Amazônia / Mayara Soares Campos. – 2018.

64 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcos Adami

Coorientador: Alessandro Carioca de Araújo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2018.

1. Óleo de palmeira - Amazônia. 2. Solo - Uso - Amazônia. 3. Albedo. 4. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDD 22. ed. 633.85109811

MAYARA SOARES CAMPOS

**ESTUDO DO ALBEDO DA PALMA DE ÓLEO EM COMPARAÇÃO A
DIFERENTES USOS E COBERTURA DO SOLO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

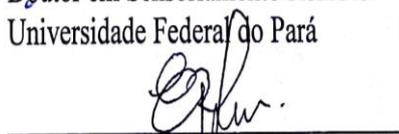
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em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

Data de aprovação: 26/ 04 / 2018

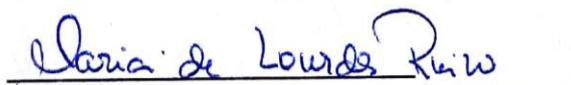
Banca Examinadora:



Prof. Marcos Adami - Orientador
Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Pará



Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Avaliador Interno
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Maria de Lourdes P. Ruivo - Avaliador Interno
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Igor da Silva Narvaes – Avaliador Externo
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Jesus,

“A cruz revela seu amor por mim”

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus, pois Ele é meu sustento e principal orientador na minha vida, sem Ele não estaria realizando mais uma conquista. A honra, glória e poder a Jesus, meu Senhor.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA, pela oportunidade de estudo; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPE, pela concessão da bolsa de mestrado; ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, por ceder a estrutura física para o desenvolvimento deste trabalho; a Embrapa Amazônia Oriental, por dispor dos dados meteorológicos, e à Empresa Marborges Agroindústria S.A pela parceria com a Embrapa ao ceder espaço para aquisição dos dados.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Adami, um exemplo de ética e de profissional, que me inspira a ser uma excelente profissional, com seus ensinamentos demonstrados através do seu caráter. Ao meu co-orientador, Dr. Alessandro Carioca, por todos os ensinamentos transmitidos. A eles agradeço pela possibilidade de execução deste trabalho com dedicação, paciência e as contribuições para que me fizessem crescer no decorrer dessa jornada.

A todos os meus amigos que me ajudaram, ainda que fosse com palavras de apoio de que daria tudo certo. Em especial, quero agradecer a Msc. Fabiana Pereira que tanto me auxiliou; ao meu eterno orientador Dr. Licinius Alcântara por todo incentivo; ao Msc. Jamer Costa pelo ensino na minha estadia como estagiária de docência na Universidade Federal Rural da Amazônia; aos meus amigos/irmãos da célula, em especial a Vânia e ao Ronaldo por todo sustento espiritual em oração. Agradeço aos amigos e colegas que fiz no decorrer do curso, em particular a Paola, Verônica, Gustavo, Milena, Julie, Raimundo Parente, e todos da minha turma de 2016.

Por fim, gostaria de agradecer minha família, pelo cuidado, incentivo e amor, pois meus pais, Mariano Campos e Maria de Lourdes Campos, assim como meus irmãos, Tatiana, Wenderson, Michelle e Gabriel são a base e os motivos para que eu possa conquistar muitas vitórias.

A todos vocês, meu Obrigada!

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um contínuo avanço da fronteira agrícola na região Amazônica, em especial no leste da Amazônia com a expansão do cultivo da palma de óleo, o que tem provocado alterações na cobertura do solo nessa região. Diante da necessidade de se compreender a influência deste cultivo no albedo de superfície, o presente estudo visa avaliar as flutuações do albedo em área de cultura de palma de óleo com dados observados pela torre micrometeorológica e estimados a partir de dados orbitais, com base nos produtos do satélite Landsat 8/OLI e Terra/MODIS. Também foi comparado o albedo da palma de óleo com o de pastagem, floresta e vegetação secundária. A pesquisa mostrou que os valores observados *in situ* (não-imageadores) são estatisticamente iguais aos estimados pelos dois sensores orbitais (imageadores) para cultura da palma de óleo e variaram entre $\alpha=0,14$ a $\alpha=0,15$ no período menos chuvoso. Assim como também foi possível observar uma boa concordância entre o albedo estimado pelos sensores orbitais. Ao avaliar o albedo entre os diferentes usos e coberturas, verificou-se que eles são significativamente distintos entre si, demonstrando o seguinte padrão: Pastagem > Palma de Óleo > Vegetação Secundária > Floresta, o que sugere que possíveis conversões de uma cobertura para outra podem influenciar no balanço de radiação na superfície, e com isso, pode ocasionar alterações no clima. Diante disso, a pesquisa contribui para compreender a influência do cultivo da palma de óleo no albedo de superfície, podendo ainda contribuir com informações para possíveis parametrizações de modelos de simulações climáticas e de impactos ambientais.

Palavras-chave: Uso e cobertura do solo. Palma de óleo. Sensoriamento remoto. Albedo de Superfície. Amazônia.

ABSTRACT

The advance of the agricultural frontier in the Amazon region has been continuous in these recent years, especially in the eastern Amazon with the expansion of oil palm cultivation, which has caused many changes in the land cover of the region. In this way, considering the need to understand the response of the oil palm culture to changes in the surface albedo, this study aims to assess the albedo fluctuations in oil palm cultivation area. In order to do this, we compared the albedo values observed by a micrometeorological tower with those estimated from orbital data, based on the products of Landsat 8/OLI and Terra/MODIS satellites. The oil palm albedo was also compared with the albedo of others land use and land cover as pasture, forest and secondary vegetation. This analysis showed that the values observed *in situ* (non-imaging sensor) for the oil palm cultivation are statistically the same as those estimated by the two orbital sensors (imaging sensor) and they ranged from $\alpha=0.14$ to $\alpha=0.15$ in the dry season. The results also showed a good agreement between the albedo estimated by the orbital sensors. Moreover, the evaluation of the similarity between the other types of uses and coverings in relation to the surface albedo were significantly different from each other, which present the following pattern: Pasture > Oil Palm > Secondary vegetation > Forest. This result suggests that conversions from one land cover to another can influence the radiation balance on the surface and thereby trigger climate change. These information presented in this research can contribute to better understand the albedo fluctuation values of oil palm surface and other land covers in a satisfactory way and can also contribute with information for possible parameterizations of climate simulations models and environmental impacts.

Keywords: Land cover and use. Oil palm. Remote sensing. Surface Albedo. Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Distribuição percentual de radiação solar incidente na terra.	21
Figura 2- Esquema dos principais componentes em um sistema de SR envolvendo fonte de energia, meio de propagação de REM e características do alvo do sensor.	22
Figura 3-Localização das áreas de uso e cobertura do solo na cena de estudo.	31
Figura 4- Localização da área de estudo.	32
Figura 5- Precipitação mensal. Precipitação média mensal do município de Moju-PA no período de 1981 a 2009, representando a normal climatológica em linha/ponto. Precipitação acumulada mensal observada pelo INMET nos anos 2015 a 2016 em histograma.....	33
Figura 6- (A) Saldo radiômetro CNR4; (B) Torre micrometeorológica.	34
Figura 7-Fluxograma da estrutura de processamento dos dados dos sensores remotos.	37
Figura 8 - Área de estudo na composição RGB654 da cena 223/61 do OLI com destaque das imagens em zoom, com o ponto em vermelho representando a localização da torre micrometeorológica no experimento de replantio de cultivo da palma de óleo em Moju-Pa. Dia desconsiderado da análise: “A” presença de sombra de nuvem; “B” presença de nuvem. Dia considerado da análise: “C” ausência de nuvem e sua sombra.....	39
Figura 9 – Descrição das áreas de interesse de uso e cobertura do solo através de interpretações do Projeto TerraClass.	40
Figura 10-Comportamento do albedo de superfície em cultura de palma de óleo observados através da torre de observações micrometeorológica instalada no Município de Moju-Pa no período de 2015 a 2016. O fundo cinza representa o período que foi adquirido às datas para as imagens dos satélites.....	45
Figura 11-Variação do albedo de superfície com sensor OLI versus Torre, para cultura da palma de óleo, para 2015 a 2016.	47

Figura 12 -Variação do albedo de superfície com sensor MODIS versus Torre para cultura da palma de óleo para 2015 a 2016.	48
Figura 13– Histogramas resultantes da técnica bootstrap da análise do teste t para as relações (A) OLIxHora; (B) OLIxHorário; (C) OLIxDiário; (D) MODISxHora (E) MODISxHorário (F) MODISxDiário. O resultado dos valores em 1 (fundo branco) representam a possibilidade das médias serem iguais, com 5% de significância.	49
Figura 14– Histograma resultante da técnica bootstrap da análise do teste t para as relações do Sensor OLI x Sensor MODIS. O resultado dos valores em 1 (fundo branco) representam a possibilidade das médias serem diferentes e valores em 0 (fundo preto) representam a possibilidade das médias serem iguais, com 5% de significância.	50
Figura 15- Valores médios \pm erro padrão do albedo de superfície, para diferentes usos e cobertura do solo, para ano de 2015 e 2016, estimado pelo sensor OLI.	51
Figura 16-Valores médios \pm erro padrão do albedo de superfície para diferentes uso e cobertura do solo para ano de 2015 a 2016 estimado do sensor MODIS....	53
Figura 17- Albedo de superfície para diferentes usos e coberturas do solo estimado com sensor OLI “A” e MODIS “B” para ano de 2015 a 2016. Letras minúsculas comparam as médias entre os usos e coberturas. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0,05$).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações das bandas do sensor OLI.....	24
Tabela 2- Especificações técnicas do sensor OLI	24
Tabela 3- Especificações técnicas do sensor MODIS.	25
Tabela 4- Especificações das bandas do sensor MODIS (MCD3A3).	26
Tabela 5- Imagens do sensor OLI utilizada para análise do albedo de superfície em comparação com os valores observado pelo piranômetro.	35
Tabela 6 - Imagens do sensor OLI utilizada para análise do uso e cobertura.	36
Tabela 7-Número de amostra para cada uso e cobertura do solo nos diferentes sensores orbitais selecionado na cena Landsat 223/61.....	41
Tabela 8- Coeficientes de ponderação da radiação superficial derivada de SMARTS do sensor OLI.....	43

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

BDRF	Função Da Refletância Bidirecional
BOC	Balanco de Ondas Curtas
BSA	<i>Black Sky Albedo</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	<i>Environment For Visualizing Images</i>
GLS	<i>Global Land Survey</i>
HDF	<i>Hierarchical Data Format</i>
HIE	Híbridos Interespecíficos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L8	Landsat 8
LASS	Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MRT	<i>MODIS Reprojection Tool</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ND	Número Digital
OC	Onda Curta
OL	Onda Longa
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PNPB	Produção E Uso de Biodiesel
PPSPO	Programa de Produção Sustentável de Palma de Óleo
REM	Radiação Eletromagnética
SR	Sensoriamento Remoto
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WSA	<i>White Sky Albedo</i>
ZAE	Zoneamento Agroecológico
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico
α	Albedo
b	Banda
ω	Coefficiente de ponderação
<i>linf</i>	Horário inicial
<i>lsup</i>	Horário final

$\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$	Mega joules por metro quadrado por dia
m/s	Metros por segundo
μm	Micrômetro
mm	Milímetro
ρ	Refletância de superfície
Af	Tropical húmido
Am	Tropical de Monção
W. m^2	Watts por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 HIPÓTESES	18
3 OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo Geral	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4 REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1 Radiação Solar	20
4.2 Sensoriamento Remoto	21
4.2.1 Sensor não-imageador	23
4.2.2 Sensor imageador	23
4.3 Albedo	26
4.4 Uso e cobertura do solo	27
4.5 Expansão do cultivo da palma de óleo no nordeste do Pará	29
5 MATERIAIS E MÉTODOS	31
5.1 Área de estudo	31
5.2 Caracterização Climática	32
5.3 Material	34
5.3.1 Piranômetro	34
5.3.2 Imagens Orbitais	35
5.4 Métodos	36
5.4.1 Estrutura dos dados	36
5.4.2 Dados da Torre Micrometeorológica	37
5.4.3 Dados Landsat 8- OLI	38
5.4.4 Dados Terra - MODIS	41
5.4.5 Manipulação de dados dos sensores orbitais	41
5.4.6 Cálculo do albedo de superfície do sensor não-imageador	42
5.4.7 Cálculo do albedo de superfície do sensor imageador	42

5.4.8 Análise estatística	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 Análise do albedo para a cultura da palma de óleo com diferentes escalas de espaço e tempo	45
6.2 Relações funcionais entre os valores de albedo de superfície observados na torre com os estimados por satélites orbitais	48
6.3 Albedo de superfície estimado para diferentes uso e cobertura do solo através de sensores orbitais OLI e MODIS.	51
7 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

À medida que os padrões de cobertura terrestre naturais são modificados, os fluxos de massa e energia na biosfera também são alterados. Sendo assim, essas modificações no uso e cobertura do solo estão relacionadas às mudanças climáticas que afetam a fauna, flora e consequentemente o homem, cuja existência está ligada aos ecossistemas (GIBBS et al., 2010; LAURANCE et al., 2018).

Diante do cenário de alterações climáticas foram desenvolvidos estudos para avaliar os efeitos das mudanças de uso e cobertura do solo nas condições ambientais. Estes estudos têm foco nas mudanças climáticas do sistema terrestre (FOLEY et al., 2005; NOBRE et al., 2009; SENA et al., 2013), principalmente nas avaliações referentes a eventos extremos, variações sazonais de temperatura do ar e precipitação (ERFANIAN et al., 2017; JIMÉNEZ- MUÑOZ et al., 2016; MARENGO, 2009) em diferenciadas regiões do globo.

As mudanças na cobertura do solo também afetam os climas regionais através de mudanças no balanço de radiação da superfície (FOLEY et al., 2005). Na Amazônia, essas mudanças na cobertura do solo, principalmente pelo desmatamento, alteram os fluxos de energia, podendo culminar com a savanização de parte dessa região (ARTAXO et al., 2014).

Os atuais modelos de previsão de clima sugerem uma alta probabilidade de aumento da frequência dos eventos extremos de secas prolongadas, principalmente na Amazônia Oriental. Esses modelos apontam que caso a pressão antrópica sobre as florestas continue, haverá mudanças drásticas no padrão do ciclo hidrológico, com a diminuição do teor de vapor de água na atmosfera, além do aquecimento superficial (GANDU et al., 2004).

As mudanças em larga escala na cobertura do solo e a intensificação do seu uso, que substituem a vegetação natural por outras coberturas resultam na perda da diversidade ecossistêmicas (VIEIRA et al., 2008) e alterações nas condições microclimáticas (FEARNSIDE, 2005), pois altera a quantidade de radiação solar que é absorvida ou refletida por aquela área (AVISSAR, 2004), podendo propiciar assim, um aquecimento da superfície, capaz de influenciar o clima global e regional (YANAGI, 2006). Tais mudanças se acentuaram a partir da segunda metade do século XXI (MARENGO, 2009).

A intensificação das alterações na cobertura do solo na Amazônia contribuiu para um mosaico de ambientes definidos não só pela heterogeneidade dos seus ecossistemas, mas como também pelos processos de uso e ocupação da região (ESCADA; ALVES, 2001). A partir da década de 70, após a crise mundial do petróleo, a Amazônia vivenciou tais modificações com um novo ciclo econômico, com investimentos na matriz energética brasileira, entre elas, as derivadas

de produtos agrícolas como, por exemplo, a palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.), que é uma cultura com porte arbóreo e que conforme estabelecido pelo Programa de Produção Sustentável de Palma de Óleo (PPSPO) em 2010 pode ser uma alternativa para o uso de áreas desmatadas na Amazônia (BENANI et al., 2018).

Em climas tropicais, a expansão da palma de óleo se destaca, pois possui um desenvolvimento mais rápido quando comparada a outras culturas agrícolas perenes (FEROLDI et al., 2014), sendo utilizada principalmente para atender às expectativas de aumento nos requisitos nacionais de biodiesel (BENANI et al., 2018). Diante do cenário potencial de expansão da palma de óleo, o governo brasileiro pretende expandir a área cultivada da palma para mais de um milhão de hectares até 2020 (LAMEIRA et al., 2015).

No estado do Pará, localiza-se a maioria da área plantada de palma de óleo do Brasil (FEROLDI et al., 2014). Se os níveis de investimento observados nos últimos anos se mantiverem, com destaque para os municípios de Tomé Açú, Acará, Tailândia e Moju, que são os maiores produtores desta cultura, a tendência é que haja significativas mudanças no uso e na cobertura do solo ao destinar as áreas desmatadas ao cultivo e expansão dessa cultura (BENANI et al., 2018; LAMEIRA et al., 2015).

Com a nova dinâmica territorial voltada para a produção da dendecultura, com expectativas de tornar o País o maior produtor mundial da produção de palma de óleo, as medidas do governo brasileiro devem promover o monitoramento constante dos programas para que a expansão da produção no Brasil não seja como na Malásia e na Indonésia, por exemplo, que tem se dado à custa do desmatamento (BECKER, 2010).

As mudanças de uso e cobertura do solo, sejam elas promovidas por processos naturais e/ou antrópicos, podem ser avaliadas e monitoradas por Sensoriamento Remoto (SR) (ALMEIDA et al., 2016; ESCADA; ALVES, 2001; SANTOS et al., 2014; VASCONCELOS; NOVO, 2004). Além disso, o SR tem sido uma ferramenta promissora para avaliações de parâmetros tanto de fenômenos meteorológico quanto climático (LORENZZETTI, 2015).

Os métodos de SR permitem integrar informações sobre vários processos físicos e biológicos em diferentes escalas de tempo e espaço (LORENZZETTI, 2015). Um exemplo da aplicação de SR é no estudo do albedo de superfície, pois o albedo integra processos físicos e biológicos. Esses estudos têm sido frequentemente considerado em relação ao clima global, regional e local (CAIAZZO et al., 2014; GIONGO et al., 2009; VON RANDOW et al., 2004; YANAGI, 2006), principalmente porque o albedo está relacionado com as trocas de energia, com isto é um indicador dos regimes radiativos, que resulta em variação de temperatura e alterando o balanço de radiação na superfície (GIONGO et al., 2009; OKE, 1987).

A metodologia utilizada com base em ferramentas de SR para estimar o albedo abrange desde aspectos observacionais, com a obtenção de dados *in situ* (CULF, 1995; MEIJIDE et al., 2017; VON RANDOW, 2004), como também através do processamento digital de imagens com a utilização de algoritmos, partindo-se dos valores de refletância da superfície (GIONGO et al., 2009; CAIAZZO et al., 2014; SILVA et al., 2016).

O albedo de superfície são indicadores biofísicos que têm se mostrado importante na indicação de áreas distintas de uso e cobertura do solo em relação ao impacto do efeito estufa, pois dependendo da área, a radiação disseminada que retornará para atmosfera será distinta, por exemplo, em áreas mais abertas, com menor presença de vegetação tendem a absorver mais calor, provocando o aumento das temperaturas (FEARNSIDE, 2005).

Frente aos processos de mudança de uso e cobertura do solo e a implantação de lavouras de palma de óleo na Amazônia, se faz necessário conhecer os valores de albedo de superfície aos diferentes usos e coberturas do solo com intuito de oferecer subsídios para implementação de instrumentos de gestão e planejamento ambiental.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar as flutuações do albedo de superfície em área de cultivo de palma de óleo com dados observados pela torre micrometeorológica e estimados de dados orbitais. Também será comparado o albedo da palma de óleo em relação a diferentes tipos de uso e cobertura do solo no nordeste Paraense, estimados de dados orbitais, para anos de 2015 e 2016. As informações geradas ajudam a compreender melhor os efeitos da expansão de áreas de palma de óleo no ambiente, principalmente em relação à Amazônia.

2 HIPÓTESES

- O albedo de superfície estimado com sensores orbitais é similar ao albedo observados na torre micrometeorológica;
- O albedo de superfície para cultura da palma de óleo altera conforme diferentes escalas de espaço e de tempo;
- O albedo de superfície estimado com sensores orbitais para palma de óleo é diferente aos outros usos e cobertura do solo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar as flutuações do albedo de superfície em área de cultura da palma de óleo com dados observados pela torre micrometeorológica e estimados a partir de dados orbitais e comparar em relação a diferentes tipos de uso e cobertura do solo no nordeste Paraense.

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar as variações do albedo com diferentes escalas espaciais no tempo para cultura da palma de óleo;
- Avaliar qual a correlação entre o albedo da palma de óleo obtido em superfície com dados orbitais;
- Avaliar se há diferença significativa entre o albedo estimado através dos sensores orbitais para a palma de óleo com os diferentes usos e cobertura do solo em áreas selecionadas na órbita/ponto Landsat 223/61.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Radiação Solar

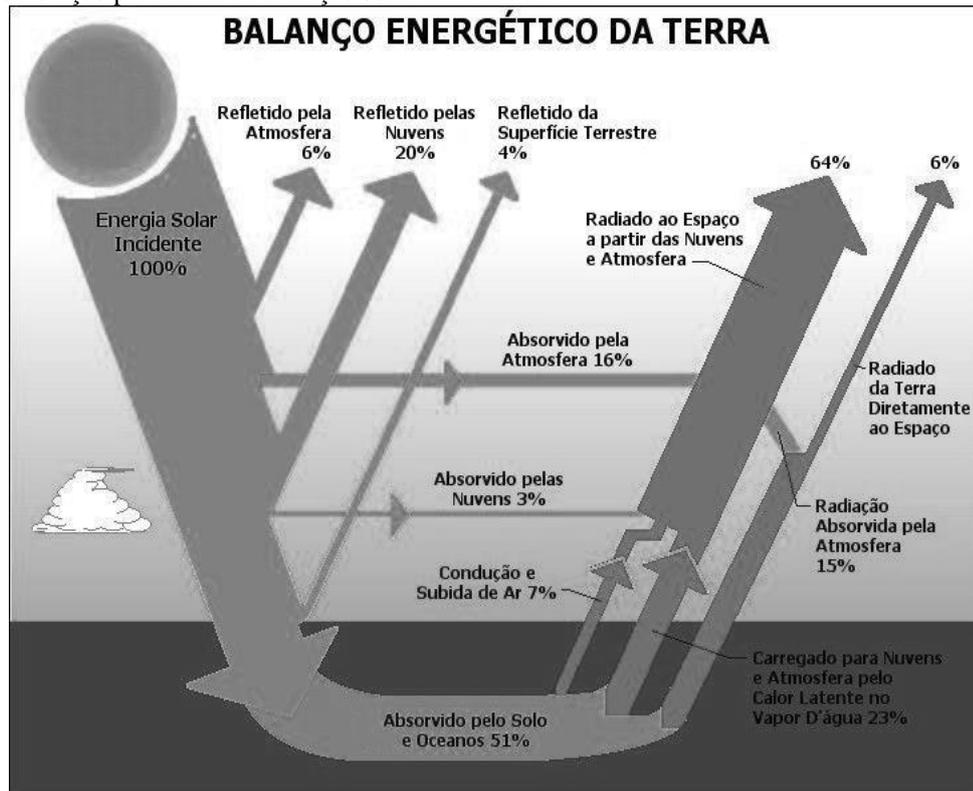
A radiação solar é toda energia radiante emitida pelo Sol, que é transmitida sob forma de radiação eletromagnética (REM). Parte desta radiação incide sobre o planeta Terra e interage com os elementos que constitui o planeta por meio dos processos de absorção, reflexão e ou transmissão. Sabendo então destes processos e conhecendo o total de energia solar que incide, estes valores podem ser normalizados pela divisão do valor absorvido, refletido e/ou transmitido pelo total incidente, passando então a serem chamados por absortância, refletância e transmitância (OKE, 1987).

Toda a REM que atinge a superfície da Terra na forma de fótons terá uma quantidade de energia irradiada de volta a atmosfera (ROCHA et al., 2009). Esses fluxos de radiação acumulado no tempo recebe o nome de irradiação, é normalmente medida em mega joules por metro quadrado por dia ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). A irradiância, que é a radiação instantânea incidente sobre uma superfície, é medida em watts por metro quadrado (W.m^{-2}) (LORENZZETTI, 2015).

Segundo a NASA (2003), da quantidade média de radiação solar que chega em diferentes pontos do planeta, aproximadamente 19% desta radiação é absorvida pelas nuvens e por outros gases, 30% é refletida de volta para o espaço pelo solo, nuvens e atmosfera, e o 51% restante da energia solar incidente chegam à superfície do solo e oceanos (Figura 1). Esta energia é utilizada para os processos do meio físico e biológico, tais como, aquecimento do ar e solo, fotossíntese, evaporação, transpiração, etc.

A maior parte da REM atinge o solo na forma de radiação direta, outra parte chega na forma de radiação difusa. O balanço da radiação na superfície, que contabiliza a quantidade de REM que entra e sai da Terra, é composto por fluxos de REM, baseados na soma dos balanços de radiação solar (que também é chamada de balanço de Onda Curta “OC”) e de radiação terrestre (Onda Longa “OL”) (OKE, 1987). Como a maioria das superfícies são razoáveis refletores, reenviando para o espaço em média 30% da radiação recebida, outra fração da radiação de OC incidente no solo é refletida de volta pela superfície após ser utilizada pela biosfera, em média 4% (Figura 1), e, este fluxo de REM que é refletida, pode ser chamado de refletância da superfície (OKE, 1987).

Figura 1- Distribuição percentual de radiação solar incidente na terra



Fonte: Adaptado da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2003).

Cada processo de propriedade radiativo de superfícies naturais (absortância, refletância e transmitância) depende das características físico-químicas do local em que a energia interagiu. A floresta amazônica, por exemplo, funciona como um receptor e armazenador de energia, e permite que parte da radiação solar incidente sobre a superfície não se perca (QUERINO et al., 2006), convertendo-se em uma fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos, o que é de extrema importância para o clima tanto em escala local como global (CULF et al. 1996).

As mudanças de uso e ocupação do solo em grande escala nas florestas podem alterar o balanço radiativo superficial, diminuir as taxas de evapotranspiração, a composição e quantidade de núcleos de condensação de nuvens, que podem levar à modificação do regime de chuvas e alterações no ciclo hidrológico (GANDU et al., 2004). Por isso, segundo Culf et al. (1996), o estudo da radiação é extremamente importante para se determinar a energia disponível em um determinado local.

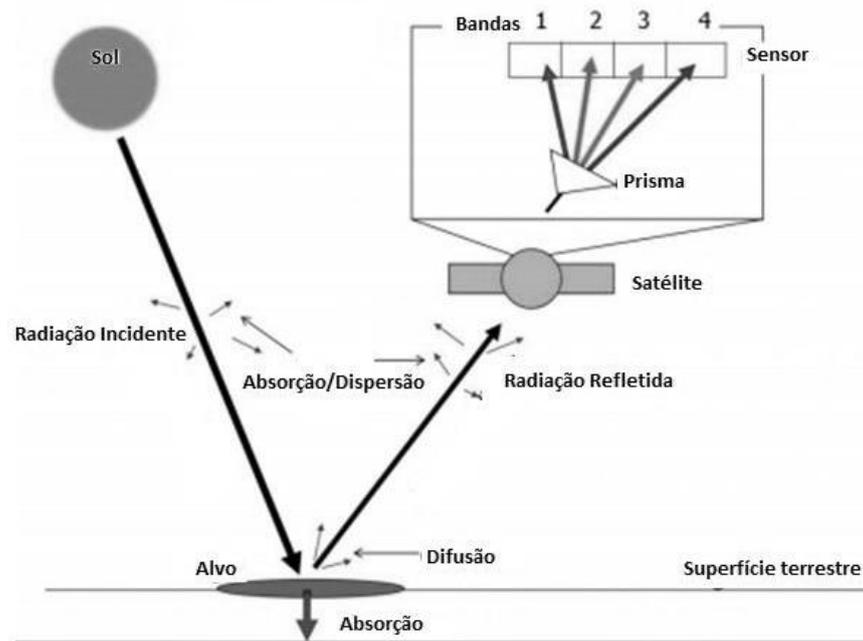
4.2 Sensoriamento Remoto

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a variação da REM em determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético, proveniente ou refletida por um objeto (alvo). Estes dispositivos também têm a capacidade de transformá-las em um sinal

elétrico e registrá-las, de tal forma que isto possa ser armazenado ou transmitido e posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre. As variações de energia eletromagnética de uma área observada podem ser coletadas por sensores remotos imageadores ou não-imageadores.

Os sensores remotos podem ser utilizados para obter informações a poucos metros, quase sem interferência de fatores ambientais, por meio dos espectrorradiômetros, podem também ser acoplados a aviões ou por aquisição de dados de sensoriamento remoto em nível orbital, quando realizada através de equipamentos de sensores a bordo de satélites artificiais (meteorológicos e ambientais). Entre as aplicações destes últimos estão a capacidade sinóptica (possibilidade de visualização de um conjunto de informações de uma só vez), permitindo obter informações sobre uma região com a ausência de contato físico, podendo-se monitorar os mais variados parâmetros (Figura 2) (LORENZZETTI, 2015).

Figura 2- Esquema dos principais componentes em um sistema de SR envolvendo fonte de energia, meio de propagação de REM e características do alvo do sensor



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005).

As características de aquisição dos dados de sensoriamento remoto definem os parâmetros de resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Segundo Moreira (2001), a resolução espacial pode ser entendida como o tamanho mínimo que o alvo deve ter para que o sensor tenha a capacidade de distingui-lo. A resolução espectral se refere à capacidade do sistema sensor em detectar diferentes comprimentos de onda. A resolução radiométrica trata-se da capacidade de um determinado sensor em distinguir variação da radiância observada pela resolução espectral, sendo que essa variação é convertida em um valor numérico, expresso em

bits, denominado de Número Digital (ND). E por fim, a resolução temporal que é informação quanto à frequência de passagem do sensor num mesmo local, num determinado intervalo de tempo.

Outra maneira de classificar os sensores remotos é quanto à sua capacidade de obter uma imagem ou não. A grande diferença entre os sensores remotos classificados como não-imageadores e imageadores está na frequência temporal de obtenção dos dados e na capacidade do sensor de distinguir mais de um alvo ao obter os dados. Os sensores não-imageadores conseguem obter informações de uma área com uma frequência temporal muito alta, enquanto os imageadores a frequência temporal é muito menor, porém, conseguem obter informações de uma área maior (FREIRE, 2008; MOREIRA, 2001).

4.2.1 Sensor não-imageador

Os sensores não-imageadores não geram imagem da superfície sensoriada, e sim dados em valores numéricos que podem ser expressos em gráficos ou tabelas. Atualmente, são estimulados o desenvolvimento desses sensores capazes de fornecerem medidas sobre grandezas físicas, entre elas, medidas de radiação solar para quantificar a radiação incidente e refletida na superfície, por meio de instrumentos, denominados de piranômetros, principalmente por esses instrumentos fornecerem resultados estáveis e com boa repetitividade, projetado para medir a densidade de fluxo da radiação solar em $W \cdot m^{-2}$ (FREIRE, 2008).

Freire (2008) explica que os piranômetros podem ser térmicos (à base de termopares) ou piranômetros fotovoltaicos (à base de silício). Ainda segundo o autor, a principal diferença entre eles é que os piranômetros térmicos são mais precisos e podem ser tomados como padrão para as calibrações, visto que medem a radiação solar incidente em praticamente todo o seu espectro eletromagnético, de 0,3 micrômetro (μm) a 3 μm , enquanto que os piranômetros fotovoltaicos operam em uma faixa do espectro eletromagnético mais limitada, de 0,4 μm a 1,1 μm .

4.2.2 Sensor imageador

Os sensores imageadores geram imagem de uma superfície sensoriada, ou seja, oferecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da área observada. Estes sensores estão normalmente a bordo de satélites artificiais a nível orbital.

- **Sensor OLI**

O sensor OLI faz parte do programa espacial Landsat, o satélite da série Landsat 8 (L8) foi lançado em fevereiro de 2013 pela NASA, e um dos principais usos científicos dos dados do

L8 é avaliar mudanças no uso e cobertura do solo, possui dois sensores a bordo: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (MARKHAM et al., 2015).

Quando comparado aos seus antecessores, o sensor OLI propõe a adição de duas bandas espectrais: Costal e Cirrus na região espectral do azul e do infravermelho próximo, respectivamente (Tabela 1), incluído dentro da faixa de OC. Essas bandas foram inseridas no intuito de evitar alguns efeitos de atenuação atmosférica, principalmente os relacionados ao vapor d'água (MARKHAM et al., 2015). As especificações técnicas do sensor OLI são descritas na tabela 2.

Tabela 1- Especificações das bandas do sensor OLI

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL
OLI	(B1) Costal	0,433 - 0,453 μm
	(B2) Azul	0,450 - 0,515 μm
	(B3) Verde	0,525 - 0,600 μm
	(B4) Vermelho	0,630 - 0,680 μm
	(B5) Infravermelho Próximo	0,845 - 0,885 μm
	(B6) Infravermelho Médio	1,560 - 1,660 μm
	(B7) Infravermelho Médio	2,100 - 2,300 μm
	(B8) Pancromático	0,500 - 0,680 μm
	(B9) Cirrus	1,360 - 1,390 μm

Fonte: Adaptado de Knight e Kvaran (2014).

Ao todo, o sensor OLI apresenta nove bandas multiespectrais, com resolução espacial de 30 m (bandas de 1 a 7 e 9) e de 15 m para a banda 8 (Tabela 1), sendo que todas as bandas espectrais do sensor OLI são armazenadas em arquivo de número digital de 16 bits (Tabela 2), proporcionando com isso melhor desempenho radiométrico e maior caracterização de alvos da imagem, e também contribui para a diminuição do efeito de sombra (KNIGHT; KVARAN, 2014).

Tabela 2- Especificações técnicas do sensor OLI

Órbita	705 km, órbita heliossíncrona . Horário de Imageamento às 10:00 a.m
Resolução Espectral	0,43- 2,3 μm
Resolução Espacial	15 m (banda 8-pancromático), 30 m (banda 1-7 e 9).
Resolução Radiométrica	16 bits
Resolução Temporal	16 dias

Fonte: Adaptado de Knight e Kvaran (2014).

- **Sensor MODIS**

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é o principal instrumento sensor desenvolvido para o satélite TERRA, que foi lançado em dezembro de 1999. Entre as principais características deste sensor estão a ampla cobertura espacial e espectral e continuidade nas tomadas de medidas, em regiões espectrais mais finas, que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento (JUSTICE et al., 2002). O MODIS é um dos cinco instrumentos do satélite, possui alta resolução temporal e espectral e moderada resolução espacial, voltados para aplicações e estudos sobre a dinâmica terrestre. Trata-se de um espectroradiômetro imageador de resolução espacial variada, entre 250 m e 1000 m, e composto por 36 bandas espectrais (Tabela 3) (JUSTICE et al., 2002).

Tabela 3- Especificações técnicas do sensor MODIS.

Órbita	705 km, órbita heliossíncrona. Horário de Imageamento às 10:30 a.m descendente
Resolução Espectral	0,4-14,4 μm
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000m (29 bandas) em nadir (direção vertical orientada para o centro da Terra).
Resolução Radiométrica	12 bits
Resolução Temporal	Diária, a noite da latitude 30° e cada dois dias, para latitudes inferior a 30°.

Fonte: Adaptado de Justice et al. (2002).

A resolução espacial do sensor MODIS depende das bandas, sendo de 250 m para as bandas 1 e 2, de 500 m para as bandas 3-7, e de 1000 m para as bandas 8-36. As primeiras sete bandas são direcionadas para estudos terrestres, voltadas a aplicações ambientais e uso e ocupação do solo (JUSTICE et al., 2002).

Entre os vários produtos MODIS se destacam: MOD09 (Refletância de superfície), MOD12 (Cobertura da Terra/mudança da cobertura da Terra) e o MOD43 que possui parâmetros da distribuição (Função da refletância bidirecional-BDRF / ALBEDO). Este último fornece uma caracterização intrínseca da anisotropia superficial (propriedades físicas serão diferentes conforme diferentes direções da superfície) que é usada para determinar albedos globais da superfície terrestre (JUSTICE et al., 2002).

O produto MOD43 baseia-se em refletâncias de superfície multidimensionais, de céu claro, corrigidas atmosféricamente, acopladas a um modelo BRDF para estabelecer a anisotropia de superfície e fornecer medidas de albedo (SCHAAF et al., 2002). Para o presente estudo, optou-se pelo produto MCD43A3 (Tabela 4) que fornece dados de 500 m na projeção sinusoidal.

Esse produto descreve refletância hemisférica direcional (albedo do céu preto), chamado de *Black Sky Albedo* (BSA), e a refletância bihemisférica (albedo do céu branco), o *White Sky Albedo* (WSA) (SCHAAF et al., 2015).

Tabela 4- Especificações das bandas do sensor MODIS (MCD3A3).

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL
MODIS (Produto MCD43A3)	(B1) Vermelho	0,620 - 0,670 μm
	(B2) Infravermelho próximo	0,841 - 0,876 μm
	(B3) Azul	0,459 - 0,479 μm
	(B4) Verde	0,545 - 0,565 μm
	(B5) Infravermelho próximo	1,230 - 1,250 μm
	(B6) Infravermelho médio	1,628 - 1,652 μm
	(B7) Infravermelho médio	2,105 - 2,155 μm
	(B8) Visível	0,400 - 0,700 μm
	(B9) Infravermelho	0,700 - 4,000 μm
	(B10) Onda-curta	0,250 - 4,000 μm

Fonte: Adaptado de Schaaf (2015).

O BSA pode ser definido como a componente de radiação direta em ausência da componente de radiação difusa, dependendo somente do ângulo zenital solar. Por outro lado, o WSA é definido como a componente de radiação difusa isotrópica em ausência da componente de radiação direta, ou seja, com as mesmas propriedades físicas em qualquer direção, sendo considerado constante em todas elas (SCHAAF et al., 2002).

A diferença entre a radiação difusa e direta é que a difusa é aquela proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre e a direta provém diretamente do sol e produz sombras nítidas (OKE, 1987). Contudo, conforme Querino et al. (2006) o albedo de superfície é na sua maioria dependente da refletância de radiação direta da radiação solar incidente. Por isso, nesse estudo foi utilizado as bandas multiespectrais de onda curta do BSA, assim como foi utilizado no estudo de Caiazzo et al., (2014).

4.3 Albedo

A razão entre as radiações de OC refletida e incidente na superfície é denominada coeficiente de reflexão ou albedo. Os valores possuem grandeza adimensional podendo variar de zero “0” a um “1” conforme resposta de reflexão da superfície. Superfícies, em geral mais escuras como, por exemplo, as florestas, os valores são mais próximas a 0, enquanto, em

superfícies mais claras, tais como, solo exposto possuem valores mais próximos a 1 (OKE, 1987).

O albedo é muito variável no espaço, sendo influenciado pelas propriedades físico-químicas dos materiais que constituem as superfícies e pelo ângulo zenital solar, que no decorrer do dia modifica o caminho óptico que o raio solar percorre até chegar à superfície (OKE, 1987). Já as principais fontes identificadas de variação temporal do albedo de superfície, segundo o autor, são as mudanças de ângulo de elevação solar, umidade do solo e cobertura da vegetação.

Nesse sentido, os valores de albedo sofrem variações espaciais e temporais, e é um parâmetro fundamental em estudos ambientais por afetar o balanço de radiação, sendo um indicativo das interações que ocorre entre solo-planta-atmosfera (VON RANDOW et al., 2004), uma vez que a razão entre as radiações de OC que incide no solo e que reflete dele é resultado de diferentes processos como o aquecimento do solo, ar e na evapotranspiração da vegetação nativa ou cultivada (YANAGI, 2006). Por isso, alterações em superfície vegetada resultante da substituição da cobertura influenciam os índices de albedo (CULF et al., 1995).

Diante das diferentes transformações ocorridas na cobertura do solo, principalmente na Amazônia, experimentos meteorológicos são realizados na região de modo a analisar o albedo em diferentes uso e cobertura do solo (CULF et al., 1995; QUERINO et al., 2006; VON RANDOW et al., 2004), e assim, ter uma compreensão dos efeitos das mudanças de uso e cobertura do solo em relação as mudanças climáticas (CULF et al. 1996; SILVA et al., 2005; YANAGI, 2006).

Para determinação dos valores de albedo de superfície em diferentes coberturas do solo, diversos estudos utilizaram dados de SR orbital, em diferentes escalas espaciais e temporais (GIONGO et al., 2009; KE et al., 2016; LIBERATO, 2011; OLIVEIRA; MORAES, 2013; QU et al., 2015). Essa ferramenta pode permitir a análise das variações do albedo de superfície tanto no espaço quanto no tempo.

4.4 Uso e cobertura do solo

Apesar de intrinsecamente ligados, a cobertura e o uso do solo são bem diferentes. A cobertura compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico do solo, por exemplo, floresta; gramíneas; água, enquanto o uso do solo refere-se aos propósitos humanos associados à cobertura, tais como, extrativismo, pecuária, conservação etc. O uso e cobertura do solo podem ser compreendidos como resultado do processo pelo qual o espaço está sendo ocupado por atividades realizadas pelo homem ou preenchido pela cobertura natural, respectivamente (ESCADA; ALVES, 2001). Alves et al. (2009) afirmam que as transformações

na dinâmica temporal e espacial no uso do solo são observadas tanto em dados censitários como através do sensoriamento remoto.

A detecção de mudanças no uso e cobertura do solo pode ser definida a partir do reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinado alvo nas imagens tomadas em distintos períodos de tempo (SANTOS et al., 2014), e para detecção dessas alterações devem ser consideradas a intensidade, direção, extensão e sua transformação (ALMEIDA et al., 2016).

A história de ocupação e consolidação do território, na região amazônica, apresenta propriedades dinâmicas quanto ao uso do solo devido a distintos processos de transformação da paisagem, analisados na dimensão espaço-temporal e na relação com as características sociais, econômicas, políticas e ambientais (BECKER, 2005). Isto se deve ao desenvolvimento que a região esteve elencado, num modelo exógeno que priorizou a exploração dos seus recursos naturais sem preocupações com um retorno efetivo para região (ESCADA; ALVES, 2001).

Um novo padrão de transformação da paisagem na Amazônia foi formado com a expansão da agricultura mecanizada em larga escala com uso intensivo em áreas anteriormente abertas para a pecuária (ESCADA; ALVES, 2001), e para que não ocorra de forma desordenada, são necessários requisitos mínimos estabelecidos, em normas e regulamentos pela legislação ambiental brasileira, para o desenvolvimento econômico aliado à proteção ambiental (HERRERA, 2014).

As mudanças de uso e cobertura do solo alteram o balanço de radiação e o sistema climático terrestre, principalmente pela conversão de florestas em usos agropecuários (SANTOS et al., 2011). Estudos de Adami et al. (2015) comprovaram através de análises de sensoriamento remoto que a dinâmica do uso e cobertura está baseado na consolidação da agricultura e da pecuária extensiva, como uma das variáveis na matriz econômica do estado do Pará. Por isso, um número considerável de pesquisas tem se concentrado na estimativa de taxas de conversão da floresta na Amazônia, principalmente por meio de sensoriamento remoto, assim como na avaliação dos fatores que influenciam essas taxas (CHAMBERS et al., 2007).

Na Amazônia, o mapeamento e monitoramento das mudanças na cobertura do solo é desafiador, pois a região é muito extensa, com uma taxa de mudança acelerada, e frequentemente coberta por nuvens (ALVES et al., 2009). Contudo, através de avanços do sensoriamento remoto é possível analisar as implicações espaciais e temporais da cobertura do solo na Amazônia (CHAMBERS et al., 2007).

Almeida et al. (2016) evidenciam que o padrão espacial do uso e cobertura do solo é essencial para estudos de biodiversidade, mudanças climáticas e modelagem ambiental. Desta forma, em seu estudo, os autores apresentam a porcentagem de uso e cobertura do solo para a

porção desflorestada da Amazônia Legal Brasileira até 2008, com valores para as principais classes de 62% de pastagem, 21% de vegetação secundária e aproximadamente 5% de agricultura anual, além dos 12% restantes estarem distribuídas em outras seis classes de uso e cobertura da terra.

4.5 Expansão do cultivo da palma de óleo no nordeste do Pará

Após a crise do petróleo dos anos 70, o governo passou a incentivar o desenvolvimento e a produção de biocombustível, objetivando investir no óleo vegetal como alternativa para atender a demanda por combustíveis fósseis e minimizar os impactos ambientais decorrentes das fontes não renováveis (BECKER, 2005), uma vez que, o Brasil tem terras adequadas para expansão de oleaginosas (BENANI et al., 2018).

Para garantir a sustentabilidade na produção de biocombustíveis, começaram a surgir os esquemas de certificação, que nada mais são do que conjuntos de princípios, critérios e indicadores que devem ser seguidos para que o biocombustível seja produzido dentro dos preceitos do desenvolvimento sustentável (HERRERA, 2014), visto que, segundo o autor o prognóstico futuro da expansão com destaque para palma de óleo aparenta ser próspero e, de acordo com Becker (2010) para que não ocorra expansão desordenada e graves problemas socioambientais, devem-se cumprir as certificações.

Diante desse cenário, Carvalho (2015) relata que a certificação representa uma forma de atestar que o processo de produção do biocombustível brasileiro siga requisitos mínimos estabelecidos pelas estruturas governamentais, que restringem a mudança de uso e cobertura do solo na Amazônia de forma desordenada e insustentável. Com isso, essa medida evita que áreas de florestas sejam desmatadas para monocultivo, como por exemplo, o cultivo de palma de óleo.

A palma de óleo é uma oleaginosa de grande importância para a economia, pois possui versatilidade do uso comercial no mercado consumidor, sendo utilizado como combustível renovável e também nas indústrias alimentícia e de cosméticos (BECKER, 2010). Além disso, diversos benefícios gerados por esta cultura contribuíram para perspectiva de expansão, tais como, capacidade de fixação de carbono atmosférico, maior produção de óleo por hectare plantado, possibilidade de recuperação de áreas degradadas e por ser uma cultura com ciclo de vida comercial de 25 anos (CABRAL, 2000; HOMMA; VIEIRA, 2012).

A palma de óleo ganhou maior visibilidade e incentivos na região nordeste da Amazônia nos últimos dez anos, com uma expansão significativa no período de 2006-2010 (BENANI et al., 2018). E, conforme Carvalho (2015) altos investimentos são esperados, por exemplo, da Petrobras que até 2018 planeja investir um total de 330 milhões de reais em palma no Estado do Pará.

Atualmente o Pará é o maior produtor da palma de óleo no Brasil, representando 80% da área cultivada no país (LAMEIRA et al., 2015). Portanto, os esquemas de certificação por meio das estruturas governamentais se fazem necessários para permitir que a formação de territórios da palma seja em aproveitamento de áreas degradadas, assim como, que a palma de óleo se estabeleça a partir da conversão de pastagem ao invés da conversão da vegetação natural (BENANI et al., 2018).

Para que a expansão da palma seja sustentável em toda a sua cadeia de produção, as estratégias governamentais devem atender aos acordos internacionais assumidos pelo Brasil de evitar impactos ambientais e sociais negativos ligados principalmente à segurança alimentar, demanda por terras, mudanças climáticas, perda de biodiversidade, contaminação do solo e água com insumos químicos, conflitos fundiários e sociais, etc (HERRERA, 2014).

As principais estruturas governamentais para expansão da palma de óleo no nordeste do estado do Pará são políticas públicas, como, Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2004; o PPSOP em 2010 para a criação da matriz energética dos biocombustíveis; Zoneamento Agroecológico (ZAE) da Palma em áreas desmatadas da Amazônia, lançado em 2010 e; o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da região leste do Pará, também aprovado em 2010, dos quais, possuem como principal objetivo promover a expansão da produção de palma de óleo, mas também proporcionar inclusão social, gerar divisas e proporcionar o desenvolvimento sustentável da atividade produtiva (CARVALHO, 2015; FEROLDI et al., 2014; SCHAFFEL, 2010).

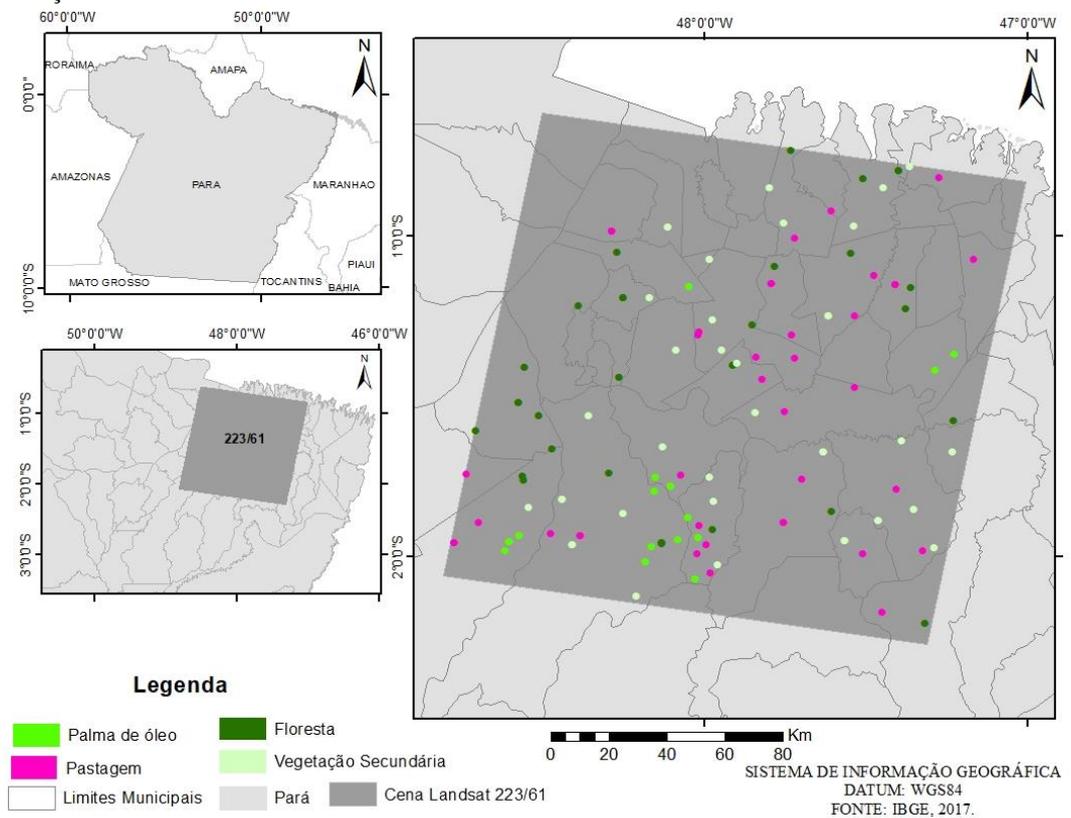
Segundo Cabral (2000) as plantações de dendezeiros na Amazônia podem representar uma alternativa viável, quanto à ocupação de uma fração dos milhões de hectares de áreas desmatadas na Amazônia para aproveitamento agrícola, uma vez que, a palma de óleo é uma cultura perene de grande porte e com boa capacidade de fixação de carbono, contribuindo assim para uma redução dos impactos ambientais nas escalas local e global, originados pelo desmatamento. E, dessa forma garantir uma produção em bases sustentáveis.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida na região leste da Amazônia, que apresenta grande expansão da dendeicultura, sobretudo, na mesorregião do Nordeste Paraense, onde a expansão da cultura da palma de óleo toma forma e ganha espaço na paisagem (BECKER, 2010), devido principalmente às boas adaptações da espécie as condições edafoclimáticas da região (BASTOS et al., 2001). Desse modo, a órbita/ponto estudada foi a Landsat 223/61 (Figura 3), na qual, abrange 50 municípios dentro dessa região. Dentro da cena foram selecionadas diferentes áreas de uso e cobertura do solo, tais como, pastagem, floresta, vegetação secundária e culturas de palma de óleo.

Figura 3-Localização das áreas de uso e cobertura do solo na cena de estudo.



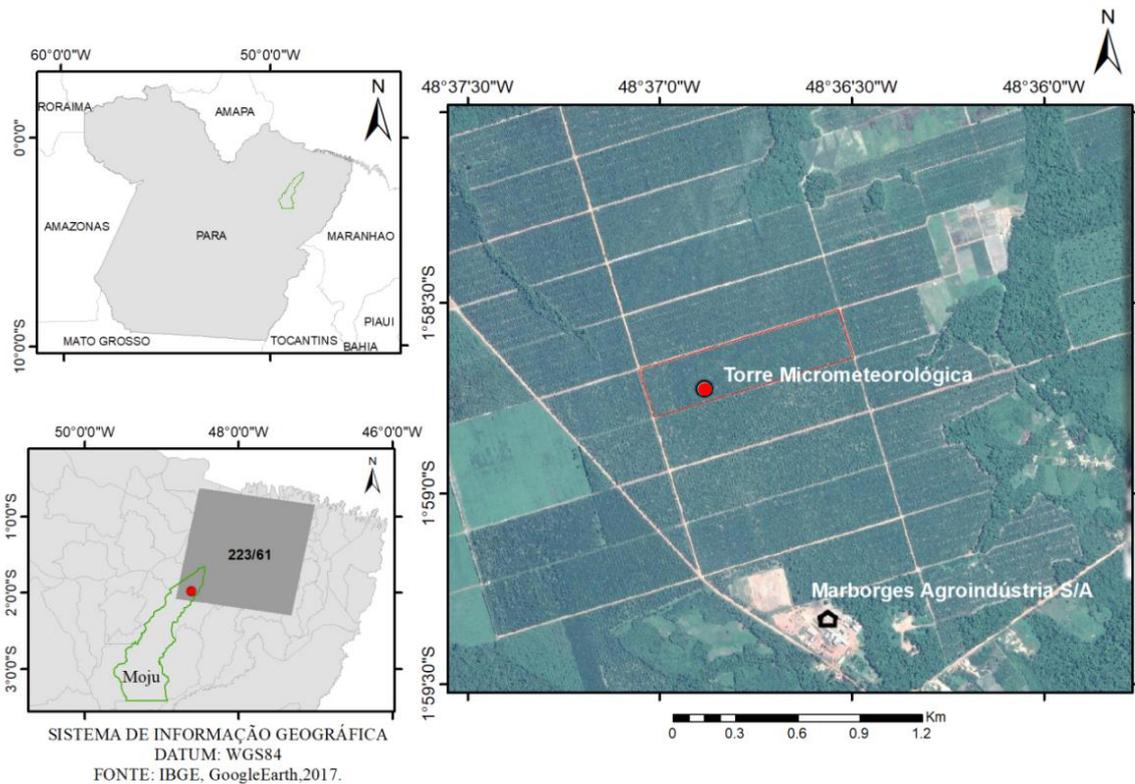
Fonte: Elaboração do autor.

Esta região é formada principalmente por solos denominados latossolos e os podzólicos, e como a maioria dos solos da Amazônia, eles apresentam uma fertilidade natural muito baixa, porém, possui topografia favorável, sendo profundos, permeáveis, bem drenados, podendo apresentar uma elevada produtividade sob um bom manejo (MACEDO; RODRIGUES, 2000).

Para avaliar o albedo na cultura de palma de óleo, foram utilizados os dados obtidos da torre de observações micrometeorológicas, com coordenadas geográficas de 1°58'43,2" S;

48°36'52,8" W, instalada no município de Moju-PA, mais especificamente na parcela C₂₂, na empresa Marborges Agroindústria S.A (Figura 4). Essa parcela possui 2,5 hectares (250 x 100 m), e corresponde a um experimento de replantio de cultivo da palma de óleo com híbridos interespecíficos (HIE) (*Elaies guineensis* x *Elaies oleifera*), com 3.575 plantas de 9 a 10 anos de idade, e densidade de plantio igual a 143 plantas por hectare.

Figura 4- Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração do autor.

5.2 Caracterização Climática

Bastos (2000a) diz que o clima no Nordeste Paraense, segundo a classificação de Köppen, pertence ao clima tropical chuvoso, com subtipos: “Af- Tropical húmido” e “Am- Tropical de Monção”. O autor descreve que esses subtipos se caracterizam por apresentar temperatura média anual em torno de 26 °C, umidade relativa do ar em torno de 85% e precipitação entre 2.200 e 3.000 milímetros (mm). A diferença entre eles, conforme Bastos (1982), está na existência de uma pequena estação de seca que varia de 1 a 3 meses para Am, o que não acontece com Af, que apresenta ausência de estação seca, registrando total de chuva na maioria dos meses superior a 60 mm. Todavia, o autor cita que as chuvas apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano.

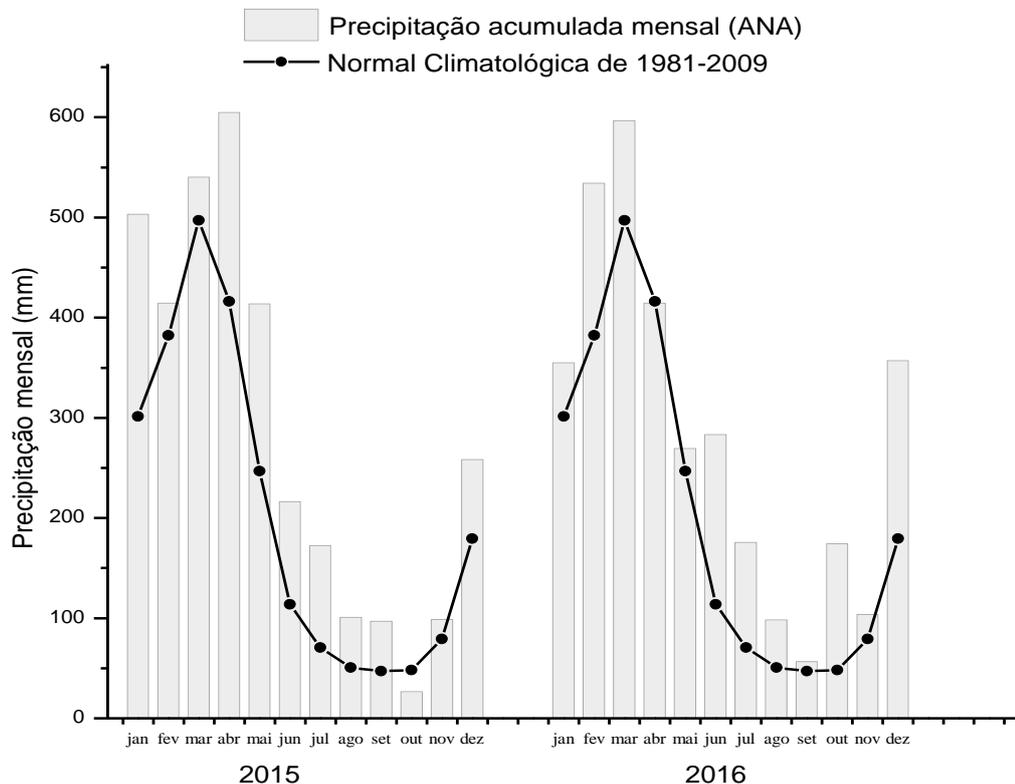
No nordeste Paraense, a insolação mensal de brilho solar varia aproximadamente entre 148 h e 275 h, sendo que os valores mais elevados ocorrem no período de junho a novembro, e

devido a condição de baixa latitude da região, implica que a altura do sol seja sempre elevada às 12h: 00. Além disso, pode-se dizer que a região possui uma intensidade de radiação solar entre 400 W.m^{-2} e 470 W.m^{-2} , possui também velocidade do vento relativamente baixa, com média anual para o Estado do Pará entre 1,6 metros por segundo (m/s) e 1,8 m/s a 2 m acima da superfície do solo (BASTOS, 2000a).

O município de Moju-Pa ($01^{\circ}53'10'' \text{ S}$, $48^{\circ}46'00'' \text{ W}$), localizado no leste do Pará situa-se na faixa com clima Af. Dessa forma é importante considerar a distribuição das chuvas, por ser uma condicionante relevante na atenuação ou intensificação de parâmetros climáticos de notada influência na cultura da palma, tais como, a radiação solar no solo (BASTOS, 2000a).

Para identificar o período chuvoso e menos chuvoso de Moju-PA foi considerado o estudo de Barreto (2012) ilustrado em linha/ponto que analisou a precipitação média mensal do município no período de 1981 a 2009 (Figura 5). Essa análise mostra que o mês mais chuvoso corresponde a março, com precipitação média de 497,24 mm, e o menos chuvoso em setembro, com menor valor médio de 46,9 mm. Estes valores revelam que ocorre uma estação mais chuvosa que corresponde de dezembro a maio e menos chuvosa que corresponde de junho a novembro, e que ainda a maior parte da chuva se precipita em três meses (Fevereiro, Março e Abril), confirmando a dinâmica regional e a distribuição da sazonalidade do município.

Figura 5- Precipitação mensal. Precipitação média mensal do município de Moju-PA no período de 1981 a 2009, representando a normal climatológica em linha/ponto. Precipitação acumulada mensal observada pelo INMET nos anos 2015 a 2016 em histograma.



Fonte: Adaptado de Barreto (2012); ANA (2018).

Para analisar o comportamento de precipitação nos anos de 2015 e 2016 no município de Moju-Pa, foi considerado dados de precipitação acumulada mensal na estação meteorológica da cidade de Tomé-Açú (mais próxima de Moju-Pa) pela Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2018).

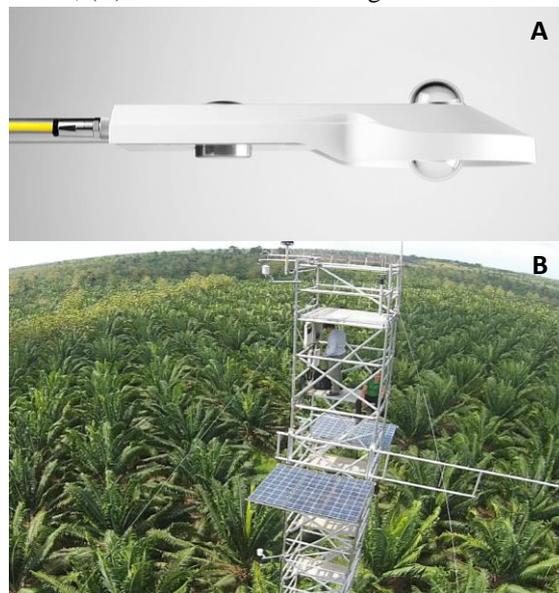
A figura 5 com ilustração em histograma de barras apresenta os valores de precipitação observados pela ANA, com maiores valores nos meses de dezembro a maio e menores de junho a novembro, corroborando com o comportamento da normal climatológica do estudo de Barreto (2012) ilustrada em linha/ponto.

5.3 Material

5.3.1 Piranômetro

O instrumento utilizado foi um saldo radiômetro (CNR4, Kipp e Zonen, Delft, Países Baixos), que apresenta alta precisão (Figura 6 “A”). Esse instrumento contém um par de piranômetros termopar, um voltado para cima e outro para baixo, para medir a radiação solar de ondas curtas, incidente e refletida, respectivamente, expressos em $W.m^{-2}$. Está instalada em uma torre de observações micrometeorológicas (Figura 6 “B”), a 18,21 m de altura, acima da superfície, na extremidade de um braço de alumínio com ~ 5 m de comprimento.

Figura 6- (A) Saldo radiômetro CNR4; (B) Torre micrometeorológica.



Fonte: (A) Kippzonen (2017); (B) Embrapa (2017).

Os piranômetros medem a radiação solar na faixa de OC, com resolução espectral entre 0,3 a 2,8 μm . O sensor registra o fluxo de energia radiante instantâneo que incide sobre este. O registro da série de dados de albedo utilizada nesse estudo tem início em janeiro de 2015, com

armazenamento dos dados realizados por um microcontrolador eletrônico (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan UT, EUA), utilizando um cartão de memória de 2 gigabytes (CFV-2GB-TSI-3522, Campbell Scientific Inc., Logan UT, EUA).

Os dados brutos são gravados no formato binário, e estão disponíveis em duas bases de tempo, como valores instantâneos a cada 60 segundos (s), e como médias de 30 minutos (min), sendo que esta última será utilizada nesse estudo. O cartão de memória é substituído e transportado em visitas quinzenais ao local de coleta para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A tabulação, a organização e a consistência dos dados são realizadas por equipes no Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis (LASS) da EMBRAPA seguindo protocolo de organização, análise e certificação de dado registrados em dias julianos.

5.3.2 Imagens Orbitais

- **Landsat 8- OLI**

As imagens do OLI estão disponíveis no site da NASA para aquisição em <<https://earthexplorer.usgs.gov>> no formato *Tagged Image File Format* (TIFF) e com projeção geográfica WGS84. As imagens são derivadas do conjunto de dados do *Global Land Survey* (GLS), que fornece serviços de qualidade das imagens do satélite Landsat já ortorretificadas, ou seja, imagens em que as distorções internas do sistema e externas da paisagem são corrigidas (GUTMAN et al., 2013). O procedimento de correção atmosférica e geométrica para área de estudo, órbita/ponto 223/61, são fornecidas através do produto de refletância de superfície de dados de nível 2 (MASEK et al., 2006).

Para estimativa do albedo de superfície com as imagens OLI em comparação com os valores observados na torre, foram selecionadas 8 imagens, sendo 3 para ano de 2015 e 5 para 2016 (Tabela 5).

Tabela 5- Imagens do sensor OLI utilizada para análise do albedo de superfície em comparação com os valores observado pelo piranômetro.

Imagens	Data
LC082230612015071701T1-SC20171031085504	17/07/15
LC082230612015091901T1-SC20171101160633	19/09/15
LC082230612015100501T1-SC20171101151834	05/10/15
LC082230612016051601T2-SC20171101151449	16/05/16
LC082230612016071901T1-SC20171101153455	19/07/16
LC082230612016080401T1-SC20171101151349	04/08/16
LC082230612016082001T1-SC20171031085541	20/08/16

Fonte: Adaptado da *United States Geological Survey* (USGS) (2017).

Para análise da estimativa do albedo de superfície em diferentes coberturas dentro da cena estudada foram selecionadas 12 imagens para 2015 a 2016 (Tabela 6).

Tabela 6 - Imagens do sensor OLI utilizada para análise do uso e cobertura.

Imagens	Data
LC082230612015053001T2-C20171101151323	30/05/15
LC082230612015061501T1-SC20171101151343	15/06/15
LC082230612015071701T1-SC201711031085504	17/07/15
LC082230612015080201T1-SC20171101152108	02/08/15
LC082230612015091901T1-SC20171101160633	19/09/15
LC082230612015100501T1-SC20171101151834	05/10/15
LC082230612015102101T1-SC201711227153153	21/10/15
LC082230612016061701T1-SC20171101151714	17/06/16
LC082230612016071901T1-SC20171101153455	19/07/16
LC082230612016080401T1-SC20171101151349	04/08/16
LC082230612016082001T1-SC201711031085541	20/08/16
LC082230612016092101T1-SC20171101160901	21/09/16

Fonte: Adaptado da *United States Geological Survey* (USGS) (2017).

- **Terra - MODIS**

As imagens do produto MODIS (MCD43A3) estão disponíveis no site da NASA e são distribuídas gratuitamente em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) em <<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOTA/MCD43A3.006/>>. As imagens adquiridas foram da cena h13v09.006 que cobre uma área de 10°x10° latitude/longitude com projeção sinusoidal (SCHAAF et al., 2015).

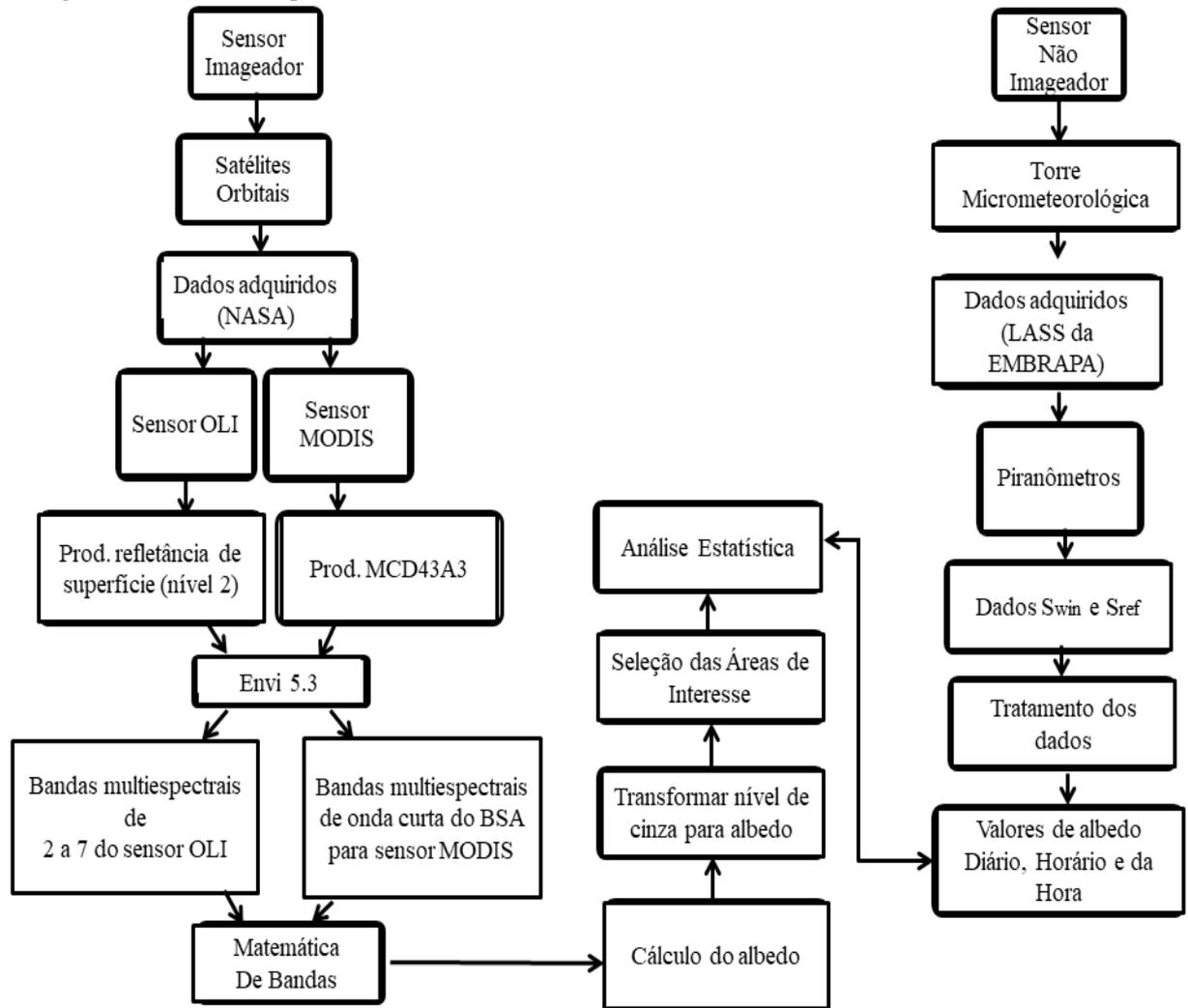
Para uma melhor comparação dos valores de albedo observados na torre com sensor MODIS foram selecionadas 8 imagens do produto MCD43A3 correspondente as mesmas datas disponíveis pelas imagens OLI, com isso, as imagens referente aos dias 17/07/15, 19/09/15, 05/10/15, 16/05/16, 17/06/16, 19/07/16, 04/08/16 e 20/08/16 foram selecionadas. Todavia, em análise do albedo para diferentes áreas específicas de coberturas do solo foram avaliados 31 dias de 2015 e 59 para 2016.

5.4 Métodos

5.4.1 Estrutura dos dados

Os dados utilizados neste estudo para analisar o albedo de superfície foram obtidos através do sensor não-imageador, por meio dos piranômetros localizado na torre micrometeorológica, que medem a radiação solar de onda curta, incidente e refletida, sendo possível dessa forma calcular os valores observados do albedo de superfície. Contudo, esse tipo de sensor possibilitar fazer apenas medidas pontuais e não há possibilidade de se montar uma rede densa para toda uma região, portanto, o uso de informações de satélites se torna o mais indicado por oferecer cobertura de todo o globo, através da utilização de imagens do sensor MODIS do satélite Terra, e com imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8. A figura 7 apresenta a sistematização dos dados.

Figura 7-Fluxograma da estrutura de processamento dos dados dos sensores remotos.



Fonte: Elaboração do autor.

5.4.2 Dados da Torre Micrometeorológica

Os dados brutos de OC para o cálculo de albedo de superfície obtidos do sensor de piranômetros na torre micrometeorológica em Moju-Pa, passaram por um tratamento antes dos cálculos das variáveis serem aplicados para os anos de 2015 e 2016.

Os critérios utilizados para tratamento do banco de dados de albedo obtido pelo sensor de piranômetros da torre micrometeorológica da superfície foram que dos 48 pontos diários registrados de onda curta (00h:00- 23h:30), foi considerado o período de duração do dia astronômico de 12 horas (esse período de luz é conhecido também como fotoperíodo ou tempo em que existe luz) (BASTOS, 2000a). Sendo que a faixa horária considerada foi de 06h30 as 18h30 (horário local), uma vez que, a região de estudo está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia ao longo do ano (PEREIRA et al., 2017).

Diante disso, os dados considerados no trabalho foram 25 pontos diários. Sendo utilizados registros diários a partir de um número de pontos válidos ≥ 17 , ou seja, 68% dos valores, por apresentar maior representatividade na média horária entre 06h30 e 18h30. Para o ano de 2015, dos 365 dias julianos, foram descartados 45 dias, pois 41 dias não havia registro de dados e 4 estavam com registro menor de 17 pontos. E em 2016 apenas 4 dias foram retirados por apresentar registro menor que 17 pontos. Portanto, as informações consideradas no trabalho foram 320 dias de registros no ano de 2015 e 362 em 2016, visto que 2016 foi ano bissexto.

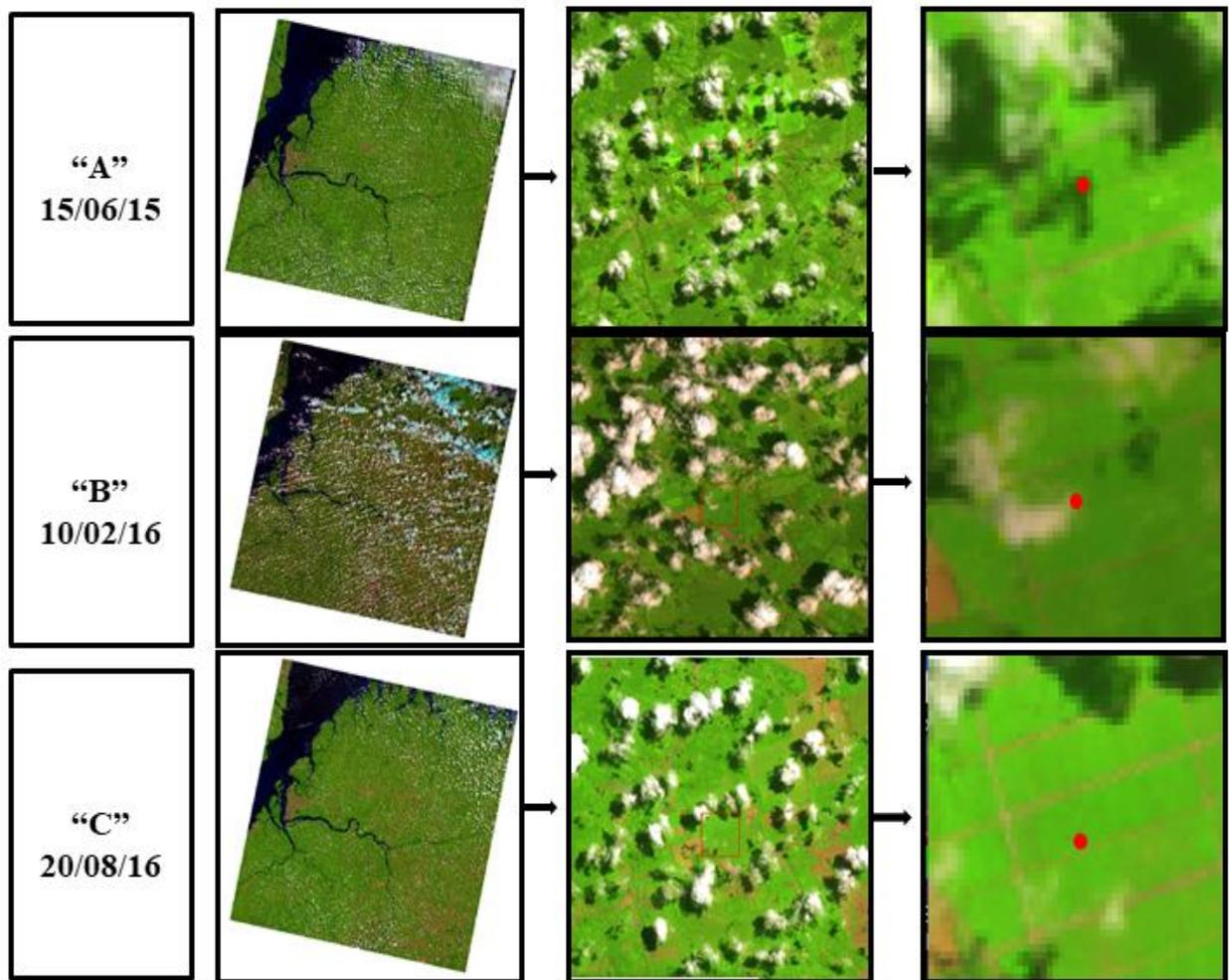
Depois de realizado o tratamento dos dados para torná-los com maior consistência para serem avaliados, foi realizado as somas diárias de ondas curtas para então serem realizados os cálculos de albedo diário descritos pela equação 1 do tópico 6.5.5, assim como, cálculo do albedo horário de 10h às 14h e o valor do albedo registrado na torre correspondente a hora da passagem dos satélites (hora de Brasília), sendo das 10h e 10h30, para os sensores OLI e MODIS respectivamente.

5.4.3 Dados Landsat 8- OLI

No período de 2015 a 2016 o OLI ofertou 48 imagens, contudo, 40 imagens disponíveis foram descartadas devido à presença de nuvens e sombra de nuvens na área da localização da torre. A figura 7 ilustra uma visualização na composição de falsa cor com as bandas 6, 5, 4 mais detalhada da área de estudo, destacando desde a cena de estudo até o ponto em vermelho, que representa a localização da torre micrometeorológica.

As nuvens e suas sombras alteram os valores estimados de albedo provocando diminuição (com sombra de nuvem) e aumento (com nuvem). A figura 8 exemplifica estes efeitos utilizando as imagens referentes aos dias 15/06/2015 com presença de sombra de nuvem (Figura 8 “A”) e 10/02/2016 presença de nuvem (Figura 8 “B”) no local da cultura de palma de óleo, onde está localizada a torre. Estes dias foram desconsiderados da análise, enquanto as que não apresentaram nuvens e suas respectivas sombras foram considerados, como exemplo, o dia 20/08/2016 (Figura 8 “C”).

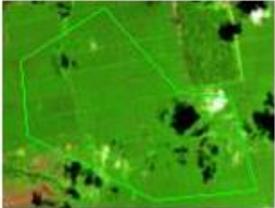
Figura 8 - Área de estudo na composição RGB654 da cena 223/61 do OLI com destaque das imagens em zoom, com o ponto em vermelho representando a localização da torre micrometeorológica no experimento de replantio de cultivo da palma de óleo em Moju-Pa. Dia desconsiderado da análise: “A” presença de sombra de nuvem; “B” presença de nuvem. Dia considerado da análise: “C” ausência de nuvem e sua sombra.



Fonte: Adaptado da *United States Geological Survey (USGS)* (2017).

Para comparar a estimativa do albedo da palma de óleo com diferentes coberturas do solo para ano 2015 a 2016 na órbita/ponto Landsat 223/61, foram selecionadas áreas com predomínio da cultura da palma de óleo e de outras três áreas, tais como, pastagem, floresta e vegetação secundária com base nos critério de interpretação do projeto TerraClass (Figura 9).

Figura 9 – Descrição das áreas de interesse de uso e cobertura do solo através de interpretações do Projeto TerraClass.

Classe	Cor	Descrição	Exemplo
Agricultura Anual (Palma de Óleo)	verde	Áreas com predomínio de cultura de ciclo anual, sobretudo, com emprego de padrões tecnológicos(mecanização, defensivos, entre outros).	
Pastagem	Magenta	Área de pastagem em processo produtivo, com predomínio de vegetação herbácea, ausência arbórea e baixa infestação por invasoras herbáceas e arbustivas.	
Floresta	Verde Escuro	Vegetação arbórea pouco alterada ou sem alteração, com formação de dossel contínuo.	
Vegetação Secundária	Verde Claro	Área que, após a supressão total da vegetação florestal, encontra-se em processo de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea.	

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2016).

Essas áreas de interesse foram utilizadas caso cada cobertura das áreas escolhidas permanecesse estáveis dentro da cena, no período da análise. As amostras dessas áreas foram aplicadas para cada data de análise no sensor OLI, sendo de 12 imagens, como também para o sensor MODIS com 90 imagens. Posteriormente, para análise dos valores de albedo de superfície nos diferentes uso e coberturas, foram realizadas médias das áreas de interesse com 70% dos dados para cada uma, por apresentar maior representatividade ao contrastar com as médias encontradas na literatura de cada cobertura, apresentando com isso, 13 registros para áreas de plantações de palma de óleo, 28 registros de pastagem, 24 para floresta e 24 em áreas de vegetação secundária (Tabela 7).

Tabela 7-Número de amostra para cada uso e cobertura do solo nos diferentes sensores orbitais selecionado na cena Landsat 223/61.

Uso e Cobertura do solo	n° amostras	
	OLI	MODIS
Pastagem	28	28
Floresta	24	24
Vegetação Secundária	24	24
Palma de Óleo	13	13

Fonte: Elaboração do autor.

5.4.4 Dados Terra - MODIS

Os dados para calcular o albedo de superfície foram extraídos de um conjunto de imagens do produto MODIS (MCD43A3) no formato HDF, e por conveniência houve a modificação para o formato TIFF mediante o *software MODIS Reprojection Tool* (MRT), disponível no pacote computacional do produto MCD43A3 (JUSTICE et al., 2002). O seguinte passo foi mudar da projeção sinusoidal para sistema de referência geográfica (latitude/longitude), com projeção WGS84. Além disso, as imagens foram recortadas no MRT para as mesmas dimensões da cena 223/61 do Landsat 8.

Os mesmos critérios utilizados para o sensor OLI, em considerar e desconsiderar os dias analisados no local da cultura de palma de óleo, onde está localizada a torre, foi feito para sensor MODIS, assim como, para análise dos valores de albedo de superfície nos diferentes uso e coberturas.

5.4.5 Manipulação de dados dos sensores orbitais

Para manuseio das imagens do sensor OLI e MODIS foram utilizados o *software Environment for Visualizing Images* (ENVI). O cálculo do albedo de superfície do sensor OLI, foi realizado por meio da equação 2, descritos no tópico 6.5.6, utilizando as informações das bandas multiespectrais 2 a 7 (0,45 - 2,3 μm), enquanto para o MODIS, os valores de albedo foram obtidos do produto MCD43A3 utilizando informações das bandas multiespectrais de onda curta do BSA, correspondendo à banda 10 (0,25 - 4,0 μm). Para ambos os sensores foi utilizado à função matemática de banda do software, para inserir os fatores de escala, de 0,0001 para OLI e de 0,001 para MODIS (SCHAAF et al., 2015; USGS, 2017), sendo que dessa forma, tem-se a transformação dos níveis de cinza para valores de albedo.

Após isso, houve a inserção das áreas de interesses das coberturas do solo para as imagens orbitais, tais como: palma de óleo, pastagem, floresta, vegetação secundária e o ponto localizado da torre micrometeorológica, instalada na área de cultivo da palma de óleo.

5.4.6 Cálculo do albedo de superfície do sensor não-imageador

Para análise do albedo foi estudada somente a OC, pois segundo Oke (1987), o cálculo de albedo de superfície (α) é uma medida adimensional calculada a partir da razão entre as ondas curtas incidentes e refletidas pela superfície. Para o cálculo do albedo diário foi aplicado a equação 1 (CULF et al., 1995).

$$\alpha = \frac{\sum_{l_{inf}}^{l_{sup}} S_{ref\uparrow}}{\sum_{l_{inf}}^{l_{sup}} S_{win\downarrow}} \quad (1)$$

onde $S_{ref\uparrow}$ é a radiação de ondas curtas refletidas pela superfície e $S_{win\downarrow}$ a radiação de ondas curtas incidente, utilizando os dados coletados pelos piranômetros na torre meteorológica. l_{inf} e l_{sup} representam o horário inicial e final para a integração, que no caso do período diário foi de 06h:30 e 18h:30, respectivamente. Estes dados também foram integrados entre o período de $l_{inf}=10h$ e $l_{sup}=14h$ que, segundo Moura et al. (1999) é um período horário que possui as menores elevações solares, o que facilita a penetração da incidência da radiação ao longo do dossel, não sofrendo com as altas elevações solares que fazem com que os valores de albedo sejam maiores no início da manhã e no final da tarde.

5.4.7 Cálculo do albedo de superfície do sensor imageador

- **Landsat 8- OLI**

Os produtos OLI fornecidos da USGS possuem algoritmo interno de correção atmosférica seguindo roteiro de Masek et al. (2006), validado, porém não publicado e são fornecidos já com a estimativa da refletância de superfície.

O cálculo do α apresentado na equação (2), integra a refletância da superfície por todo o espectro de OC (TASUMI et al., 2008). Para este cálculo, foram utilizadas as bandas de 2 a 7 do sensor OLI. As bandas 1 e 9 não foram utilizadas pois elas servem para realizar a correção atmosférica e detecção de nuvens (SILVA et al., 2016).

$$\alpha = \sum_{b=2}^7 (\rho_b \cdot \omega_b) \quad (2)$$

onde ρ é a refletância de superfície para uma determinada banda (b) e ω é o coeficiente de ponderação de cada banda. Este coeficiente de ponderação foi utilizado seguindo roteiro de KE et al. (2016). Em que os pesos ω_b são os coeficientes de ponderação que representam a fração da radiação solar que ocorre no intervalo espectral das bandas específicas, constantes na Tabela 8.

Tabela 8- Coeficientes de ponderação da radiação superficial derivada de SMARTS do sensor OLI.

Sensor	Números de bandas						
	2	3	4	5	6	7	Total
Landsat 8 OLI	0,115	0,143	0,180	0,281	0,108	0,042	1,00

Fonte: KE et al. (2016)

- **Terra - MODIS**

O α estimado para o sensor MODIS é fornecido pelo produto MCD43A3 que segue os parâmetros descritos por Schaaf et al. (2002) de correções e coeficientes de ponderação estimados através da integração das refletâncias das bandas, dentro do espectro de OC.

5.4.8 Análise estatística

- **Sensores orbitais versus Torre**

O delineamento experimental da pesquisa provém de 8 amostras em diferentes datas entre o ano de 2015 a 2016, determinando a variável dependente, estimados com sensor orbital OLI e MODIS com os valores observados pela torre em três períodos horários, determinando a variável independente.

O critério utilizado para análise estatística foi a comparação dos dados estimados com OLI e Torre-Hora (10h); OLI e Torre-Horário($l_{inf}=10h$ e $l_{sup}=14h$); OLI e Torre-Diário ($l_{inf}=06h:30$ e $l_{sup}=18h:30$). No segundo momento, têm-se a comparação da variável dependente para o sensor MODIS, no cultivo da palma de óleo com os valores da torre em três períodos horários, determinando a variável independente, sendo avaliados pelas relações do MODIS e Torre-Hora (10h:30); MODIS e Torre-Horário ($l_{inf}=10h$ e $l_{sup}=14h$); MODIS e Torre-Diário ($l_{inf}=06h:30$ e $l_{sup}=18h:30$).

Como os dados consistem de uma pequena amostra, a técnica utilizada do *Bootstrap* foi empregada para ter maior consistência nos resultados, demonstrando o intervalo de confiança dos dados e para reduzir a influência de valores anômalos nos parâmetros estimados (ADAMI et al., 2010), uma vez que, segundo os autores, essa técnica possibilita escolhas das amostras de forma aleatória, fazendo com que cada nova amostra possua a probabilidade de $1/n$ de ser obtida, e suas estimativas recalculadas, permitindo estabelecer o intervalo de confiança que permitem a intercomparação dos resultados obtidos. Nesse procedimento foi utilizado 1.000 repetições com reposição.

Os valores analisados com a técnica de *Bootstrap* foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) para testar a normalidade dos dados, e com a pressuposição de normalidade, os dados foram submetidos ao teste t com intuito de fazer uma análise comparativa do albedo de superfície no cultivo da palma de óleo observados na torre com os estimado através dos sensores

orbitais. A Hipótese Nula - H_0 foi de que os valores de superfície estimados pelos sensores orbitais são iguais aos observados pela torre, enquanto a Hipótese alternativa- H_1 rejeita a hipótese nula, no nível de significância de 5%.

- **Palma de óleo *versus* diferentes coberturas do solo**

Para fazer a comparação do albedo da palma de óleo com outros usos e coberturas do solo para ano 2015 a 2016, os dados analisados resultaram das áreas de interesse, com 13 registros para palma de óleo, 28 registros de pastagem, 24 para floresta e 24 de vegetação secundária para cada sensor. Esses dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) para testar a normalidade, do qual, determinou que as amostras dos valores de albedo de superfície estimadas para ambos os sensores não apresentaram normalidade.

Diante da não normalidade dos dados, eles foram submetidos ao teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov no nível de 5% de significância, e assim testar se há diferença significativa entre os usos e coberturas. Para ambas as análises, o procedimento estatístico e plotagem dos gráficos foram realizados no *software* Matlab R2015a.

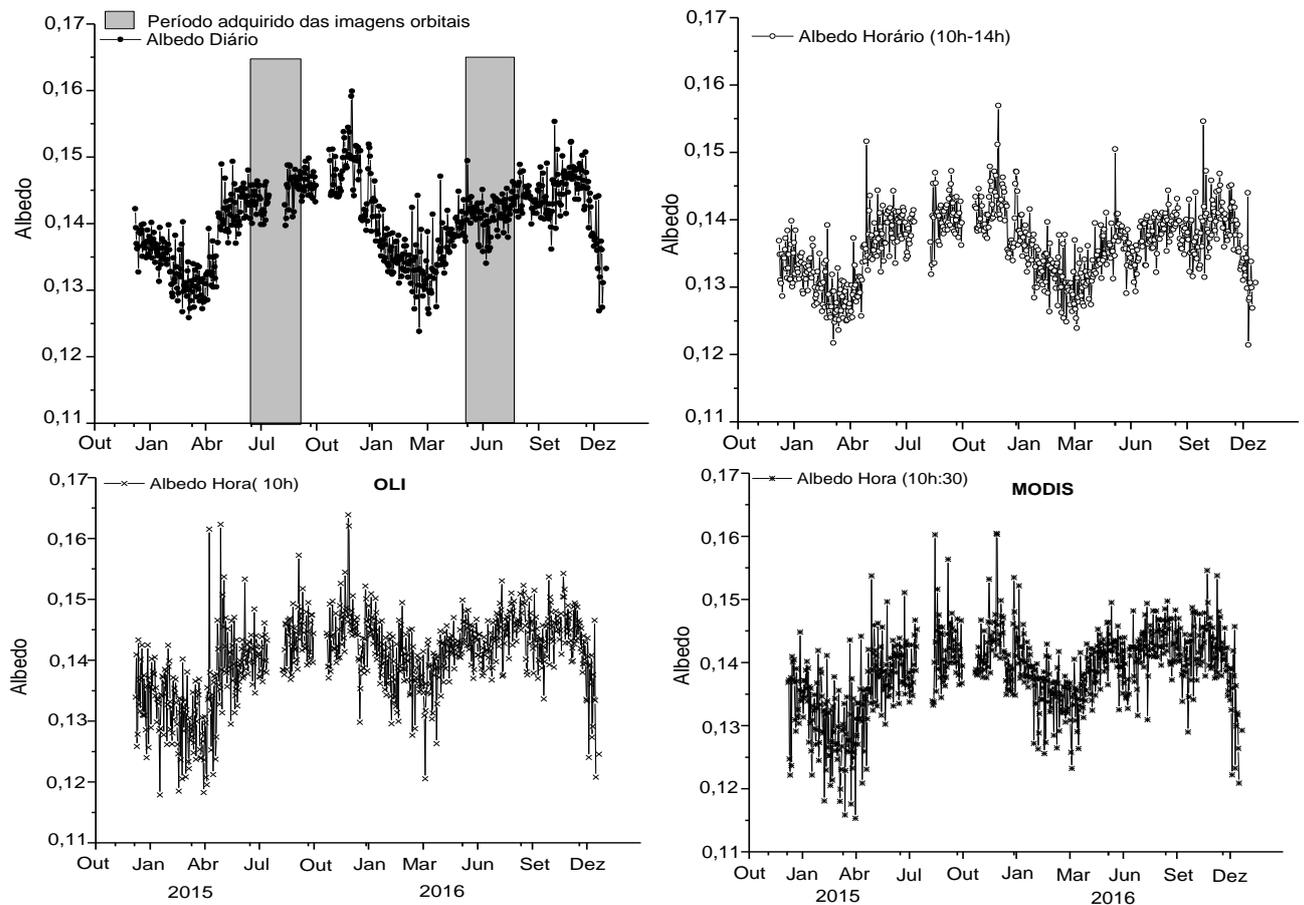
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise do albedo para a cultura da palma de óleo com diferentes escalas de espaço e tempo

As figuras a seguir apresentam valores do albedo de superfície ao longo do ano (2015 a 2016), na área de cultura da palma de óleo com avaliação do sensor não-imageador e imageadores.

A avaliação dos valores de albedo com o sensor não-imageador de dados da torre são representadas pela figura 10 em quatro momentos, no período diário, horário e em dois momentos da hora do dia que coincidem com a passagem dos sensores OLI (10h) e MODIS (10h:30) na órbita/ponto estudada. Os resultados da avaliação mostram uma tendência similar nas quatro comparações dos valores, que variaram na faixa de $\alpha = 0,13$ a $\alpha = 0,15$, apresentando seus menores valores nos períodos de dezembro a maio, estação mais chuvosa, e maiores valores nos meses de junho a novembro, período da estação menos chuvosa.

Figura 10-Comportamento do albedo de superfície em cultura de palma de óleo observados através da torre de observações micrometeorológica instalada no Município de Moju-Pa no período de 2015 a 2016. O fundo cinza representa o período que foi adquirido às datas para as imagens dos satélites.



Fonte: Elaboração do autor.

Segundo Culf et al. (1996) os menores albedos podem estar associadas ao maior aporte de precipitação no sistema, tanto por parte da vegetação quanto pela superfície do solo, que se encontra com mais umidade, adquirindo uma coloração mais escura. Já na estação menos chuvosa, tanto a superfície do solo quanto a vegetação possuem menos água disponível dentro do sistema, com isso, a paisagem adquire uma coloração mais clara, logo, o albedo é mais alto. Outros estudos sobre o albedo mensal na Amazônia também apresentam valores na estação mais chuvosa, menores, principalmente no início e no fim do ano, e maiores valores do albedo entre junho a outubro (QUERINO et al., 2006; VON RANDOW et al., 2004).

Na figura 10 é possível perceber um comportamento sazonal do albedo evidenciados na cultura da palma de óleo no decorrer dos dois anos, acompanhando o período das estações mais chuvosa e menos chuvosa. Os que semelhantemente foram observados em áreas de floresta e pastagem na região amazônica, cujas variações apresentaram comportamento de menores valores no período mais chuvoso, e foram maiores no período menos chuvoso em ambas as áreas (CULF et al. 1996; MOURA, 1999).

A palma de óleo apresentou pouca variação de albedo, e conforme Caiazzo et al. (2014) a consequência disso é um impacto menor nos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera durante o ano, podendo ser comparada as características de sazonalidade nas florestas que são influenciadas pela umidade na vegetação e no solo (ROCHA et al., 2009).

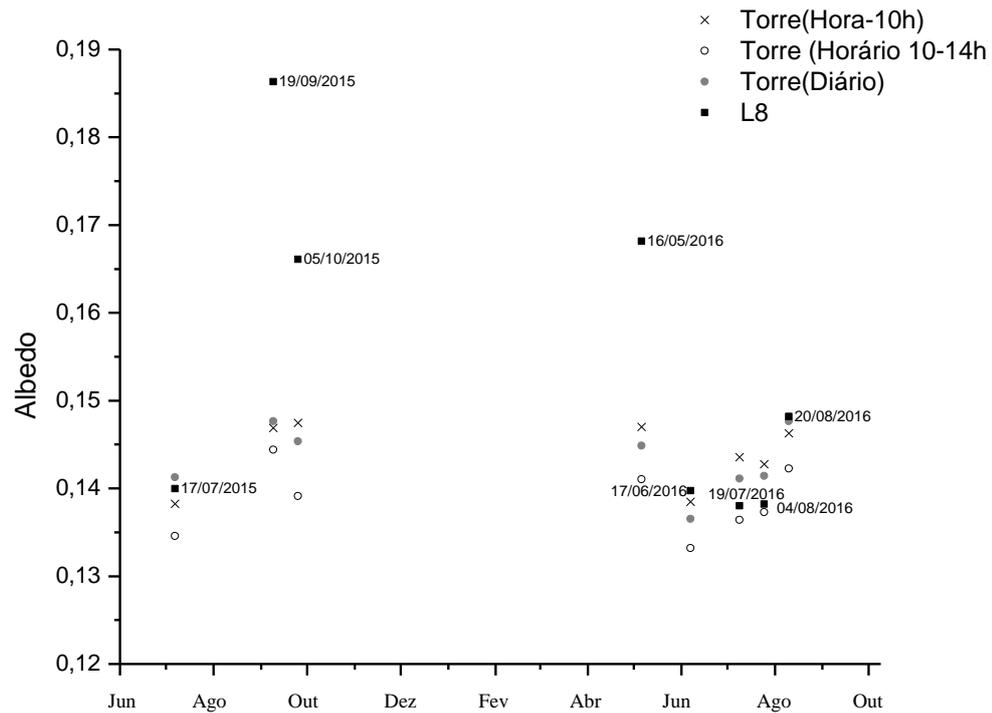
Como critério de comparação do intervalo dos valores de albedo encontrados para cultura da palma de óleo, os estudos de Ling e Robertson (1982) observaram $\alpha=0,18 \pm 0,03$ em culturas de 6 anos de idade na Malásia. No entanto, os valores encontrados em Moju-PA assemelham-se aos observados por Meijide et al. (2017) cujos valores foram de $\alpha= 0,14 \pm 0,02$ para uma cultura de 12 anos de idade na Indonésia. Desta forma, essa proximidade de idade da palma de Moju com da Indonésia resultou em valores de α mais próximos.

Ao comparar os valores de α da palma com outras culturas agrícolas, por exemplo, soja, milho e cana de açúcar, verificou-se que os da palma de óleo não apresentam mudanças constantes no α ao longo dos anos, possivelmente, por ser uma cultura perene, o ciclo de vida é longo e tendem a sobreviver por mais de um ciclo sazonal (CARVALHO, 2000). Diferentemente, as culturas anuais completam seu ciclo de crescimento em um ano ocasionando valores de albedo distintos em todos os estádios fenológicos (ANDRÉ, 1996; ANDRÉ et al., 2010; SOUZA et al., 2010).

A figura 11 apresenta os valores de α estimados pelo sensor OLI em comparação com três momentos horários analisados pela torre, em datas que abrange a estação menos chuvosa, em razão da incapacidade de obter imagens na estação mais chuvosa, por possuir grandes coberturas

de nuvem. Asner (2001) ao analisar a cobertura de nuvens na região, demonstrou que a probabilidade de adquirir uma cena Landsat na Amazônia brasileira com 30% ou menos na cobertura de nuvem é mínima na parte mais úmida do ano (dezembro-maio), e que as chances de adquirir uma cena com 30% ou menos coberturas de nuvens são maiores nos meses de junho, julho e agosto.

Figura 11-Variação do albedo de superfície com sensor OLI versus Torre, para cultura da palma de óleo, para 2015 a 2016.



Fonte: Elaboração do autor.

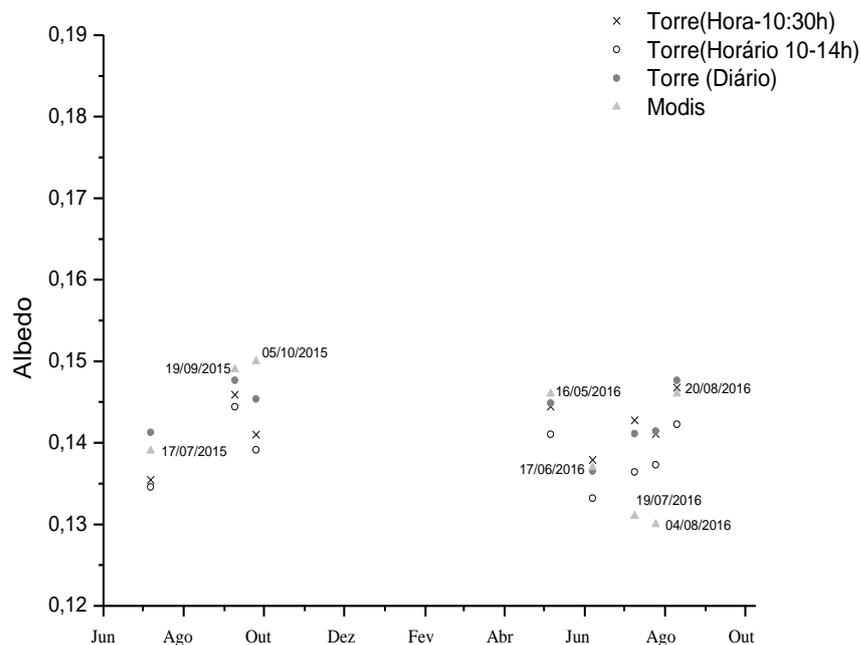
Pode-se observar na figura 11 que os maiores valores de albedo de superfície foram nos dias 19/09/15, 05/10/15 e 16/05/16 com maior discrepância em relação aos observados pela torre. Um fator que pode explicar essa elevação do albedo está na possibilidade de contaminação por nuvens altas que não estão presentes nas outras imagens orbitais, dos quais, apresentaram excelente analogia com os valores observados da torre, seguindo a faixa de $\alpha=0,14$ a $\alpha=0,15$, observados na figura 9, para período menos chuvoso.

Zhu e Woodcock (2012) informam que as nuvens apresentam uma alta resposta na região do visível e infravermelho próximo. Assim, espera-se na imagem que as nuvens tenham uma resposta alta em todas as bandas e por isso a cor branca, e a sombra seja escura pela falta de reflexão da energia. Contudo, segundo Silva et al. (2007) isso é válido para nuvens suficientemente espessas, tais como as do tipo Cumulus e alguns do tipo Stratos (baixas e densas) que são facilmente detectadas. Porém, as do tipo cirrus (altas e geralmente finas)

aparecem menos brilhante em imagens nas bandas do visível. Portanto, a presença desse tipo de nuvem pode ser um indício dos valores de albedo mais elevados.

Para visualização da flutuação do albedo de superfície com sensor MODIS, a figura 12 demonstra que para as mesmas datas ofertadas pelo satélite Landsat, os valores estimados pelo MODIS estão bem mais concordantes com os observados pela torre, dentro da mesma faixa de $\alpha= 0,14$ a $\alpha= 0,15$ para período menos chuvoso.

Figura 12 -Variação do albedo de superfície com sensor MODIS versus Torre para cultura da palma de óleo para 2015 a 2016.



Fonte: Elaboração do autor.

Percebe-se que o sensor OLI apresentou maior amplitude e variabilidade, do que o sensor MODIS, provavelmente, devido ao produto MCD43A3 dispor da função de escolher os melhores pixels representativos, pois apesar de ser um produto diário, utiliza algoritmos de recuperação de 16 dias a partir de observações ponderadas, além de oferecer boa calibração da atmosfera (SCHAAF; WANG, 2015). De modo geral, verificou-se que os dois sensores orbitais conseguem estimar valores de albedo dentro da faixa dos dados *in situ*.

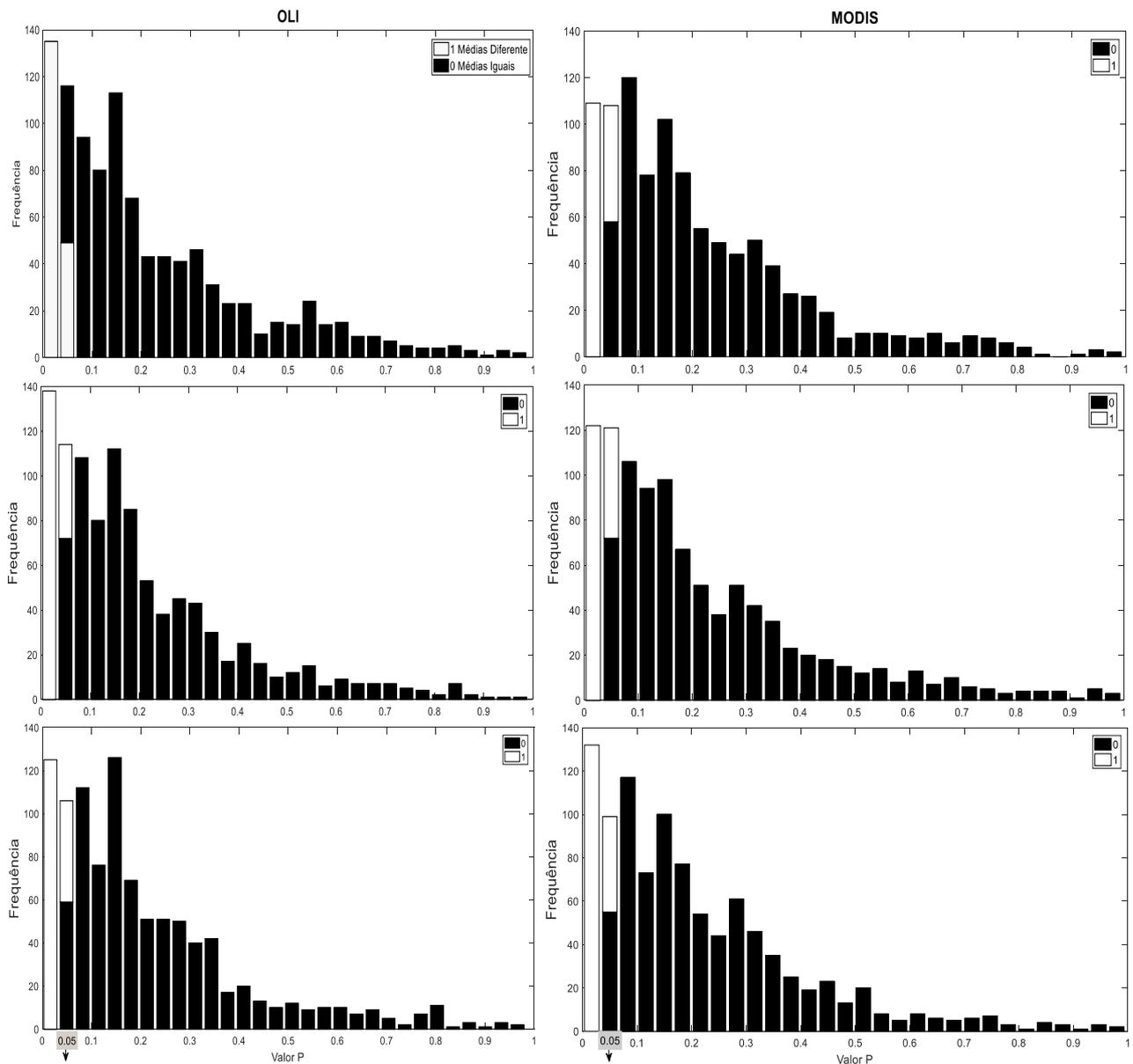
6.2 Relações funcionais entre os valores de albedo de superfície observados na torre com os estimados por satélites orbitais

Os resultados obtidos em uma avaliação comparativa entre o α observado na torre micrometeorológica com os estimados pelos sensores orbitais, corresponde à análise estatística que visa verificar se a diferença encontrada entre duas médias é ou não significativamente

diferente de zero de uma série de repetições da mesma análise, ou seja, avaliar se os valores estimados pelos sensores orbitais são estatisticamente iguais aos valores observados *in loco*.

Os histogramas na figura 13 apresentam as relações do α : **(A)** OLI com valores observados na torre da hora de passagem do sensor (10h); **(B)** OLI com os valores Horários (10-14h); **(C)** OLI com os valores diários (06h:30-18h:30); **(D)** MODIS com valores observados na torre da hora de passagem do sensor (10h:30); **(E)** MODIS com os valores Horários (10-14h) e; **(F)** MODIS com os valores diários (06h:30-18h:30). Exibindo as frequências das amostras do α de 1000 médias geradas da técnica de *Bootstrap* em relação à probabilidade de significância que pode variar de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita).

Figura 13– Histogramas resultantes da técnica bootstrap da análise do teste t para as relações (A) OLIxHora; (B) OLIxHorário; (C) OLIxDiário; (D) MODISxHora (E) MODISxHorário (F) MODISxDiário. O resultado dos valores em 1 (fundo branco) representam a possibilidade das médias serem iguais, com 5% de significância.



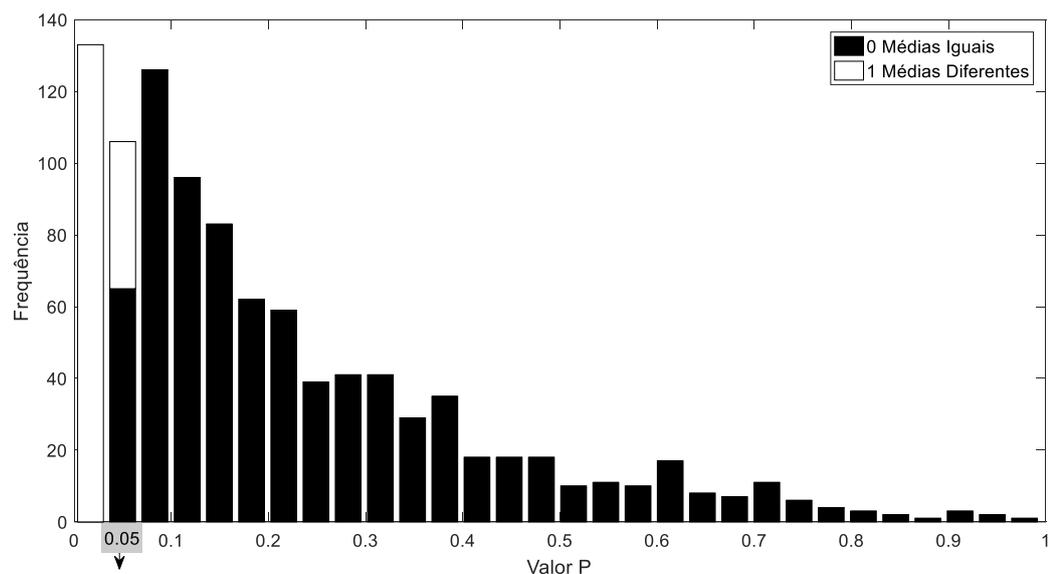
Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados apresentados na figura 13 indicam que todas as relações da análise foram similares, evidenciando uma concordância de mais de 80% de possibilidade entre os dados estimados e os observados em campo, nos diferentes períodos horários analisados, pois a maior porção das variações de frequências de médias no intervalo de confiança foi igual à zero (fundo preto), logo, se aceita a hipótese de 95% de confiabilidade, de que valores de superfície estimados pelos sensores orbitais são iguais aos observados pela torre. Portanto, tanto o sensor OLI como MODIS conseguem explicar bem os valores de albedo observados na torre nos horários analisados.

Outros estudos que estimaram o albedo com os mesmos sensores para outras regiões, conseguiram obter êxito em comparações dos sensores do satélite com os observados em campo. Por exemplo, estudos de He et al. (2018) avaliaram a estimativa do albedo de superfície terrestre de dados Landsat OLI com medidas no solo, obtendo uma relação de albedo de superfície confiáveis. Do mesmo modo, foi constatado eficiência do produto MCD43A3 do sensor MODIS quando comparados com dados medidos em campo (COSTA, 2015).

A figura 14 apresenta o resultado do teste t para a comparação entre as estimativas do α entre os sensores orbitais, mostrando a frequências das amostras do α em relação à probabilidade de significância que pode variar de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita).

Figura 14– Histograma resultante da técnica bootstrap da análise do teste t para as relações do Sensor OLI x Sensor MODIS. O resultado dos valores em 1 (fundo branco) representam a possibilidade das médias serem diferentes e valores em 0 (fundo preto) representam a possibilidade das médias serem iguais, com 5% de significância.



Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados mostram que o OLI também possui a possibilidade de explicar mais de 80% dos valores estimados pelo sensor MODIS (Figura 14), revelando que mesmo o sensor OLI

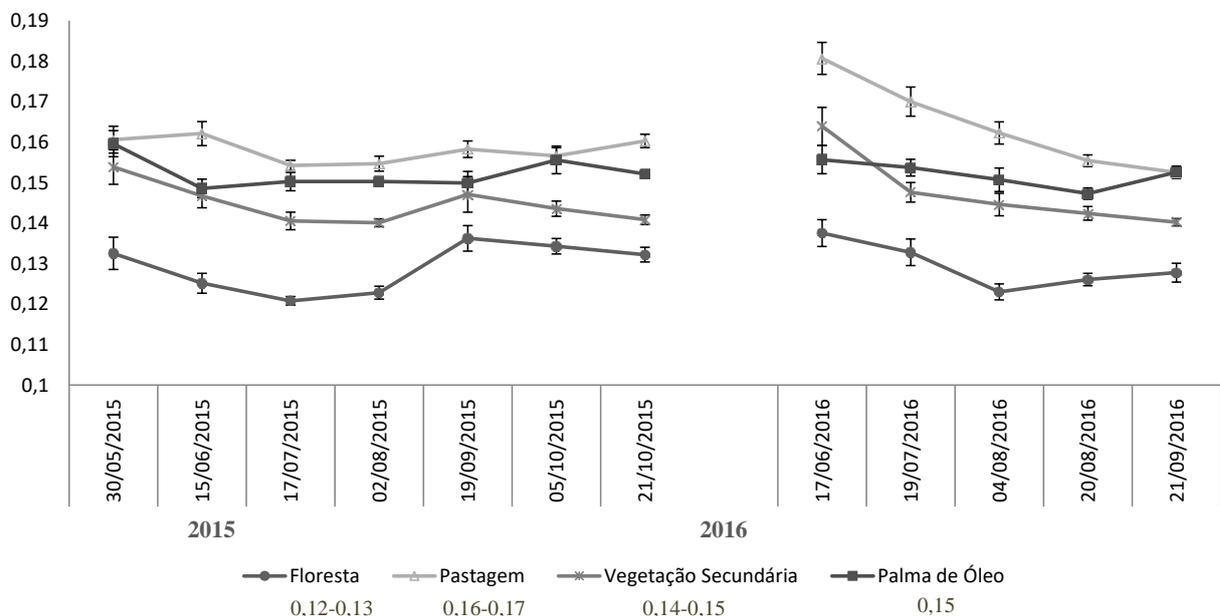
com produto de refletância de superfície, isto é, não sendo um produto exclusivo para o albedo possui uma boa concordância com o (MCD43A3 do MODIS) para estimativa do albedo de superfície, com isso, o OLI conseguiu explicar de forma satisfatória a análise, provavelmente, devido a melhor resolução espacial e correções atmosféricas adotadas (KNIGHT; KVARAN, 2014).

6.3 Albedo de superfície estimado para diferentes uso e cobertura do solo através de sensores orbitais OLI e MODIS.

Tendo por base os resultados anteriores que confirmaram a premissa de que os valores de α estimados pelos sensores orbitais sobre a cultura de palma de óleo estão em concordância com os observados na torre durante a estação menos chuvosa, pode-se estimar, através dos sensores, o albedo para outros tipos de uso e cobertura. Dentre essas outras coberturas do solo estão a floresta, pastagem e vegetação secundária (Figura 15 e 16).

A figura 15 apresenta os valores médios de α e seus erros padrões estimados pelo sensor OLI no decorrer dos anos de 2015 e 2016, para os diferentes usos e coberturas do solo na órbita/ponto Landsat 223/61.

Figura 15- Valores médios \pm erro padrão do albedo de superfície, para diferentes usos e cobertura do solo, para ano de 2015 e 2016, estimado pelo sensor OLI.



Fonte: Elaboração do autor.

A figura 15 indica α na cobertura de floresta entre $\alpha=0,12$ a $\alpha=0,13$ com erro padrão $\pm 0,002$ para as datas apresentadas. O resultado encontrado foi próximo às médias de $\alpha=0,11$ a

$\alpha=0,12$ para floresta amazônica com uso de imagens Landsat 5-TM (LIBERATO, 2011; SANTOS et al., 2011), corroborando pelos valores de $\alpha=0,12$ e $\alpha=0,13$, para floresta de estudos realizados por sensores não-imageadores (CULF et al., 1995; VON RANDOW et al., 2004). Além disso, valores médios de α na estação menos chuvosa de 0,13 mensurados por Querino et al. (2006).

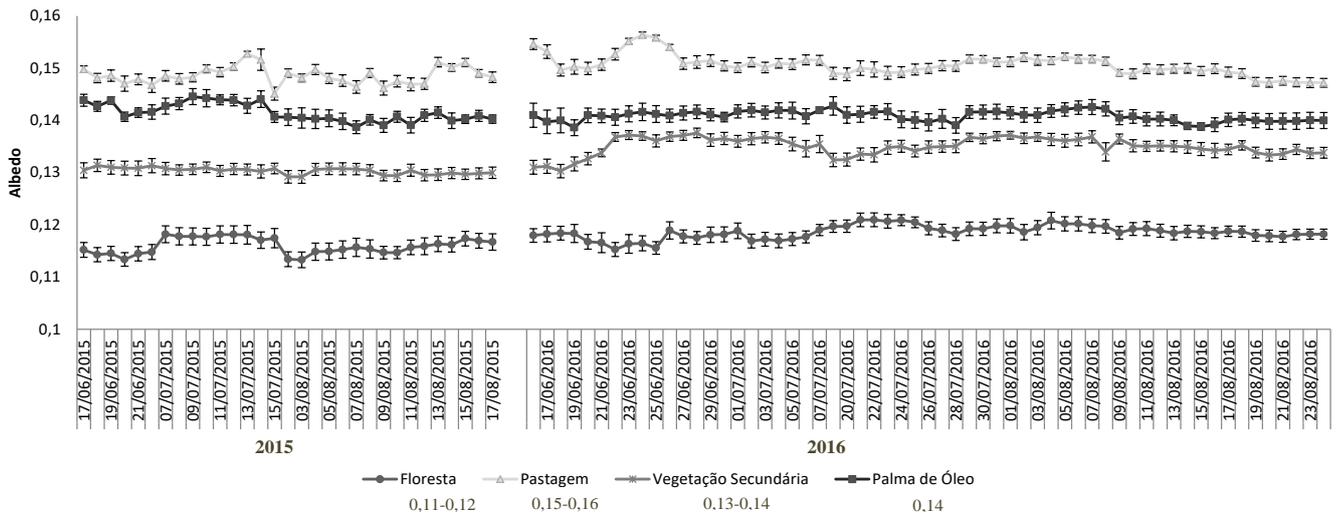
Em relação à pastagem o α estimado ficou entre $\alpha=0,16$ a $\alpha=0,17$, com erro padrão $\pm 0,002$, que difere dos estimados nas florestas que tem um verde mais escuro, por isso, as curvas do albedo na pastagem são superiores (Figura 15). Esses valores estimados estão dentro do intervalo da variação de $\alpha=0,16$ a $\alpha=0,20$ apresentados por Liberato (2011) a partir de imagens Landsat 5-TM na Amazônia. Similarmente Querino et al. (2006), também na região amazônica, observaram um valor médio de $\alpha=0,16$, através do sensor instalado na torre micrometeorológica em Manaus. Todavia, valores mais altos de pastagem foram avaliados por Von Randow et al., (2004) de $\alpha=0,20$ e de $\alpha=0,18$ em Culf et al., (1995).

O α para a vegetação secundária (Figura 15) estão com predomínio na faixa de $\alpha=0,14$ a $\alpha=0,15$, com erro padrão $\pm 0,002$. Veloso et al. (2015) em seu estudo para área de vegetação nativa de coloração mais esverdeada, encontrou uma variação de $\alpha=0,13$ a $\alpha=0,16$ com imagem Landsat 5-TM, em período considerado menos chuvoso em Minas Gerais, nesse período ocorre o desfolhamento, o que resulta em maiores valores de albedo. No entanto, à medida que a vegetação se torna mais densa em relação à cobertura vegetal, a reflexão diminui. Bastos (2000b) informa que vegetação secundária com 10 anos apresentou albedo com valor próximo do obtido em floresta primária, indicando uma tendência de redução do albedo desse tipo de vegetação a medida que aumenta em altura e idade

Os valores estimados para a palma de óleo (Figura 15) estão com predomínio em $\alpha=0,15$, com erro padrão $\pm 0,002$. Em algumas datas o α se aproximam dos valores encontrados em pastagem, e em outros momentos ocorre aproximação com a vegetação secundária, dispendo assim, de flutuações na faixa de $\alpha=0,14$ a valores próximos a $\alpha=0,16$. Silva et al., (2016) ao avaliar áreas de coqueiro no semiárido brasileiro com sensor OLI encontraram $\alpha=0,16$, percebendo que esse valor encontra-se dentro dos intervalos estimados para campos sob cobertura de vegetação alta com imagens Landsat.

A figura 16 apresenta os valores de médios do α e seus erros padrões estimados pelo produto MCD43A3 do sensor MODIS, para os anos de 2015 e 2016, para os diferentes usos e coberturas do solo, nas datas com predomínio nos meses de junho a agosto, período menos chuvoso.

Figura 16-Valores médios \pm erro padrão do albedo de superfície para diferentes uso e cobertura do solo para ano de 2015 a 2016 estimado do sensor MODIS.



Fonte: Elaboração do autor.

Ao observar as flutuações do α estimado para florestas nos dois anos do estudo (Figura 16) verifica-se que o intervalo foi de $\alpha=0,11$ a $\alpha=0,12$, com erro padrão $\pm 0,001$. Esse intervalo está dentro do esperado ao contrastar com a literatura, por exemplo, de Oliveira e Moraes (2013) que encontraram valores α em áreas de floresta na Amazônia na faixa de $\alpha=0,10$ a $\alpha=0,14$ na estação menos chuvosa, estimados com sensor MODIS. Além disso, valores observados por Santos et al. (2014) em torre micrometeorológica na região amazônica foram da ordem de $\alpha=0,12$ em floresta.

O α em áreas de pastagem obteve uma tendência de $\alpha=0,15$ a $\alpha=0,16$, com erro padrão $\pm 0,0009$ (Figura 16). Esses valores estão em conformidade com os encontrados por Giongo (2009) de $\alpha=0,14$ a $\alpha=0,16$, e dentro do intervalo do α apresentado por Martins e Rosa (2016) de $\alpha=0,15$ a $\alpha=0,25$ em áreas de vegetação rasteira, incluindo pastagens e áreas agrícolas.

Os valores de α para vegetação secundária estão entre $\alpha=0,13$ a $\alpha=0,14$ com erro padrão $\pm 0,002$ (Figura 16). Valores de α em áreas de sucessão secundária na Amazônia encontrados por Oliveira e Moraes (2013) foram de $\alpha=0,14$ e $\alpha=0,16$, segundo os autores, caso não haja modificação nas condições ambientais ou interferência no solo, a vegetação secundária evolui, podendo apresentar menor albedo, tornando-se assim com valores mais aproximado de um uma floresta em clímax, pois a medida que aumenta a altura e idade da vegetação, ela tende a absorver mais e refletir menos (BASTOS, 2000b).

A palma de óleo apresentou valores de $\alpha=0,14$ com valores próximos a $\alpha=0,15$, com erro padrão $\pm 0,001$ (Figura 16). Valores do α estimados por meio do sensor MODIS na Ásia, obteve valor máximo para palma de óleo de $\alpha=0,13$ (CAIAZZO et al., 2014). Giongo et al., (2009)

informam que em áreas agrícolas a variação do α pode estar entre $\alpha=0,13$ a $\alpha=0,19$, o que não foi percebido na análise da palma de óleo estimado com sensor MODIS, do qual, obteve pouca amplitude de variação.

É possível visualizar nas figuras 15 e 16 que no decorrer do período de 2015 e 2016, os valores de α mantiveram as mesmas tendências para o uso e coberturas do solo avaliado, no entanto, verifica-se que no ano de 2016 os valores de α da floresta, vegetação secundária e pastagem tiveram aumento ao comparado com ano de 2015, o que não aconteceu com a cultura da palma de óleo que obteve uma constância dos valores.

Um fator que pode explicar os valores em 2016 com uma maior propensão foi a ocorrência da anomalia climática do El Niño. Segundo Jiménez-Muñoz et al. (2016) e Erfanian et al. (2017) o El Niño foi um evento extremamente quente provocando um aquecimento anormal no leste da Amazônia, desenvolvendo condições de seca para o primeiro semestre de 2016, em estações consideradas chuvosas na Amazônia. Jiménez-Muñoz et al. (2016) descrevem que até 13% das florestas tropicais foram afetadas por esse evento extremamente quente de 2015 a 2016 na região.

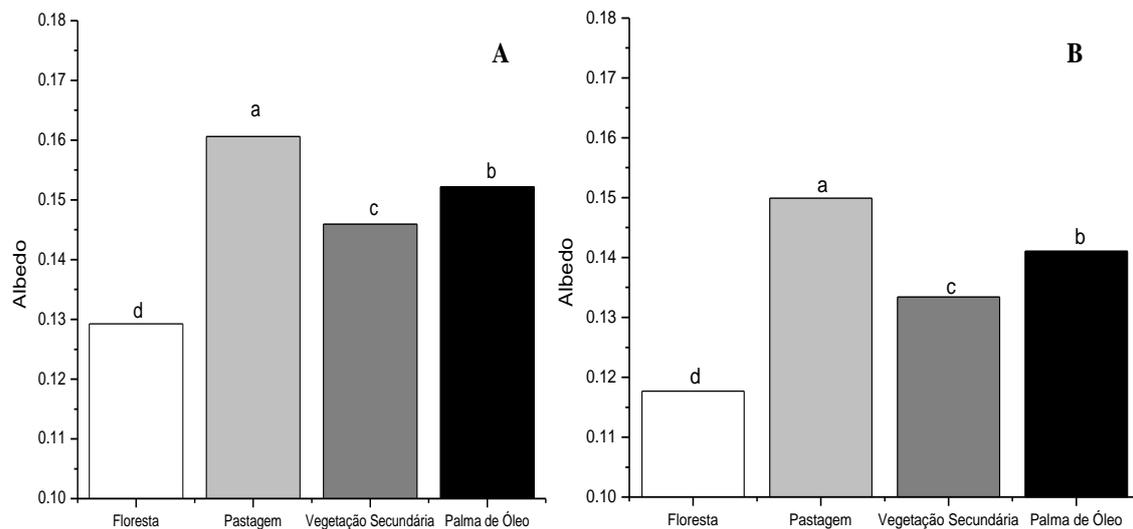
Como consequência das condições de seca devido à esta anomalia, a precipitação diminuiu, e estudos já constataram que mecanismos que levem à diminuição da precipitação envolvem o aumento do albedo de superfície (AVISSAR et al., 2004; YANAGI, 2006), podendo aferir que a redução da precipitação nesse período favoreceu o estresse fisiológico, e conforme Marengo et al. (2014) o estresse hídrico prolongado acelera a taxa de degradação da clorofila, estimulando a desidratação das folhas, o que propicia aumento de refletância. Além disso, Erfanian et al. (2017) observaram diminuições substanciais no verde da vegetação durante o evento do El Niño nesse período sobre o Nordeste da Amazônia.

A condição de aumento da refletância na cobertura da palma de óleo nesse período não foi observada, provavelmente, pelos manejos culturais aplicados nas plantações, principalmente através das irrigações com efluentes da produção. Outras características fisiológicas da palma de óleo também podem ser uma justificativa, tais como: certas características morfológicas do sistema radicular e da fenologia do dendezeiro, por exemplo, raízes que servem de reservatório de água, o controle estomático que é exercido quando ocorrem condições de baixa disponibilidade hídrica e por consequências disso novas folhagens da palma de óleo durante o ano (CABRAL, 2000).

A partir da observação das flutuações do α , verificou-se a necessidade de saber se o α para os diferentes usos e coberturas do solo diferiram entre si. Para isso, aplicou-se o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, após a avaliação da não

normalidade dos dados em ambos os sensores orbitais. Os resultados obtidos do α entre os usos e coberturas estimados pelo sensor OLI (Figura 17 “A”) e pelo sensor MODIS (Figura 17 “B”) foram significativamente diferentes ($P < 0,005$), demonstrando o seguinte padrão: Pastagem > Palma de Óleo > Vegetação Secundária > Floresta.

Figura 17- Albedo de superfície para diferentes usos e coberturas do solo estimado com sensor OLI “A” e MODIS “B” para ano de 2015 a 2016. Letras minúsculas comparam as médias entre os usos e coberturas. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0,05$).



Fonte: Elaboração do autor.

A diferença significativa entre os usos e coberturas do solo estimado pelos sensores orbitais, ocorre devido à distinta resposta de refletância da cobertura vegetal. Shimabukuro et al. (1997) informam que cada cobertura vegetal confere um caráter particular de propriedades espectrais em relação a quantidade de radiação solar incidente que penetra antes de ser refletida.

A estimativa do α através do sensor OLI diferiu para o sensor MODIS em apenas 0,01, ou seja, 1%, apontando que nessas escalas de espaço os valores de α se diferenciam, podendo estar relacionado ao fato das imagens OLI disporem de um maior detalhamento (resolução espacial de 30 m), conseguindo exercer melhor diferenciação dos usos e coberturas do solo, quando comparado ao MODIS (resolução espacial de 500 m). Apesar disso, os resultados das flutuações e das médias do α foram concordantes com a literatura para ambos os sistemas sensores ao contrastar com valores encontrados para floresta, pastagem, vegetação secundária e palma de óleo.

7 CONCLUSÃO

O albedo na cultura da palma de óleo no nordeste paraense apresenta um comportamento sazonal no decorrer dos anos, tendo seus menores valores no período da estação chuvosa e maiores na estação menos chuvosa. Esse comportamento também foi encontrado em outros usos e coberturas na Amazônia, tais como, floresta e pastagem, mostrando que semelhantemente a eles, os valores do albedo de superfície da palma de óleo são influenciados pela umidade na vegetação e no solo.

Percebe-se que não houve grandes variações dos valores do albedo de superfície observados pela torre o que revela que a palma de óleo possui um impacto menor nas trocas de energia entre a superfície e a atmosfera.

Os valores de albedo observado na torre para cultura da palma de óleo em relação aos estimados pelos sensores orbitais mostram que, de um modo geral, ambos os sensores orbitais apresentam valores na mesma faixa do albedo da torre. Isso mostra que os satélites analisados podem ser alternativas eficientes na aquisição de informações em locais onde há falhas ou escassez de torres micrometeorológicas, uma vez que, os sensores orbitais conseguiram estimar com mais de 80% de probabilidade dos valores do albedo ao serem comparados aos observados na torre. Além disso, outro fator importante é que o sensor OLI, por mais que não contenha função específica de análise do albedo de superfície, conseguiu ter uma boa concordância com os valores estimados pelo sensor MODIS, que possui um produto específico para essa finalidade.

Verificou-se que a diferença significativa entre os usos e coberturas do solo pode em larga escala de áreas de florestas em conversão em monoculturas agrícolas, como a palma de óleo, ocasionar um aquecimento superficial substancial, devido o aumento nos valores de albedo e que conseqüentemente influenciam o balanço de radiação da superfície. Entretanto, se a palma de óleo fosse cultivada em parcelas de áreas de pastagem, como uma alternativa, os valores de albedo de superfície diminuiriam e, conseqüentemente, ocorreriam menores reflexões, pois a palma utilizaria boa parte da radiação solar para aquecimento da biomassa, evapotranspiração e para os processos metabólicos de fotossíntese e respiração.

Dessa forma, as estimativas dos valores de albedo de superfície a partir dos sensores orbitais estudados, disponíveis gratuitamente com diferentes escalas de espaço e tempo, conseguem auxiliar na compreensão dos valores de albedo em diferentes pontos da região, principalmente no que diz respeito à resposta climática que a palma de óleo possui na Amazônia.

As informações geradas nesse trabalho podem servir de base para possíveis parametrizações em modelos de simulações climáticas e de impactos ambientais, pelo fato do albedo ser considerado um dos mais importantes controladores dos processos radiativos, o que

contribui para o desenvolvimento de compreensões dos efeitos climáticos regionais e globais, uma vez que, a região amazônica é um dos maiores biomas do nosso planeta e também um dos mais influentes em relação às respostas do albedo superficial.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. **Estimativa da data do plantio de soja por meio de series temporais de imagens MODIS**. 2010, 135 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- ADAMI, M. ; GOMES, A. R. ; COUTINHO, A. C. ; ESQUERDO, J. C. D. M. ; VENTUTIERI, A. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 e 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, Brasil: SBSR, 2015. p. 7029-7035.
- ALMEIDA, C. A. ; COUTINHO, A. C. ; ESQUERDO, J. C. D. M. ; ADAMI, M. ; VENTURIERI, A. ; DINIZ, C. G. ; DESSAY, N. ; DURIEUX, L. ; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Revista Acta Amazonica**, v. 46, n.3, p. 291 – 302, 2016.
- ALVES, D. S. ; MORTON, D. C. ; BATISTELLA, M. ; ROBERTS, D. A. ; SOUZA JR, C. The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Ed.). **Amazonia and global change**. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 11-23. (Geophysical Monograph, 186).
- ANDRÉ, R. G. B. **Aspectos energéticos e hídricos da cultura do milho (Zea mays) na região de Jaboticabal, SP**. 1996. 96f. Tese (Livre - docência) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal-UNESP, Jaboticabal, SP, 1996.
- ANDRÉ, R. G. B. ; MENDONÇA, J. C. ; MARQUES, V. S. ; PINHEIRO, F. M. A. ; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.375-382, 2010.
- ARTAXO, P. ; DIAS, M. A. F. S. ; NAGY, L. ; LUIZÃO, F. J. ; CUNHA, H. B. ; QUESADA, C. A. N. ; MARENGO, J. A. ; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. **Revista Ciência e Cultura**, v. 66, n.3, p. 41-46, 2014.
- ASNER, G. P. Cloud cover in landsat observation of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p.3855-3862, 2001.
- AVISSAR, R. ; RAMOS DA SILVA, R. ; Werth, D. Implications of Tropical Deforestation for Regional and Global Hydroclimate. In: DeFRIES, Ruth; ASNER, Gregory; HOUGHTON, Richard (Org.). **Ecosystems and land use change**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2004. p. 73-83.
- BARRETO, A. G. T. **Vulnerabilidade de agricultores familiares da cadeia de produção de biodiesel de dendê à extremos de precipitação na comunidade Águas Pretas, Moju (PA)**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, 2012.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, p.71-86, 2005.

- BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (dendê)? **Revista Confins**, 2010. Disponível em: <<https://confins.revues.org/6609?lang=pt>>. Acesso em: 29 out. 2016.
- BASTOS, T. X. **O clima da Amazônia Brasileira segundo Koppen**. Belém, PA: Embrapacpatu, 1982.
- BASTOS, T. X. Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental. In: VIEGAS, I. de M.; MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p.48-60, 2000a.
- BASTOS, T. X. Balanço de água e de radiação solar em áreas desmatadas para fins agrícola, na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000b. p. 37-39.
- BASTOS, T. X. ; MULLER, A. A. ; PACHECO, N. A. ; SAMPAIO, S. M. N. ; ASSAD, E. D. ; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p. 564–570, 2001.
- BENAMI, E. ; CURRAN, L. M. ; COCHRANE, M. ; VENTURIERI, A. ; FRANCO, R. ; KNEIPP, J. ; SWARTOS, A. Oil palm land conversion in Pará, Brazil, from 2006-2014: evaluating the 2010 Brazilian Sustainable Palm Oil Production Program. **Revista Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, Article 034037, 2018.
- CABRAL, O. M. R. Microclima de dendezais na Amazônia Ocidental. In: VIEGAS, I. DE J.M; MULLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 61-72.
- CAIAZZO, F. ; MALINA, R. ; STAPLES, M. D. ; WOLFE, P. J. ; YIM, S. H. L. ; BARRETT, S. R. H. Quantifying the climate impacts of albedo changes due to biofuel production: A comparison with biogeochemical effects, **Revista Environment Research Letters**, v. 9, p. 1748-9326, 2014.
- CARVALHO, C. J. R. Ecofisiologia do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). In: VIÉGAS, I. J. M. ; MÜLLER, A.A., (Ed.) **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 89-124.
- CARVALHO, M. C. **A expansão sustentável do cultivo da palma para a produção de biodiesel no Brasil: O caso do Estado do Pará**. 2015,105 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, 2015.
- CHAMBERS, J. Q. G. P. ; ASNER, D. C. ; MORTON, L. O. ; ANDERSON, S. S. ; SAATCHI, F. D. B. ; ESPÍRITO-SANTO, M. ; PALACE, C. ; SOUZA JR. Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. **TRENDS in Revista Ecology and Evolution**, v.22, p. 414-423, 2007.
- COSTA, M. V. G. **Estimativa do saldo de radiação na região semiárida da Paraíba por meio de sensoriamento remoto orbital**, 2015, 86 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2015.
- CULF, A. D. ; FISCH, G. ; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranch land. **Revista Journal of Climate**, v.8, n.6, p. 1544-1554, 1995.

- CULF, A. D. ; ESTEVES, J. L. ; MARQUES FILHO, A. O; ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: Gash JHC, Nobre CA, Roberts J, Victoria RL (Eds). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, p. 175–191, 1996.
- ERFANIAN, A. ; WANG, G. ; FOMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. **Revista Scientific Reports**, v.7, p.5811, 2017.
- ESCADA, M. I. S. ; ALVES, D. S. **Mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: impactos sócio-ambientais na ocupação de regiões de fronteira agrícola (Relatório Técnico)**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, 2001.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences. **Revista Conservation Biology**, v. 19, n.3, p.680-688, 2005.
- FEROLDI, M. ; CREMONEZ, P. A. ; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 13, n.5, p.3800-3808, 2014.
- FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 25.09.2017, 2005.
- FOLEY, J. A. ; DEFRIES, R. ; ASNER, G. P. ; BARFORD, C. ; BONAN, G. ; CARPENTER, S. R. ; CHAPIN, F. S. ; COE, M. T. ; DAILY, G. C. ; GIBBS, H. K. ; HELKOWSKI, J. H. ; HOLLOWAY, T. ; HOWARD, E. A. ; KUCHARIK, C. J. ; MONFREDA, C. ; PATZ, J. A. ; PRENTICE, I. C. ; RAMANKUTTY, N. ; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Revista Science**, v. 309, n.5734, p. 570 – 574, 2005.
- FREIRE, L. A. D. **Desenvolvimento de um piranômetro fotovoltaico**, 2008, 75f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- GANDU, A. W. ; COHEN, J. C. P. ; SOUZA, J. R. S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. **Revista Theoretical And Applied Climatology**, v. 78, n. 1, p. 123-135, 2004.
- GIBBS, H. K. ; RUESCH, A. S. ; ACHARD, F. ; CLAYTON, M. K. ; HOLMGREN, P. ; RAMANKUTTY, N. ; FOLEY, J. A. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s, **Revista Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n.38, p.16732-16737, 2010.
- GIONGO, P. R. ; PADOVANI, C. R. ; VETTORAZZI, C. A. Variabilidade espacial e temporal do albedo obtido a partir de imagens MODIS na região do Pantanal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: SBSR, 2009. p. 4715-4722.
- GUTMAN, G. ; HUANG, C. ; CHANDER, G. ; NOOJIPADY, P. ; MASEK, J. G. Assessment of the NASA–USGS global land survey (GLS) datasets. **Revista Remote Sensing of Environment**, v.134, p. 249–265, 2013.

HE, T. ; LIANG, S. ; WANG, D. ; WU, H. ; YU, Y. ; WANG, J. Estimation of surface albedo and directional reflectance from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations. **Revista Remote Sensing of Environment**, v. 119, p. 286–300, 2012.

HERRERA, S. **Análise da governança global da sustentabilidade dos biocombustíveis e proposta para o etanol brasileiro**. 2014, 216f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético-COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

HOMMA, A. K. O. ; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: Prioridades de pesquisas econômicas, sociais e ambientais na Amazônia. **Revista Amazônia Ciência e Desenvolvimento**, v. 8, n. 15, p. 79-90, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. ; MATTAR, C. ; BARICHIVICH, J. ; SANTAMARÍAARTIGAS, A. ; TAKAHASHI, K. ; MALHI, Y. ; SOBRINO, J. A. ; VAN DER SCHRIER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Revista Scientific Reports**, v. 6, 33130; doi: 10.1038 / srep33130, 2016.

JUSTICE, C. O. ; TOWNSHEND , J. R. G. ; VERMOTE, E. F. ; MASUOKA, E. ; WOLFE, R. E., SALEOUS, N. ; ROY, D. P. ; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Revista Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.3-15, 2002.

KE, Y. ; IM, J. ; PARK, S. ; GONG, H. Downscaling of MODIS one kilometer evapotranspiration using landsat-8 data and machine learning approaches. **Revista Remote Sensing**, v. 8, p. 215, 2016.

KNIGHT, E. J. ; KVARAN, G. Landsat-8 operational land imager design, characterization and performance. **Revista Remote Sensing**, v. 6, p. 10286-10305, 2014.

LAMEIRA, W. J. M. ; VIEIRA, I. C. G. ; TOLEDO, P. M. Análise da expansão do cultivo da palma de óleo no Nordeste do Pará. **Novos Cadernos NAEA**, v. 18, n. 2, p. 185-197, 2015.

LAURANCE, W. F. ; CAMARGO, J. L. C. ; FEARNSIDE, P. M. ; LOVEJOY, T. E. ; WILLIAMSON, G. B. ; MESQUITA, R. C. G. ; MEYER, C. F. J. ; BOBROWIEC, P. E. D. ; LAURANCE, S. G. W. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Revista Biological Reviews**, v. 93, n.1, p. 223–247, 2018.

LIBERATO, A. M. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 – TM em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista de Geografia-(UFPE)**, v. 28, n. 1, p. 10, 2011.

LING, A. H. ; ROBERTSON, G.W. Reflection coefficients of some tropical vegetation covers. **Agricultural Meteorology**, v. 27, p. 141-144, 1982.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MACEDO, J. L. V. ; RODRIGUES, M. do R. L. Solos da Amazônia e o cultivo do dendezeiro. In: VIÉGAS, I de J. M. ; MULLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém, Pa: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.77-87.

- MARENGO, J. A. ; JONES, R. ; ALVES, L. M. ; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Revista International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2241-2255, 2009.
- MARENCO, R. A.; VERA-ANTEZANA, S. A. ; GOUVÊA, P. R. S. ; CAMARGO, M. B. ; OLIVEIRA, M. F. ; SANTOS, J. K. S. S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v.61, p. 786-799, 2014.
- MARKHAM, B.; STOREY, J. ; MORFITT, R. Landsat-8 sensor characterization and calibration. **Revista Remote Sensing**, v. 7, p. 2279-2282, 2015.
- MARTINS, A. P.; ROSA, R. Estimativa do albedo de superfície utilizando imagens MODIS/Aqua e o algoritmo sebal na bacia do Rio Paranaíba – Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 17., 2016, Puerto Iguazú Misiones –Argentina. **Libro de Actas...** Puerto Iguazú Misiones –Argentina: SELPER, 2016. p. 3045-3058.
- MASEK, J. G. ; VERMOTE, E. F. ; SALEOUS, N. E. ; WOLFW, R. ; HALL, F. G. ; HUENNRICH, K. F. ; GAO, F. ; KUTLER, J. ; LIM, T. K. A. Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n.1, p. 68-72, 2006.
- MEIJIDE, A. ; RÖLL, A. ; FAN, Y. ; HERBST, M. ; NIU, F. ; TIEDEMANN , F. ; JUNE, T. ; RAUF, A. ; HÖLSCHER, D . ; KNOHL, A. Controls of water and energy fluxes in oil palm plantations: environmental variables and oil palm age. **Revista Agricultural and Forest Meteorology**, v.239, p. 71-85, 2017.
- MOURA, M. A. L. ; LYRA, R. F. F. ; BENINCASA, M. ; SOUZA, J. L. ; NASCIMENTO FILHO, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.163-168, 1999.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, p. 250, 2001.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Investigating the Climate System ENERGY A Balancing Act**. 2003. Disponível em: https://www.nasa.gov/pdf/62319main_IC_S_Energy.pdf. Acesso em: 10 Jun. 2017, 2017.
- NOBRE, P. ; MALAGUTTI, M. ; URBANO, D. F. ; ALMEIDA, R. A. F. ; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. **Revista Journal of Climate**, v. 22, p.5686–5697, 2009.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge. p. 435, 1987.
- OLIVEIRA, G. ; MORAES, E. C. Validação do balanço de radiação obtido a partir de dados MODIS/TERRA na Amazônia com medidas de superfície do LBA. **Revista Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 353-364, 2013.
- PEREIRA, E. B. ; MARTINS, F. R. ; GONÇALVES, A. R. ; COSTA, R. S. ; LIMA F. J. L. ; RÜTHER, R. ; ABREU, S. L. ; TIEPOLO, G. M. ; PEREIRA, S. V. ; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017 .

QU, Y. ; LIANG, S. ; LIU, Q. ; HE, T. ; LIU, S. ; LI, X. Mapping surface broadband albedo from satellite observations: a review of literatures on algorithms and products. **Revista Remote Sensing**, v.7, p. 990-1020, 2015.

QUERINO, C. A. S. ; MOURA, M. A. L. ; LYRA, R. F. F. ; MARIANO, G. P. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

ROCHA, H. R. da; MANZI, A. O. ; CABRAL, O. M. ; MILLER, S. D. ; GOULDEN, M. L. ; SALESKA, S. R. ; COUPE, N. ; WOFYSY, S. C. ; BORMA, L. S. ; ARTAXO, P. ; VOURLITIS, G. ; NOGUEIRA, J. S. ; CARDOSO, F. L. ; NOBRE, A. D. ; KRUIJT, B. ; FREITAS, H. C. ; VON RANDOW, C. ; AGUIAR, R.G. ; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Revista Journal of Geophysical Research**, v. 114, G00B12, 2009.

SANTOS, C. A. C. ; NASCIMENTO, R. L. ; RAO, T. V. R. ; MANZI, A. O. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Revista Atmosfera**, v. 24, n. 4, p. 435-446, 2011.

SANTOS, J. Y. G. ; SILVA, R. M. ; CARVALHO NETO, J. G. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; SANTOS, C. A. G. ; SILVA, A. M. Assessment of land use change on the streamflow using GIS, remote sensing and physically-based model. **IAHS-AISH Publication**, v. 368, p. 232-239, 2014.

SCHAAF, C. B. ; GAO, F. ; STRAHLER, A. H. ; LUCHT, W. ; LI, X. ; TSANG, T. ; STRUGNELL, N. C. ; ZHANG, X. ; JIN, Y. ; MULLER, J. P. ; LEWIS, P. ; BARNSLEY, M. ; HOBSON, P. ; DISNEY, M. ; ROBERTS, G. ; DUNDERDALE, M. ; DOLL, C. ; ENTREMONT, R. P. ; HU, B. ; LIANG, S. ; PRIVETTE, J. L. ; ROY, D. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. **Revista Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 135–148, 2002.

SCHAAF, C., WANG, Z. MCD43A3 MODIS/Terra+Aqua BRDF/Albedo Daily L3 Global - 500m V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MCD43A3.006, 2015. Disponível em : <https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/MODIS/MODIS_products_table/mcd43a3_v006>. Acesso: 15 dez de 2017.

SCHAFFEL, S. B.; LA ROVERE, E. L. The Quest for Eco-Social Efficiency in Biofuels Production in Brazil. **Journal of Cleaner Production - Elsevier**, v. 18, p.1663-70, 2010.

SCIENCE FOR A CHANGING WORLD – USGS. **Landsat 8 OLI/TIRS Level-2 Data Products - Surface Reflectance**. Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/L8Level2SR>. Acesso em : 15 set. 2017.

MODIS overview. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/MODIS>. Acesso em: 15 jun. 2017.

SENA, E. T. ; ARTAXO, P. ; CORREIA, A. L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. **Revista Atmospheric Chemistry and Physics**, v 13, p.1261-1275, 2013.

SHIMABUKURO, Y. E. ; CARVALHO, V. C. ; RUDORFF, B. T. F. NOAA-AVHRR data processing for mapping vegetation cover. **Revista International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n.3, p.671-677, 1997.

SILVA, B. B. ; LOPES, G. M. ; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT5 - TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, p.201-211, 2005.

SILVA, W. A. ; IMAI, N. N. ; POLIDORIO, A. M. Validação de Nuvens e Sombras Detectadas em Imagens CCD/CBERS por Correlação de Pontos Candidatos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2.; COLÓQUIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 5., 2007, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. **Anais...** Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, 2007. p. 996-1002.

SILVA, B. B. ; BRAGA, A. C. ; BRAGA, C. C. ; OLIVEIRA, L. M. M. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; BARBOSA, B. J. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3-8, 2016.

SOUZA, P. J. O. P. ; RIBEIRO, A. ; ROCHA, E. J. P. ; LOUREIRO, R. S. ; BISPO, C. J. ; SOUSA, A. M. L. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.65-73, 2010.

TASUMI, M. ; ALLEN, R. G. ; TREZZA, R. At-surface reflectance and Albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Revista Journal of Hydrologic Engineering**. v. 13, p. 51-63, 2008.

VASCONCELOS, C. H. ; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Revista Acta Amazonica**. v 34, n.3, p. 487- 493, 2004.

VELOSO, G. A. ; FERREIRA, M. F. ; ROSA, R. ; SILVA, B. B. Determinação do albedo de superfície em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais) mediante imagens Landsat 5 – TM. **Revista Ra'e Ga**, v.35, p.126-146, 2015.

VIEIRA, I. C. G. ; TOLEDO, P. M. ; SILVA, J. M. C. ; HIGUCHI, H. Deforestations and threats to the biodiversity of Amazonia. **Revista Brazilian Journal of Biology**, v. 68, p.949-956, 2008.

VON RANDOW, C. ; MANZI, A. O. ; KRUIJT, B. ; OLIVEIRA, P. J. ; ZANCHI, F. B. ; SILVA, R. L. ; HODNETT, M. G. ; GASH, J. H. C. ; ELBERS, J. A. ; WATERLOO, M. J. ; CARDOSO, F. L. ; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon Exchange over Forest and pasture in South West Amazonia. **Revista Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p. 5-26, 2004.

YANAGI, S. N. M. **Albedo of an Amazon tropical rainforest**: Field measurements, remote sensing, modeling, and its influence on the regional climate. 2006. 128f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ZHU, Z. ; WOODCOCK, C. E. Object-based cloud and cloud shadow detection in landsat imagery. **Revista Remote Sensing of Environment**, v. 118, p. 83-94, 2012.