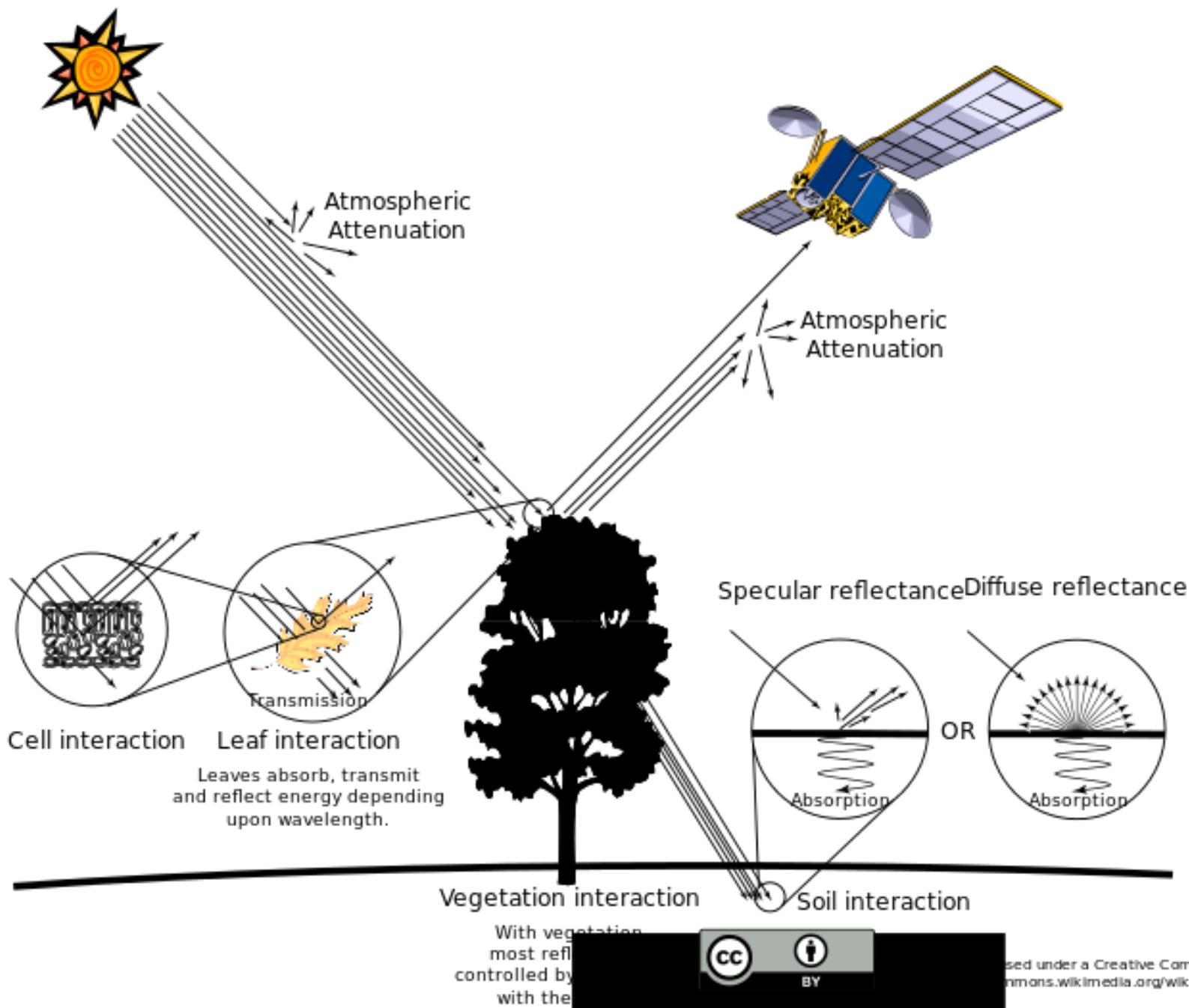


# ÍNDICES DE VEGETAÇÃO



# DEFINIÇÃO

Um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, segundo determinado procedimento, cuja finalidade é realçar características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar etc. (Moreira, 1997).

Índice	Referência	Ano	Definição
RVI	Person e Miller	1972	IVP / V
NDVI	Deering et al.	1975	$(IVP - V) / (IVP + V)$
SAVI	Huete	1988	$[(IVP-V) / (IVP+V+L)] \times (1+L)$
TSAVI	Baret et al.	1989	$[IVP-(a \times V)-b] / [\sqrt{a^2+1}]$
PVI	Richardson e Wiegand	1977	$[a \times (IVP - a \times V - b)] / \{(a \times IVP) + r - (a \times b) + [X \times (1+a^2)]\}$
WDVI	Baret e Guyot	1991	$IVP - (a \times V)$

RVI: Ratio Vegetation Index; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index; TSAVI: Transformed Soil Adjusted Vegetation Index ; PVI: Perpendicular Vegetation Index ; WDVI: Weighted Vegetation Index. Fonte: Moreira (2005)

## DEFINIÇÃO

- Índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, resultantes de transformações matemáticas de soma, diferença e/ou razão de duas ou mais bandas do espectro eletromagnético.
- Foram maximizadas as informações espectrais da vegetação, com o uso de um menor número de bandas, e foram minimizadas as variabilidades dos fatores externos, como geometria de aquisição dos dados, atmosfera e solo (Moreira, 2011).
- Operações algébricas envolvendo faixas de reflectância específicas que possibilitam a determinação da cobertura vegetal e sua densidade.

## OBJETIVO

- Extrair informações relacionadas à vegetação com base nos pixels da imagem digital e diminuir a quantidade de análise dos dados orbitais.
- Extrair informações quantitativas e visualizar as imagens de modo a facilitar sua interpretação.
- Compensar a influência da geometria na aquisição dos dados, como os efeitos de sombreamento, topografia e retroespalhamento, e minimizar as diferenças entre a irradiância da fonte e radiância detectadas pelo sensor.

## OBJETIVO

- Explorar as propriedades espectrais da vegetação.
- Índices relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal (Ponzoni et al., 2012)

Um índice de vegetação ideal deve ser sensível à vegetação, insensível ao fundo (solo), não ter interferências atmosféricas, permitir comparações espaciais e temporais e acoplar um parâmetro biofísico mensurável no campo, tanto quantitativamente como qualitativamente, para avaliar o vigor da cobertura vegetal e relacionar partes da curva de reflectância da vegetação (EPIPHANIO *et al.*, 1996; LIU, 2006; JENSEN, 2009).

## FATORES QUE INFLUENCIAM

- calibração dos sensores,
- influência dos efeitos atmosféricos,
- posicionamento das bandas espectrais,
- ângulo zenital solar,
- ângulo de visada do sensor,
- composição e arquitetura do dossel,
- contribuição da vegetação não fotossinteticamente ativa e
- substrato.

## HISTÓRICO

As primeiras publicações reportam o uso da diferença entre as reflectâncias registradas no infravermelho próximo e vermelho nos trabalhos de (Ponzoni et al., 2012):

- Jorda (1969);
- Pearson e Miller (1972);
- Colwell (1974);
- Tucker (1979).....

## HISTÓRICO

Os índices de vegetação foram criados para tentar diminuir o trabalho da análise de dados orbitais, por meio da maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores.

Esses índices podem ser obtidos tanto de dados coletados por satélite, quanto por equipamentos próximos ao alvo (Moreira, 2007).

Na literatura são encontrados mais de 500 índices de vegetação (<http://www.indexdatabase.de/db/i.php?offset=1>).

Os IVs são agrupados em dois tipos de classes: índices na forma de razão e índices caracterizados pela distância ortogonal (BANNARI *et al.*, 1995; MOREIRA, 2011).

**Tabela 1.** Índices de vegetação comumente utilizados no monitoramento de culturas.

Descrição	Índice	Referência
<b>Características Estruturais</b>		
SR ( <i>Simple Ratio</i> )	$SR = R_{NIR} / R_R$	Birth e McVey (1968)
NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> )	$NDVI = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)$	Rouse et al. (1974)
GRVI ( <i>Green-Red Vegetation Index</i> )	$GRVI = (R_G - R_R) / (R_G + R_R)$	Tucker (1979)
SAVI ( <i>Soil Adjusted Difference Vegetation Index</i> )	$SAVI = (1 + L)(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R + L)$	Huete (1988)
SARVI ( <i>Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index</i> )	$SARVI = \frac{(1 + L)[(R_{NIR} - (R_R - \gamma(R_B - R_R)))]}{[L + R_{NIR} + (R_R - \gamma(R_B - R_R))]}$	Kaufman e Tanre (1992)
MSAVI ( <i>Modified SAVI</i> )	$MSAVI = \frac{1}{2} \left[ 2R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2R_{NIR} + 1)^2 - 8(R_{NIR} - R_R)} \right]$	Qi et al., 1994
RDVI ( <i>Renormalized Difference Vegetation Index</i> )	$RDVI = \sqrt{(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)}$	Roujean e Breon (1995)
EVI ( <i>Enhanced Vegetation Index</i> )	$EVI = 2,5(R_{NIR} - R_R) / (1 + R_{NIR} + 6R_R - 7,5R_B)$	Huete et al. (1997)

OSAVI (*Optimized SAVI*)       $OSAVI = (1 + 0,16) \left( R_{NIR} - R_R \right) / \left( R_{NIR} + R_R + 0,16 \right)$       Rondeaux et al., 1996

MSR (*Modified SR*)       $MSR = \left[ \left( R_{NIR} / R_R \right) - 1 \right] / \sqrt{1 + \left( R_{NIR} / R_R \right)}$

### Propriedades Bioquímicas

SIPI (*Structural Insensitive Pigment Index*)       $SIPI = \left( R_{NIR} - R_B \right) / \left( R_{NIR} + R_R \right)$       Peñuelas et al., 1995

GARI (*Green Atmospherically Resistant Vegetation Index*)       $GARI = \frac{R_{NIR} - [R_G - \gamma(R_B - R_R)]}{[R_{NIR} + (R_G - \gamma(R_B - R_R))]}$       Gitelson et al., 1996

TVI (*Triangular Vegetation Index*)       $TVI = \frac{1}{2} \left[ 120 \left( R_{NIR} - R_G \right) - 200 \left( R_R - R_G \right) \right]$       Broge e Leblanc (2001)

GCI (*Green Chlorophyll Index*)       $GCI = [R_{NIR} / R_G] - 1$       Gitelson et al., 2003

MCARI1 (*First Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index*)       $MCARI1 = 1,2 \left[ 2,5 \left( R_{NIR} - R_G \right) - 1,3 \left( R_{NIR} - R_R \right) \right]$       Haboudane et al. (2004)

MCARI2 (*Second Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index*)       $MCARI2 = \frac{1,2 \left[ 2,5 \left( R_{NIR} - R_R \right) - 1,3 \left( R_{NIR} - R_G \right) \right]}{\sqrt{2(R_{NIR} + 1)^2 - 0,5 - 6(R_{NIR} - 5\sqrt{R_R})}}$       Haboudane et al. (2004)

# APLICAÇÕES DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

1. Realce de alvos
2. Estimativa de parâmetros agronômicos
3. Monitoramento da vegetação
4. Previsão de safras
5. Estimativa de biomassa
6. Produtividade
7. Outros.....

## ÍNDICES DE RAZÃO ENTRE BANDAS

Os índices de razão combinam duas bandas e são mais simples de usar do que os derivados de combinações complexas (BANNARI *et al.*, 1995).

Também denominados índices de vegetação por inclinação, visto que a relação entre as reflectâncias nas bandas espectrais é definida por retas com diferentes inclinações.

## ÍNDICES DE DISTÂNCIA ORTOGONAL

Os índices caracterizados pela distância ortogonal incluem índices espectrais de “n dimensões”, em que as isolinhas de verde permanecem paralelas à linha do solo (BANNARI *et al.*, 1995).

O objetivo destes índices da distância ortogonal é calcular a distância entre a linha do solo e a vegetação.

## RAZÃO SIMPLES (Jordan, 1969)

$$\text{Razão Simples} = \frac{\rho_{IV}}{\rho_V}$$

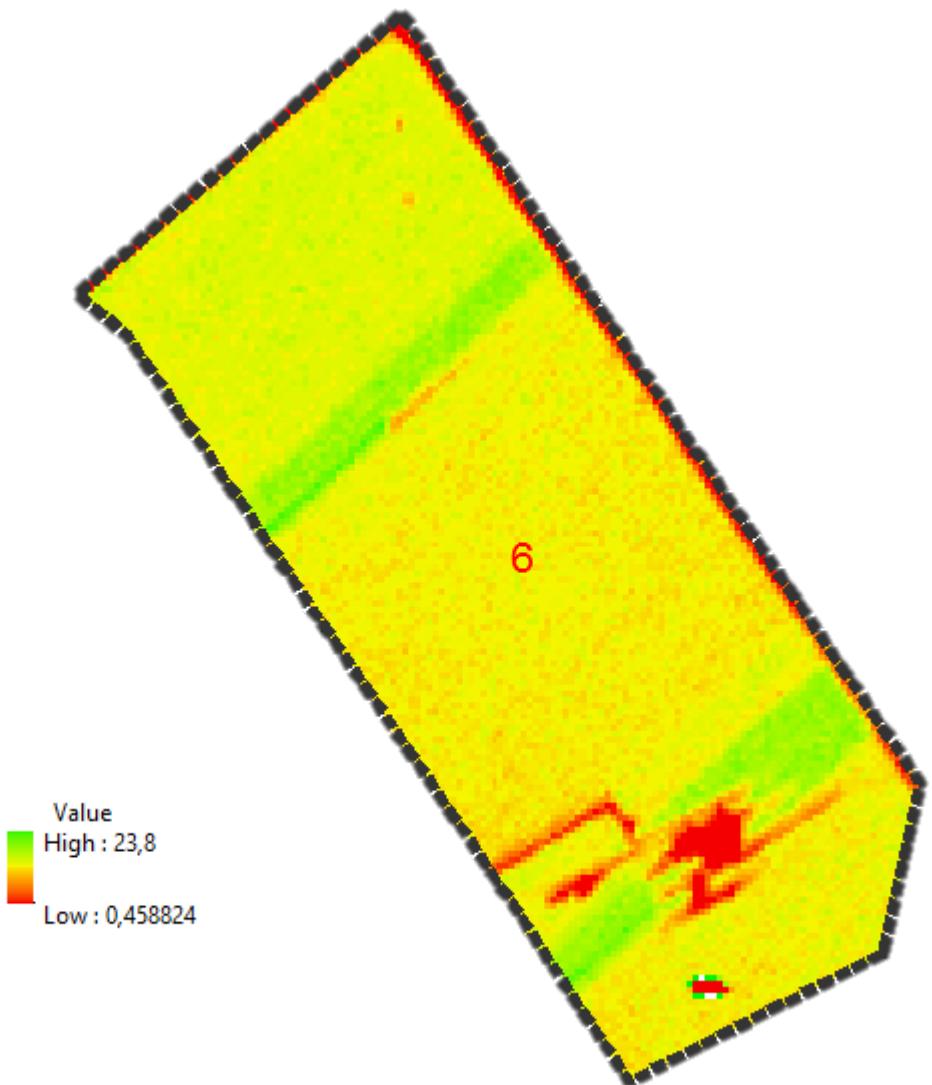
Sendo  $\rho_{IV}$  a reflectância no infravermelho e  $\rho_V$  a reflectância no vermelho.

Foi o primeiro índice de vegetação.

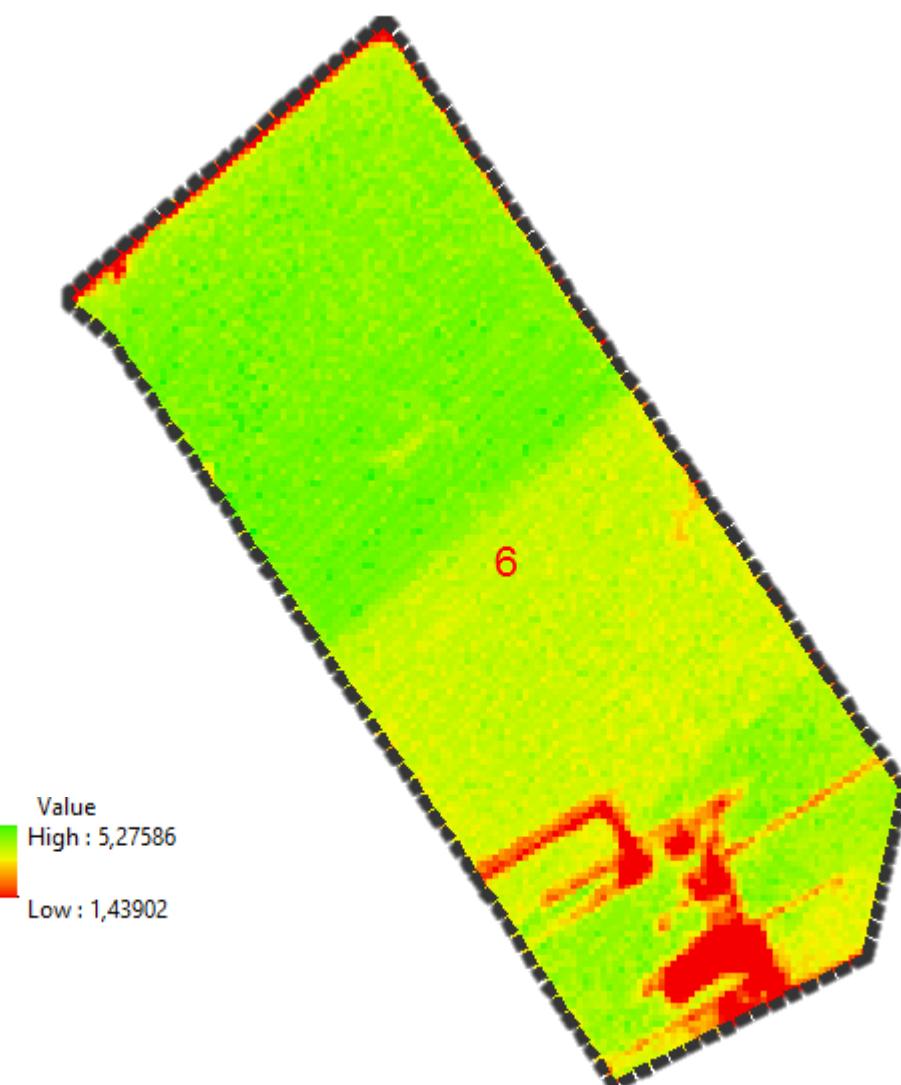
Quanto mais alto o valor de RS, maior é a presença de vegetação verde, uma vez que a presença da clorofila aumenta a absorção, diminui a reflexão na faixa do V e aumenta na faixa do IV.

É sensível a variações de biomassa, ao IAF para vegetação de grande biomassa, tais como floresta, sendo um bom indicador do crescimento da cultura.

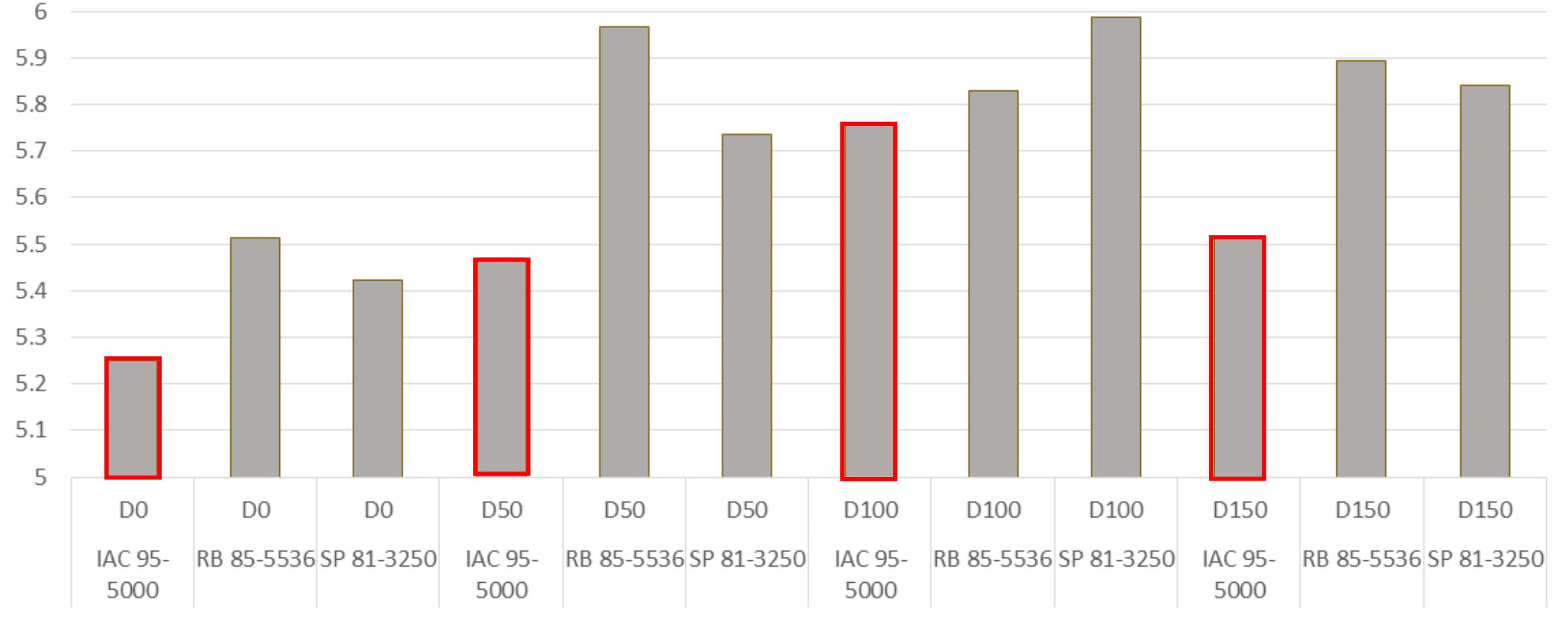
RAZÃO SIMPLES (NIR/RED) 2016



RAZÃO SIMPLES (NIR/RED) 2017



SR



Variação dos espectros de refletância em cana de açúcar, obtidas por espectrorradiometria de laboratório, Jaú –SP (NQo).

# ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V}}$$

Sendo: IVP a reflectância no infravermelho próximo e V a reflectância no vermelho.

- Essa equação gera um índice que varia de -1 a 1.
- Valores > 0 são vegetações e valores < 0 são outros objetos.
- Foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1973) para separar a vegetação verde do solo exposto.
- Os maiores valores de NDVI correspondem a vegetação com maior vigor e os menores valores de NDVI relacionam com vegetação menos densa ou estressada.

## NDVI

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

- É um indicador sensível a quantidade e condição da vegetação;
- Quanto mais próximo de 1 maior é a atividade vegetativa;
- Monitoramento de variações sazonais e interanuais da vegetação;
- No entanto, é muito sensível a variações do substrato sob o dossel;
- Saturação dos dados em relação a altos índices de área foliar.

## NDVI

Vantagens do NDVI são:

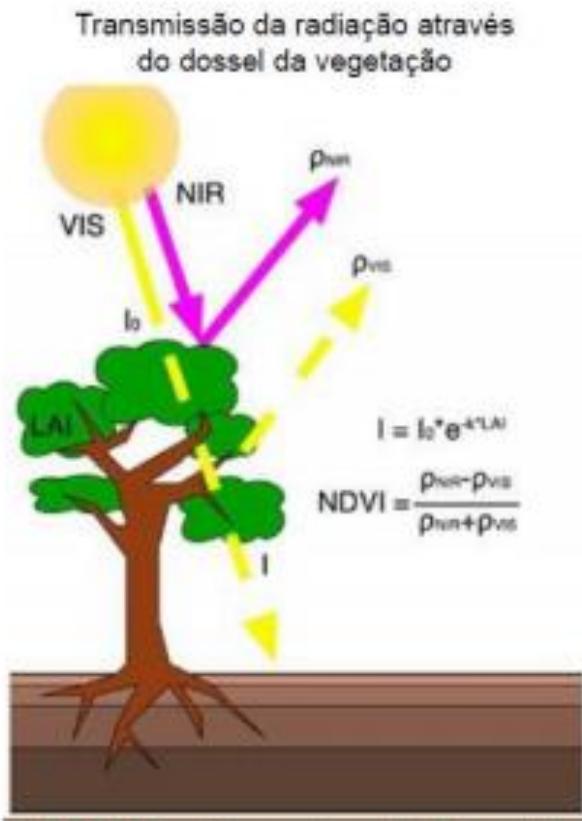
- eliminar parcialmente as interferências atmosféricas,
- auxilia no monitoramento de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento da vegetação
- redução de ruídos presentes em múltiplas bandas, como sombras de nuvens, variações topográficas e diferença de iluminação solar.

Desvantagens são:

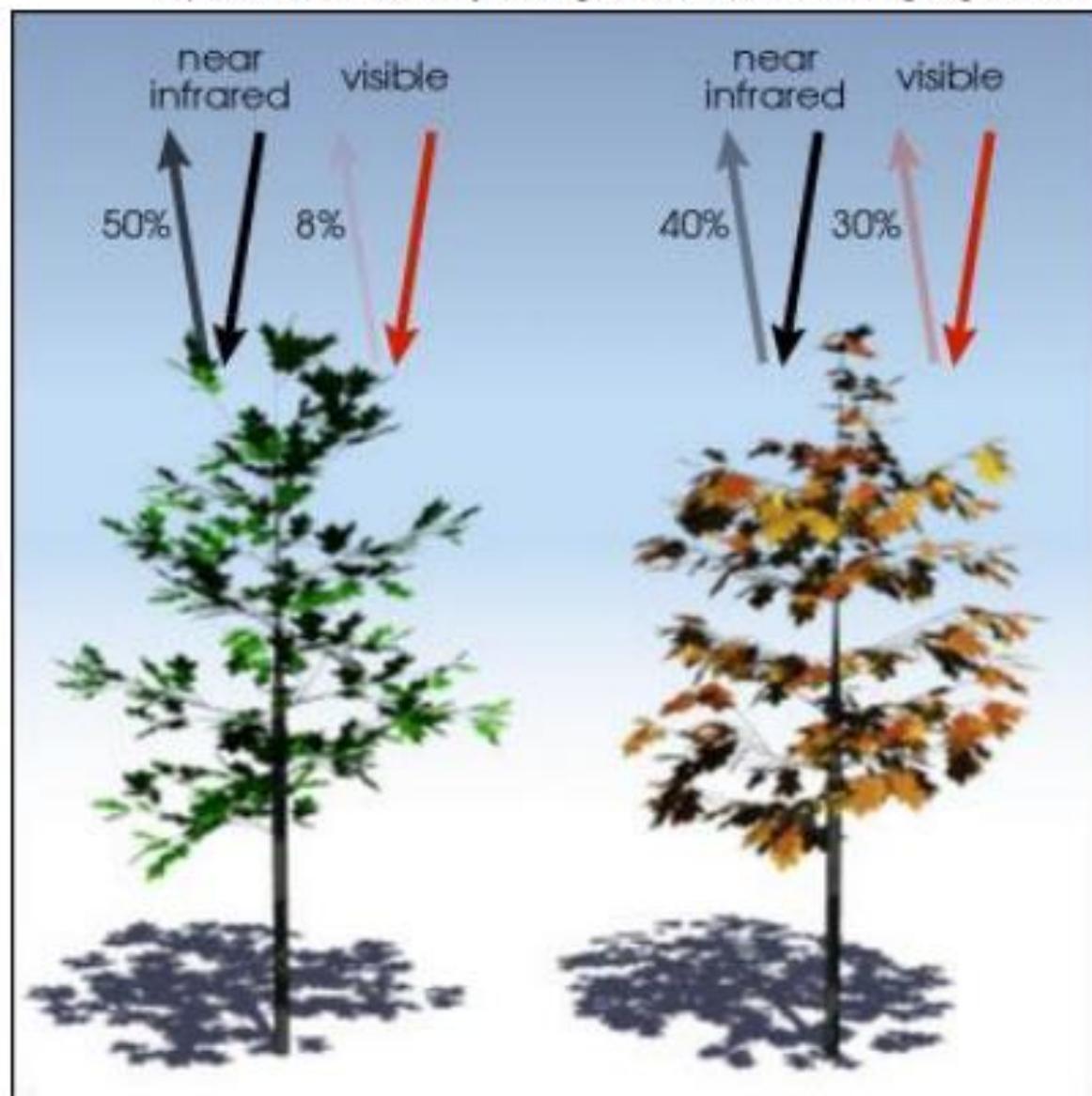
- influência da radiância da trajetória atmosférica,
- saturação durante o período máximo de índice de área foliar (IAF)
- sensibilidade a variações do substrato sob o dossel, como o solo.

# NDVI

Comportamento da vegetação saudável e senescente, com relação ao NDVI



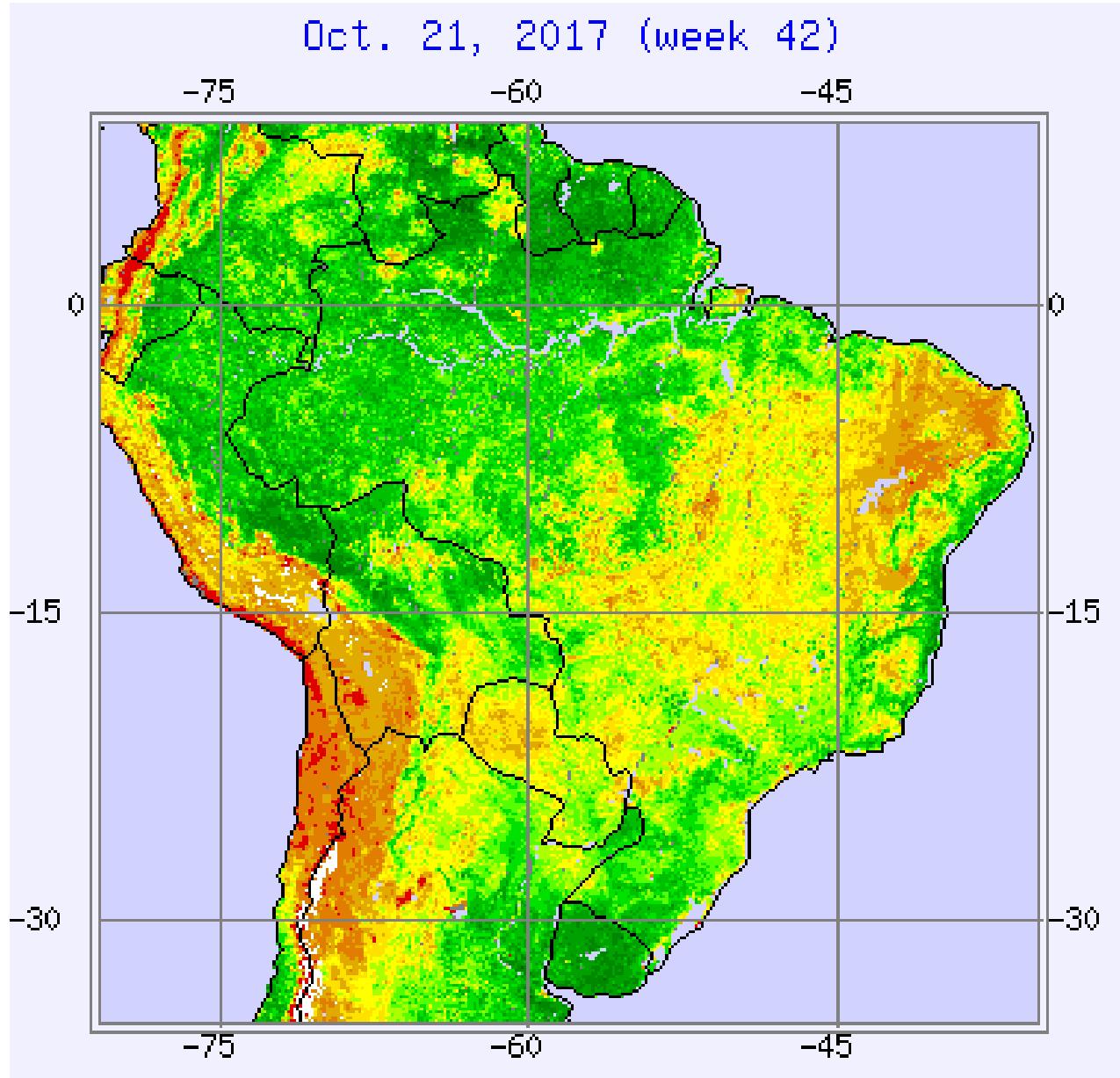
<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>



$$\frac{(0.50 - 0.08)}{(0.50 + 0.08)} = 0.72$$

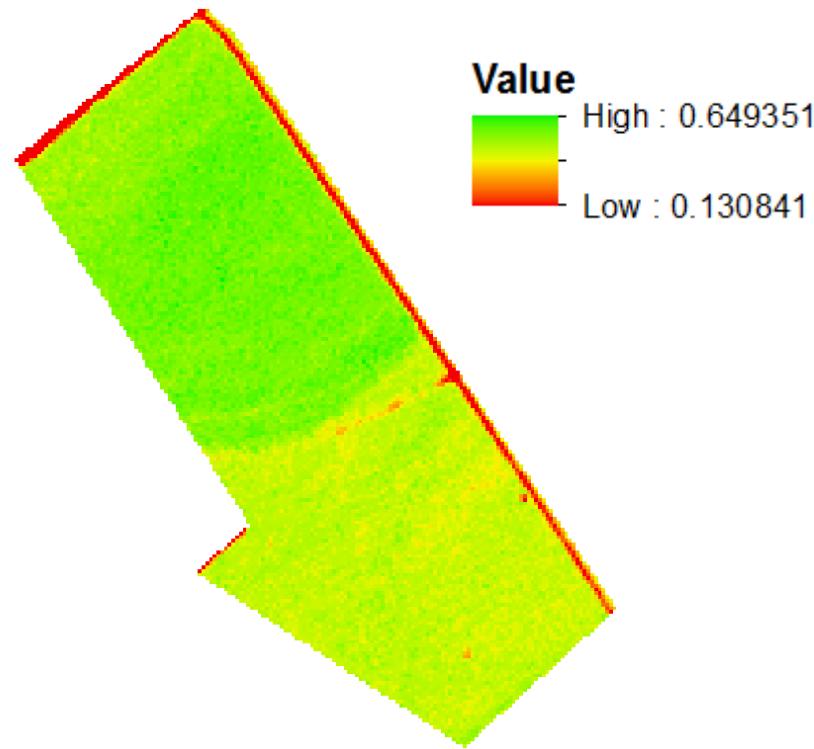
$$\frac{(0.4 - 0.30)}{(0.4 + 0.30)} = 0.14$$

# NDVI

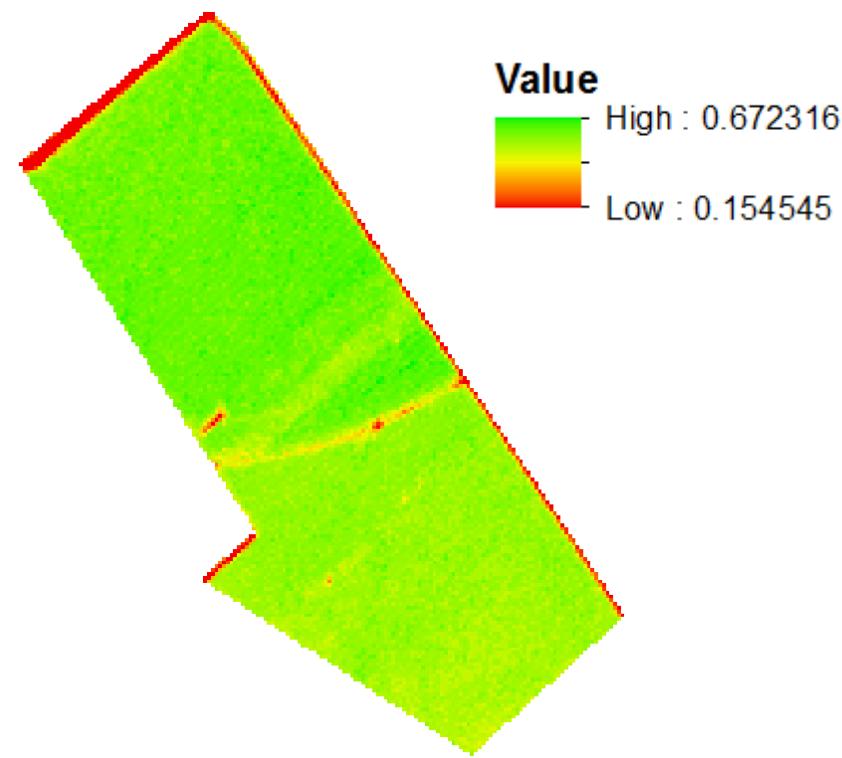


[https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_imageloop.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_imageloop.php)

- NDVI 2016

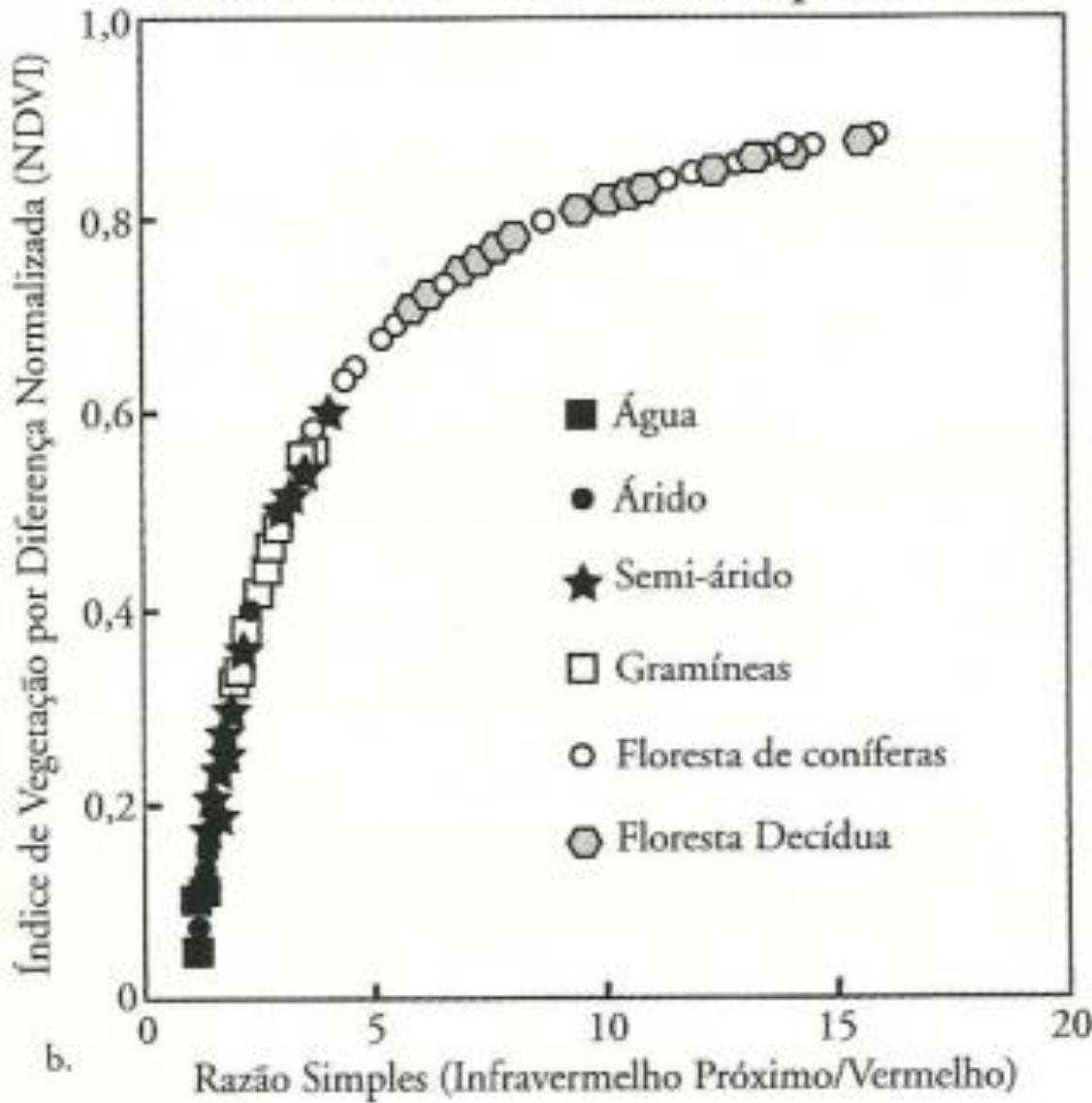


- NDVI 2017



ESTATÍSTICAS DESCRIPTIVAS	2016	2017
MÍNIMO	0,130841	0,154545
MÁXIMO	0,649351	0,672316
MÉDIA	0,60849	0,637793
DESVIO PADRÃO	0,03333	0,039319

### Relacionamento entre Razão Simples e NDVI



NDVI – sensível às variações de biomassa em condições de BAIXA biomassa  
(ALTA biomassa → SATURAÇÃO)

RS – sensível às variações de biomassa em condições de ALTA biomassa

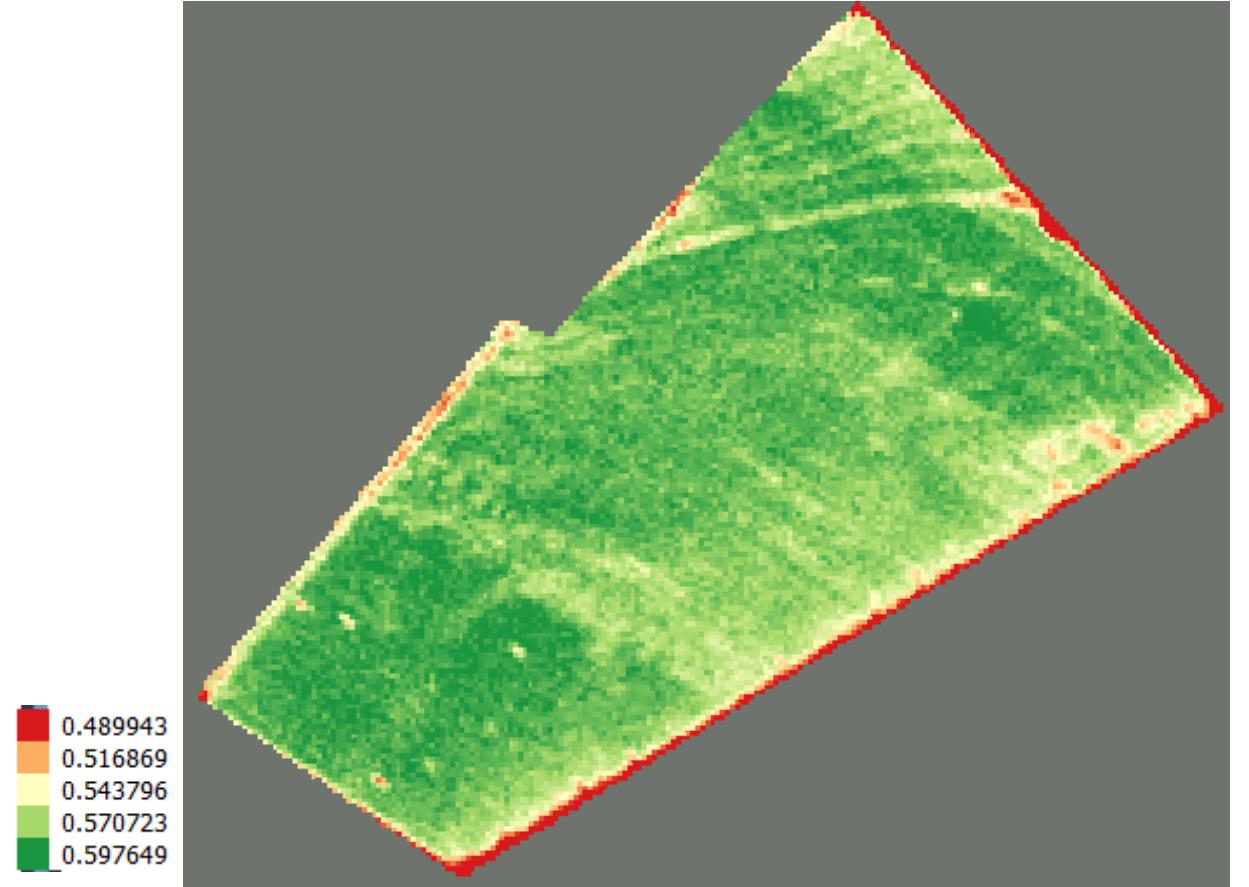
Fonte: Jensen, 2009

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA DE VERDE NORMALIZADA (GNDVI)

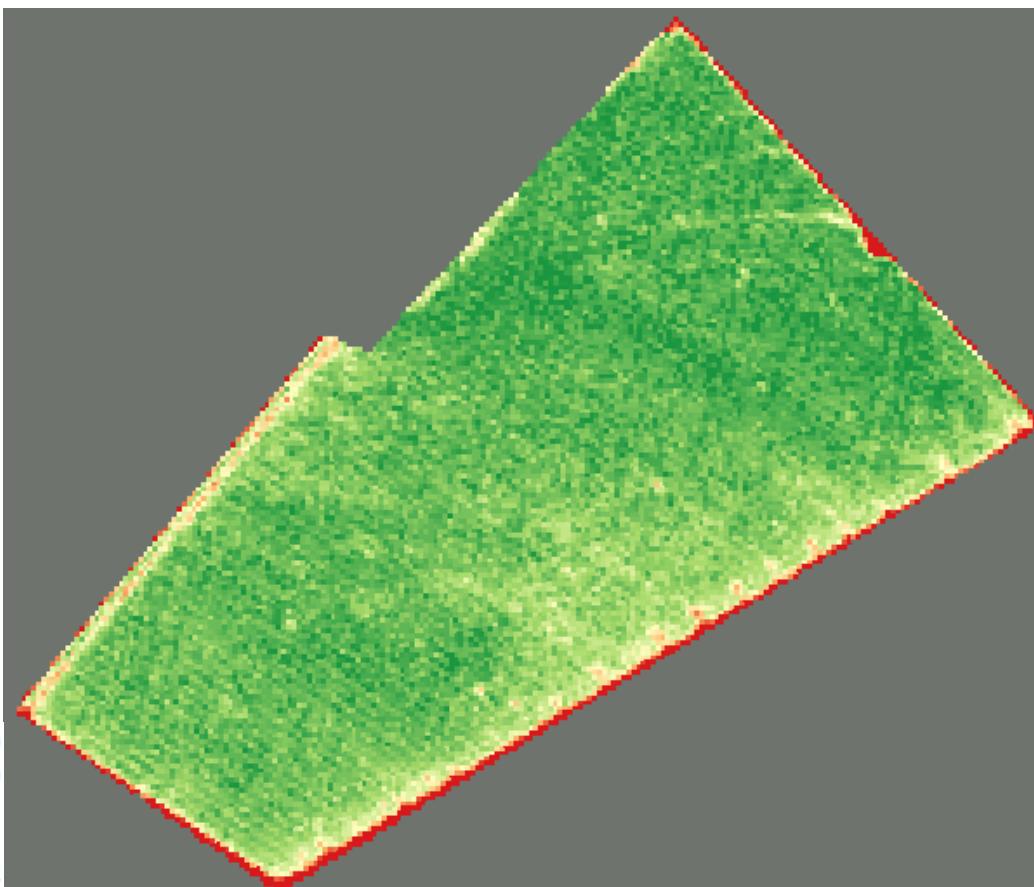
$$GNDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{green}}{\rho_{nir} + \rho_{green}}$$

- É uma versão modificada do NDVI, mais sensível à variação do teor de clorofila na cultura;
- Útil para avaliar a variação da biomassa.

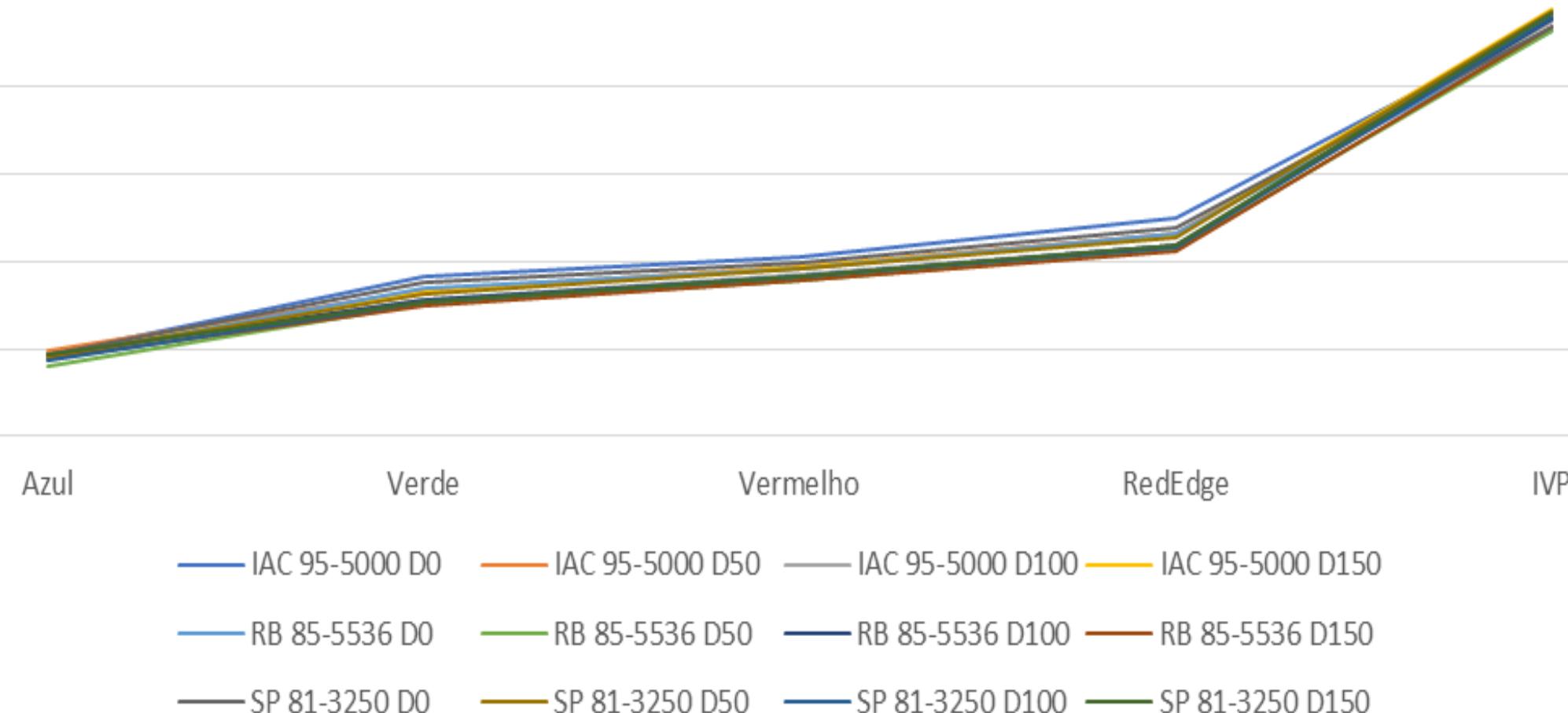
# GNDVI 2016



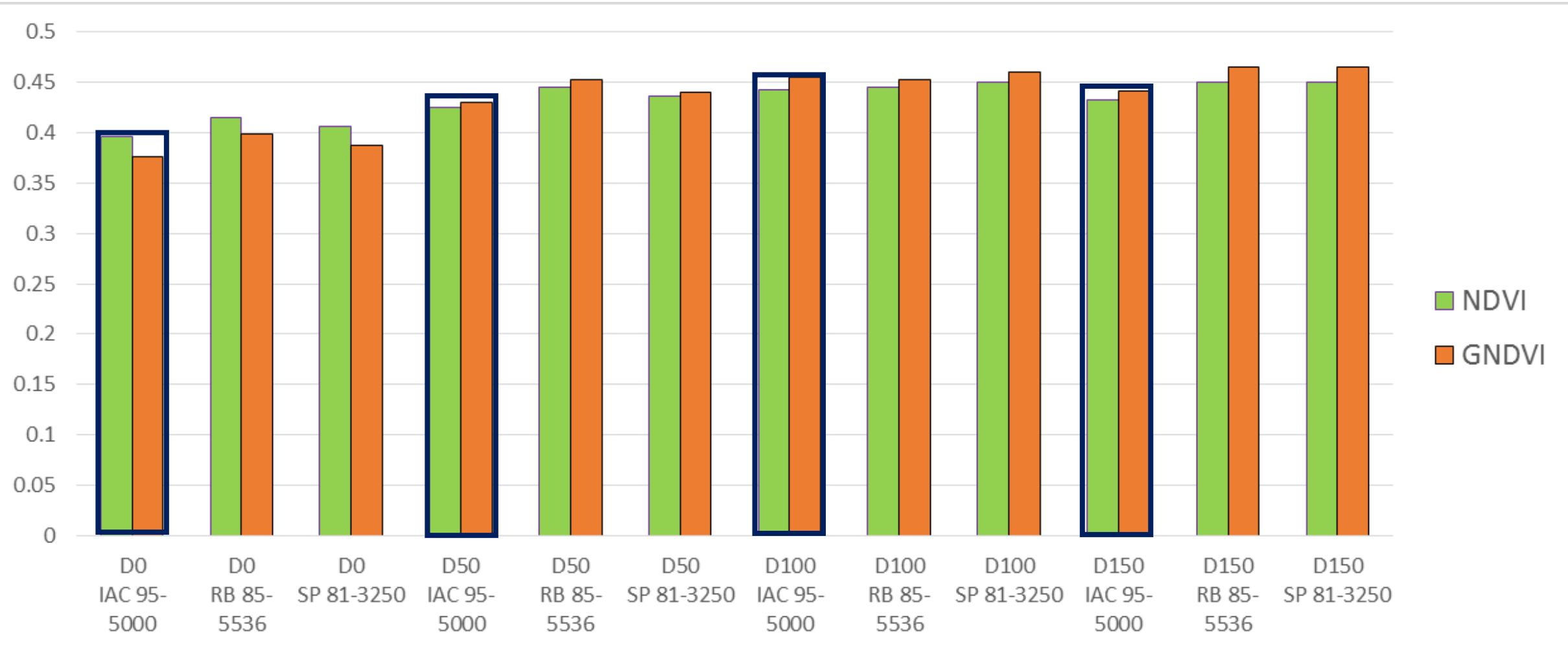
# GNDVI 2017



ESTATÍSTICAS DESCRIPTIVAS	2016	2017
MÍNIMO	0,155963	0,158671
MÁXIMO	0,608510	0,620967
MÉDIA	0,575539	0,598030
DESVIO PADRÃO	0,024088	0,016733



Variação dos espectros de refletância em cana de açúcar, obtidas por spectrorradiometria de laboratório, Jaú -SP.



Variação dos espectros de refletância em cana de açúcar, obtidas por espetrorradiometria de laboratório, Jaú -SP. (NQo) (Março)

## ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA (NDWI)

$$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM}$$

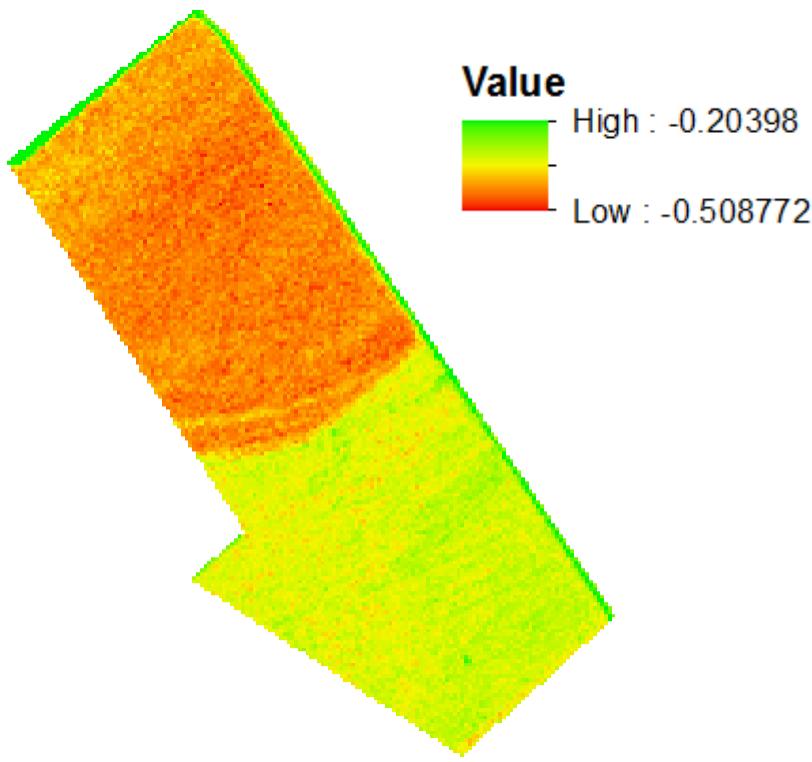
- Proposto por Gao (1996), o NDWI mede o teor de umidade na vegetação.
- O valor de NDWI varia de -1 para 1.
- Mede o estresse hídrico da vegetação.

# ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA (NDWI)

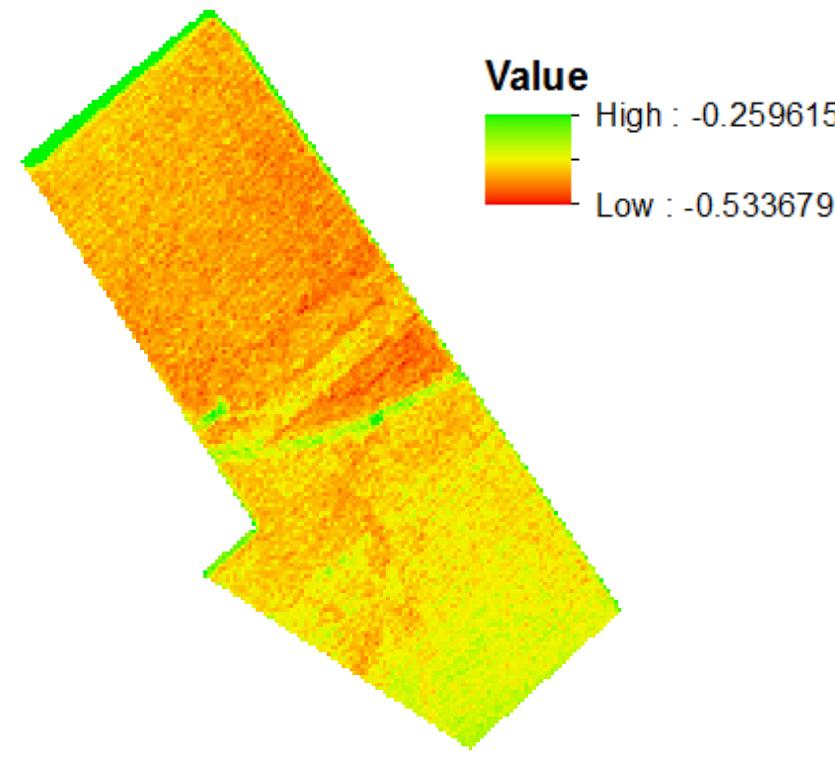
$$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM}$$

- McFeeters (1996) definiu zero como o limiar.
- Modelo numérico proporcional aos corpos d'água.
- Mede lâminas d'água.
- Se  $NDWI \geq 0$ : o tipo de cobertura apresenta mais água e se  $NDWI \leq 0$  menor teor de água (BRUBASCHER E GUASSELLI, 2013).

- NDWI 2016



- NDWI 2017



ESTATÍSTICAS DESCRIPTIVAS	2016	2017
MÍNIMO	-0,508772	-0,533679
MÁXIMO	-0,20398	-0,262032
MÉDIA	-0,464404	-0,497367
DESVIO PADRÃO	0,0231	0,020008

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)

Desenvolvido por Liu e Huete (1995) para aperfeiçoar a captação do sinal da vegetação, melhorar a sensibilidade de detecção em regiões com maiores densidades de biomassa e melhorar o monitoramento da vegetação com a redução do sinal do solo e das influências atmosféricas sobre a resposta do dossel.

$$EVI = \frac{IVP - V}{L + IVP + C1 * V - C2 * A}$$

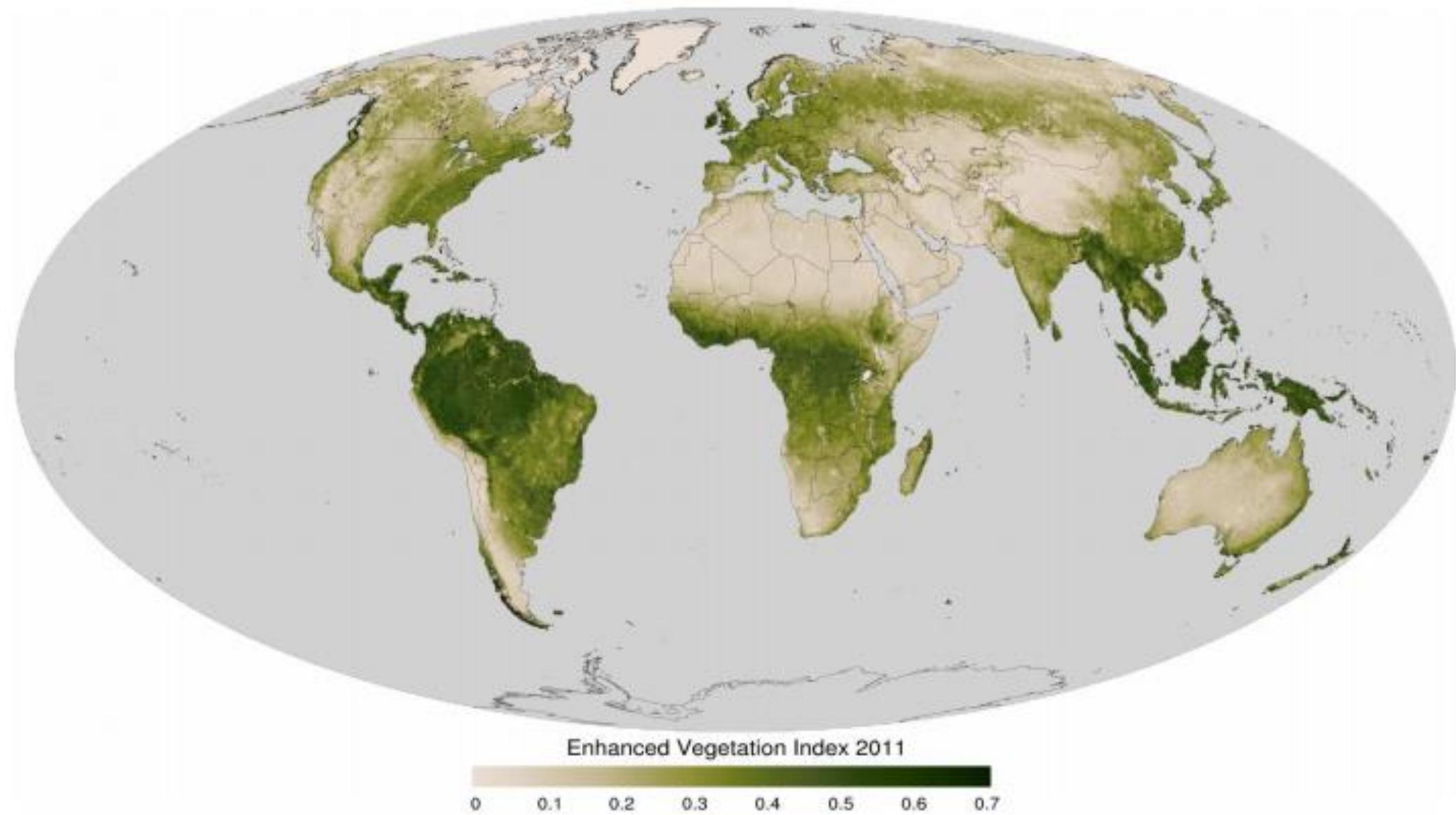
Em que : L = fator de ajuste para o solo;

C1 e C2 = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera;

IVP = infravermelho próximo; V = vermelho; A = azul.

Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5

# ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)



## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI2)

Foi proposto por Jiang *et al.* (2008), a fim de minimizar as distorções causadas pela atmosfera, como ruídos e a presença de aerossóis, e anular a banda azul, uma vez que quanto menor o comprimento de onda, maior a interferência da atmosfera

$$EVI = \frac{IVP - V}{IVP + 2,4 * V + 1}$$

Em que : IVP = infravermelho próximo; V = vermelho.

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA O SOLO (SAVI)

Surgiu como alternativa ao NDVI buscando minimizar o efeito do solo no seu valor final. Segundo Huete et al. (1988) o SAVI pode ser obtido a partir da consideração de uma constante L, que pode variar de 0 a 1, sendo utilizado o valor médio na maioria dos casos (0,5):

$$\text{SAVI} = \left[ \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V} + \text{L}} \right] * (1 + \text{L})$$

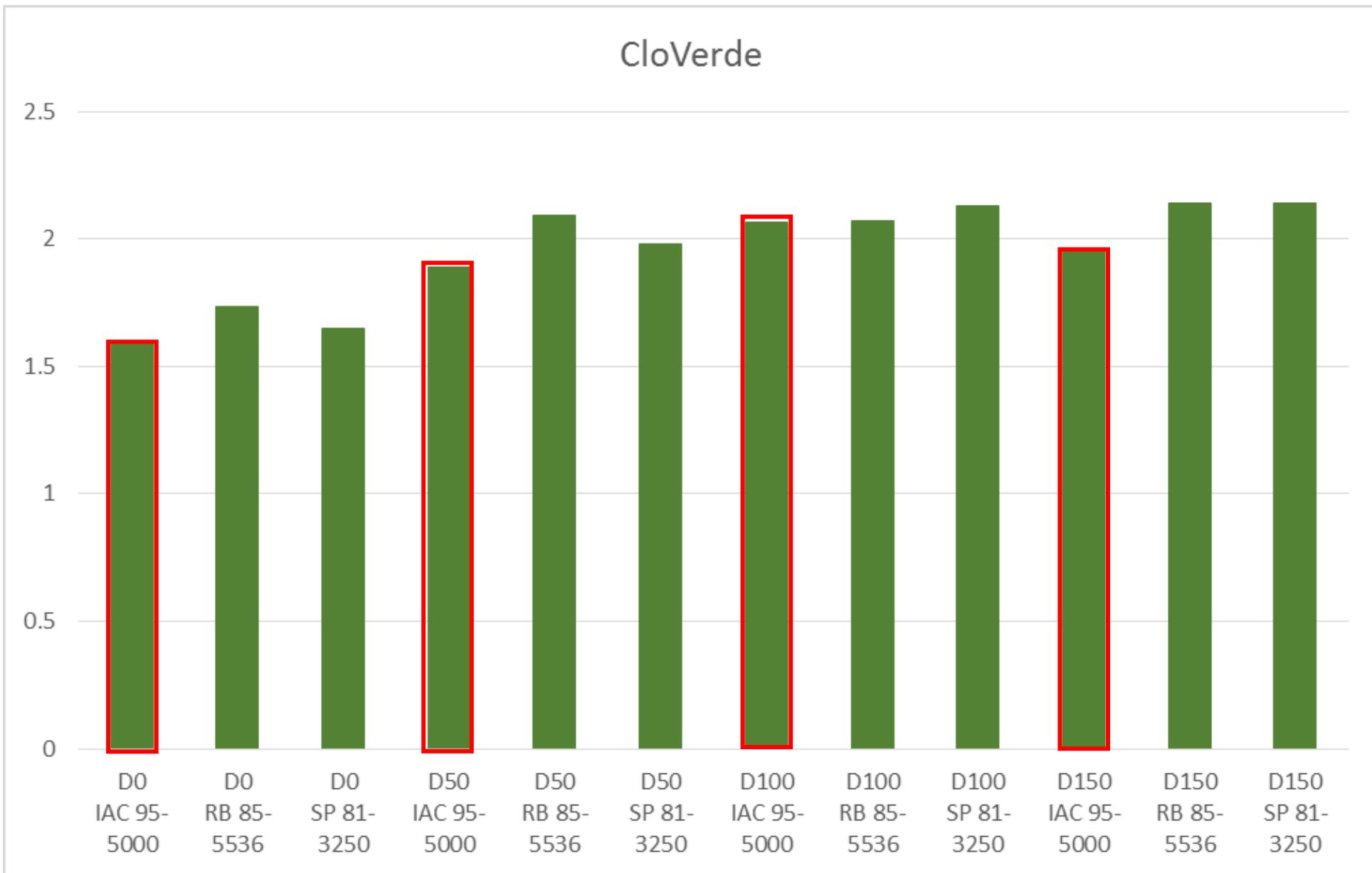
Em que : IVP = infravermelho próximo; V = vermelho; L=constante.

A constante L foi introduzida no sentido de diminuir a influência do brilho do solo e produzir isolinhas de vegetação mais independentes do solo. Quando menor a densidade da vegetação L estará mais próximo de 1.

## ÍNDICE DE CLOROFILA VERDE (Gitelson et al., 2005)

$$\frac{\rho_{nir}}{\rho_{green}} - 1$$

- Usado para estimar o teor de clorofila das culturas.



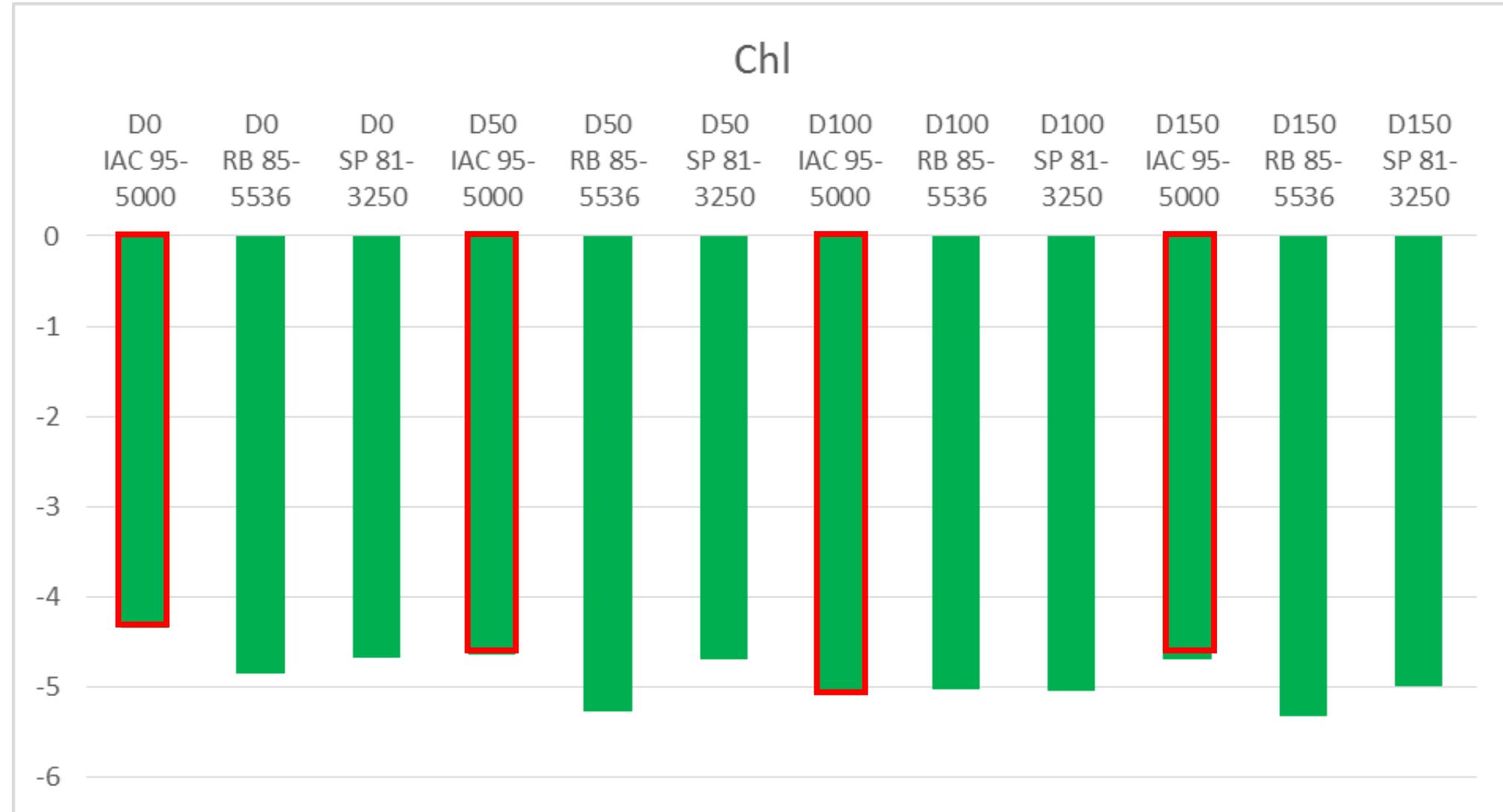
Variação dos espectros de refletância em cana de açúcar, obtidas por  
espectrorradiometria de laboratório, Jaú -SP. (RQo)

## ÍNDICE DE CLOROFILA (Chl)

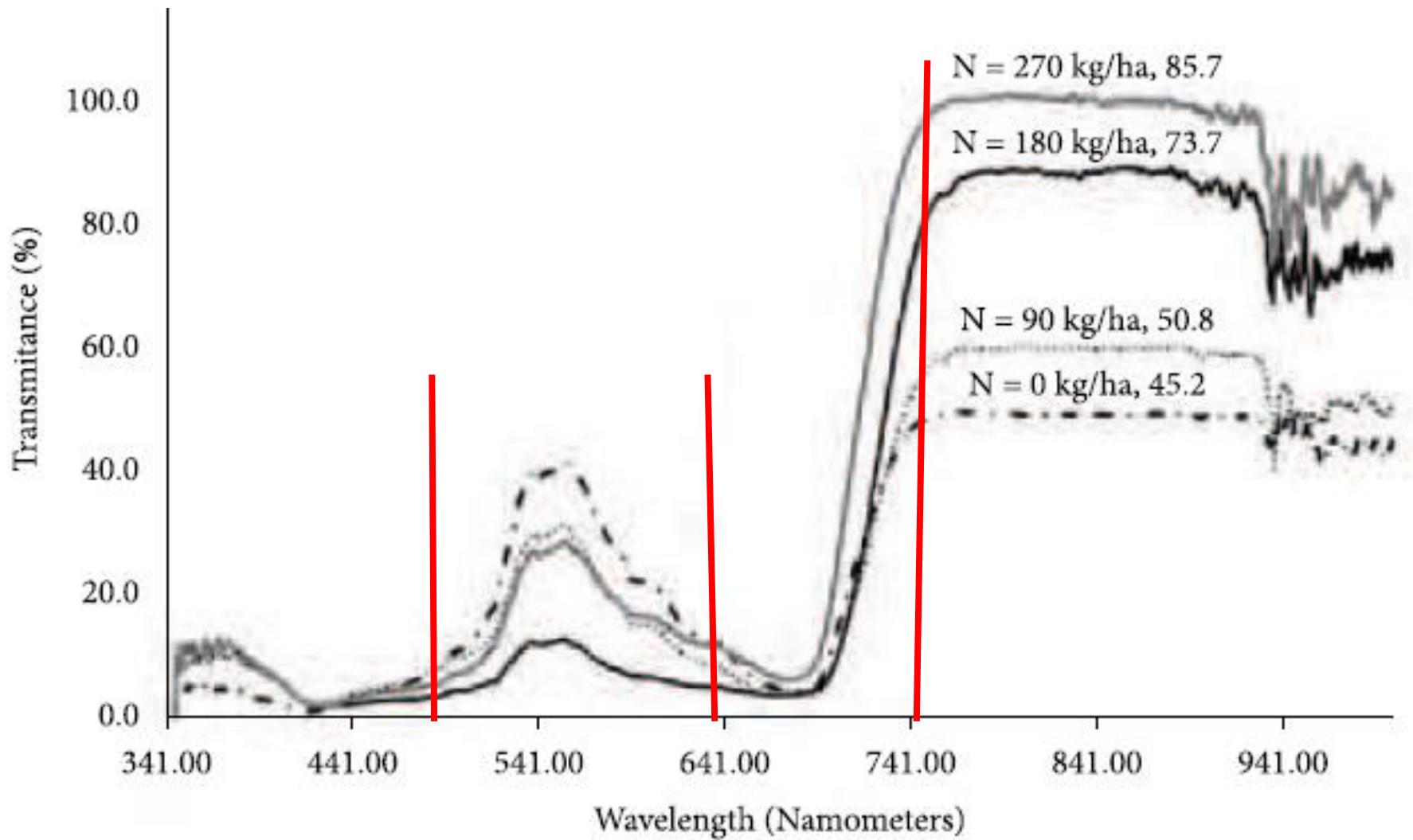
Relacionados a teores de clorofila (Gitelson et al., 2003).

$$Chl = 1 - [(NIR_{760}) * (Re_{720})^{-1}]$$

Esse índice foi criado com o foco único na medição indireta da clorofila, tendo as suas bandas sido escolhidas por melhor representarem esse parâmetro (GITELSON et al., 2005; VIÑA et al., 2011).

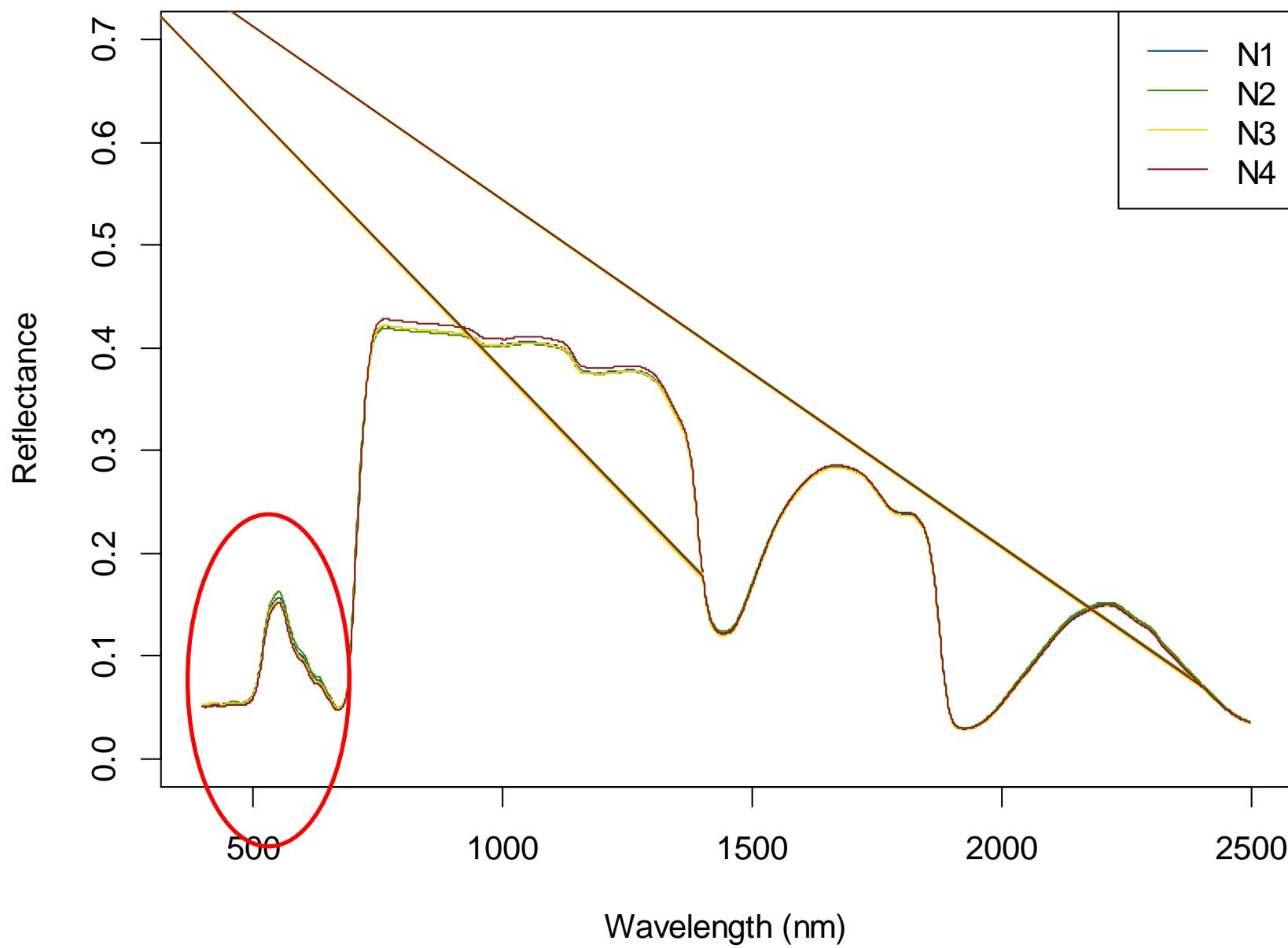


Variação dos espectros de refletância em cana de açúcar, obtidas por espetrorradiometria de laboratório, Jaú -SP. (NQo)



Variação dos espectros de refletância em plantas de algodão saudáveis, obtidas por espetrorradiometria de campo, durante um mesmo estádio fenológico em 2009, Apodi, RN. As plantas estavam totalmente supridas de água e com quatro doses de N (0, 90, 180 e 270 kg ha<sup>-1</sup>). A magnitude do aumento na refletância acima de 710 nm indica diferenças na biomassa, onde a menor biomassa registrada foi para N=0 kg ha<sup>-1</sup> e a maior biomassa para N = 270 kg ha<sup>-1</sup>. Fonte: Brandão 2009.

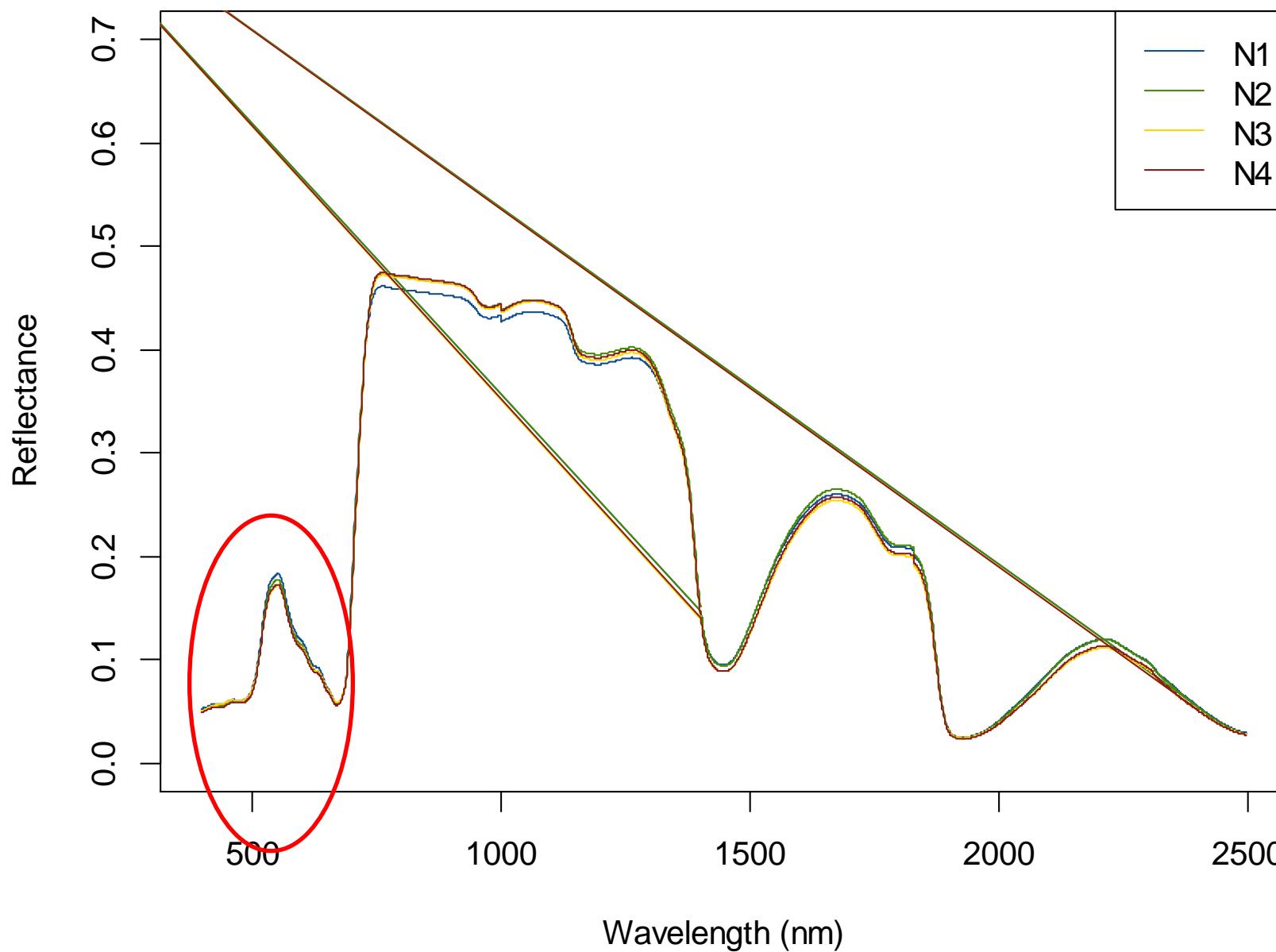
11/08/17



Variação dos espectros de refletância em plantas de capim mombaça, obtidas por espectrorradiometria de campo, Piracicaba -SP.

N1 = 250 kg/ha  
N2 = 500 kg/ha  
N3 = 750 kg/ha  
N4 = 1000 kg/ha

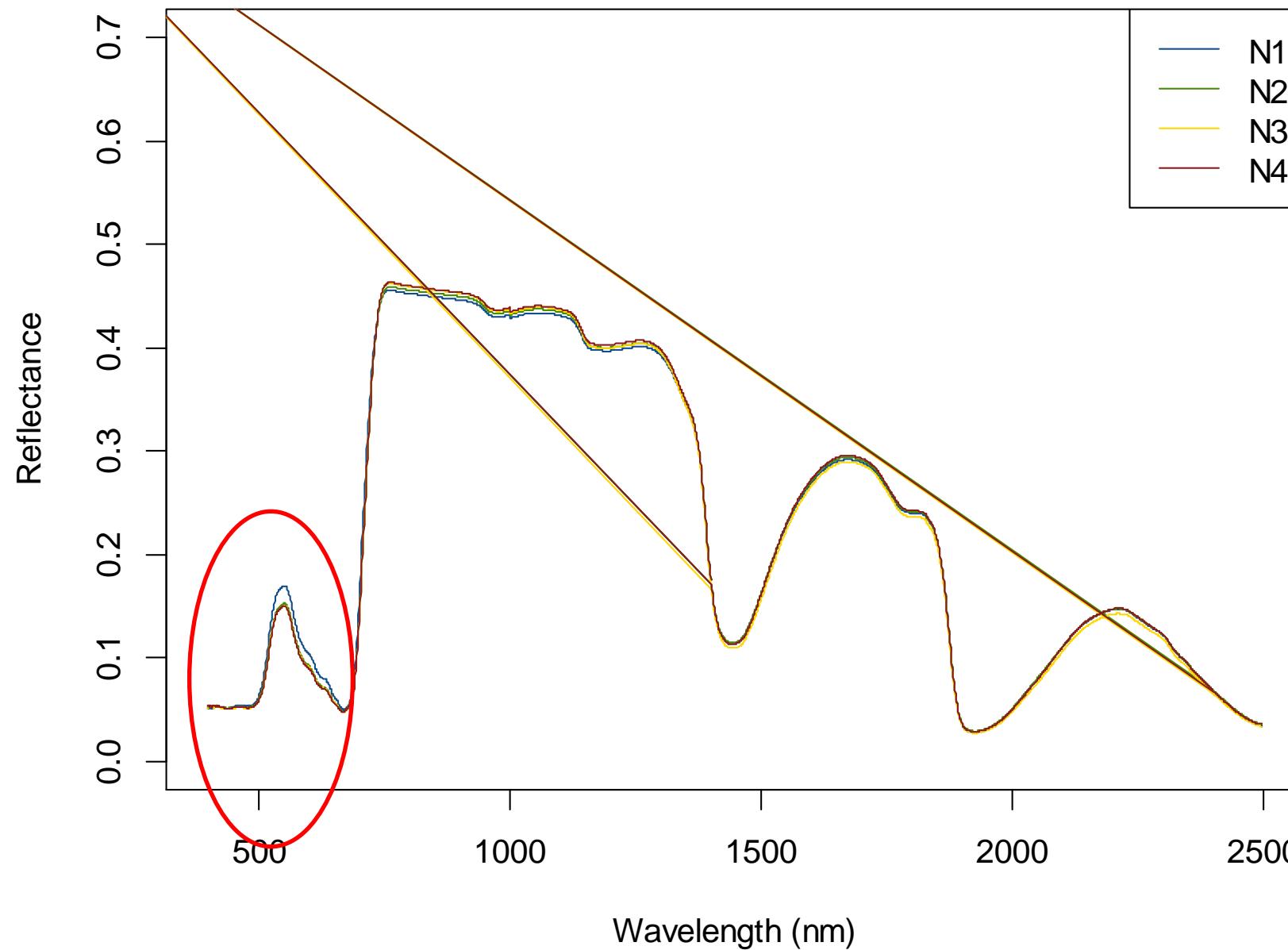
19/09/17



Variação dos espectros de refletância em plantas de capim mombaça, obtidas por espectrorradiometria de campo, Piracicaba -SP.

N1 = 250 kg/ha  
N2 = 500 kg/ha  
N3 = 750 kg/ha  
N4 = 1000 kg/ha

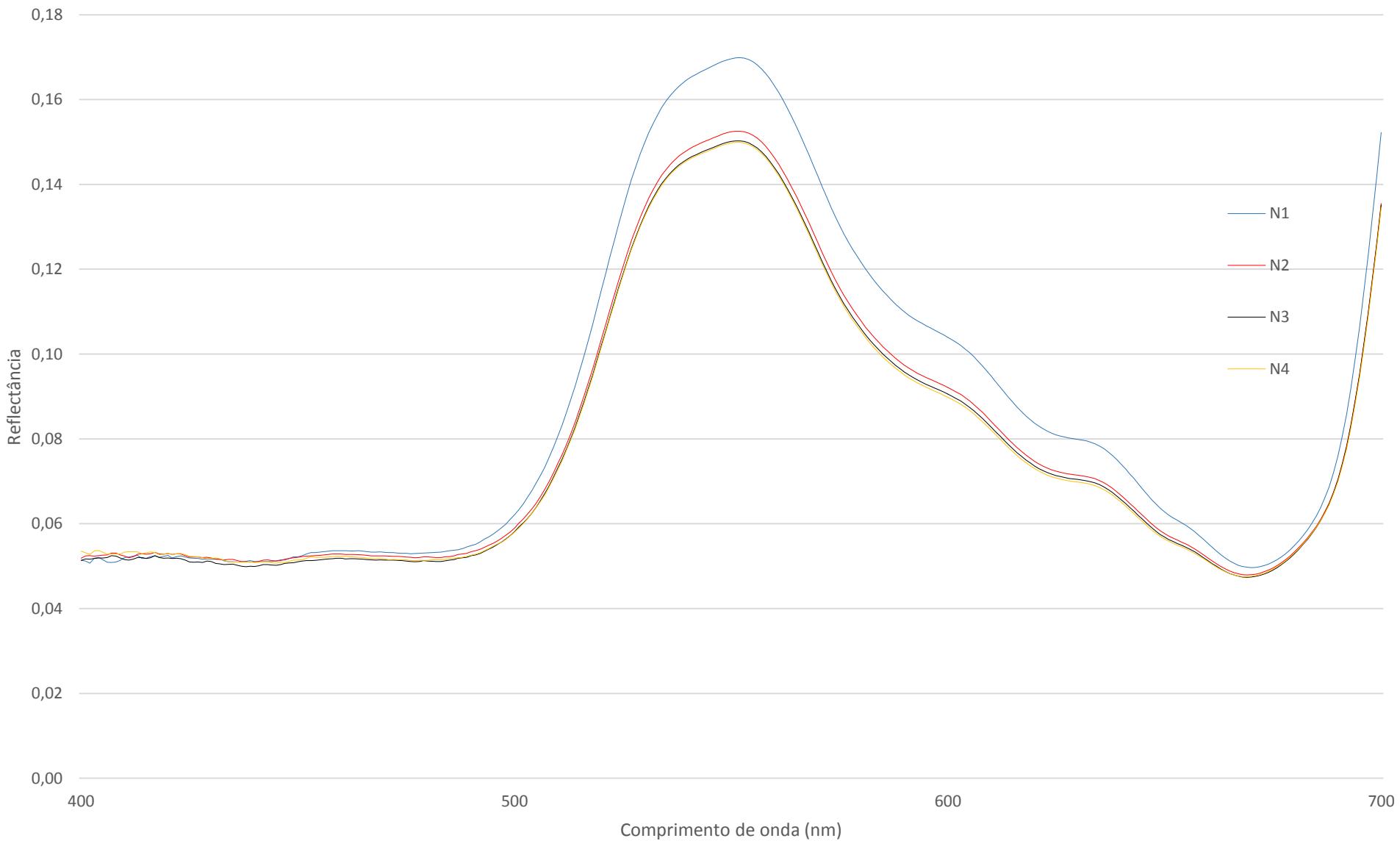
17/10/17



Variação dos espectros de refletância em plantas de capim mombaça, obtidas por espectrorradiometria de campo, Piracicaba -SP.

N1 = 250 kg/ha  
N2 = 500 kg/ha  
N3 = 750 kg/ha  
N4 = 1000 kg/ha

Variação dos espectros de refletância em plantas de capim mombaça, obtidas por espectrorradiometria de campo, Piracicaba –SP, 17/10/2017



N1 = 250 kg/ha  
N2 = 500 kg/ha  
N3 = 750 kg/ha  
N4 = 1000 kg/ha