



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ INSTITUTO DE ENGENHARIA
E GEOCIÊNCIAS BACHARELADO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

VICTOR HUGO DA ROCHA UCHÔA

**AVALIAÇÃO DO ALBEDO EM ÁREA AGRÍCOLA NO LESTE DA AMAZÔNIA -
BR-163**

Santarém, PA

2023

VICTOR HUGO DA ROCHA UCHÔA

**AVALIAÇÃO DO ALBEDO EM ÁREA AGRÍCOLA NO LESTE DA AMAZÔNIA -
BR-163**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Ciências Atmosféricas. Área de concentração: Geociências. Orientador: Dr. Wilderclay Barreto Machado.

Santarém, PA

2023

VICTOR HUGO DA ROCHA UCHÔA

**AVALIAÇÃO DO ALBEDO EM ÁREA AGRÍCOLA NO LESTE DA AMAZÔNIA -
BR-163**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Ciências Atmosféricas. Área de concentração: Geociências.

Conceito:

Data de Aprovação ___/____/ ____

Dr. Wilderclay Barreto Machado – Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará

Dr. Lucas Vaz Peres Avaliador interno
Universidade Federal do Oeste do Pará

Dr. Rafael Tapajós Avaliador interno
Universidade Federal do Oeste do Pará

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área do estudo	14
Figura 2 – Torre micro meteorológica no Campo agrícola	15
Figura 3 – Fluxograma das etapas do processamento para obtenção do balanço de radiação na superfície	18
Figura 4 – Carta de Albedo no Campo Agrícola	25
Figura 5 – Carta de NDVI no Campo Agrícola	26
Figura 6 – Carta de temperatura de superfície no Campo Agrícola.....	27
Figura 7 - As variáveis de Albedo, NDVI e Superfície em relação a área.....	28
Figura 8 - Temperatura em relação a NDVI.....	29
Figura 9 – Albedo em relação ao NDVI.....	30
Figura 10 - Temperatura de Superfície em relação ao Albedo.....	30
Figura 11 – Albedo calculado pelo SEBAL e medido pela torre micro meteorológica no campo agrícola.....	32
Figura 12 - Valores das médias horárias de Radiação incidente de ondas curtas.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	11
2.1 Geral.....	11
2.2 Especifico	11
3 REVISÃO BIBLIGRÁFICA	12
3.1 Uso e cobertura da Terra na Amazônia.....	12
3.2 Albedo.....	13
3.3 O contexto histórico do albedo	13
3.4 SEBAL.....	15
3.5 Sensor TM do Landsat5.....	15
4 METODOLOGIA	17
4.1 Área de estudo e aquisição de dados.....	18
4.2 Dados orbitais.....	20
4.3 Imagens TM -Landsat 5.....	20
4.4 Etapas do processamento de imagens de satélite.....	21
4.4.1 Fluxograma das Etapas do processamento das imagens do satélite.....	21
5 RESULTADOS	29
5.1 Análise gráfica das variáveis.....	32
5.2 Comparação dos resultados com outras pesquisas.....	35
5.3 Validação através do SEBAL.....	36
5.4 Vantagens do sensoriamento remoto comparado a torre micrometeorológica.....	38
6 CONCLUSÃO	40
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

RESUMO

O avanço da Agropecuária sobre áreas naturais e até áreas protegidas tem sido um problema, removendo a cobertura vegetal natural da região e impactando o ecossistema local. A região norte expandiu-se consideravelmente na produção agropecuária, na BR-163 próximo a Santarém já é visível a mudança da cobertura natural da região, dando lugar a plantio de culturas de arroz, soja e outras. Avaliar o albedo obtidos pelo modelo SEBAL, utilizando dados do Sensor TM do Landsat 5, em um campo agrícola na Rodovia Santarém – Cuiabá (BR-163) km 77 no leste da Amazônia. A fim de analisar a mudança das condições de superfície e estimar o NDVI, temperatura de superfície e albedo influenciam no processo de reflexão de radiação de ondas curtas, justificando o impacto dessa alteração na cobertura de floresta na região. Metodologia: Foram utilizadas imagens multiespectrais de satélite Landsat 5 do Sensor TM gratuitamente obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os quais serão utilizadas no modelo semi-empírico SEBAL, desenvolvido por BASTIAANSEEN (1995), no qual se usam imagens multiespectrais de satélites e poucos dados de superfície, tais como, temperatura e umidade do ar para se obter as componentes do Balanço de Energia. A área de estudo está localizada na municipalidade de Belterra-PA, ao longo da BR 163 e a torre micrometeorológica situada no campo agrícola (Fazenda Paraíso) localizada à aproximadamente 77 km da cidade de Santarém – PA. Na análise do albedo percebeu-se que os maiores valores ocorreram nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, devido à dependência desta variável com o ângulo zenital solar (Souza et al. 2010), onde o albedo diário foi em média 0,215, comparado com os valores modelados pelo SEBAL a concordância foi razoável. A discussão sobre o avanço da agricultura de larga escala na região amazônica está se tornando mais persistente devido nos últimos anos haver uma grande onda de derrubada da cobertura natural pra abrir espaço para a agricultura. Esta expansão agrícola está influenciando no albedo de superfície o que pode influenciar a quantidade de armazenamento de energia para processos biológicos, bioquímicos e biofísicos nos ecossistemas amazônicos.

Palavras-chave: Albedo, SEBAL, sensoriamento remoto

ABSTRACT

The advance of agriculture in natural areas and even protected areas has been a problem, removing the natural vegetation cover in the region and impacting the local ecosystem. The northern region has expanded considerably in agricultural production, on the BR-163 near Santarém the change in the natural cover of the region is already visible, giving way to the planting of rice, soy and other crops. Evaluate the albedo obtained by the SEBAL model, using data from the Landsat 5 Sensor TM, in an agricultural field on the Santarém – Cuiabá Highway (BR -163) km 77 in eastern Amazonia. In order to analyze the change in surface conditions and estimate the NDVI, surface temperature and albedo influence the shortwave radiation reflection process, justifying the impact of this change on the forest cover in the region. Methodology: Landsat 5 satellite multispectral images of the Sensor TM were used, free of charge, obtained on the website of the National Institute for Space Research (INPE), which will be used in the semi-empirical model SEBAL, developed by BASTIAANSEEN (1995), in which images are used multispectral data from satellites and little surface data, such as air temperature and humidity to obtain the Energy Balance components. The study area is located in the municipality of Belterra-PA, along the BR 163 and the micrometeorological tower located in the agricultural field (Fazenda Paraíso) located approximately 77 km from the city of Santarém - PA. In the albedo analysis, it was noticed that the highest values occurred in the early hours of the morning and late afternoon, due to the dependence of this variable on the solar zenith angle (Souza et al. 2010), where the daily albedo averaged 0.215, compared with the values modeled by SEBAL, the agreement was reasonable. The discussion about the advancement of large-scale agriculture in the Amazon region is becoming more persistent because in recent years there has been a great wave of clearing of natural cover to make room for agriculture. This agricultural expansion is influencing surface albedo which may influence the amount of energy storage for biological, biochemical and biophysical processes in Amazonian ecosystems.

Keywords: Albedo, SEBAL, remote sensing

1. INTRODUÇÃO

O avanço da fronteira agrícola sobre áreas naturais, removendo a cobertura vegetal natural, e mesmo o impacto da utilização de novas técnicas de produção e novas formas de manejo tem consequências imprevisíveis nos processos conduzidos por microrganismos e pelas novas formas de cultura que se estabelecem dentro da região. No Brasil, a região norte expandiu consideravelmente em termos de produção agropecuária. Segundo BETTS et al. (2008), a principal ameaça para a floresta Amazônica é o desmatamento e a expansão do fogo pela agricultura. Em 2001 aproximadamente 837000 km² de floresta amazônica havia sido desmatado, cerca de 13 % da sua extensão original (6,2 milhões km²), com taxas de 25000 km² por ano em 1990. Aproximadamente 80% deste desmatamento têm sido no Brasil, por conta de expansão de rodovias entre as regiões de fronteiras de florestas, sem nenhum acompanhamento planejado de rodovias, por criações de gados e, mais recente, por produtores de arroz e soja.

A Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) foi aberta no início da década de setenta, com a finalidade de ligar a Região Centro-oeste ao porto de Santarém. A justificativa original para a abertura da rodovia incluía a expansão da colonização agropecuária no lado do Mato Grosso ea ocupação do grande vazio demográfico entre os rios Xingu e Tapajós no lado paraense. Além disso, havia a expectativa de aproveitamento econômico dos ricos depósitos minerais (em especial, ouro) existentes na região de Itaituba-PA (MULLER, 2006).

A área de influência da BR-163 é, hoje, palco das maiores modificações da paisagem provocadas pelo homem na Amazônia. Um forte processo de fragmentação de biomas está em curso na região, concentrando altas taxas de desmatamento. No noroeste do Estado do Mato Grosso está localizado um dos pólos agropecuários em expansão mais produtivos do País – principalmente para a produção de soja, gado e madeira. Segundo MALHI et al. (2008) essas mudanças podem ocasionar uma diminuição da precipitação do período seco. Dos 23 modelos climáticos globais empregados pelo IPCC, em 2007, 50-70% predisseram uma substancial redução nos índices pluviométricos (acima de 20%) no período seco no leste da Amazônia sob cenário de gases de efeito estufa, 40% na Amazônia Central e 20% na ocidental. Além disso, redução da cobertura florestal leva a mudanças no processo de evaporação e do balanço de energia superficial, que promove a redução da precipitação no interior do país (BETTS et al., 2008).

Mudanças ambientais atuais podem afetar negativamente os seres humanos na Amazônia e em outros locais. Estas mudanças incluem a perda da capacidade produtiva dos

ecossistemas, redução de ciclagem d'água devido à perda de evapotranspiração, com perda consequente de precipitação, tanto na Amazônia como nas partes não amazônicas do Brasil que atualmente sofrem de precipitação insuficiente (Fearnside, 2003). Nesse sentido, torna-se fundamental o entendimento de processos relacionados às mudanças de uso e cobertura da terra e possíveis impactos nas mais diversas escalas. Atualmente, muitas das áreas agrícolas da região norte são cultivadas com culturas de ciclo curto. A expansão agrícola pode ter relevante influência no albedo de superfície em escala regional o que pode influenciar a quantidade de armazenamento de energia para processos biológicos, bioquímicos e biofísicos nos ecossistemas amazônicos.

O Sensoriamento Remoto, de acordo com ANTUNES E ROSS (2018) é um elemento importante na perspectiva de gerar possibilidades de uma interpretação mais acurada entre os elementos do cenário. A aplicação das técnicas de SR tem sido largamente utilizada para monitoramento e mapeamento dos recursos naturais, permitindo assim, uma visão holística da área mapeada, e sendo o instrumento de análise na alteração dinâmica da paisagem em escala temporal (JENSEN, 2011; OLIVEIRA et al., 2013).

O albedo, comumente dado em porcentagem, se caracteriza pela capacidade que os corpos têm de refletir a radiação solar que incide sobre eles e varia de acordo com a cor e a constituição do corpo. Assim, será máximo nos corpos brancos e mínimo nos corpos pretos. Nas superfícies planas e horizontais não vegetadas, o albedo varia com as propriedades físicas dos materiais que as constituem (cor, rugosidade, etc.) e com o ângulo zenital do Sol, tendo valores menores quando este astro se encontra próximo à culminação. Havendo vegetação, o albedo varia com a espécie, a fase do desenvolvimento, o estado de sanidade, a geometria da copa, o índice de área foliar, e questões afins. (VAREJÃO-SILVA, 2006; MENDOÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; GIONGO e VETTORAZZI, 2014).

Essas alterações no meio ambiente podem afetar a magnitude e a dinâmica das trocas de energia, massa e momentum que ocorrem entre a superfície e a atmosfera. A quantificação da densidade dos fluxos dos componentes do Balanço de Energia no nível do dossel permite avaliar importantes interações da vegetação com a atmosfera. E auxilia no entendimento dos processos de transferência de energia para a evapotranspiração (calor latente) e mudança de temperatura (calor sensível) do ar e do solo para uma vegetação sob certas condições ambientais (MEIRELLES, 2003).

Hoje Santarém é também o segundo porto mais importante de embarque de madeira para exportação na Amazônia, deve ganhar cada vez mais importância nos próximos anos devido ao crescimento da produção na região. A atividade florestal e agrícolas estão se

concentra fortemente na região de Santarém, em especial na margem direita da BR-163, no lado oposto da Floresta Nacional - Flona Tapajós. Por sua vez na Flona Tapajós existe experiência de manejo florestal importante, incluindo um projeto piloto que foi o primeiro contrato de venda de madeira em terras públicas na Amazônia.

Dessa forma, este trabalho visa avaliar o albedo de superfície em área agrícola ao longo da BR-163 (rodovia Santarém-Cuiabá, PA) especificamente no km 77, utilizando imagens do satélite Landsat 5 através do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o albedo em área agrícola ao longo da rodovia BR – 163, km 77 que fica na Santarém-Cuiabá, PA.

2.2 Específico

Estimar o NDVI, Albedo, Temperatura de superfície utilizando o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land); medir em superfície as componentes de radiação de ondas curtas incidentes e refletidas para validação das componentes do albedo.

3. REVISÃO BIBLIGRÁFICA

O intuito da pesquisa foi avaliar o albedo obtidos pelo modelo SEBAL, utilizando dados do Sensor TM do Landsat 5, em um campo agrícola na Rodovia Santarém – Cuiabá (BR -163) km 77 no leste da Amazônia. Na finalidade de oferecer contribuições teóricas que de fundamento para o trabalho, neste tópico refere-se os principais aspectos conceituais quem foram utilizados.

3.1 Uso e cobertura da Terra na Amazônia.

A degradação das florestas e a queima de combustíveis fósseis são apontadas atualmente como as principais atividades antrópicas responsáveis pelo acréscimo de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Neste sentido, cresce o interesse pela compreensão e pelo monitoramento do uso/cobertura da terra e dos processos de desflorestamento, principalmente em regiões tropicais, visto as inúmeras evidências que remetem essas modificações aos acréscimos na emissão de gases do efeito estufa, com destaque para o dióxido de carbono, e a consequente mudança climática (CARREIRAS et al.,2006). O aumento significativo da concentração de CO₂ na atmosfera induz a uma elevação da temperatura média global pelo aprisionamento de uma maior quantidade de radiação infravermelha termal emitida pelo sistema terra-atmosfera (MORTON et al., 2006). Assim, torna-se necessário compreender e monitorar tais processos, avaliando as consequências e os impactos causados na biodiversidade do maior ecossistema de floresta tropical do planeta (PEREIRA,2005). De um modo geral, a grande maioria dos processos de desflorestamento subsidia a implantação da agropecuária e, em menor escala, as atividades madeireiras e a mineração. As áreas de ocorrência de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira (ALB) são impulsionadas principalmente por obras de infraestrutura, como por exemplo, a construção de estradas. Empreendimentos que incentivam as atividades agrícolas na região, promovendo uma redução no custo do transporte de produtos agrícolas, também promovem aceleração nos processos de desmatamento. De acordo com CARREIRAS et al. (2006), cerca de 46% da área da ALB atualmente utilizada para agricultura e pastagem era ocupada previamente por floresta tropical primária, enquanto cerca de 33% das áreas atualmente usadas para agricultura e pastagem eram ocupadas anteriormente por cerrado, o que evidencia o intensivo desflorestamento neste domínio. No restante, cerca de 19% correspondia a vegetação de transição entre diferentes classes e apenas 2% era constituído de outros tipos de cobertura vegetal. Atualmente, os estados da ALB que apresentam as maiores áreas de seus

territórios ocupadas por agricultura e pastagens são os estados do Maranhão (61%), Tocantins (39,4%) e Mato Grosso (36,9%). Nos estados de Rondônia, Pará e Roraima as áreas territoriais ocupadas por agricultura e pastagem são iguais a 28,3%, 17,5% e 14,3%, respectivamente. Os estados da AL com as menores porcentagens de áreas com atividades agrícolas são o Amazonas (3,1%), Amapá (9,8%) e Acre (11,3%) (CARREIRAS et al.,2006). De acordo com MORTON et al. (2006) a recente expansão da agricultura mecanizada nas fronteiras de floresta tropical e de cerrado tem causado uma aceleração nos processos de desflorestamento, evidenciando a contribuição do crescimento da produção agrícola nessa região para a degradação ambiental. Além da intensificação da produção agrícola.

3.2 Albedo

O clima de uma região é determinado por fatores denominados controles climáticos, os mesmos têm sua atuação em escala global e regional. Dentre eles, pode-se destacar a circulação geral da atmosfera (CGA), que é o resultado direto da distribuição latitudinal da energia solar e proporções dissonantes entre continentes e oceanos (MOLION, 1987). A circulação atmosférica que é responsável pelas condições meteorológicas num certo instante, são reflexos da energia disponível em um determinado local que, por conseguinte é fruto de uma combinação de fatores dos quais o albedo é um dos principais (QUERINO et al, 2006). O albedo (α) da superfície, ou poder refletor da superfície, é a fração da radiação incidente que é devolvida à atmosfera. O albedo é um parâmetro muito importante no balanço de radiação e de energia de uma superfície (LEIVAS et al, 2007). O termo tem origem da palavra latina *albus*, que significa "branco" (BUDIKOVA, 2013).

3.2.1 O contexto histórico do albedo

A variável albedo planetário não foi "descoberta" por uma única pessoa, mas sim é uma propriedade física conhecida há muito tempo pelos cientistas. Albedo é a medida da refletividade de uma superfície, ou seja, a quantidade de luz que é refletida em relação à quantidade que é absorvida. No contexto planetário, o albedo refere-se à fração da radiação solar incidente que é refletida de volta ao espaço pelos planetas, satélites e outros corpos celestes. Isso é importante porque afeta o balanço de energia do planeta e, portanto, sua temperatura e clima. O conceito de albedo planetário foi desenvolvido ao longo do tempo por vários cientistas, incluindo o astrônomo italiano Giovanni Cassini no século XVII e o físico

alemão Johann Heinrich Lambert no século XVIII. O termo "albedo" foi cunhado pelo cientista britânico John Herschel em 1830. Desde então, muitos cientistas têm estudado e medido o albedo planetário de diferentes corpos celestes em nosso sistema solar e além, utilizando técnicas como a espectroscopia e a observação por satélite.

3.3 O Programa LBA

O Programa LBA (Programa de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia) foi concebido em 1998 e se trata de uma iniciativa de pesquisa internacional, liderada pelo Brasil, cujas observações e análises foram planejadas com vistas a ampliar a base de conhecimentos sobre a Amazônia em seis áreas: Física do Clima, Armazenamento e Trocas de Carbono, Biogeoquímica, Química da Atmosfera, Hidrologia, e Uso da Terra e Cobertura Vegetal. No que diz respeito à Física do Clima, os estudos meteorológicos e hidrológicos têm sido realizados em escalas espaciais de tamanhos variados, incluindo desde diminutas áreas experimentais até toda a bacia amazônica, com ênfase na determinação e compreensão das variações espaciais e temporais dos fluxos de energia e de água (CORREIA, 2005; VILANI et al., 2006). Nos últimos anos, a tecnologia de medidas de fluxos desenvolveu-se de maneira gradativa, de modo que se tornou viável monitorar fluxos continuamente por períodos de vários anos. Isso permite o estudo da variabilidade interanual e a resposta detalhada do ambiente aos eventos climáticos extremos, tais como o El Niño e La Niña (NOBRE et al., 2007). A estratégia do LBA consiste em usar essa tecnologia em torres micrometeorológicas instaladas sob diferentes superfícies para fazer medidas de longo período nos estados de Rondônia, Amazonas, Tocantins, Pará e no Distrito Federal. Os dados gerados têm sido utilizados para definir o estado presente do sistema amazônico e sua resposta a perturbações atuais, os quais são complementados com resultados de modelos numéricos para proporcionar um melhor entendimento mudanças futuras (OLIVEIRA, 2008; ARTAXO NETTO, 2012).

3.4 SEBAL

BASTIAANSEEN (1995; 1998a; 1998b) propôs um algoritmo que proporciona a obtenção dos valores de Saldo de radiação, Fluxo de calor no solo e Evapotranspiração de modo satisfatório especializado para amplas áreas através da utilização de imagens de satélite e um número reduzido de medidas de superfície. Até então a obtenção destes valores por outros métodos, como o método do balanço de energia, método da razão de Bowen e o método das relações turbulentas, apresentavam limitações devido a heterogeneidade das áreas de estudo (BASTIAANSEEN et al., 1998a; Allen et al.2002). O algoritmo foi chamado de Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) e tendo em vista a sua potencialidade diversos autores (BASTIAANSEEN, 2000; Morse et al., 2001; Allen et al., 2002; HAFEEZ et al., 2002; BASTIAANSEEN & CHANDRAPALA, 2003; CHEMIN et al., 2004; SILVA et al., 2005a,b) afirmam que o SEBAL é um dos mais destacados algoritmos utilizado para a obtenção e estudos dos fluxos de calor latente, fluxo de calor sensível à superfície e Evapotranspiração, alcançando valores satisfatório em diversas partes do mundo. BEZERRA (2006) afirma que os principais produtos gerados pela utilização do SEBAL [...] “é o consumo de água, ou a evapotranspiração real, e a produção de biomassa de culturas agrícolas e vegetação nativa, pixel a pixel.” O SEBAL pode ser usado na determinação dos mapas de ET para grandes áreas. Ele é processado por meio de rotinas computacionais que predizem um balanço completo de radiação e de energia ao longo da superfície da Terra (Machado, 2013). A base teórica do SEBAL utiliza imagens obtidas a bordo dos satélites passivos (Landsat e TERRA). No entanto, a teoria é independente do tipo de satélite e o uso do algoritmo do SEBAL pode ser aplicada para outras imagens de satélites, desde que possibilitem o computo do albedo e temperatura da superfície (BASTIAANSEEN, 2000).

3.5 Sensor TM do Landsat5

A série Landsat iniciou-se no final dos anos 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do Landsat 7. Contudo, a partir de 2003 o Landsat 7 passou a apresentar problemas, assim, o Landsat 5 tornou-se o único satélite regularmente em operação. O Landsat 5 foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and space Administration) e lançado em

março de 1984. Foi operado inicialmente pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Em setembro de 1985, a operação do Landsat 5 foi passada para uma companhia privada, a EOSAT (Earth Observation Satellite Company), agora conhecida como “Space Imaging”. Em julho de 2001, o Landsat 5 foi desenvolvido com seus arquivos de imagem completos ao Governo dos Estados Unidos para ser operado pela USGS (United States Geological Survey). Abaixo são apresentadas as características orbitais do Landsat 5.

Quadro 1 – Características orbitais do satélite Landsat 5.

Órbita	705 km, síncrona com o sol, quase polar o que permite cobertura entre 81° N e 81° S.
Velocidade	7,7 km/s
Peso	2 toneladas
Largura da faixa imageada	185 km
Resolução Espacial	30 m (5 bandas), 120 m (1 banda) no nadir.
Cobertura de repetição	16 dias
Resolução radiométrica	8 bits
Tempo de obtenção de uma cena	24 segundos

Fonte: INPE (2008)

CHANDER e MARKHAM (2003) relatam que depois de mais de 22 anos de serviço o sensor TM do Landsat 5 continua operando bem. Entretanto, o método de calibração foi degradada com o tempo, com isso, estes pesquisadores apresentam os coeficientes de calibração atualizados. Além disso, possibilitaram aos usuários dados TM do Landsat 5, métodos e parâmetros para converter os números digitais (DNs) dos dados da Imagem para informações úteis como: radiância espectral ($L\lambda$), reflectância planetária ou reflectância no topo da atmosfera (TOA) e estimativa da temperatura da superfície (T_s). O quadro abaixo mostra as principais aplicações das bandas do sensor TM (Mapeador Temático) do Landsat5).

Quadro 2 – Apresentação das bandas do sensor TM do Landsat 5 com seus respectivos intervalos espectrais e suas principais características e aplicações.

Bandas	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas TM do satélite Landsat 5
1	0,45 a 0,52	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, tornando possíveis estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,52 a 0,60	Sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 a 0,69	Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal, favorecendo a diferenciação de espécies vegetais. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 a 0,90	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, favorecendo o mapeamento da rede de drenagem e o delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Possui sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal) à morfologia do terreno, possibilitando a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	1,55 a 1,75	Sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Possui também sensibilidade à rugosidade do dossel florestal. Permite o mapeamento de áreas com vegetação queimada e a identificação de áreas agrícolas. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,4 a 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 a 2,35	Sensibilidade à morfologia do terreno, o que propicia a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve também para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: INPE (2008)

4. METODOLOGIA

Neste tópico é abordada a base de dados utilizada para o desenvolvimento do trabalho. São também descritas as metodologias utilizadas na avaliação do albedo em um campo agrícola da Rodovia Santarém-Cuiabá (BR -163) km 77, no oeste do estado do Pará.

4.1 Área de estudo e aquisição de dados

O conjunto de dados utilizados pertence ao Programa LBA (Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) e compreende medidas horárias de diversas variáveis, dentre as quais se utilizou: o albedo. Esses dados foram medidos pelos sensores da torre micro meteorológica instaladas e instrumentadas num campo agrícola. A área de campo agrícola está localizada na municipalidade de Belterra-PA, ao longo da BR 163 (figura 1). A torre micro meteorológica situada no campo agrícola (Fazenda Paraíso) (3.0121 °S, 54.5371 °W) está localizada à aproximadamente 77 km da cidade de Santarém – PA. No dia 10/072005 a cultura da área agrícola era a soja.

Figura 1 - Área do estudo (adaptado Miller et al., 2011). Linha escura é a BR-163 (Santarém – Cuiabá) Área de campo agrícola (km77).

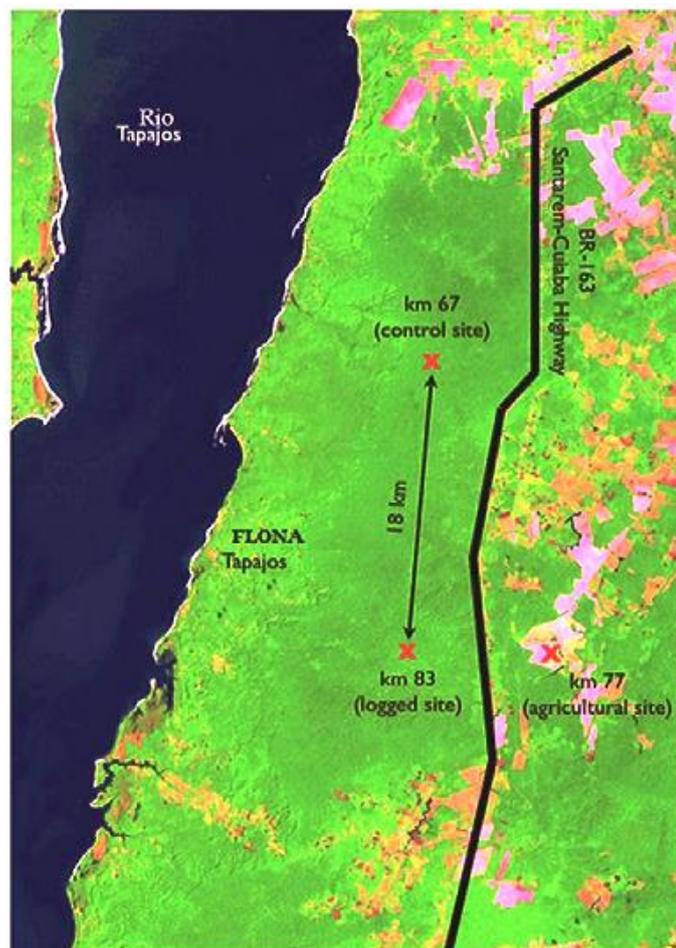
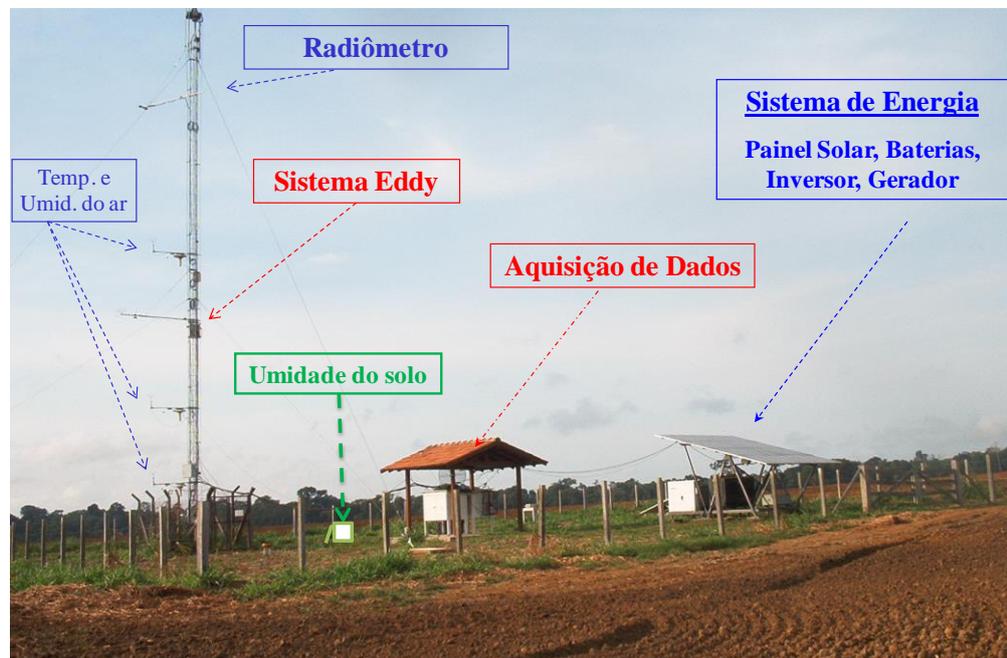


Figura 2 - Torre micro meteorológica no Campo agrícola (fazendo Paraíso).



A instrumentação no campo agrícola (km 77) é composta basicamente pelos sensores apresentados da tabela 1. Sinais analógicos do instrumento de resposta são armazenados pelo datalogger (armazenador de dados) (Campbell Sci., 23x, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA) que envia uma série a 0,2 Hz. O software funciona num computador sincronizado com a série, onde processa os dados próximo do tempo real (SAKAI et al., 2004).

Tabela 1 – Instrumentação de Campo na Fazenda Paraíso (km 77)

Componentes	Modelo	Nível vertical (m)	Variável medida*
Anemômetro sônico 3D	SATI/3K		$U_x, U_y, U_z, T_{sonica}$
Analizador de gás por infravermelho	Licor 6262	8,75	H_2O, CO_2
Sensor de temperatura e umidade relativa do ar	CS500	6,1; 4,1 e 2,2	T_{ar}, UR
Sensor de radiação solar global incidente e refletida	CM11/14	17,8	$K_{\downarrow}, K_{\uparrow}$
Sensor de radiação de onda longa	CG2		
Sensor de umidade do solo	CS615	-0,30	θ
Pluviômetro			Precipitação
Datalogger	Campbell Sci.,23x		

Para observações contínuas de um sítio afastado de qualquer rede de energia elétrica, para minimizar os riscos de danos ambientais, e para minimizar a base de influência de geração

de CO₂, todo instrumento e aquisição foram alimentados por um sistema de força híbrido, (Sunwise Inc., Kingston, NY, USA). Este sistema consiste em painel fotovoltaico, um banco de baterias, um auxílio de gerador a diesel, e um inversor, que estava designado para prover 500 W de 120 V CA continuamente por todo o dia.

4.2 Dados Orbitais

Para a pesquisa foram utilizadas imagens geradas pelo sensor Mapeador Temático (Thematic Mapper – TM), a bordo do satélite Landsat 5. Inicialmente, todas as bandas do TM foram empilhadas, recortadas, antes de se obter os diferentes componentes do balanço de radiação e seu saldo.

4.3 Imagens TM -Landsat 5

Foi selecionada uma imagem gerada pelo Mapeador Temático– TM do satélite Landsat 5, órbita 227 e ponto 62, adquiridas junto ao site do United States Geological Survey – USGS. Cada imagem é composta de sete bandas espectrais cujas principais características estão representadas na Tabela 2. Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 5 às 10h30min (hora local) no ano de 2005 no dia 01 de julho (dia juliano 182). O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e armazena-os na forma de níveis de cinza, ou número digital (ND, cujos valores variam de 0 a 255 (8bits), apresentando resolução espacial de 30m, exceto na banda termal (banda 6), com resolução de 120m.

Tabela 2 – Coeficientes de calibração do TM – Landsat 5 a_b e b_b , irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera – k_b empregados na conversão da refletância monocromática em albedo e algumas características das bandas espectrais.

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Resolução (m)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
			a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	30	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	30	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	30	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	30	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	30	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	120	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	30	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Chander e Markham (2003) e Allen et al. (2002)

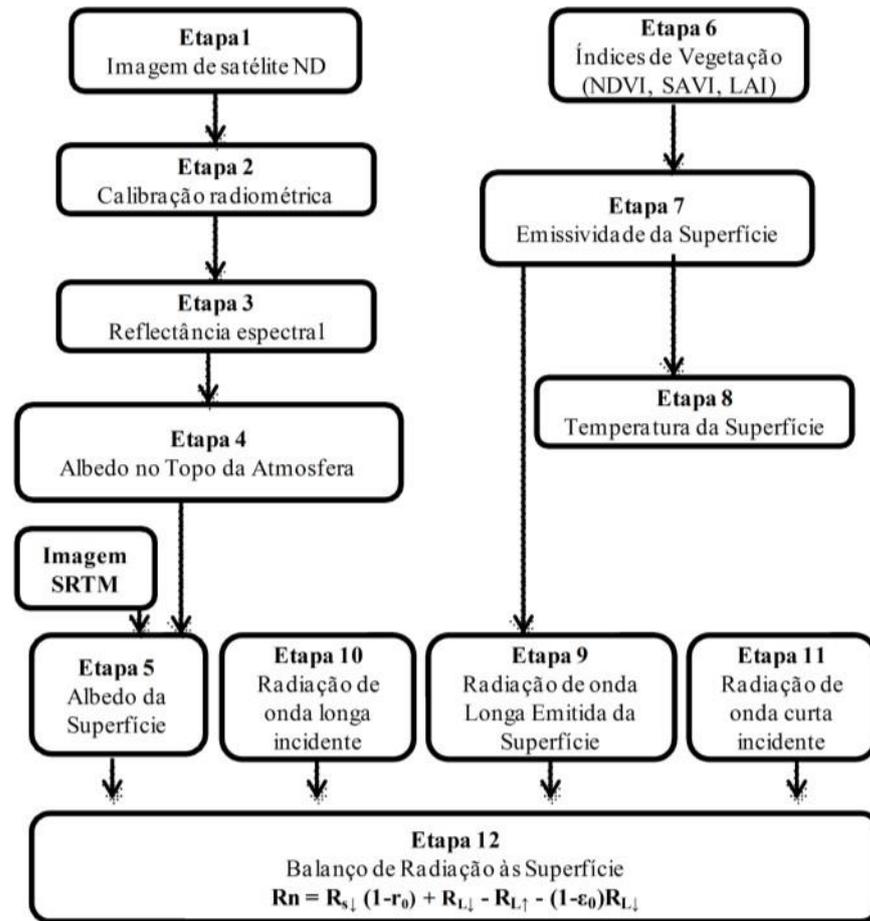
4.4 Etapas do processamento de imagens de satélite

No estudo foram utilizadas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat, composta por sete bandas espectrais obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponível no catálogo de imagens do Instituto (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). E também foi empregado o Algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), desenvolvido por BASTIAANSEEN (1995), que utiliza imagens de satélites e poucas informações de superfície, como temperatura do ar e velocidade do vento, que são facilmente obtidas nas estações meteorológicas. O algoritmo do Sebal pode ser utilizado para diversos agrossistemas, por sua baixa demanda por informações de uso e cobertura de solo e dados meteorológicos, além disso, foram empregados os cálculos para albedo, radiação, refletância e transmissividade aplicadas ao algoritmo.

4.4.1 Fluxograma das Etapas do processamento das imagens do satélite

Na figura 3 é possível observar as etapas do algoritmo SEBAL para os cálculos das componentes do balanço de radiação, com as imagens de satélite.

Figura 3 – Fluxograma das etapas do processamento para obtenção do balanço de radiação na superfície. Fonte: Moreira (2014).



Etapa 1 – Calibração Radiométrica

Para o cálculo da radiância espectral de cada banda $L_{\lambda i}$, ou seja, efetivação da calibração radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática, representando a energia solar refletida de cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite TM Landsat 5, foi utilizada a equação proposta por CHANDER e MARKHAN (2003):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad \text{Eq.1}$$

Em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); a_i o coeficiente de calibração (Radiância mínima) de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); b_i o coeficiente de calibração (radiância máxima) de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); i são as bandas (1, 2,...7) do Landsat 5 (Tabela 2) e ND é o número digital de cada pixel na imagem. Os coeficientes de calibração para o sensor TM – Landsat 5 são fornecidos por CHANDER e MARKHAN (2003).

Tabela 03– Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiância solar espectral no topo da atmosfera (k_{λ_i}).

Descrição dos Canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)				k_{λ_i} (λ_i) ($\text{W m}^2 \mu\text{m}^{-1}$)
		a*	B*	a**	b**	
Banda 1	0,45 – 0,52	-1,5200	152,100	-1,5200	193,00	1957,00
Banda 2	0,53 – 0,61	-2,8400	296,810	-2,8400	365,00	1840,00
Banda 3	0,62 – 0,69	-1,1700	204,300	-1,1700	264,00	1551,00
Banda 4	0,78 – 0,90	-1,5100	206,200	-1,5100	221,00	1044,00
Banda 5	1,57 – 1,78	-0,3700	27,190	-0,3700	30,200	225,70
Banda 6	10,40 – 12,5	1,2378	15,303	1,2378	15,303	-
Banda 7	2,10 – 2,35	-0,1500	14,380	-0,1500	16,500	82,07

*CHANDER et al. (2007)

Etapa 2 – Reflectância

O cálculo da reflectância monocromática de cada banda ρ_{λ_i} , definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação global incidente, foi obtida segundo a equação (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad \text{Eq.2}$$

Em que: L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda; k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-2}$, Tabela 3); Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano em unidade astronômica. O parâmetro d_r é determinado, segundo TASUMI (2003), pela seguinte equação:

$$\text{Eq.3} \quad d_r = 1 + 0,033 \cos\left(DJ \frac{2\pi}{365}\right).$$

Onde: DJ – Dia Juliano do ano que foi obtida a imagem de satélite cujos valores correspondentes ao dia da geração das imagens, bem como o d_r e o $\cos Z$, para os respectivos dias que são apresentados na Tabela 4. O ângulo zenital foi obtido com a fórmula $\cos z = \cos(\pi/2 - E)$, onde E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho da imagem.

Tabela 4 – Dia juliano, cosseno do ângulo zenital e inverso do quadrado da distância Terra-Sol.

Dia da passagem do Landsat 5 - TM	DJ	d_r	$\cos Z$
01/07/2005	182	0,9670	0,7540

Etapa 3 – Albedo planetário

O cálculo do albedo planetário α_{toa} , isto é, o albedo não ajustado à transmissividade atmosférica, foi obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM – Landsat 5 (SILVA et al., 2005):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7$$

Eq.4

Em que: $\rho_1; \rho_2; \rho_3; \rho_4; \rho_5$ e ρ_7 são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1; 2; 3; 4; 5 e 7, respectivamente.

Etapa 4 – Albedo de Superfície

Um elemento de grande importância na determinação do balanço de radiação é o albedo da superfície ou poder refletor da superfície, que é definido como o coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de onda curta. Como citado por MEIRELLES (2007) a atmosfera terrestre produz interferência na radiação solar e na radiação refletida; portanto, o albedo calculado no topo da atmosfera carece de correções devido aos processos de absorção e

espalhamento. O cálculo do albedo de superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos (α) foi obtido pela equação 17 (SILVA et al., 2005).

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{SW}^2} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: α_{toa} albedo no topo da atmosfera; α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera que varia de 0,025 a 0,04, mas para o SEBAL é recomendado usar 0,03 segundo BASTIAANSEEN (2000); τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para as condições de céu claro é calculada em função da pressão atmosférica e da água precipitável (ASCE-EWRI, 2005; ALLEN et al., 2007a; GOMES et al., 2009; SILVA et al., 2011), sendo dada por:

$$\tau_{SW} = 0,35 + 0,627 \exp \left(\frac{-0,00146 \cdot P}{K_t \cos Z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos Z} \right)^{0,4} \right) \quad \text{Eq. 6}$$

Em que P é a pressão atmosférica (kPa) obtida pela equação 18, W a água precipitável na atmosfera (mm), calculada conforme equação 20, $\cos Z$ conforme aplicado anteriormente; K_t o coeficiente de turbidez ($0 < K_t < 1,0$), onde $K_t = 1,0$ para ar limpo e $K_t = 0,5$ para turbidez extrema, poeira ou ar poluído, Garrison e Adler (1990). A pressão atmosférica foi calculada por:

$$P = 101,3 \left(\frac{T_a - 0,0065 z}{T_a} \right)^{5,26} \quad \text{Eq. 7}$$

em que: T_a (K) é a temperatura do ar, Z é a altitude da superfície que foi representada através do MDE (Modelo Digital de Elevação) local (m). $W = 0,14 \cdot e_a \cdot P^{+2,1}$

$$W = 0,14 \cdot e_a \cdot P^{+2,1} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde era a pressão atual de vapor d'água (kPa), conforme dados apresentados na Tabela 5 para cada dia DSA (Dia Sequencial do Ano ou dia juliano) das imagens, sendo calculada em função da umidade relativa do ar (UR %) medida na estação meteorológica localizada na área em estudo. Também utilizada pressão de saturação e_s (kPa) calculada com base na temperatura do ar no instante da passagem do satélite, conforme:

$$e_a = \frac{UR.e_s}{100} \quad \text{Eq.9}$$

$$e = 0,61078 \exp\left(\frac{17,2694.T_a}{237,3+T_a}\right) \quad \text{Eq.10}$$

Etapa 5 – Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF)

Tabela 5 – Dados de pressão atual de vapor do dia juliano

Dia Juliano	182
e_a (kPa)	2,935

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1. Em superfícies com alguma vegetação, o NDVI varia de 0 (quase sem vegetação) a 1 (totalmente ou em sua maior parte vegetada). Para água e nuvens, o NDVI é menor que zero. O valor do NDVI foi obtido por meio da razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (ρ_4) e a do vermelho (ρ_3), normalizada pela soma de ambas (ALLEN et al., 2002), ou seja:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad \text{Eq. 11}$$

Em que: ρ_4 , ρ_3 correspondem, respectivamente, as reflectâncias das bandas 4 e 3 do sensor TM Landsat 5. O SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) é um índice de vegetação que visa amenizar os efeitos do solo no NDVI, sendo obtido conforme a equação (24), para o TM – Landsat5:

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad \text{Eq.12}$$

Onde: L é um fator de ajuste ao solo. O Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação,

indicando a biomassa de cada pixel da imagem, foi calculado pela seguinte equação empírica obtida por ALLEN et al. (2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Eq. 13}$$

Etapa 6 –Emissividades

Na etapa seguinte, calculou-se a emissividade da superfície, que é a razão entre a energia irradiada por um objeto ou superfície a uma dada temperatura e a energia irradiada por um corpo negro à mesma temperatura. No SEBAL, de acordo com Allen et al. (2002), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, segundo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331x \text{ IAF} \quad \text{Eq.14}$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01x \text{ IAF} \quad \text{Eq.15}$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água ($NDVI < 0$) os tem-se = $\epsilon_{NB} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$, conforme Allen e al. (2002).

Etapa 7 – Temperatura da Superfície

A temperatura na superfície terrestre (T_s) é um elemento de grande valor nos processos físicos à superfície terrestre, em escala regional e global, relacionados ao balanço de energia, evaporação, transpiração da vegetação, desertificação e pode ser utilizada como indicador de degradação terrestre e de mudança climática (ARAÚJO, 2006), como também indispensável para o cálculo da radiação de onda longa emitida. A temperatura da superfície (T_s) é obtida com base na radiância espectral da banda termal ($L_{\lambda 6}$) e emissividade (ϵ_{NB}), obtida na etapa anterior, por meio da expressão abaixo em Kelvin(K):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad \text{Eq. 16}$$

Em que: $K1 = 607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K2 = 1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ são as constantes de calibração da banda termal do sensor TM Landsat 5 (ALLEN et al.,2002).

Etapa 8 – Radiação de Onda Longa Emitida ou Radiação infravermelha da Superfície(RL↑)

A radiação de onda longa emitida pela superfície RL↑ (W m^{-2}) foi obtida através da equação de Stefan-Boltzmann: Eq. 17 Onde: ϵ_0 é a emissividade de cada pixel; σ a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); T_s é a temperatura da superfície (K).

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_o \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad \text{Eq. 17}$$

Etapa 9 – Radiação de Onda Curta Incidente (RS↓)

A radiação de onda curta incidente RS↓(W m^{-2}) foi calculada para cada pixel, de acordo com Allen et al.(2002):

$$R_{S\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad \text{Eq. 18}$$

Onde: S é a constante solar (1367 W m^{-2}), Z é ângulo zenital solar, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida com modelo digital de elevação do SRTM.

Etapa 10 – Radiação de Onda Longa Incidente (RL↓)

O valor da radiação de onda longa incidente RL↓(W m^{-2}) pode ser obtido através da equação de Stefan-Boltzman, conforme a expressão:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_F^4 \quad \text{Eq.19}$$

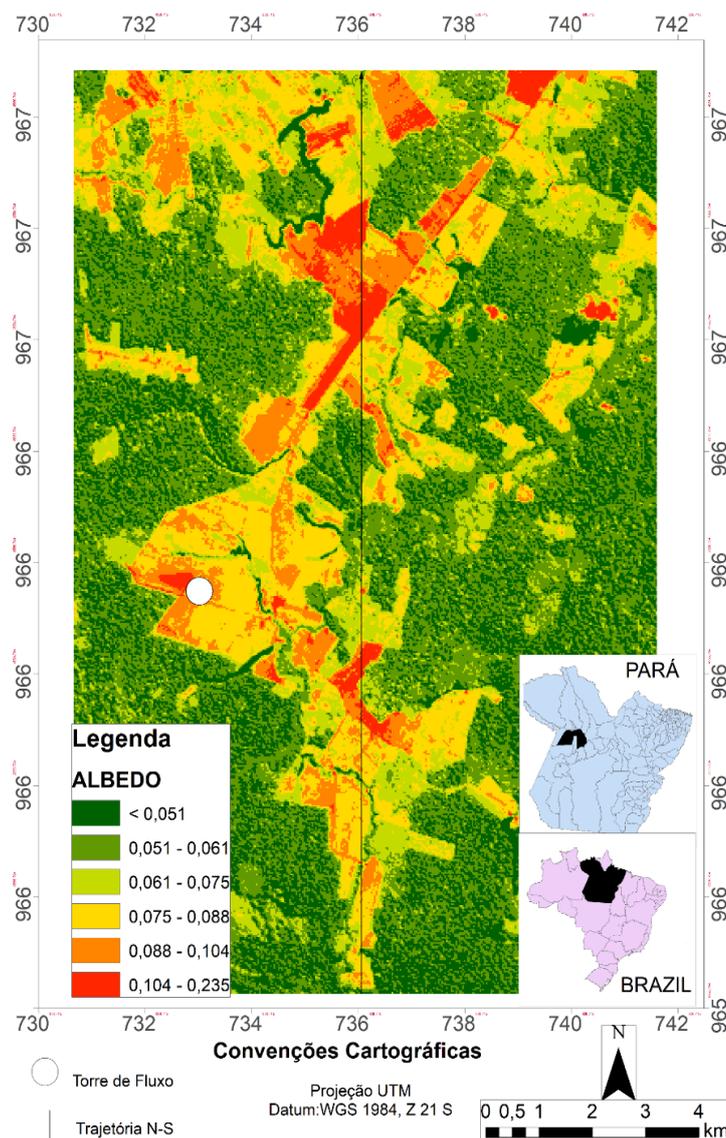
Onde: ϵ_a é a emissividade atmosférica obtida, por a $\epsilon_a = 0,85(-\ln(\tau_{sw}))^{0,09}$; σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T_F (K) é a temperatura da superfície

no pixel frio, conforme ALLEN et al. (2002) e TASUMI (2003). A temperatura do ar próximo a superfície é considerada igual à temperatura da superfície no pixel frio, uma vez que, nesse pixel, o calor sensível é também considerado nulo.

5. RESULTADOS

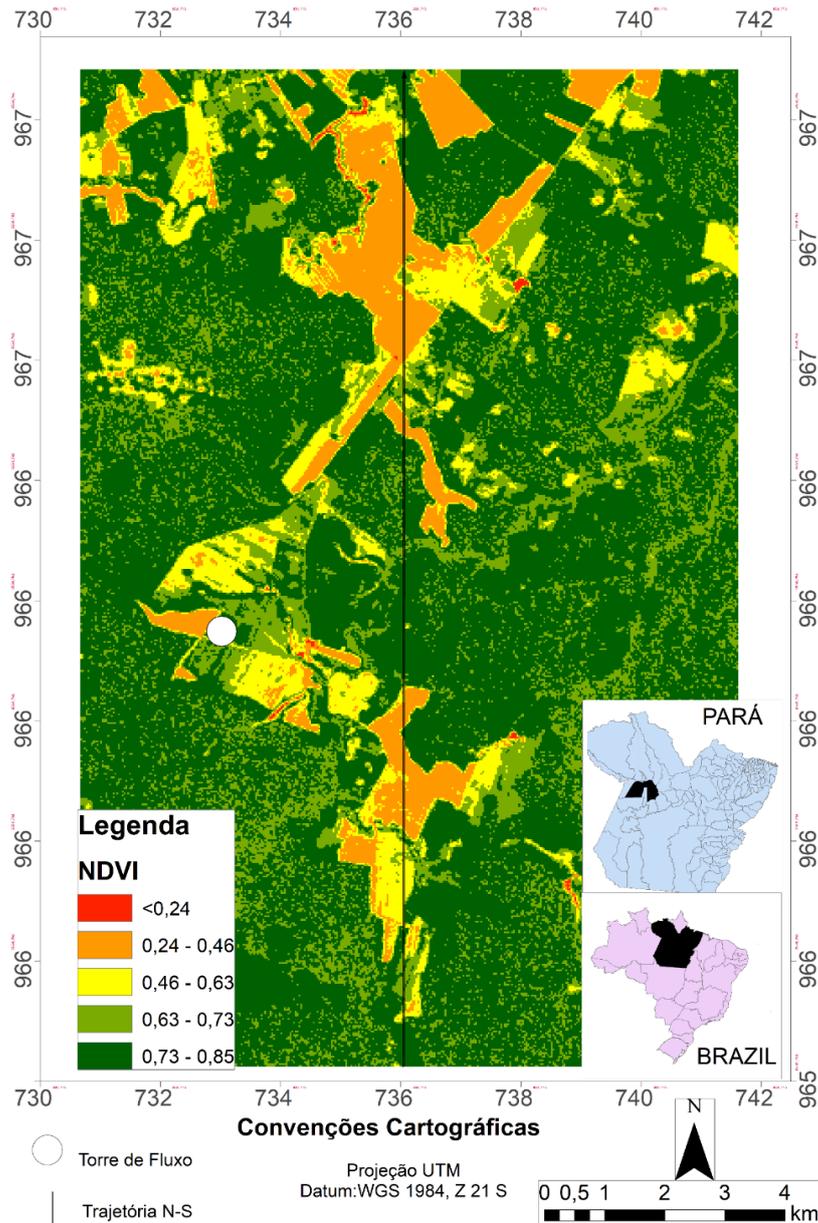
Neste item serão discutidas as cartas de superfície de Albedo, NDVI e Temperatura de Superfície, que foram obtidas a partir de imagens do Landsat 5 e observadas com a torre micro meteorológica que é equipada com sensores de radiação para validação dos dados. A torre se encontra no campo agrícola da fazenda Paraíso na BR-163.

Figura 4 – Carta de Albedo no Campo Agrícola.



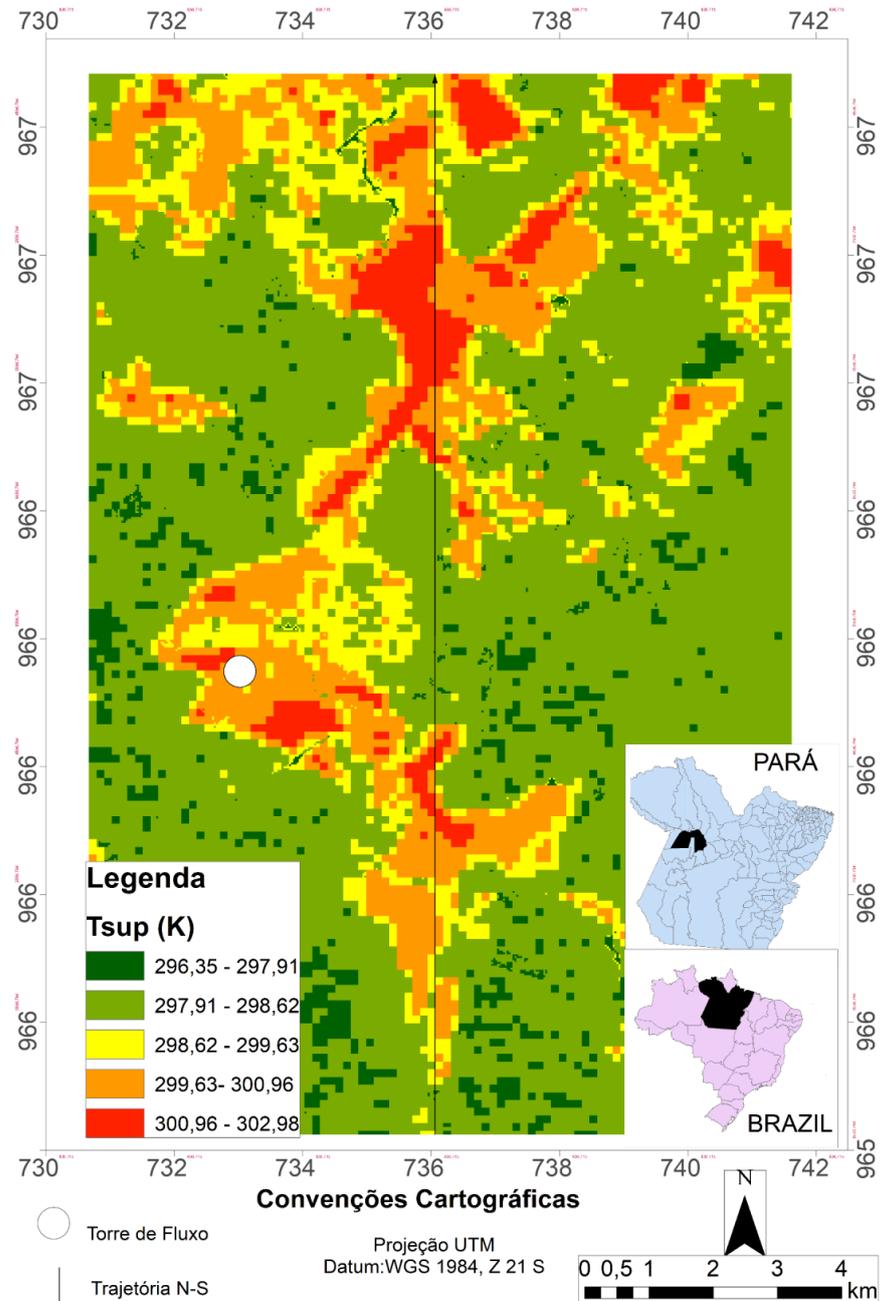
Nesta figura 4 já conseguimos observar que o ponto branco da carta onde está localizado a torre micro meteorológica alocado no campo agrícola. São perceptíveis nas cores verdes os menores valores de albedo que vão de 0.051 a 0.075, ou seja, fora da área de floresta estão presentes os maiores valores que estão em vermelho e amarelo que vão de 0.075 a 0.235 e estão situados dentro do campo agrícola. Foi possível nesta análise observar na carta de albedo que a conversão de florestas em campo agrícola faz com que os valores de albedo tendem a aumentar. Foi verificado por Souza et al. (1999) a variação do albedo durante o ciclo da cultura da soja, aproximando-se dos valores do campo agrícola.

Figura 5 – Carta de NDVI no Campo Agrícola.



Na Figura 5 é possível observar menores valores de NDVI no campo agrícola dentro do campo agrícola, cujo valor fora até 0.63 na coloração alaranjada e amarela. Isso é devido à falta de áreas de vegetação mais espaçadas ou densas nesse campo. Então é possível verificar uma redução de vegetação pela atividade de campo agrícola, que culminou no aumento de albedo que verificamos na figura 3, **foi observado que o IAF que também acompanhou a crescente do albedo, aproximando-se dos valores obtidos por Souza et al. (2010) em uma cultura de soja.**

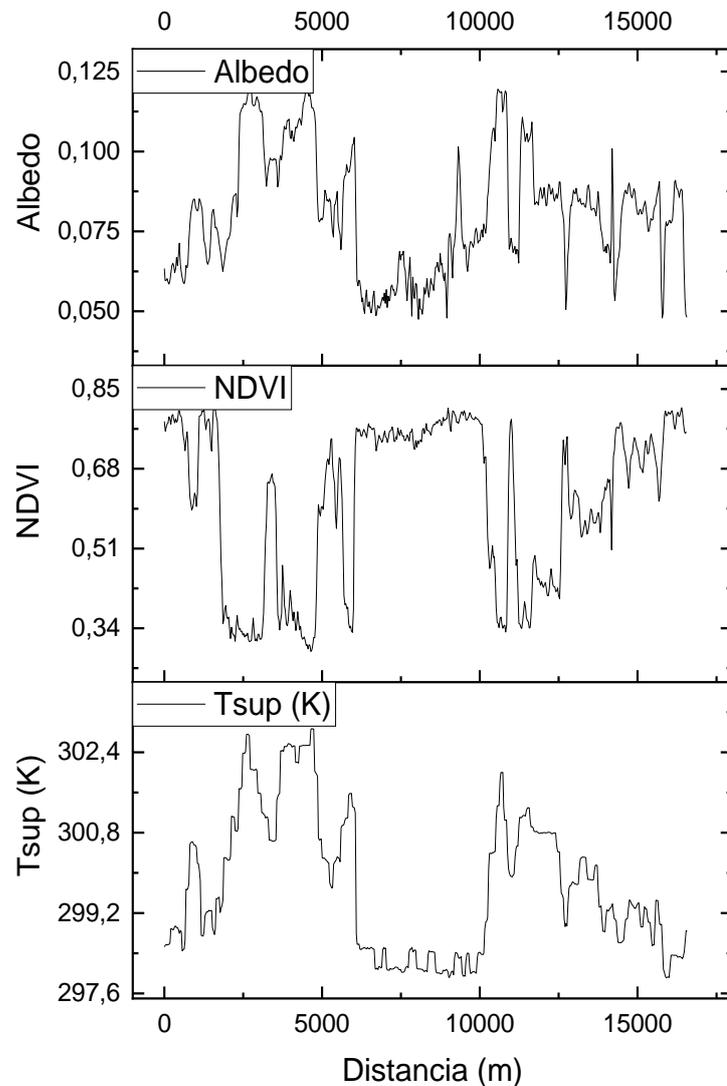
Figura 6 – Carta de temperatura de superfície no Campo Agrícola.



Nesta figura 6 conseguimos verificar a espacialização da temperatura da superfície, nesta carta essa banda está diferente das anteriores por conta da diferença de resolução espacial entre as cartas anteriores. Conseguimos verificar o mesmo padrão das cartas anteriores, cujos maiores valores, que são os em vermelhos e alaranjada, situam-se no campo agrícola em consequência da falta dessa vegetação que é encontrada em volta do campo agrícola em valores de temperatura menor. Portanto, o campo agrícola tem influência direta no aumento de temperatura na superfície.

5.1 Análise gráfica das variáveis

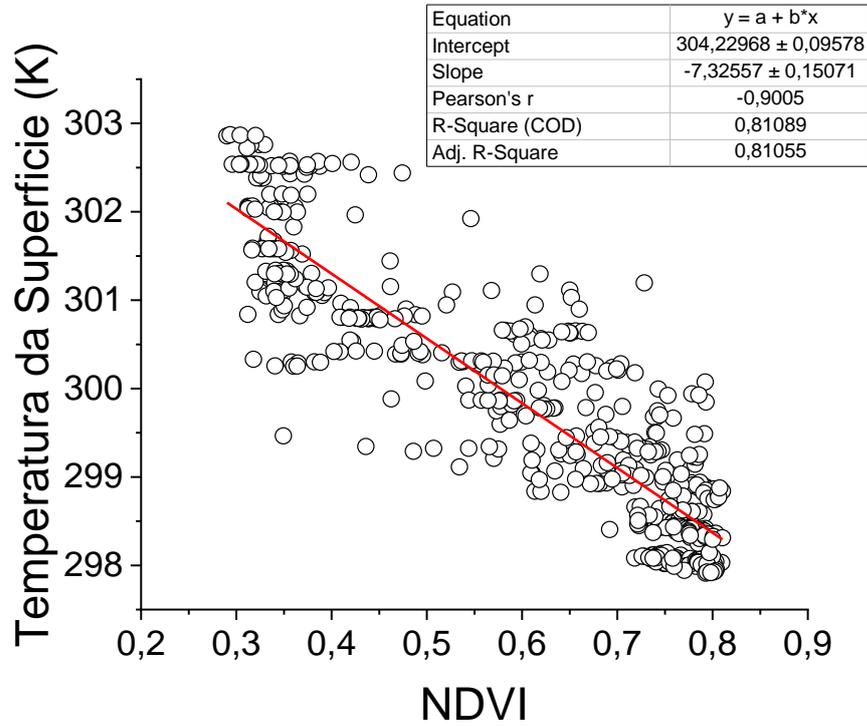
Figura 7 – As variáveis de Albedo, NDVI e Superfície em relação a área.



Na figura 7 vamos discutimos três variáveis presentes nas cartas anteriores, conseguimos verificar no gráfico que os maiores valores de albedo são por volta de 2 km estão altos devido a ausência de cobertura vegetal e que são encontrados em menores valores no gráfico de NDVI devido a essa falta de presença da floresta nesse ponto. Toda essa ausência de vegetação provoca a ocorrência da radiação direta na superfície, o que faz que a superfície absorva essa onda curta e remita em forma de onda longa devido ao seu aquecimento. Podemos observar que os menores valores de albedo ocorrem em 7,5 km onde também ocorrem os maiores valores de NDVI, ou seja, menor temperatura da superfície. Esses padrões citados

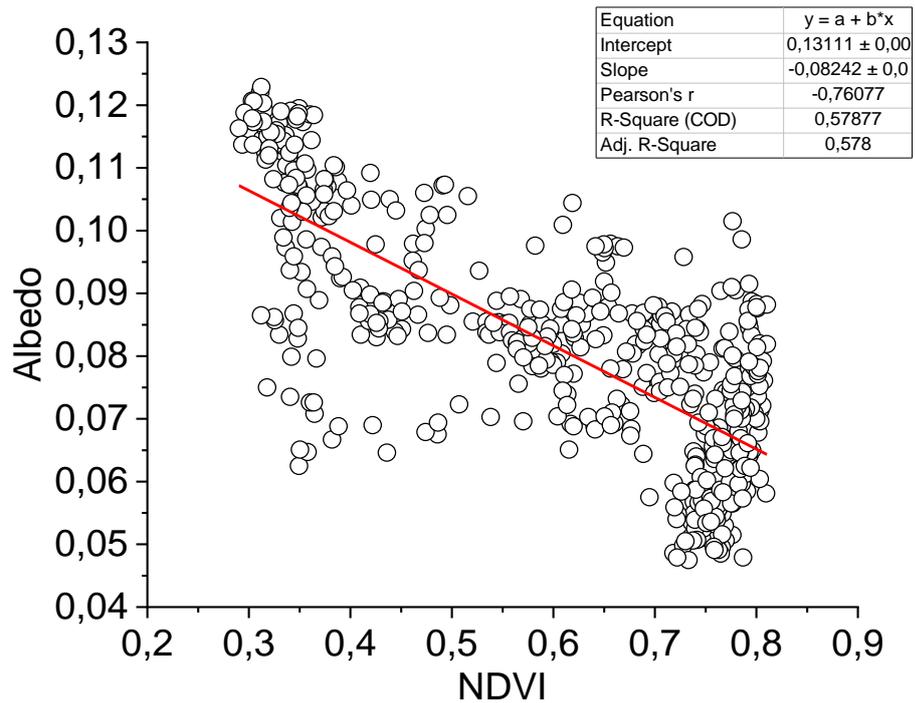
acima se repetem com picos aos 12,5 km em diante.

Figura 8 – Temperatura em relação a NDVI



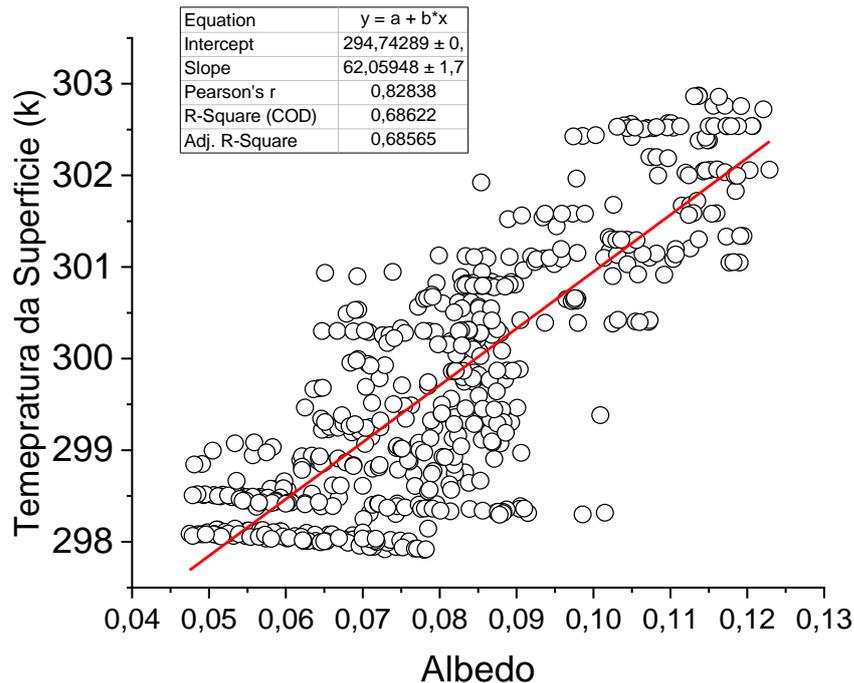
Portanto podemos observar que o Pearson indica uma correlação forte, que devido os menores valores de NDVI vamos ter os maiores valores de temperatura de superfície. Cujas correlação foi de -0,9.

Figura 9 – Albedo em relação ao NDVI



Conseguimos observar nesse segundo gráfico que conforme o albedo aumenta o NDVI tende a diminuir e isso acontece devido essa ausência de vegetação, tendo isso em vista a correlação de Pearson moderada de - 0,7.

Figura 10 – Temperatura de Superfície em relação ao Albedo



Nesta figura é possível observar que devido o aumentou do albedo e isso é devido a diminuição do NDVI, logo se tem esse aumento de temperatura.

5.3 Comparação dos resultados com outras pesquisas

Comparando o resultado do albedo do trabalho com a pesquisa intitulada **(AVALIAÇÃO DO ALBEDO EM ÁREAS AGRÍCOLAS IDENTIFICADAS A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO)** onde foi utilizada a mesma metodologia com utilização de imagens do Landsat 5 e o algoritmo SEBAL para obtenção do albedo de superfície, constatamos resultados próximo ao que obtemos com valores de albedo mais elevados observados em áreas com acentuada exposição de solo e os maiores valores de albedos verificados na área agrícola validando ainda mais a pesquisas na região da BR – 163.

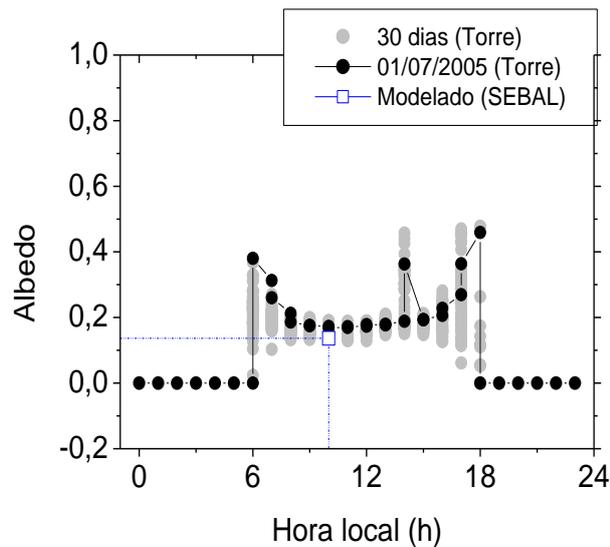
Ao analisar os resultados obtidos no trabalho com pesquisas de NDVI, na pesquisa intitulada **(ESTUDO DA ALTERAÇÃO DA VEGETAÇÃO A PARTIR DO NDVI E DO ALBEDO DE SUPERFÍCIE NA BACIA DO RIO GARÇA-PE)** foi usada a mesma metodologia com utilização de imagens do Landsat 5 e o SEBAL para obtenção dos dados incluindo o NDVI que é um produto gerado pelo SEBAL. Constatamos nessa pesquisa que com a diminuição da biomassa da vegetação devido à soma de fatores naturais e antrópicos o que

pode ser comprovado tanto pelo NDVI quanto pelo albedo de superfície, se obtém um aumento de albedo considerável devido maior espaçamento da vegetação e maior exposição do solo, concordando com os resultados obtidos no trabalho.

5.3 Validação através do SEBAL

Neste tópico serão abordados os valores das componentes do balanço de radiação e energia obtidos a partir de uma imagem Landsat 5 TM e com base no SEBAL, e os observados na torre micrometeorológica localizada no sítio experimental do Programa LBA. Na figura 11 conseguimos observar os valores das médias horárias de albedo calculado pelo SEBAL e que foram medidos pela torre micrometeorológica no campo agrícola na BR-163. Então conseguimos perceber que os maiores valores ocorrem nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, devido esta variável ter uma dependência do ângulo zenital solar (SOUZA et al. 2010), por tanto o valor foi de 0,4 por volta das 6h, 15h e 17h nesse local. O albedo diário ficou em média 0,215 no dia da passagem do satélite Landsat 5 - TM (01/07/2005) e está de acordo com o comparados com VON RANDOW et al. (2004) e SAKAI et al. (2004). Se compararmos com os valores modelados pelo Algoritmo do SEBAL conseguimos constatar uma razoável concordância, o valor obtido é de 0,136 para o modelado por volta das 10h30min. Constatando uma diferença de 0,031, que o erro encontrado é de 18,79% entre o valor observado na torre e o modelado pelo SEBAL. (tabela 7).

Figura 11 – Albedo calculado pelo SEBAL e medido pela torre micrometeorológica no campo agrícola.



Na figura 12 podemos constatar o comportamento horário da radiação solar incidente (RS_{\downarrow}) observado na torre e modelado pelo SEBAL na área de campo agrícola da BR-163. Quando analisamos conseguimos verificar que os maiores registros de RS_{\downarrow} ocorrem às 12h (hora local), com valores até $962,8 \text{ W.m}^{-2}$ no mês de julho. Para o dia 01/07/2005 consegue-se observar valor máximo de RS_{\downarrow} em até $905,5 \text{ W.m}^{-2}$ às 12 h e interferência de nuvens ao longo do dia por volta das 15h. Quando pegamos valor de RS_{\downarrow} que é modelado através do SEBAL, conseguimos verificar uma concordância muito boa ao comparado com o valor observado pela torre micrometeorológica no campo agrícola, que os valores são 717 W.m^{-2} e $700,1 \text{ W.m}^{-2}$ para os valores modelados pelo SEBAL e observado pela torre, na devida ordem, por volta das 10h30m (hora da passagem do satélite Landsat 5 na área da torre micrometeorológica). Isto posto, foi possível obter-se uma concordância excelente, pelo erro relativo (ER) ser de apenas 2,42%. (tabela 7).

Figura 12 -Valores das médias horárias de Radiação incidente de ondas curtas (RS_{\downarrow}) calculado pelo SEBAL e medido pela torre micro meteorológica no campo agrícola.

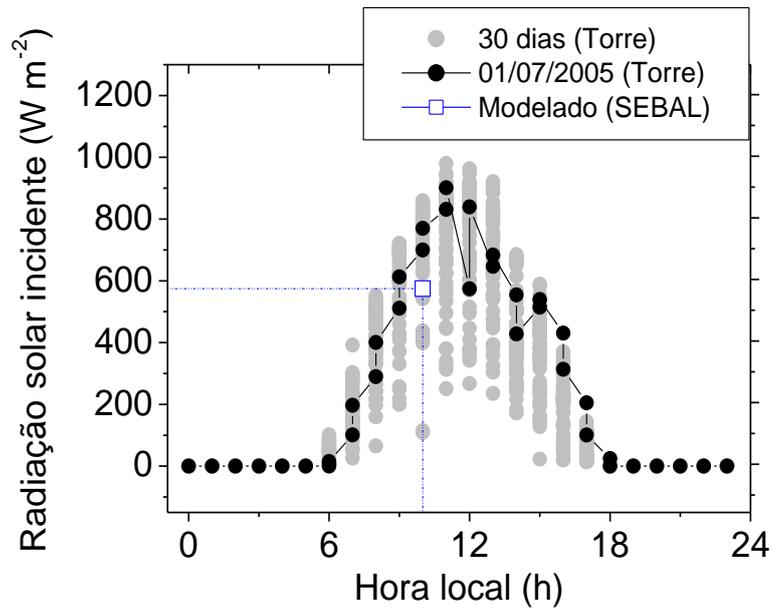


Tabela 6 - Fechamento das componentes do (a) Radiação incidente e (b) de energia entre os valores modelado pelo SEBAL e medido na torre micrometeorológica num campo agrícola ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

	R_{S^*}
SEBAL	619,21
TORRE	599,42

Nessa tabela 6 podemos observar os valores obtidos através do sensoramento remoto e os valores obtidos através da retirada de dados da torre micrometeorológica, onde podemos verificar uma pequena diferença entre as duas metodologias, e na tabela abaixo constar o se existe concordância entre os dois métodos.

Tabela 7 - Região do Campo Agrícola (fazenda Paraíso 1/07/2005)

Medidas de concordância (erro absoluto (EA) em $W.m^{-2}$ e Erro Relativo (ER) em %) entre os valores modelados (M) pelo SEBAL a partir de dados Landsat/TM, e observados (O) na torre micrometeorológica do Campo Agrícola (km77) para as seguintes variáveis : albedo (α), radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$).

	Albedo		$R_{S\downarrow}$ ($W.m^{-2}$)	
	M	O	M	O
	0,136	717,0	717,0	700,1
EA	-0,031		16,94	
ER (%)	18,79		2,42	

5.4 Vantagens do sensoriamento remoto comparado a torre micrometeorológica

Podemos constatar após a análise dos gráficos comparando os dados obtidos pela torre micro meteorológica ao modelo pelo SEBAL, que os valores são bem próximos com uma margem de erro pequena. Nisso podemos apontar as principais vantagens do sensoriamento comparado a torre micro meteorológica. As principais vantagens que podemos descrever na metodologia do sensoriamento é o custo, as imagens usadas no trabalho foram obtidas gratuitamente pelo USGS (United States Geological Survey) já pré-processada. O que torna o método muito interessante e bastante vantajosa, já que o custo pra instalação de torres é alto e o deslocamento pra manutenção das torres e todos os custos envolvidos em adquirir os dados e instalar torres em diversas áreas, tornando o sensoriamento remoto um método confiável e interessante pra cobrir áreas específicas de difícil acesso.

6. CONCLUSÃO

A discussão sobre o avanço da agricultura de larga escala na região amazônica está se tornando mais persistente devido nos últimos anos haver uma grande onda de derrubada da cobertura natural pra abrir espaço para a agricultura. Esta expansão agrícola está influenciando no albedo de superfície o que pode influenciar a quantidade de armazenamento de energia para processos biológicos, bioquímicos e biofísicos nos ecossistemas amazônicos. Nos resultados fica evidente que a Influência do NDVI no campo agrícola, onde a falta de floresta na área de campo agrícola provoca uma radiação direta não havendo interação mais presente da vegetação com a energia solar, devido se ter uma vegetação menos densa. A temperatura de superfície em relação ao albedo tende a ser maior nas regiões do campo, devido maior exposição do solo e uma vegetação mais espaçada pela agricultura. Na análise dos resultados comparando os dados de satélite com os da torre de superfície os valores obtidos foram muitos próximos e houve uma boa correlação. Ainda que o sensoriamento remoto seja um método que se comprovou no trabalho eficaz, ele é suscetível a falhas como o nível de nuvens na região e a radiação pode ser influenciada ou interferida por outras fontes de radiação o que impacta em sua análise.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTAXO NETTO, P. E. Break down boundaries in climate research. *Nature*, v. 481, n. 7381, p. 239-239, 2012.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p., 2002.

ANTUNES, R. L. S; ROSS, J. L. S. Interpretação das fisionomias da paisagem e sua fisiologia a partir do sensoriamento remoto no sul do Brasil. *Geoambiente On-line. Edição Especial. Procad USP/UFSM/UFG – Jataí. Jataí – GO*, n. 30, jan-abril, 2018.

BASTIAANSEN, W.G.M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 273 pp.

BASTIAANSEN, G.M.W., Chandrapala, L., 2003. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agric. Water Manage.* 58 (2), 171–192.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212- 213, p. 198-212, 1998a.

BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MORENO, Y. M. J.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213: p. 213-229, 1998b.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 229, p. 87-100, 2000.

BEZERRA, B. G. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri Cearense através do algoritmo SEBAL. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Fev. de 2006.

BUDIKOVA, D. 2013. Albedo. Retirado de <http://www.eoearth.org/view/article/149954> Acessado em 13 de abril de 2012 as 14 horas.

BETTS, R. A.; MALHI, Y.; ROBERTS, J. T. Ecosystem and social sciences The future of the Amazon: new perspectives from climate. *Philosophical Transactions of Royal Society*, 1729-1735, 2008.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSII, J. A. Revised Landsat -5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 4, n. 3, p. 490-494, 2007.

CORREIA, F. W. S. Modelagem do impacto de modificações da cobertura vegetal amazônica no clima regional. 2005. 422 p. (INPE-14094-TDI/1077). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/ pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using Spot Vegetation data. *Remote Sensing of Environment*, v.101, p.283-298, 2006.

CHEMIN, Y.; PLATONOV, A.; UL-HASSAN, M.; ABDULLAEV, I. Using remote sensing data for water depletion assessment at administration and irrigation-system levels: case study of the Ferghana Province of Uzbekistan. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.64. p.183-196, 2004.

FEARNSIDE, F. M. A floresta Amazônica nas mudanças globais. Manau: INPA, 2003. 134 p.

GOMES, H. F. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e Cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais, 119p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

HAFEEZ M. M. et al. Field Evapotranspiration in Central Luzon, Philippines, using Different Sensors: Landsat 7 ETM+, Terra Modis and Aster. In: *Simposium On Geospatial Theory, Processing and Applications*, 2002, Ottawa, Anais... [s.n.], 2002.

LIBERATO, A.M. 2011. Estimativa do albedo e índice de área foliar na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4 (1): 22-32.

LEIVAS, J.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; CARDOSO, L.; Variação diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS. *XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2007. Aracaju – SE.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, 107-117, 1987.

MORTON, D. C.; DE FRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; ESPIRITO SANTO, F. D., et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(39), 14637 e 14641, 2006.

MORSE, A., ALLEN, R. G., TASUMI, M., KRAMBER, W. J., TREZZA, R. & WRIGHT, J. Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive Use of Water Through Remote Sensing. Final Report, 220p, 2001.

MACHADO, W. B.. FLUXO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REGIONAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA BR-163, OESTE DO PARÁ. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento. Universidade Federal do Oeste do Pará, 2017. 127p.

MULLER, F. G. M. Rodovia Cuiabá–Santarém, BR – 163, desmatamento atual e futuro: uma questão de monitoramento e controle. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mat Grosso. Programa de Pós Graduação, Instituto de Ciências Humanas e Sociais. 207p, 2006.

MEIRELLES, M. L; FARIAS, S. E. M; FRANCO, A. C. Balanço de Energia de uma Pastagem Cultivada no Cerrado. Planatina, DF: Embrapa Cerrados, 2003.

NOBRE, C. A.; OLIVEIRA, G. S.; VELASQUEZ, L. F. S. Mudanças climáticas e Amazônia. Ciência e Cultura, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO. J. D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 1, n. 2, p. 30-49, 2008.

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

PEREIRA, M. N.; GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, I. M.; GARCIA, S.; PORTELA, A. G.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G. Uso de imagens de satélite como subsídio ao processo de urbanização. Cadernos de Pesquisa do LAP, v. 46, p. 4-33, jun. 2005.

Souza, P.J.O.P.; Ribeiro, A.; Rocha, E.J.P; Loureiro, R. S.; Bispo, C.J.C; Sousa, A.M.L. 2010. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14 (1): 65-73.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005a.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005b.

SAKAI, R. K.; et al. Land-use change effects on local energy, water and carbon balances in an Amazonian agricultural field. Global Change Biology, v.10, 895-907, 2004.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F.; TORNERO, M. T. T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.10, p.1763-1774, 1999.

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. <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a09.pdf>>. 15 Fev. 2011. doi:10.1590/S1415-43662010000100009.

MENDONÇA, J. C. Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 145p, 2007.

Silva, B. B. da; Braga, A. C.; Braga, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga, Mossoró*, v.24, n.3, p.145- 152, 2011.

Vilani, M. T.; Sanches, L.; Nogueira, J. S.; Priante-Filho, N. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, p.119-131, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Versão digital, 2. ed. Recife, 2006.