

Dennis Bernardi

Avaliação dos plantios florestais de *Eucalyptus* spp., com diferentes idades, através do uso de imagens RapidEye, no Sul da Bahia

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à coordenação do Curso de Pós Graduação em Gestão Florestal, da Universidade Federal do Paraná para obtenção do Título de Especialista em Gestão Florestal.

Orientadora: Ana Paula Dalla Corte

Guararema

2013

**A minha esposa, Diucélia**  
**A meu filho, Rafael, que está para chegar**

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

In Memoriam Prof. Dr. Attilio Antinio Disperati, pelas constantes orientações e apoios durante a vida acadêmica e profissional.

A Fibria Celulose SA, pela oportunidade de utilização dos dados para o estudo e principalmente pela oportunidade profissional.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização e conclusão desse trabalho.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iii
<b>SUMÁRIO</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. Objetivo Geral .....	3
2.2. Objetivos Específicos .....	3
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
3.1. O Sensor RapidEye .....	4
3.2. Obtendo da Reflectância a partir dos Números Digitais .....	5
3.3. NDVI – Normalized Difference Vegetation Index .....	6
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	8
4.1. Área de Estudo .....	8
4.2. Produtos Orbitais .....	9
4.3. Metodologia .....	9
<b>5. RESULTADOS</b> .....	13
5.1. Conversão de ND para RE .....	13
5.2. Conversão de RE para RF .....	15
5.3. Correção Atmosférica .....	16
5.4. Histogramas das Imagens .....	18
5.5. Cálculo e Fatiamento do NDVI .....	21
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	27
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	28

## RESUMO

O presente trabalho vem demonstrar a utilização de geotecnologias no apoio ao monitoramento florestal em áreas com plantio de *Eucalyptus* spp. Demonstra-se aqui a utilização de imagens satelitárias obtidas pela constelação RapidEye, as quais apresentam como principal vantagem sua grande disponibilidade temporal aliada a boa resolução radiométrica, espectral e espacial, tornan-se fundamentais para monitoramento de grande áreas. Neste trabalho utilizou-se o processamento por NVDI o qual permitiu classificar os talhões de *Eucalyptus* spp. em 4 diferentes situações, sendo elas: Solo Exposto, Plantios Danificados, Plantio com Médio e Alto Rendimento, apoiando o planejador florestal no seu dia a dia, permitindo com isso otimização das equipes de monitoramento de campo reduzindo assim os custos com tais atividades que são bastante dispendiosos no setor florestal. Demonstrou-se com este trabalho também que o Sensoriamento Remoto integrado com os Sistemas de Informações Geográficas e ao Sistema de Cadastro Florestal, são ferramentas fundamentais para o monitoramento de grandes áreas e também a Gestão Florestal das empresas.

**Palavras Chaves:** RapidEye, NDVI, Monitoramento Florestal, *Eucalyptus*, Sensoriamento Remoto, Geotecnologias

## ABSTRACT

This work demonstrates the use of geotechnology in supporting forest monitoring in areas with *Eucalyptus* spp . We demonstrate here the use of satellite images obtained by RapidEye constellation , which have the major advantage his great ally temporal availability good radiometric, spectral and spatial resolution, it is fundamental for monitoring large areas. In this work we used the process by which NDVI allowed to classify stands of *Eucalyptus* spp. in four different situations, namely: Bare Soil , Crops damaged , Planting with Medium and High Yield, supporting forest planner in their day to day, thereby allowing optimization of field monitoring teams reducing costs with such activities which are quite costly in the forestry sector . It has been shown in this work that also integrated Remote Sensing with Geographic Information Systems and Forest Database System, are fundamental tools for monitoring large areas and also the Forest Management businesses.

**Key Words:** RapidEye, NDVI, Forest Monitoring, *Eucalyptus*, Remote Sensing, Geotechnology.

## 1. INTRODUÇÃO

Imagens de sensores remotos tem sido amplamente utilizadas em quase todas as áreas da ciência florestal, assim como em outras áreas da ciência. Sua utilização na cartografia, avaliação da cobertura vegetal, estudos em áreas urbanas, monitoramentos agrícolas e ambientais é cada vez mais frequente.

Na Fibria Celulose SA, atualmente a Equipe de Geotecnologias é responsável pelas Informações Cartográficas e Cadastrais de quase 1 milhão de hectares, neste sentido, busca-se constantemente novas tecnologias que nos permitam monitorar tais áreas com velocidade, precisão e relação custo x benefício atraentes.

Neste sentido, a constelação de satélites *RapidEye*, apresenta uma solução que atendem os tais pré requisitos de maneira prática e objetiva. A constelação *RapidEye* é composta de cinco satélites que tem como principal diferencial uma combinação única de cobertura de grandes áreas, sensores com a alta resolução espacial, com 5 metros e possibilidade de revisita na mesma área de 24 horas a 5,5 dias, proporcionando alta resolução temporal, tudo aliado a excelente resolução radiométrica e espectral.

Quando são utilizadas imagens de sensores remotos, é necessário conhecer as suas quatro características básicas, sendo elas, resolução temporal, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução espacial.

A resolução temporal é a capacidade que o sensor tem de coletar imagens de uma mesma área, o intervalo entre uma coleta e outra.

A resolução espectral basicamente é a capacidade que o sensor tem de visualizar os objetos de estudos em diferentes comprimentos de onda eletromagnéticos.

A resolução radiométrica é a quantidade de bits que o sensor usa para representar a imagem coletada em uma determinada resolução espectral, exemplo uma imagem com 1 bit, tem dois tons, branco ou preto, já uma imagem com 8 bits tem a

capacidade de representar a banda espectral em 256 níveis de cinza, gerando assim mais detalhes para o analista.

Já a resolução espacial é a capacidade que o sensor tem de visualizar objetos no solo, por exemplo, uma imagem com 30 metros de resolução espacial, cada pixel representa a combinação de objetos dentro de uma área de 30 x 30 metros, já uma imagem com 50 centímetros de resolução espacial, cada pixel representa a combinação de objetos dentro de uma área de 50 x 50 centímetros, assim tais imagens, detalhariam melhor o uso do solo do que uma imagem com 30 metros de resolução espacial.

Além das características resolutivas do sensor, uma boa calibração é essencial para permitir a transformação dos níveis de cinza gravados em grandezas físicas que podem ser utilizadas para estimar informações da superfície. A reflectância é uma grandeza física de interesse e é definida pela razão entre a energia refletida por um objeto pela energia incidente sobre o mesmo alvo. A reflectância obtida a nível do sensor é denominada reflectância aparente ou planetária, mas contém interferências da atmosfera. A situação ideal é a remoção dos efeitos da atmosfera com a determinação da reflectância da superfície através da correção atmosférica.

Mesmo quando se utiliza transformações espectrais como os índices de vegetação, é essencial que se faça a correção atmosférica, pois os efeitos atmosféricos afetam diferentemente as bandas espectrais utilizadas nestes índices (Antunes et al, 2012).

A correção atmosférica pode ser aplicada através de métodos empíricos e modelos de transferência radiativa. O modelo empírico mais utilizado é o desenvolvido por Chavez (1988), que se baseia na subtração do pixel mais escuro de cada banda da imagem coletada. Já a correção atmosférica através de modelos de transferência radiativa utilizam as características da atmosfera para obter a o fluxo de radiação que saiu da superfície e chegou ao sensor.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo Geral

Avaliação do desempenho das imagens *RapidEye* para monitoramento de plantios florestais de *Eucalyptus* spp. em diferentes idades, materiais genéticos, plantados no Sul da Bahia.

### 2.2. Objetivos Específicos

- a) Transformação das imagens *RapidEye* em imagem Radiância e Imagem Reflectância e posterior Correção Atmosférica;
- b) Geração do NDVI e fatiamento, visando qualificar os plantios florestais de *Eucalyptus* spp;
- c) Classificação das florestas de *Eucalyptus* spp. em quadro diferentes situação, sendo elas: solo exposto, danificadas, médio rendimento, alto rendimento.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. O Sensor *RapidEye*

O *RapidEye* é um sistema composto por cinco satélites de sensoriamento remoto idênticos e em mesma órbita. A faixa da abrangência de coleta de imagens é de 77 quilômetros de largura e 1500 quilômetros de extensão (RapidEye, 2013a).

O Gráfico 1, a Figura 1 e a Tabela 1 mostram as características do satélite e do sensor bem como as funções de filtro que caracterizam a resolução espectral. Sua inovação está na banda *Red Edge*, localizada entre o vermelho e o infravermelho próximo, que mede variações na vegetação e permite a separação de espécies e monitoramento da saúde da vegetação, segundo Felix et al. (2009). Cada banda possui um alcance do comprimento de onda, conforme definidos a na Figura 2 (RapidEye, 2013b e 2013c)

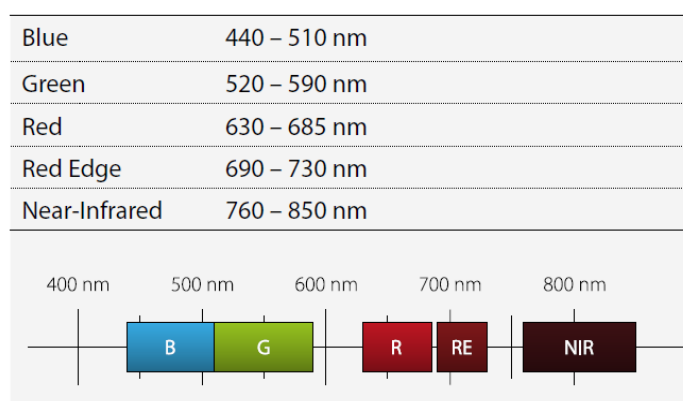
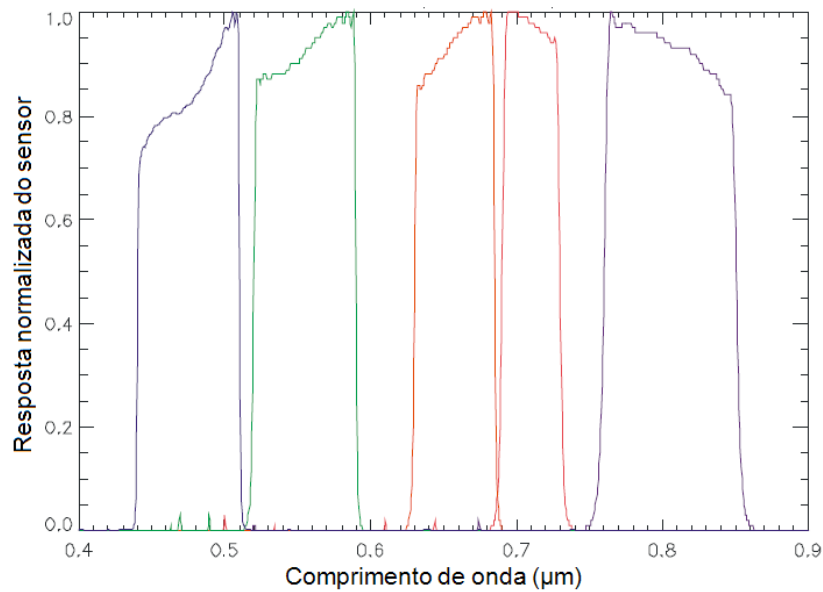


Gráfico 1. Bandas Espectrais do *RapidEye* (RapidEye, 2103c).

Tabela 1. Características do *RapidEye*.

Características	Informações
Número de Satélites	5
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude
Passagem pelo Equador	+/- 11:00 h em hora local
Tipo do Sensor	Imageador multiespectral pushbroom
Bandas Espectrais	Blue, Green, Red, Red-Edge, Infrared
Espaçamento de pixel	6,5m no nadir
Tamanho do Pixel (ortoretificada)	5,0m
Tamanho da Imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/25km ao longo da órbita para 5 bandas
Expectativa de tempo de vida do satélite	7 anos
Tempo de Revisita	Diariamente fora do nadir / 5,5 dias (no nadir)
Datum Horizontal	WGS84
Bits de quantização	12 bits

Figura 1. Resposta normalizada do sensor *RapidEye*, (RapidEye 2013b adaptado).



### 3.2. Obtenção da Reflectância a partir dos Números Digitais

Com a finalidade de obtermos o valor da reflectância das imagens do *RapidEye*, há a necessidade de primeiramente convertermos o ND (Números Digitais) em RE (Radiância Espectral) e posteriormente em RF (Reflectância). Para essa transformação devemos usar parâmetros associados ao sensor *RapidEye*.

Para converter o DN para RE é necessário multiplicar o valor de DN pelo valor de ER (escala radiométrica - *radiometricScaleFactor*) fornecido no arquivo de metadados da imagem, Equação 1.

Equação 1. Radiância Espectral (RE)

$$RE_i = DN_i * ER_i$$

A partir dos valores da Radiância Espectral (RE), calcula-se a reflectância no topo da atmosfera, conforme apresenta a Equação 2:

Equação 2. Reflectância no Topo da Atmosfera (RF)

$$RF_i = RE_i * \pi * \frac{SunDist^2}{EAI_i * \cos(SolarZenith)}$$

Onde:

**i**: Número da banda espectral

**RF**: valor de reflectância

**RE**: valor de radiância espectral

**SunDist**: Distância entre a Terra e o Sol no dia da aquisição da imagem em unidades astronômicas

**EAI**: Irradiância solar na exoatmosfera

SolarZenith: Ângulo zenital solar (=  $90^\circ$  - Elevação Solar)

A distância entre a Terra e o Sol, pode ter valores entre 0,98321472337388 e 1,01683949610364 Unidades Astronômicas (UA) e deve ser calculada pela data de aquisição das imagens.

Para as imagens do *RapidEye* os valores de Irradiância Solar na Exoatmosfera (**EAI**) são fornecidos na Tabela 2 (RapidEye, 2013a).

Tabela 2. Valore de Irradiância Solar na Exoatmosfera.

<b>Banda</b>	<b>EAI</b>
Blue	1.997,8 W/m <sup>2</sup> μm
Green	1.863,5 W/m <sup>2</sup> μm
Red	1.560,4 W/m <sup>2</sup> μm
Red Edge	1.395,0 W/m <sup>2</sup> μm
Infrared	1.124,4 W/m <sup>2</sup> μm

### 3.3. NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI é resultado da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e a reflectância do vermelho, dividida pela soma das duas reflectâncias. Essa equação gera um índice que poderá variar de -1 a 1. As regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo são afetadas diretamente pelos efeitos atmosféricos de espalhamento, provocados pelos aerossóis atmosféricos e absorção ocasionada pelo vapor d'água e ozônio, por isso sempre que houver necessidade de comparações temporais, há também a necessidade de ser feita a correção atmosférica das bandas antes de calcular o NDVI.

O valor digital de cada pixel representa a resposta espectral média dos alvos contidos no pixel, o qual conforme a resolução espacial forma um pixel mais ou menos homogêneo, quanto pior a resolução espacial, menos homogêneo o pixel, pois este representará uma situação de campo referente a uma área maior.

Para o cálculo do NDVI (Equação 3), o valor digital de cada pixel devem ser convertidos para valores físicos de reflectância já que, de acordo com Moreira (2005), as reflectâncias dos alvos são transformadas em índices de vegetação, possibilitando a análise do comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície.

Equação 3. NDVI Tradicional

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

O resultado do NDVI varia de -1 à +1, sendo que a vegetação em melhores condições apresentam valores mais elevados e índices baixos normalmente áreas com solo expostos, e corpos d'água índices negativos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudos

A área de estudos do presente trabalho está localizada no Sul do Estado da Bahia, conforme Figura 2, onde a Fibria Celulose SA mantém plantios florestais de *Eucalyptus* spp., em áreas próprias, arrendadas e também poupança florestal. Na Tabela 3 são apresentadas as coordenadas UTM, Fuso 24S do limite da imagem utilizada, a Figura 3, apresenta uma visão RGB 321 da área de Estudos.

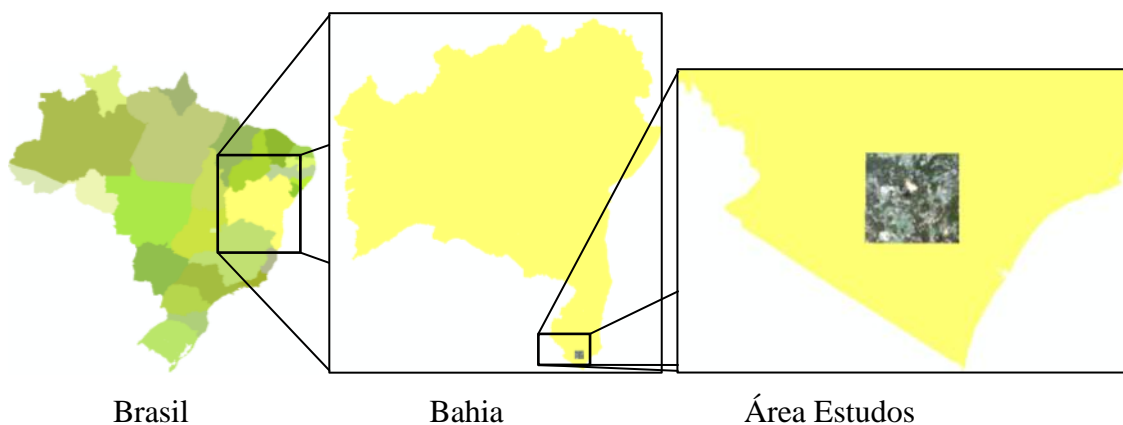


Figura 2. Localização da Área de Estudos

Tabela 3. Coordenadas da imagem utilizada.

<b>Nome Imagem Imagem</b>	2430811_2013-04-06_RE3_3A_162180.tif
<b>Coord. Superior Esquerdo</b>	8.032.500 m , 403.500 m
<b>Coord. Inferior Direito</b>	8.007.500 m , 428.500 m

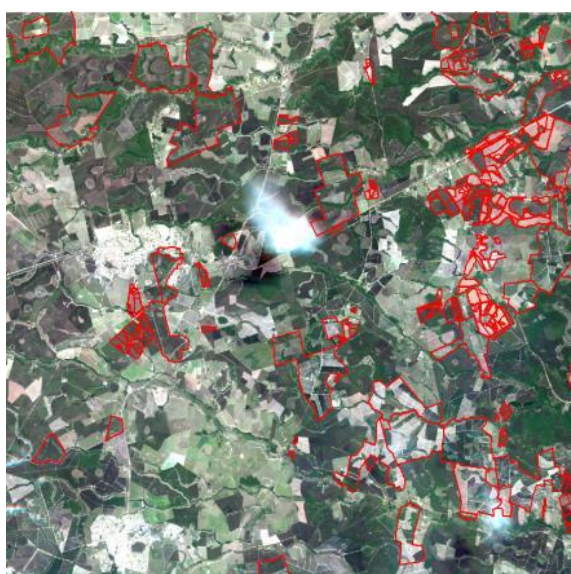


Figura 3. Imagem utilizada (RGB-321), em vermelho limite dos projetos da Fibria Celulose SA

Na área de estudos, tem-se aproximadamente 6.900 hectares de áreas de plantios de *Eucalyptus* spp., sendo destes aproximadamente 5.000 hectares de áreas próprias e outros 1.900 hectares de Poupança Florestal (Fomento). Sendo tais áreas de plantio distribuídas nas faixas de idade conforme Tabela 4.

Tabela 4. Faixa de idade dos plantios na área de estudos.

Faixa Idade	Área (hectares)	%
<b>Aguardando Implantação</b>	1.826	26,3
≤ 6 meses	900	13,0
6 meses a 2 anos	1.687	24,3
2 – 6 anos	1.881	27,1
> 6 anos	642	9,3
<b>TOTAL</b>	<b>6.935</b>	<b>100</b>

#### 4.2. Produtos Orbitais

No ano de 2013, a Fibria Celulose SA buscando monitorar seu plantios florestais, desenvolveu um projeto piloto utilizando imagens do satélite *RapidEye*, sendo este TCC parte desde desenvolvimento, o qual proporcionou desenvolvimento a equipe de geotecnologias da empresa.

Neste trabalho, foi utilizada uma das cenas adquiridas pela Fibria Celulose SA, visando validar a aplicabilidade da metodologia, os dados das imagens utilizadas são apresentados na Tabela 4.

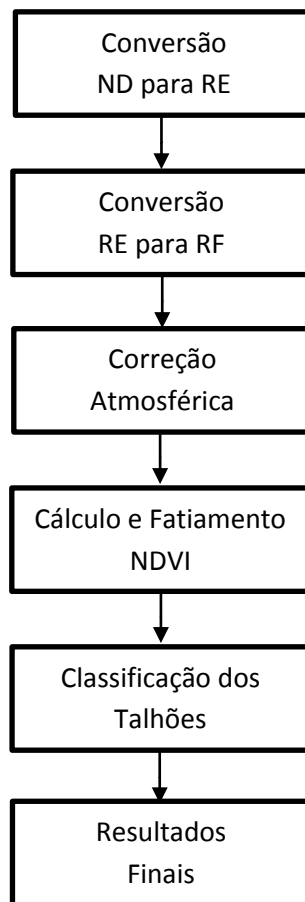
Tabela 4. Detalhes técnicos das imagens coletadas

<b>Sensor</b>	RapidEye
<b>Bandas</b>	Blue, Green, Red, Red Edge, Infrared
<b>Data Coleta</b>	06 de abril de 2013
<b>Ângulo da Coleta</b>	-9,92°
<b>Escala Radiométrica (ER)</b>	0,00999999977648258
<b>Solar Zenith</b>	(90 - 63,19) = 26,81°
<b>Pi</b>	3,14159265358979
<b>SunDist</b>	1,00072994745288

#### 4.3. Metodologia

A metodologia utilizando na presente pesquisa é demonstrada resumidamente no Figura 3.

Figura 3. Fluxograma metodológico da pesquisa



Para a conversão dos ND para RE, aplicada a cena a fórmula apresentada na Equação 1, consultando o arquivo de metadados da cena, conseguiu-se obter o valor a ser utilizado para variável ER (*radiometric scale factor*) para usar na equação 1, ver Tabela 5.

Para a conversão dos RE em RF, foi aplicada a cena RE, a fórmula apresentada na Equação 2. A única informação faltante para conversão da imagem Radiância em imagem Reflectância, é à distância da Terra até o Sol, sendo esta calculada para a posição central da imagem coletada. Essa distância deve ser obtida para o dia da coleta da imagem em Unidades Astronômicas (UA), o site da NASA: <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#results>, fornece tais informação, necessitando somente da informação do dia da coleta da imagem e da coordenada central da cena.

Para a cena utilizada, coletada no dia 06/04/2013, com coordenada central 39°47'20.4"W e 17°54'25.2"S, com altitude média de 82m S.N.M.M., a distância da Terra ao Sol é de: 1,00072994745288 UA.

Tabela 5. Valores de ER (*radiometric scale factor*) para cada uma das bandas *RapidEye* usada neste estudo

<b>Banda</b>	<b>ER – RadiometricScaleFactor</b>
Blue	
Green	
Red	0,00999999977648258
Red Edge	
Infrared	

Neste trabalho, optou-se por fazer a Correção Atmosférica empírica (Chavez, 1998), a qual consiste em subtrair das bandas, o valor do pixel mais escuro que primeiramente é registrado na respectiva banda.

Para o calculo do NDVI, é aplicada a expressão matemática apresentada na Equação 3. Com o objetivo de obter uma classificação mais próxima da realidade de campo e que permita reduzir a fragmentação dos talhões em micro polígonos (ruídos), antes de convertermos o resultados do NDVI classificado para vetor, optou-se por passar um filtro de passa baixo o qual tem por finalidade reduzir tais ruídos.

O filtro de passa baixo, foi aplicado 3 vezes, para obter um resultado que apresente menor ruído, sem perda de informações importantes e que melhor represente a realidade de campo.

Para permitir o cruzamento dos dados obtidos pelo NDVI com os talhões de *Eucalyptus* spp. a imagem NDVI Filtrada e Classificada foi convertida para polígono. Então foi feito o cruzamento dos polígonos de plantio com os polígonos de classes identificados pelo NDVI.

Vale também detalhar como foram classificados os talhões de *Eucalyptus* spp. em quatro diferentes situação, sendo elas: Solo Exposto, Danificado, Baixo Rendimento e Alto Rendimento, sendo as mesmas definidas conforme abaixo:

**Solo Exposto:** Áreas sem plantio, ou com plantios abaixo de 6 meses que não são identificáveis pelas imagens *RapidEye*, principalmente devido a sua resolução espacial de 5m.

**Danificado:** Plantio com valores de NDVI baixos associados a pouca presença de biomassa;

**Médio Rendimento:** Plantios com valores de NDVI intermediários, normalmente associado a médio volume de biomassa;

**Alto Rendimento:** Plantio com altos valores de NDVI associados a alta concentração de biomassa.

## 5. Resultados

Visando padronizar as imagens apresentadas neste trabalho e também facilitar a comparação de todas as imagens aqui apresentadas, optamos pela seguinte configuração no software, sendo elas: Contraste = 0 e Brilho = 0, sendo as demais informações de contraste são apresentadas na Figura 4.

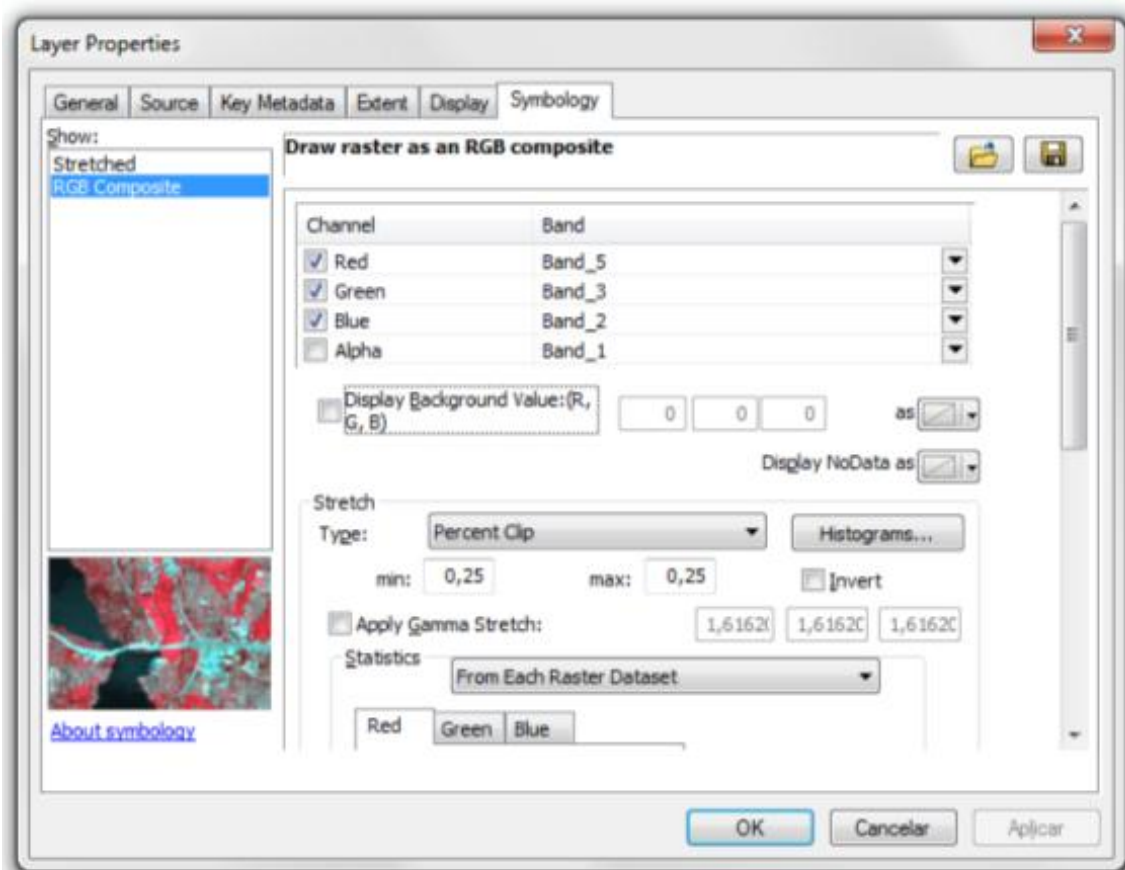
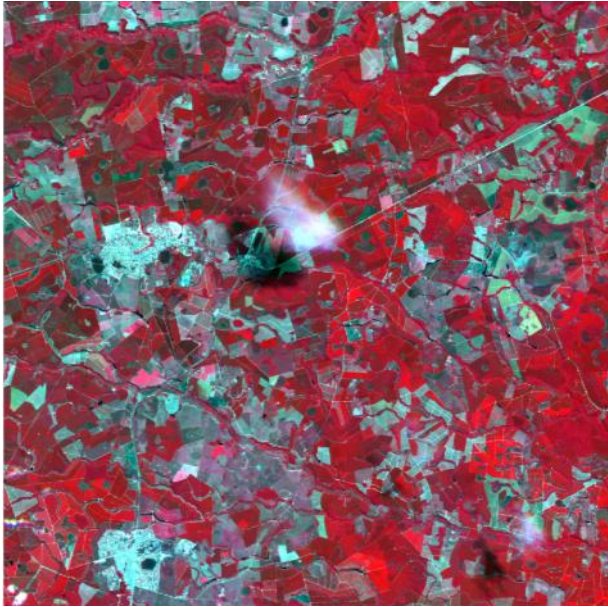


Figura 4. Definição Contraste aplicada as imagens – Software ArcGIS.

### 5.1. Conversão de ND para RE

A Figura 5 demonstra imagem *RapidEye* recebida originalmente, composição Infravermelho RGB-532, já a Figura 6 apresenta a imagem convertida em Radiância na mesma composição Infravermelho RGB-532.



(a)

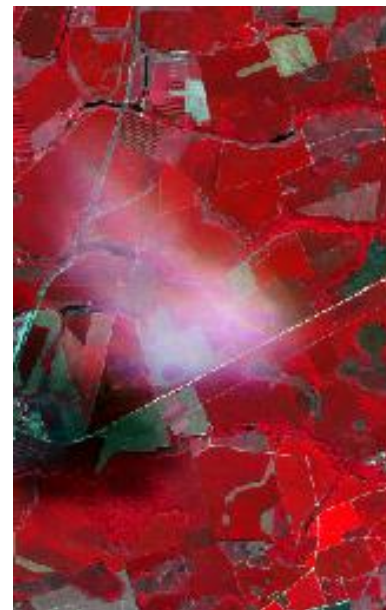


(b)

Figura 5. Composição Infravermelho RGB-532, da imagem *RapidEye* Original, visão geral (a) e zoom (b)



(a)



(b)

Figura 6. Composição Infravermelho RGB-532, da imagem Radiância, visão geral (a) e zoom (b)

Pode-se notar que a partir da transformação da imagem original de Nível Digital (DN) em Radiância, têm-se ganhos significativos no contraste da imagem. Pode-

se notar que comparando-se o Zoom das Figuras 5 e 6 na imagem Radiância (6b) o efeito da nuvem é menor do que na imagem em DN (5b).

Pode-se também notar a diferença de contraste apresentada nas áreas de solo exposto (parte superior direita das imagens Zoom (b)), na imagem Radiância, verificando claramente maior detalhe nestas áreas.

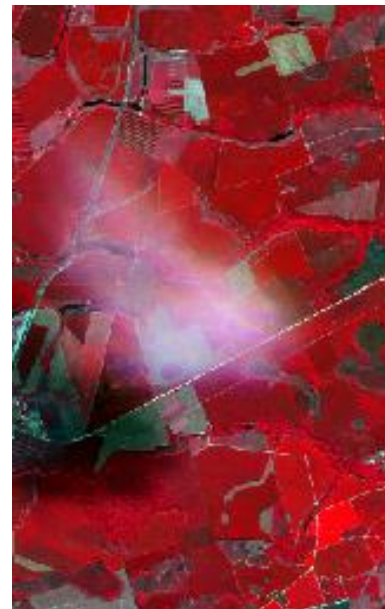
## 5.2. Conversão RE para RF

Analisando as distâncias da Terra ao Sol para a entre os anos de 1900 e 2100, sendo que para este período de 200 anos, a menor distância é de 0,98321472337388 UA, a qual ocorreu no dia 03/01/1901, e a maior é de: 1,01683949610364 UA, a qual ocorreu no dia 04/07/1924. Nestes 200 anos a distância média foi de 1,00017056093748 UA.

A Figura 7 apresenta a imagem convertida em Reflectância na mesma composição Infravermelho RGB-532.



(a)



(b)

Figura 7. Composição Infravermelho RGB-532, da imagem Reflectância, visão geral (a) e zoom (b)

A Figura 8, apresenta lado a lado as imagens, Original, Radiância e Reflectância, dando ênfase na região que apresenta uma nuvem ao centro, demonstrando que visualmente não foi possível verificar ganho na conversão da imagem para Reflectância quando comparada com a imagem Radiância, porém como comentado anteriormente houve ganho significativo na transformação da imagem original em imagem Radiância.

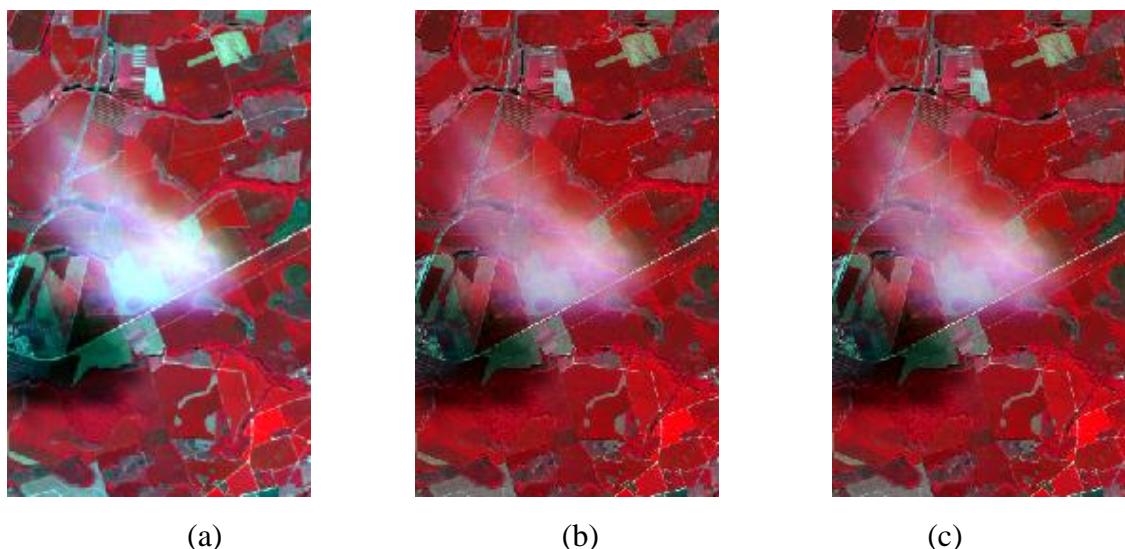


Figura 8. Composições Infravermelho (RGB-532), (a) imagem Original, (b) imagem radiância, (c) imagem Reflectância

### 5.3. Correção Atmosférica

Na Tabela 6, são apresentados os valores de Reflectância que foram subtraído de cada uma das bandas Reflectância, visando a correção atmosférica pelo método Dark Subtration. Tais valores são os primeiros valores válidos de Reflectância de cada uma das bandas.

Tabela 6. Valores digitais subtraídos na correção atmosférica empírica

<b>Banda</b>	<b>Valor digital usado na Correção Atmosférica</b>
Blue	0,030508086
Green	0,033993091
Red	0,000022591
Red Edge	0,000025270
Infrared	0,032699075

A Correção Atmosférica neste trabalho visou principalmente permitir a comparação futura dos resultados deste trabalho com imagens multitemporais, visto que o presente trabalho será replicado anual e/ou bianual no monitoramento das plantações da Fibria Celulose SA, quando os efeitos atmosféricos podem causar diferentes interpretações no NDVI de forma equivocada.

A Figura 9 apresenta a imagem Reflectância com a Correção Atmosférica, já a Figura 10, tem-se lado a lado as imagens, Original, Reflectância com Correção Atmosférica, dando ênfase na região que apresenta uma nuvem ao centro, demonstrando o ganho que contraste obtido ao final do processamento das imagens.

As transformações executadas nas imagens RapidEye, permitiram ganhos significativos na visualização da cena como um todo, também podemos notar melhor visualização na área com nuvem e também nas áreas de solo exposto, permitindo uma melhor classificação visual destas áreas.

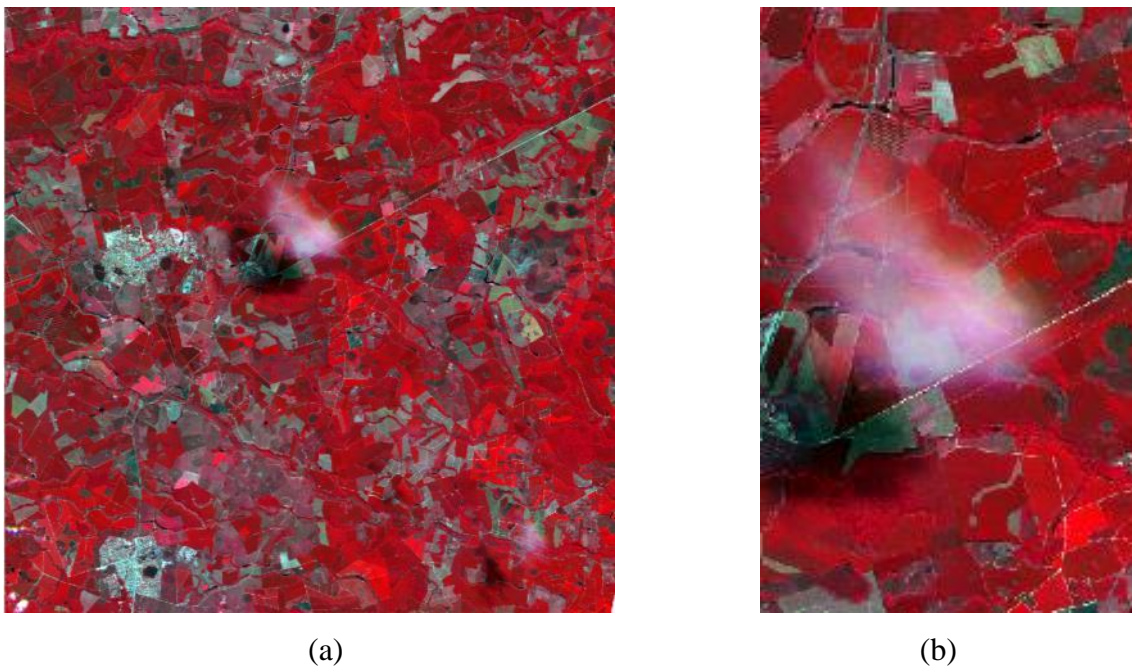
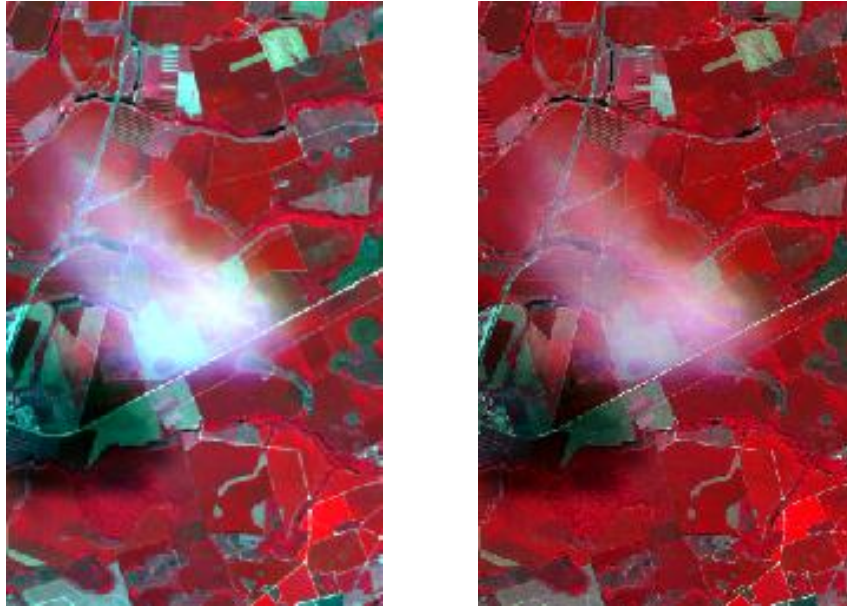


Figura 9. Composição Infravermelho RGB-532, da imagem Reflectância, com Correção Atmosférica, visão geral (a) e zoom (b)



(a)

(b)

Figura 10. Composição Infravermelho RGB-532, da imagem *RapidEye* Original (a) e Reflectância com Correção Atmosférica (b)

#### 5.4. Histogramas das Imagens

Visando apresentar a mudança produzida no histograma de cada uma das bandas das imagens produzidas, abaixo são apresentados nas Figuras 10, 11, 12 e 13 os histogramas das imagens Originais, Radiância, Reflectância e Reflectância Corrigida Atmosfericamente, respectivamente.

Nas imagens Originais, as bandas 1, 2 e 3, apresentam histogramas multimodais, ocasionados principalmente pelo efeito atmosférico, visível na cena pela presença da nuvem no centro, já as bandas 4 e 5, por serem da faixa do Infravermelho seus histogramas são unimodais, visto que na faixa do Infravermelho tais efeitos são minimizados.

Pela análise dos histogramas, também podemos notar que a banda 4 (*Red Edge*) apresenta menor contraste que a banda 5, tal comportamento é também visível ao abrir as imagens em forma pancromática, pelo histograma podemos notar que na banda 4 temos uma menor distribuição horizontal quando comparado com a banda 5.

Podemos notar que a conversão das imagens Originais em Radiância e posteriormente em Reflectância corrige parcialmente os efeitos atmosféricos,

histogramas multimodais, nestas imagens os histogramas não apresentam-se mais multimodais.

Já com a Correção Atmosférica, realizada pelo método de Dark Subtraction, nota-se que os histogramas são deslocados para a esquerda, efeito produzido pela subtração dos pixels escuros, representando exatamente o que a metodologia se propõe a fazer.

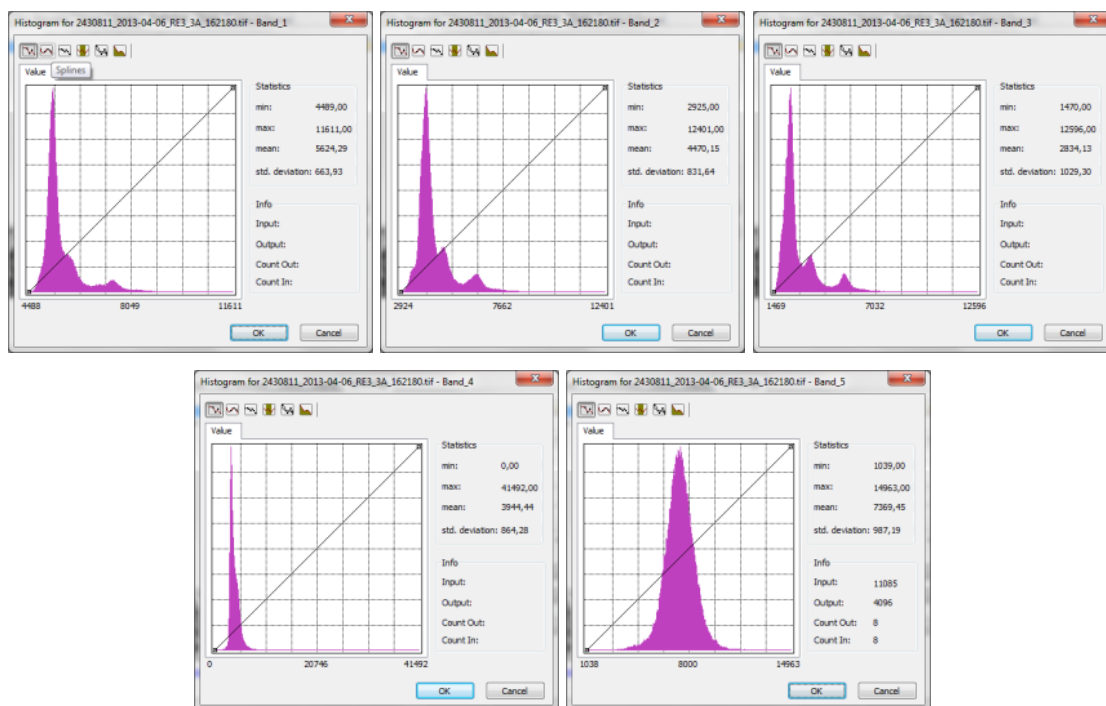


Figura 10. Histograma da imagem *RapidEye* Original

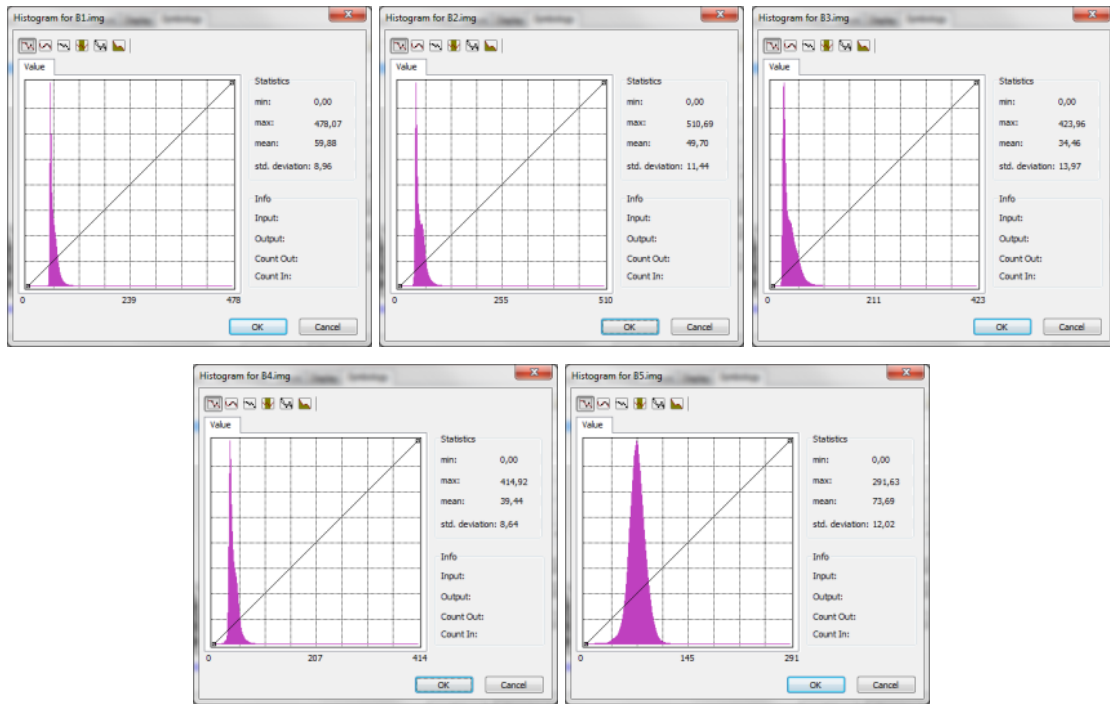


Figura 11. Histograma da imagem Radiância

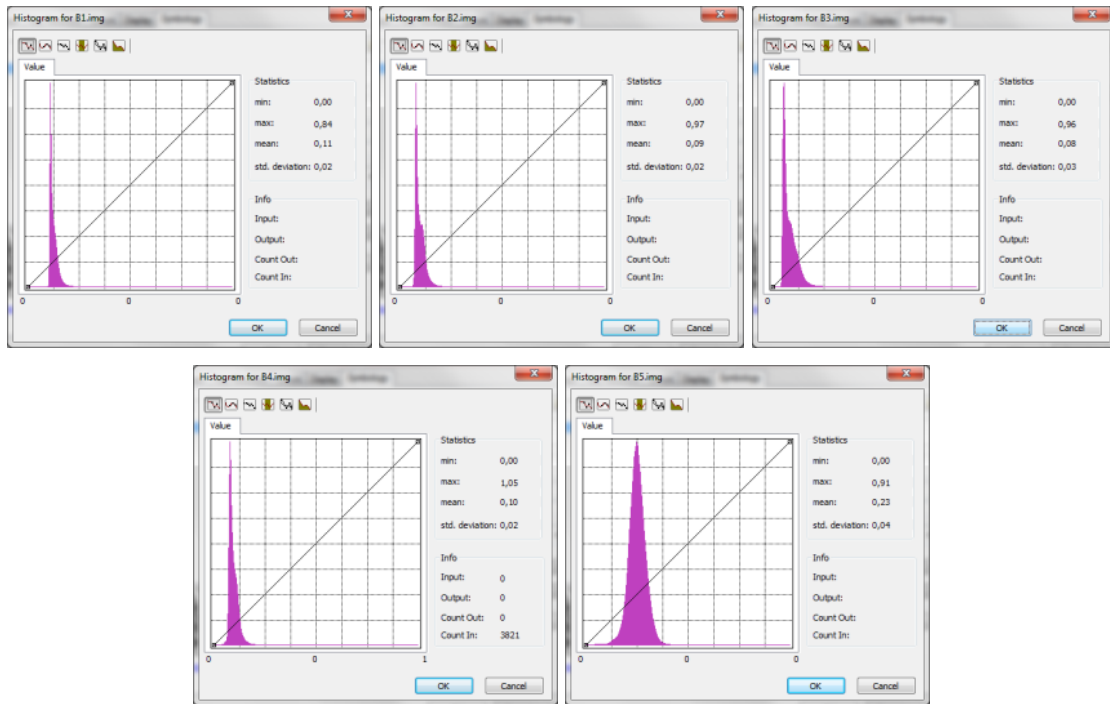


Figura 12. Histograma da imagem Reflectância

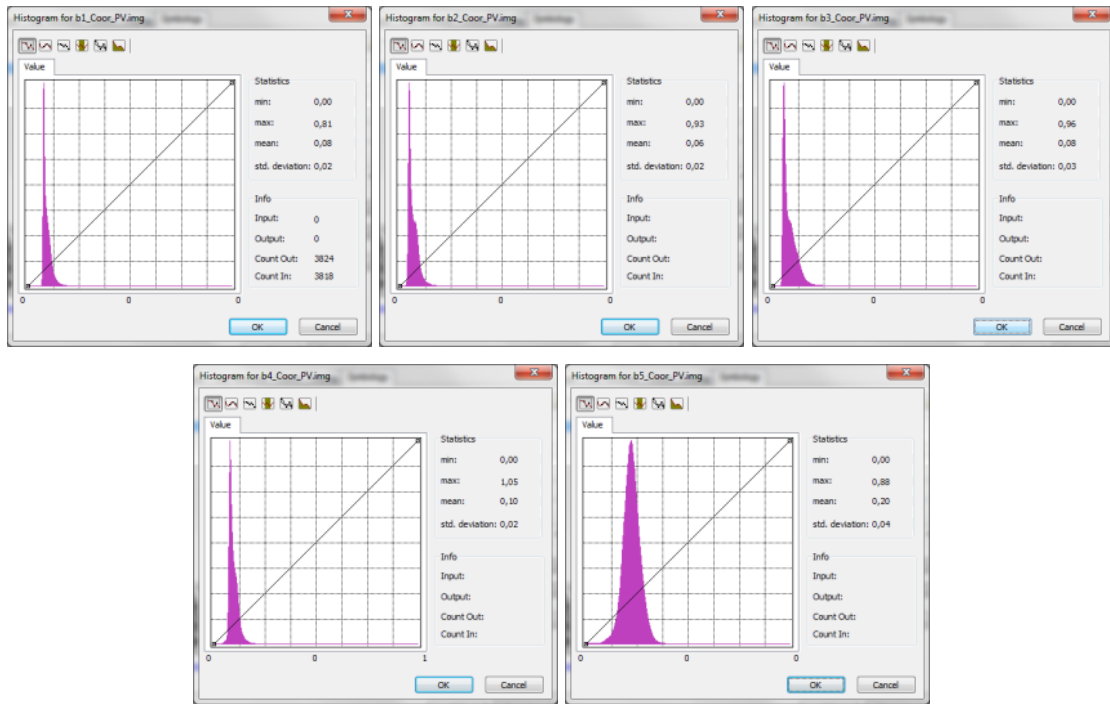
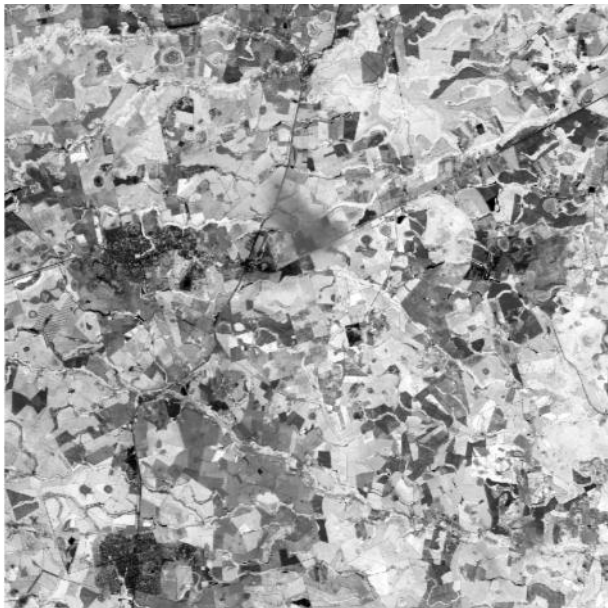


Figura 13. Histograma da imagem Reflectância Corrigida Atmosfericamente

### 5.5. Cálculo e Fatiamento do NDVI

O cálculo do NDVI foi executado conforme apresentado na Equação 3, na Figura 14 é apresentada o NDVI em representação pancromática, seguindo as mesma configuração de contraste utilizada neste trabalho.



(a)



(b)

Figura 14. NDVI em representação pancromática, (a) total, (b) zoom.

Para iniciar a análise do NDVI optou-se pela análise do seu histograma (Figura 15), através da sua análise podemos notar que o mesmo apresenta-se bimodal, isto é tem dois picos de máxima frequência bem distintos.

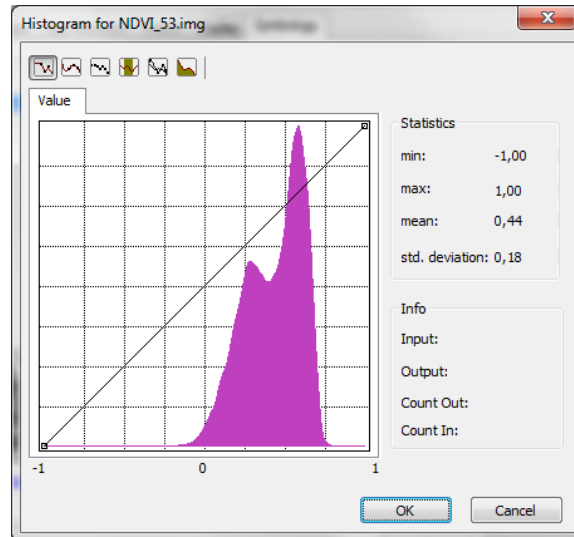






Figura 15. Histograma do NDVI.

O primeiro pico de máxima do NDVI é por volta de 0,27 e o segundo por volta de 0,58 sendo o pico de mínima localizado entre os dois picos de máxima com valor de 0,40. Utilizando-se tais valores para classificar de forma preliminar as 4 classes que objetivava-se identificar na área de estudo, a Tabela 7 e a Figura 16 demonstram, respectivamente estas faixas e a imagem classificada.

Tabela 7. Classificação do NDVI pela análise do histograma

Classe		Faixa NDVI
Solo Exposto		até 0,27
Danificados		0,27 até 0,40
Médio Rendimento		0,40 até 0,58
Alto Rendimento		> 0,58

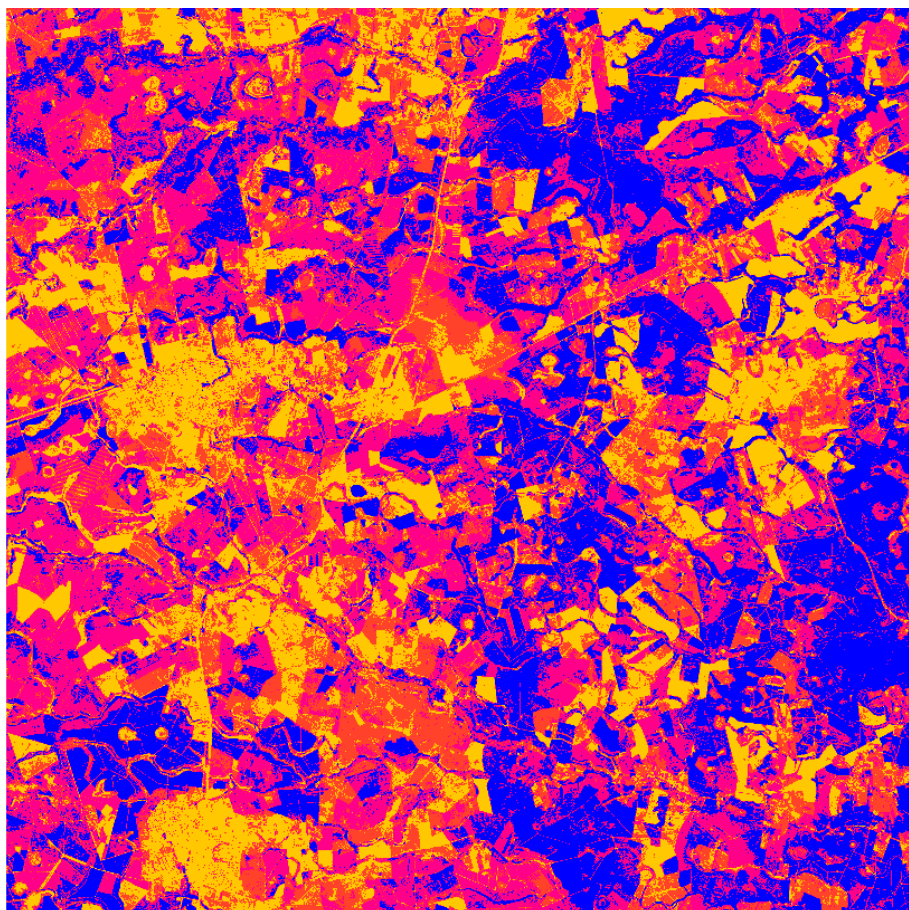


Figura 16. NDVI classificado pela análise do histograma.





Analisando o resultado obtido pela classificação do NDVI pela análise do histograma, foi possível identificar que os resultados obtidos não representam a realidade de campo.

Percebeu-se que o fatiamento do NDVI diretamente pelo histograma, superestima os plantios de Alto Rendimento bem como as áreas de Solo Exposto. Também foi possível verificar que, a classe Danificada é subestimada, já a classe de médio rendimento é superestimada.

Assim sendo optou-se pela classificação manual dos intervalos do NDVI, sendo as faixas apresentadas na Tabela 8 e o resultado na Figura 17.

Os valores de fatiamento do NDVI apresentados na Tabela 8, foram definidos através da análise visual da imagem e apoiados por vistoria de campo, onde foram validadas as classes definidas para o fatiamento e a situação real dos plantios.

Tabela 8. Classificação do NDVI com base na realidade de campo

Classe		Faixa NDVI
Solo Exposto		até 0,20
Danificados		0,20 até 0,50
Médio Rendimento		0,50 até 0,65
Alto Rendimento		> 0,65

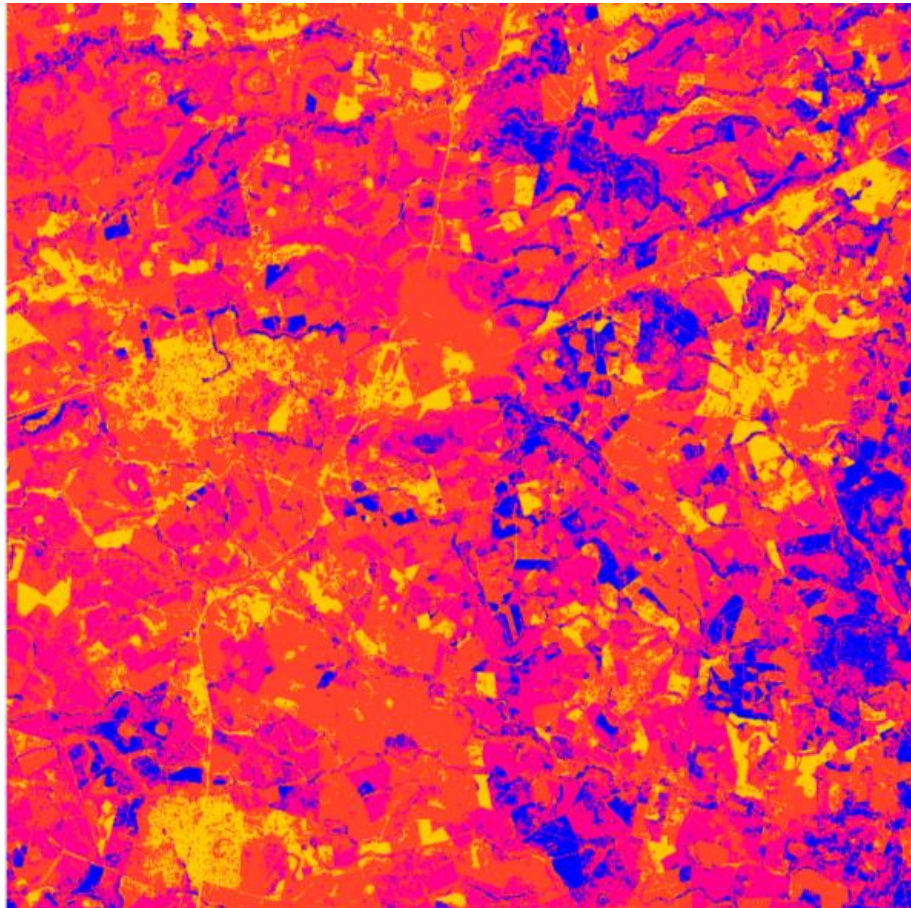


Figura 16. NDVI classificado com base na realidade de campo.

Para a análise final do trabalho, optou-se por utilizar o NDVI classificado com base na realidade de campo, visto que o mesmo, por mais que demanda vistorias amostrais em campo, apresenta significativamente melhores resultados quando comparado com o fatiamento através do histograma diretamente, permitindo assim melhor inferência sobre a realidade de campo. Os resultados obtidos com a vistoria preliminar de campo, são mais confiáveis e permitem direcionar melhor os trabalhos de validação e vistoria da áreas em campo.

Visando homogeneizar a imagem NDVI classificação, conforme descrito anteriormente optou-se por passar 3 vezes o filtro de passa baixo na imagem NDVI para posterior classificação novamente nos intervalos definidos na Tabela 8.

Com o objetivo de mostrar o efeito do filtro de passa baixo, a Figura 17 apresenta parte da imagem, recorte da área de estudos, sem filtro de passa baixo (17a) e com filtro de passa baixo aplicado 3 vezes (17b).

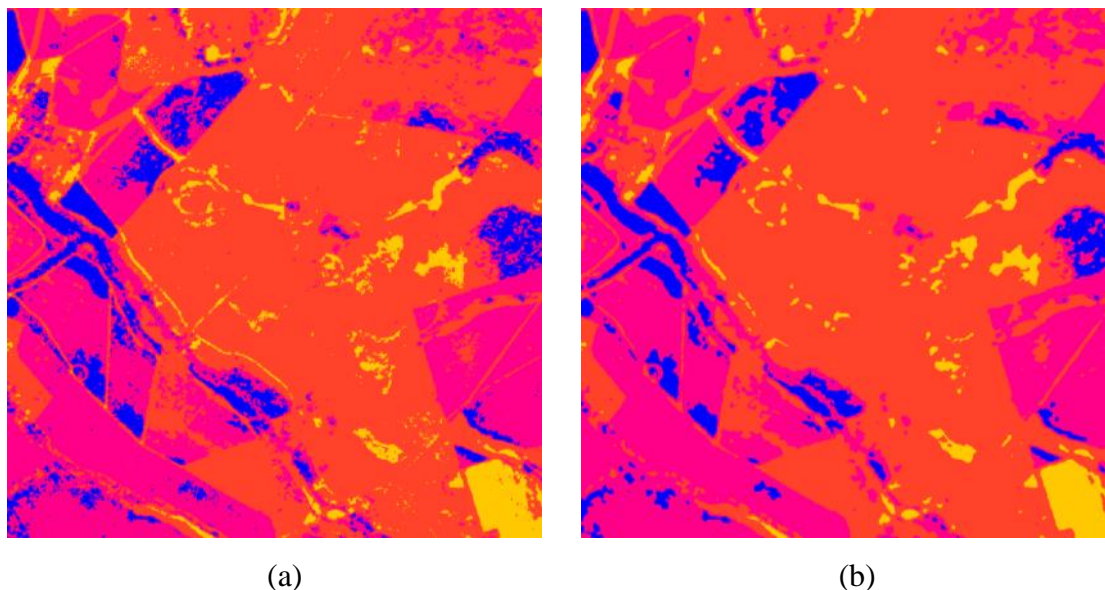


Figura 17. NDVI classificado (a) sem filtro e (b) com filtro (3x) de passa baixo.

Visando obter a avaliação dos plantios, o NDVI classificado e com o filtro de passa baixo aplicado, é convertido de *raster* para *vetor* (polígono), o qual foi cruzado com os polígonos de plantios da base cartográfica da empresa, através do Sistema de Informações Geográficas. O resultado do cruzamento do NDVI classificado com os talhões de *Eucalyptus* spp. é apresentado na Tabela 9.

Na Tabela 9, os resultados apresentados em [Azul](#), são resultados condizentes com o que está no Sistema de Cadastro Florestal (SCF) da empresa, isto é para plantio com menos de 6 meses, utilizando-se imagens *RapidEye*, devido a sua resolução espacial de 5 metros não é possível identificar o plantio, sendo este classificado pelo NDVI como Solo Exposto (897 hectares) ou Danificado (1.445 hectares). Também em [Azul](#), estão as áreas acima de 6 meses que pelo resultado do NDVI temos Médio (1.665 hectares) e Alto (458 hectares) Rendimentos.

Tabela 9. Resultados do NDVI, hectares (ha), por faixa de idade.

Idade/Classif.NDVI	Solo Exposto	Danificado	Médio Rendimento	Alto Rendimento	TOTAL
Não Plantado	500	1.043	277	7	1.826
≤ 6 meses	397	402	82	18	900
6 a 24 meses	292	740	419	235	1.687
2 - 6 anos	115	545	1.001	220	1.881
> 6 anos	65	309	265	3	642
<b>TOTAL</b>	<b>1.370</b>	<b>3.039</b>	<b>2.045</b>	<b>482</b>	<b>6.935</b>

Porém em **Vermelho**, estão as informações preocupantes, onde tem-se plantios que no SCF estão como Não Plantado ou com menos de 6 meses, porém que apresentam pelo NDVI Médio (359 hectares) ou Alto (25 hectares) Rendimento.

Mais preocupante ainda são as áreas que no SCF estão com mais de 6 meses e que apresentam-se pelo resultado do NDVI como Solo Exposto (472 hectares) ou Danificadas (1.594 hectares).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação das imagens originais RapidEye recebidas, em Reflectância com posterior Correção Atmosféricas, permite melhorar significativamente a qualidade visual das imagens, facilitando a interpretação do uso e ocupação do solo.

O NDVI gerado pelas imagens RapidEye, permitiu avaliar a situação dos plantios florestais presentes na área de estudo, classificando-os em 4 classes que estão diretamente relacionadas a sua capacidade produtiva (m<sup>3</sup>/ha).

A metodologia apresentada no presente trabalho será utilizada para monitoramento das áreas de plantios de *Eucalyptus* spp. da Fibria Celulose SA, permitindo assim utilizar uma ferramenta rápida e precisa para avaliação da situação das florestas da empresa, com uma excelente relação custo x benefício.

As técnicas de Sensoriamento Remoto integradas aos Sistemas de Informações Geográficas e aos Sistemas de Cadastro Florestal, são fundamentais para o monitoramento em grande escala, proporcionando ao Gestor Florestal uma ferramenta que permite a visão global das áreas de forma rápida, precisa e a baixo custo operacional.

A qualificação das equipe de Geotecnologias das empresas florestais é fundamental para a utilização racional e eficiente das ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, permitindo com isso agregar valor os processo florestais das empresas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, M.A.H., Debiassi, P., Costa, A.R., Gleriani, J.M., Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, p. 531-539, 2012.

Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n.34, p. 59-479, 1988

Felix, I. M.; Kazmierczak, M. L.; Espindola, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. **Anais: XIV In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 7619-7622. 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320 p

RapidEye, Satellite Imagery Product Specifications. Disponível em: **www.rapideye.com**. Acessado em 17/07/13, 2013a.

RapidEye, Spectral Response Curves of the RapidEye Sensor. Disponível em: **www.rapideye.com**. Acessado em 17/07/13, 2013b.

RapidEye, The RapidEye Red Edge Band. Disponível em: **www.rapideye.com**. Acessado em 17/07/13, 2013c.