

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – *CAMPUS* DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DE CULTIVARES DE TRIGO POR MEIO
DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI DE SENSORES
TERRESTRES**

MURILO RENAN GARCIA

CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL

JULHO – 2015

MURILO RENAN GARCIA

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DE CULTIVARES DE TRIGO POR MEIO
DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI DE SENSORES
TERRESTRES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Dr. Erivelto Mercante
Co-orientador: Dr. Jerry Adriani Johann

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

JULHO – 2015

MURILO RENAN GARCIA

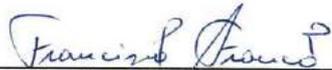
Caracterização espectro-temporal de cultivares de trigo por meio do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI de sensores terrestres

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação stricto sensu em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas biológicos e agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, estatística espacial e agricultura de precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



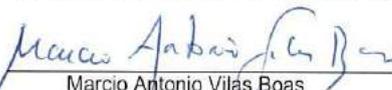
Orientador(a) - Erivelto Mercante

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Francisco de Assis Franco

COOPERATIVA CENTRAL DE PESQUISA AGRÍCOLA - COOCENTRAL (COOCENTRAL)



Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 21 de agosto de 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

G21c

Garcia, Murilo Renan

Caracterização espectro-temporal de cultivares de trigo por meio do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI de sensores terrestres. Murilo Renan Garcia. Cascavel, 2015.

87 p.

Orientador: Prof. Dr. Erivelto Mercante

Coorientador: Prof. Dr. Jerry Adriani Johann

Revisora: Ana Maria Martins Alves Vasconcelos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2015

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Sensoriamento remoto. 2. Monitoramento agrícola. 3. NDVI. I. Mercante, Erivelto. II. Johann, Jerry Adriani. III. Vasconcelos, Ana Maria Martins Alves. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.

CDD 21.ed. 621.3678

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9ª/965

BIOGRAFIA

Murilo Renan Garcia, nascido em 07/11/1989, natural de Cascavel – Paraná, concluiu o curso de graduação em Agronomia na Faculdade Assis Gurgacz – FAG, no ano de 2011. Durante a graduação foi estagiário do setor de trigo da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola - COODETEC. No ano de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, sob a orientação do Prof. Dr. Erivelto Mercante, estudando o tema: Caracterização espectro-temporal de cultivares de trigo por meio do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI de sensores terrestres.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DE CULTIVARES DE TRIGO POR MEIO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI DE SENSORES TERRESTRES

RESUMO: Atualmente, exigem-se agilidade e qualidade na aquisição de dados de produtividade para que possam servir de instrumento para tomadas de decisões empresariais e governamentais. A cultura do trigo assume importante papel socioeconômico entre as culturas de interesse econômico no Brasil, por constituir matéria-prima impulsionadora de diversos complexos agroindustriais. O propósito deste trabalho foi avaliar os padrões de desenvolvimento do trigo destinados à produção de grãos pela comparação de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Os perfis foram adquiridos a partir de 11 cultivares com diferentes ciclos fenológicos para que se interpretem os estádios mais suscetíveis às adversidades climáticas que possam interferir na produtividade da cultura. O experimento foi implantado em dois anos consecutivos (2013 e 2014) no Estado do Paraná. Neste contexto, foi coletado o NDVI de onze cultivares de trigo em diferentes estádios fenológicos com os equipamentos GreenSeeker e FieldSpec 4, os quais permitem a coleta da refletância nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo. Os períodos com maior NDVI, para todas as cultivares, ocorreram aos 63 dias em 2013, 56 e 67 dias em 2014. E revelaram que as cultivares de ciclo médio, com maior tempo para a formação de área foliar, podem atingir o NDVI máximo antes do período de espigamento. Os perfis temporais de NDVI mostraram que as variedades de trigo têm comportamentos diferentes no início e no final da cultura, os quais se devem principalmente ao ciclo fenológico de cada cultivar.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto, monitoramento agrícola, NDVI.

ABSTRACT

SPECTRAL-TEMPORAL PATTERN OF WHEAT CULTIVARS ACCORDING TO THE VEGETATION INDEX BY NORMALIZED DIFFERENCE – NDVI OF TERRESTRIAL SENSORS

ABSTRACT: Nowadays flexibility and quality in data acquisition of yield are required to be used as a decision-maker instrument for companies and governments. The wheat crop has a very important economic social role among all the interesting economic activities in Brazil, since it has been driving feedstock of different agribusiness enterprises. Thus, the purpose on this present research was to evaluate a wheat pattern development designed for grain production by comparison of the temporal index profile of vegetation based on the normalized difference (NDVI). The profiles were acquired from 11 wheat cultivars with different phenological period, so that the most susceptible stages could be identified regarding the adverse weather that can intervene in wheat crop yield. So, this trial was carried in two consecutive years (2013 and 2014) in Paraná state. Thereafter, according to this context, the NDVI of 11 wheat cultivars was collected in different phenological stages with GreenSeeker and FieldSpec 4 sensors that have allowed collecting the reflectance on red and the nearby infrared wave length. Periods with the highest NDVI for all cultivars occurred at 63 days in 2013, as well as at 56 and 67 days in 2014. So, it was observed that all cultivars with a middle cycle, with a longer period for leaf area formation, can reach the highest NDVI level before the earing period. The NDVI temporal profiles has shown that the wheat varieties have different behaviors in the beginning and end of the studied crop, which are mainly based in the phenological period of each cultivar.

KEYWORDS: Remote sensing, agricultural monitoring, NDVI.

SUMÁRIO

_Toc425252636

RESUMO.....	v
LISTA DE TABELAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 Trigo	11
3.1.1 A importância da cultura do Trigo	11
3.1.2 Informações de safra	12
3.1.3 Desenvolvimento da cultura do trigo e calendário agrícola	13
3.2 Influências climáticas na produção do trigo.....	17
3.3 Uso do sensoriamento remoto no monitoramento agrícola	19
3.3.1 Monitoramento da vegetação através de índices de vegetação.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Área de estudo	27
4.2 Caracterização das cultivares e delineamento experimental.....	27
4.3 Coleta de dados.....	29
4.4 Análise de dados	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Influências da temperatura no desenvolvimento das cultivares	34
5.2 Caracterização espectro-temporal do NDVI no período de desenvolvimento das cultivares.....	37
5.3 Comparação entre os sensores GreenSeeker e Field Spec 4	50
6 CONCLUSÕES.....	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
APÊNDICES.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios fenológicos da escala de Feeks (1940), modificada por Large (1954). ...	15
Tabela 2. Calendário agrícola do trigo no Brasil.....	16
Tabela 3. Características das cultivares.....	29
Tabela 4. Médias do período de espigamento e de maturação, das cultivares de trigo conduzidas em Cascavel nos anos 2013 e 2014.	36
Tabela 5a: Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2013.	38
Tabela 6a: Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2013.	39
Tabela 7a: Médias de NDVI coletadas com o equipamento FieldSpec 4 em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2014.	39
Tabela 8. Produtividades obtidas no experimento no ano de 2013 e 2014	46
Tabela 9. Comparação das leituras medidas com os sensores GreenSeeker e FieldSpec 4.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de trigo no Brasil.....	11
Figura 2. Estádios fenológicos da escala de Feeks (1940), modificada por Large (1954)	13
Figura 3. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Paraná	17
Figura 4. Comportamento espectral da folha verde.....	22
Figura 5. Mapa de localização da área experimental da Coodetec.	27
Figura 6. Disposição das parcelas em campo. Escala em metros.....	28
Figura 7. Medidor de índice de vegetação GreenSeeker.	30
Figura 8. Faixa de leitura do GreenSeeker	31
Figura 9. Sensor ótico multiespectral FieldSpec 4.....	31
Figura 10. Coleta de dados com o FieldSpec 4.....	32
Figura 11. Temperaturas Mínima (Min) e Máxima (Max) em °C (Eixo Y) e dias após a germinação (Eixo X)	34
Figura 12. Temperaturas Mínima (Min) e Máxima (Max) em °C (Eixo Y) e dias após a germinação (Eixo X)	35
Figura 13. Cultivares CD 150 (a) e CD 1440 (b), com 18 DAS.....	40
Figura 14. Cultivares BRS Guamirim (a), CD 154 (b), CD 104 (c) e Mirante (d) com 36 DAS.	41
Figura 15. Cultivares BRS Guamirim (a) e CD 108 (b) com 34 DAS.	42
Figura 16. Cultivares CD 1550 (a) e CD 150 (b) com 34 DAS.....	43
Figura 17. Cultivares CD 150 (a) e CD 108 (b) com 80 DAS.....	45
Figura 18. Cultivares CD 150 (a) e BRSPardela (b) com 71 DAS no ano de 2014.....	47
Figura 19. BRS Pardela (a) e BRS Guamirim (b) com 119 DAS no ano de 2014.....	49

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a terceira cultura mais plantada no mundo, superado apenas pelo milho e arroz; é o segundo maior cultivo responsável pela alimentação humana e a primeira cultura domesticada pelo homem, utilizada em larga escala (FAO, 2013).

As primeiras previsões de área brasileira de trigo em 2015 são de 2.612 mil hectares, com redução de cerca de 5% em relação à safra de 2014 (CONAB, 2015). A produção do País nas últimas seis safras tem sido, em média, de 5,4 milhões de toneladas enquanto o consumo nacional chega a 10,3 milhões de toneladas. A produção no ano de 2013 atingiu cerca de seis milhões de toneladas, representando um incremento de 32,4% em relação à safra de 2012, fruto do aumento de 16,3% da área plantada e 13,8% da produtividade.

Em 2014, a safra brasileira de trigo ocupou uma área em torno de 2.725 mil hectares, com aumento de 23,3% em relação a 2013. Esse dado corresponde ao incremento de uma área de 515,4 mil hectares, em razão da demanda excedente de importação. Ainda no ano de 2014, com a queda na produção gaúcha, o País produziu 5,95 milhões de toneladas, segundo estimativas apresentadas pela CONAB. Tal demanda se aproxima de treze milhões de toneladas, ou seja, foi necessário importar cerca de sete milhões de toneladas para suprir a demanda do País (CONAB, 2014).

A agricultura é altamente influenciada pelo clima, por isso é considerada uma atividade de risco, o que gera a necessidade do monitoramento das culturas para a criação de políticas que incentivem os agricultores a optar no cultivo de trigo. Para isso, são necessárias políticas que garantam um preço mínimo de sua produção, em caso de boa safra. Porém, caso o cenário seja oposto, é importante que o seguro agrícola tenha valores que cubram os custos mínimos da implantação da cultura para compensar a perda de rendimento por conta de possíveis adversidades climáticas.

Atualmente, buscam-se ferramentas que auxiliem o monitoramento de safras, por conseguinte, o sensoriamento remoto tem se destacado principalmente pela agilidade na aquisição de dados. O monitoramento das culturas, ao longo da safra, permite a realização de avaliações qualitativas e quantitativas das culturas agrícolas, em períodos anteriores à colheita. Tal sensoriamento é realizado a partir dos índices de vegetação pelas combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas.

Segundo o estudo da vegetação e sua interação com o ambiente por sensoriamento remoto, é imprescindível que se conheçam tanto a fisiologia como a assinatura espectral da planta estudada, pois o produto obtido dessa interação é fruto de um processo complexo, que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais (PULLANAGARI, 2012).

Dessa forma, o estudo do padrão espectro-temporal das plantas, por meio da espectrorradiometria de campo, pode contribuir para o entendimento das variações dos

estádios de desenvolvimento. Assim, é possível que se defina de modo preciso as épocas ideais dos tratos culturais, para facilitar o entendimento das fases do desenvolvimento das plantas entre técnicos e produtores de trigo (EMBRAPA TRIGO, 2012).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar o padrão espectro-temporal do índice de vegetação NDVI de cultivares de trigo ao longo do ciclo vegetativo da cultura, obtidos por meio de sensores terrestres ativo e passivo.

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar o padrão espectro-temporal da cultura do trigo, traduzido pelo NDVI coletado por sensores terrestres denominados GreenSeeker (sensor ativo) e FieldSpec 4 (sensor passivo).

Relacionar o padrão espectro-temporal da cultura do trigo com as fases fenológicas ao longo do seu ciclo vegetativo.

Avaliar a existência de diferenças no padrão espectro-temporal para onze (11) cultivares de trigo ao longo dos seus ciclos vegetativos.

Avaliar o desempenho dos sensores terrestres ativo GreenSeeker e passivo FieldSpec 4 na caracterização espectro-temporal de cultivares de trigo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trigo

3.1.1 A importância da cultura do Trigo

O trigo é uma gramínea do gênero *Triticum* e está entre as plantas mais cultivadas. Existem cerca de 30 tipos de trigo geneticamente diferenciados, dos quais metade é cultivada e o restante cresce de forma silvestre. É o terceiro cereal mais produzido, com significativo peso na economia agrícola global. No Brasil, o trigo é cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (Figura 1) (MAPA, 2012).

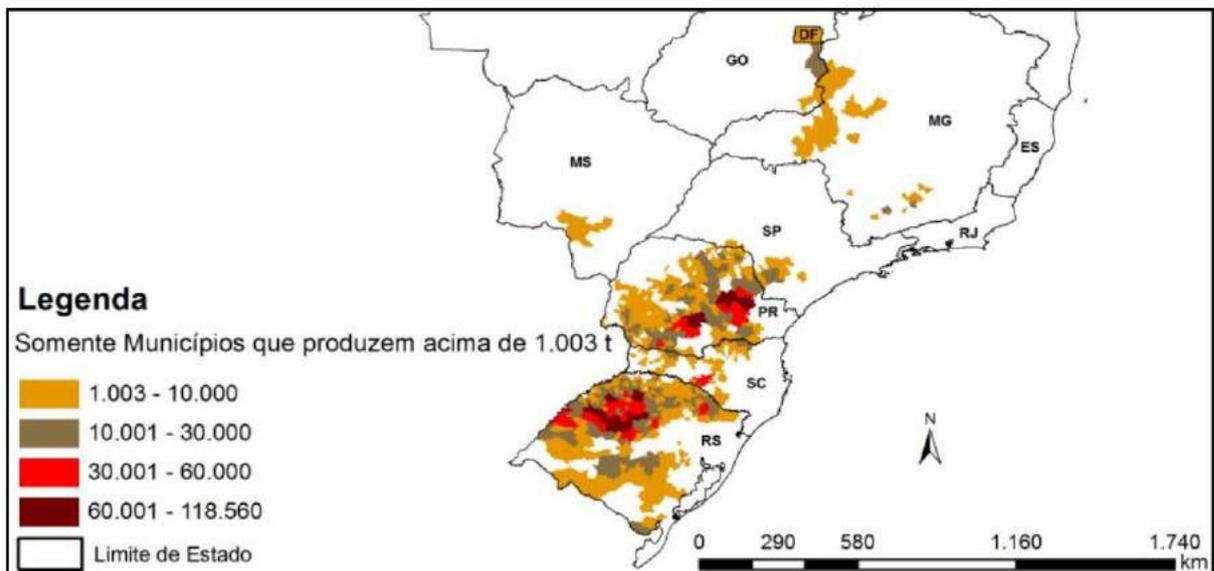


Figura 1. Produção de trigo no Brasil
Fonte: CONAB 2015

A produção nacional de trigo em 2013 foi 22,4% superior à safra de 2012, com mais de 5,3 milhões de toneladas e o mesmo cenário vem se repetindo nas últimas safras. O aumento do valor do grão pode ter chamado a atenção dos produtores para incremento da área com a cultura. Ressalta-se ainda que a cultura do trigo possa ter ampliação significativa das áreas, a serem cultivadas, especialmente caso haja incentivo político que propicie aumento na rentabilidade para o agricultor. Assim, a expansão de área cultivada com trigo, nos principais estados produtores, está associada à alta de preços a produtores capitalizados que, na maioria dos casos, estão comemorando os bons resultados da safra (CEPEA/ESALQ/USP, 2014).

Visando ao crescimento da produtividade bem como o conteúdo de farinha no grão, os teores de nutrientes, à resistência a doenças, à adaptação ao clima e ao solo, dentre outros aspectos relacionados às cultivares de trigo, pesquisadores e plantadores testaram

milhares de cruzamentos e obtiveram cerca de 30 mil variedades de trigo (ABITRIGO, 2014).

O trigo e as demais culturas de inverno contam com uma política agrícola que busca assegurar condições favoráveis de financiamento à produção e à comercialização além da sustentação de preços, ao mesmo tempo em que procuram minimizar os efeitos das condições adversas do clima. Nesse sentido, as principais ações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para assegurar o aumento da produção são o reajuste dos preços mínimos em níveis que sustentem a formação da renda do produtor, a ampliação do limite de financiamento de custeio das lavouras e a realização de estudos de zoneamento de risco climático para os principais estados produtores (CONAB, 2014).

3.1.2 Informações de safra

A CONAB é o órgão responsável pela divulgação das estimativas de produtividades no País e busca constantemente melhorar a qualidade das informações da safra agrícola, a qual utiliza métodos estatísticos baseados em séries temporais para estimar a produtividade das culturas de inverno. Esse procedimento é adotado até o momento em que as informações de produtividade são apuradas nos trabalhos de campo.

O volume anual de importação de trigo do Brasil é estimado em 6,5 milhões de toneladas CONAB (2013). O crescimento da área plantada na safra 2013 foi responsável pela elevação da safra nacional e alcançou 5.471 mil toneladas. O MAPA estima crescimento de 1,31% ao ano, na produção de trigo, até 2020. Isso aliado ao esforço pela busca da autossuficiência desse cereal no País resultará em redução das importações (MAPA, 2012).

Em 2013, a área de trigo no Brasil apresentou incremento de 16,3% em relação à safra 2012. A recuperação de parcela da área que deixou de ser cultivada nos últimos anos tem relação com a melhoria dos preços praticados em função da menor produção mundial e brasileira, que repercutiu favoravelmente junto aos produtores e induziu ao aumento na área (CONAB, 2013).

Segundo dados apresentados pelos órgãos responsáveis, a área plantada de trigo no estado do Paraná em 2013 também foi representativamente maior, sendo de 977 mil hectares. No entanto, devido à ocorrência da geada na safra de 2013, ocorreu uma redução de 32,9% na produtividade média do trigo por hectare. Isto se deve ao fato da geada ter ocorrido em um estágio de florescimento e enchimento de grãos, ponto em que adversidades climáticas como a geada causam drásticas reduções na produção do trigo. No Paraná, a produtividade média foi de 2.142 kg.ha⁻¹, consideravelmente menor do que o ano

2012, em função das geadas e do excesso de chuvas em junho, que promoveu o aparecimento de doenças fúngicas (CONAB, IBGE 2013).

3.1.3 Desenvolvimento da cultura do trigo e calendário agrícola

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma planta de ciclo anual, cultivada durante o inverno e a primavera. Durante o desenvolvimento de uma gramínea ocorre a sucessão de cinco estágios distintos de crescimento e desenvolvimento: iniciação, pré-aparecimento, aparecimento, maturidade e senescência (SILSBURY 1970). Na fase inicial de desenvolvimento da gramínea, observa-se a presença de um ‘tufo’ de folhas, em (MURILO, eu coloquei “em” para dar a informação de local. É isso?) cuja base se encontra o ápice do colmo, tecido meristemático que origina as folhas, assim como os futuros afilhos. A escala fenológica de Feeks & Large (1954) do trigo para a produção de grãos identifica os seguintes estádios: afilhamento, alongamento do colmo, espigamento, florescimento, maturação (Figura 1).

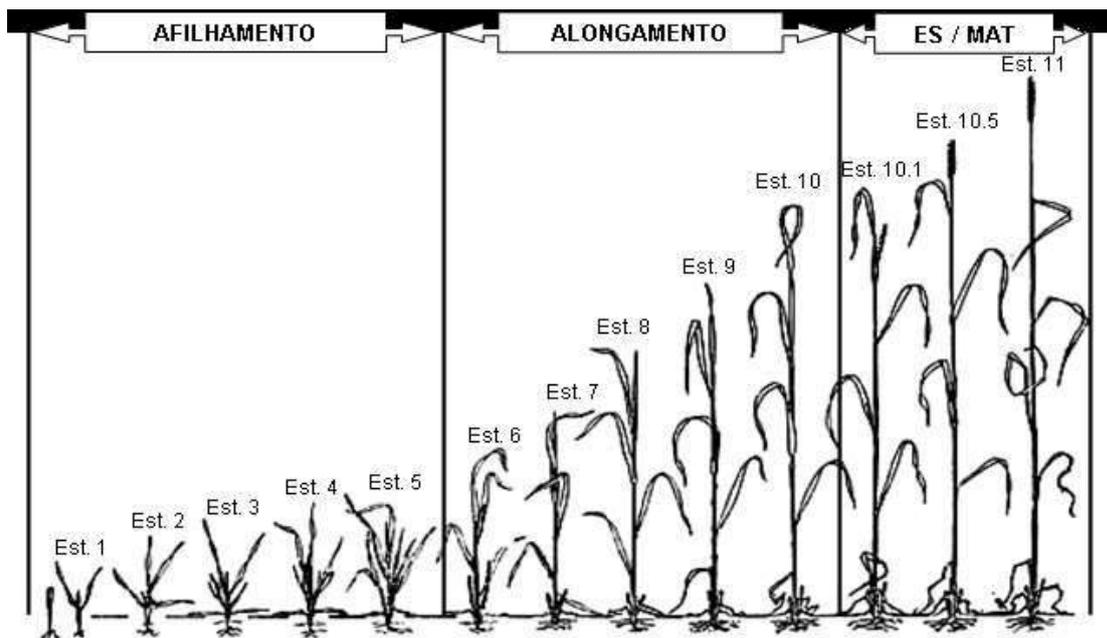


Figura 2. Estádios fenológicos da escala de Feeks (1940), modificada por Large (1954)

A planta de trigo possui de seis a nove folhas, cada uma composta por bainha e lâmina foliar, dispostas de forma alternada (SILVA et al., 1996). A haste ou colmo é cilíndrico e oco; possui de seis a nove entrenós e cada nó abaixo do solo produz raízes adventícias, cujas folhas são produzidas a partir dos nós acima do solo (SOARES SOBRINHO & SOUZA, 1983). O sistema radicular é o do tipo fasciculado ou cabeleira, o qual é originado a partir da semente (raízes seminais ou temporárias, importantes até a fase de afilhamento) e

da região da coroa (raízes permanentes e definitivas) (SILVA et al., 1996). O colmo termina em uma inflorescência que é a espiga.

Na escala de Feekes, modificada por Large (1954), o ciclo de crescimento do trigo é dividido em cinco fases de desenvolvimento: afilhamento, alongamento, espigamento, florescimento e maturação (Tabela 1). Essa escala reconhece onze principais estádios de crescimento, que se inicia com o aparecimento da primeira folha verdadeira e termina com a maturação dos grãos. Os estádios de espigamento e maturação são subdivididos para maior detalhe.

A ocorrência dos estádios de desenvolvimento não está sujeita à variedade, à época de plantio e às condições edafoclimáticas do local. No entanto, esses fatores afetam as datas nas quais cada estágio ocorre, a duração de cada estágio e, conseqüentemente, a duração do ciclo de desenvolvimento da planta. Por essa razão, existe uma variação entre os autores, na literatura, quanto às datas de ocorrência e duração das fases de desenvolvimento. Porém, baseando-se nas informações de Camargo & Felício (1990), Soares Sobrinho & Souza (1983) e Silva et al. (1996), para as variedades nacionais de trigo, foram obtidas, de forma abrangente, as faixas prováveis de tempo decorrido dentro de cada estágio são apresentadas a seguir.

A primeira fase, o afilhamento, inicia a partir dos 15 a 20 dias após o plantio, com o aparecimento dos primeiros afilhos. Esta fase tem duração média entre 15 e 25 dias e compreende os estádios de desenvolvimento 1 a 5.

A segunda fase, o alongamento, inicia entre 30 e 45 dias após o plantio e possui duração aproximada de 20 a 25 dias. Essa fase compreende os estádios de 6 a 10.

A terceira fase, o espigamento, é anunciada pelo emborrachamento; poucos dias após aparecem as espigas e a planta entra no período de florescimento. Essa fase tem duração média de 10 a 20 dias e ocorre por volta dos 50 a 60 dias após o plantio no trigo de sequeiro e 60 a 70 dias no trigo irrigado. Ela compreende os estádios 10.1 a 10.5.4.

A quarta e última fase, a maturação, corresponde à fase do desenvolvimento dos grãos e ocorre entre 60 e 90 dias após o plantio com duração média de 30 a 40 dias. Inicia-se tal fase com o estágio de grãos leitosos até a maturação dos grãos, quando as folhas e espigas secam e os grãos podem ser colhidos, compreendendo os estádios 11.1 a 11.4. Considerando-se a duração total dos estádios, o ciclo de desenvolvimento do trigo, do plantio à maturação dos grãos, resulta entre 90 e 130 dias, de acordo com Camargo & Felício (1990). Entretanto, considerando-se o cultivo de trigo na região Sul, as cultivares revelam um ciclo total que varia de 100 a 160 dias.

Tabela 1. Estádios fenológicos da escala de Feeks (1940), modificada por Large (1954).

Afilhamento
1 Plantas recém-emergidas, com uma ou mais folhas.
2 Início do afilhamento.
3 Afilhos formados. Folhas enroladas em espiral.
4 Início do aparecimento do pseudocaule. Bainhas começam a alongar-se.
5 Pseudocaule (formado por bainhas foliares) fortemente desenvolvido.
Alongamento do colmo
6 Primeiro nó visível.
7 Segundo nó do colmo já formado.
8 Folha bandeira visível, mas ainda enrolada. Início do período de emborrachamento.
9 Lígula da folha bandeira já visível.
10 Bainha da folha bandeira completamente desenvolvida, mas as espigas ainda não são visíveis.
Espigamento
10.1 Primeiras espigas recém-visíveis.
10.2 Um quarto do processo de espigamento completo
10.3 Metade do processo de espigamento completo.
10.4 Três quartos do processo de espigamento completo.
10.5 Todas as espigas fora das bainhas.
Florescimento
10.5.1 Início do florescimento.
10.5.2 Florescimento completo na parte apical da espiga.
10.5.3 Florescimento completo na parte basal da espiga.
10.5.4 Final do florescimento, grãos no estágio aquoso.
Maturação
11 Grãos no estágio leitoso a maturação.
11.1 Grãos no estágio leitoso.
11.2 Grãos no estágio de massa (conteúdo macio e seco).
11.3 Grãos duros (difíceis de serem rompidos com a unha do polegar).
11.4 Maturação de colheita. Palhas secas.

Fonte: Adaptado de Feeks & Large (1954).

O calendário agrícola do trigo no Brasil (Tabela 2) é definido regionalmente em função das exigências climáticas das culturas, considerando-se os estádios fenológicos e as

fases mais sensíveis do ciclo em relação à ocorrência de estresses climáticos (FONSECA, 2009).

Tabela 2. Calendário agrícola do trigo no Brasil.

REGIÃO/UF	Primavera			Verão			Outono			Inverno		
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
CENTRO-OESTE							P				C	
MS							P				C	
GO							P				C	
DF							P				C	
SUDESTE							P	P				C
MG							P	P			C	C
SP							P	P				C
SUL	C	C							P			
PR	C							P				C
SC		C								P		
RS		C							P			
CENTRO-SUL	C	C						P	P			
BRASIL	C	C						P	P			

Legenda: P - Concentração do plantio; C - Concentração da colheita;  Plantio e colheita ocorrendo na mesma época.

Fonte: CONAB 2015

Em função do calendário, as diferentes fases fenológicas em diferentes áreas de cultivo ocorrem de forma quase simultânea em uma mesma região. O estado do Paraná está dividido em três regiões tritícolas (Figura 3) onde as épocas de semeadura são crescentes do Oeste e Norte para o Centro-Sul (EMBRAPA, 2011).

O escalonamento da produção de trigo por utilização de cultivares de diferentes ciclos, em diversas épocas de semeadura, é indicado para reduzir riscos causados por adversidades climáticas. No início da época indicada para a semeadura, sugere-se que seja dada preferência a cultivares de ciclo tardio, enquanto as de ciclo precoce são mais indicadas para o final da época de semeadura a fim de que se reduzam os riscos com geada no período crítico na região (IAPAR, 2013).

A indicação para época de semeadura em cada município do Paraná, com aptidão para o cultivo de trigo e triticales, segue o estabelecido pelo Zoneamento Agrícola do MAPA. As épocas de semeadura indicadas para as culturas de trigo e triticales no Paraná são as que têm maiores probabilidades de apresentar melhor produtividade de grão conforme o ciclo das cultivares. Historicamente, os períodos de maior probabilidade de geada nas regiões tritícolas do Paraná têm sua maior frequência entre 11 a 31 de julho (IAPAR, 2013).

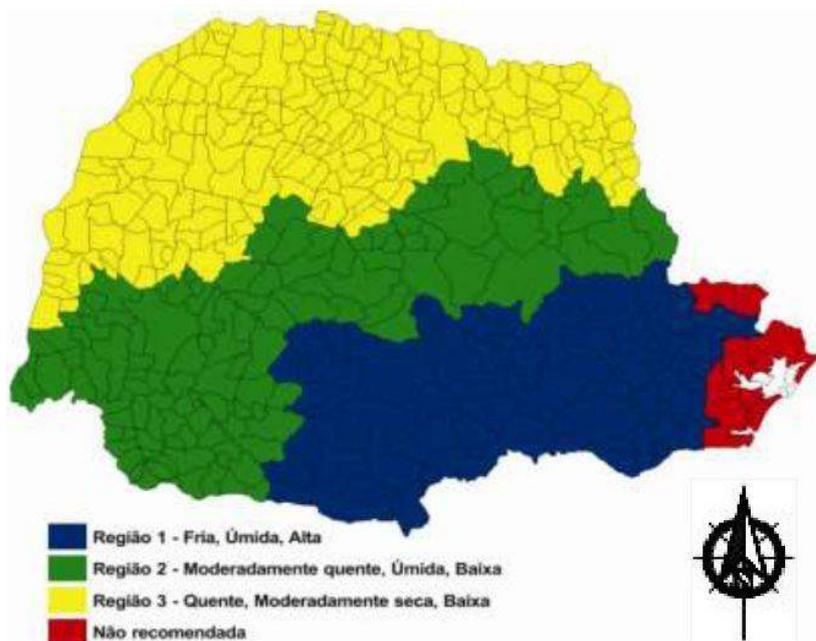


Figura 3. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Paraná
 Fonte: MAPA, 2008.

3.2 Influências climáticas na produção do trigo

Diversos fatores ambientais podem estar intimamente relacionados com a produtividade de grãos da cultura. Dentre eles, a falta de chuva no período de desenvolvimento, ou o excesso, causando o aparecimento de doenças e germinação na espiga, a temperatura e a radiação solar as quais também possuem influência direta na produção dos componentes da produtividade do trigo, pois afetam a duração de cada fase de desenvolvimento. Embora os elementos de produtividade da cultura de grãos sejam gerados durante toda a estação de crescimento ou ciclo da cultura, a produtividade parece ser muito mais sensível às alterações provocadas pela disponibilidade de recursos em alguns subperíodos de desenvolvimento específicos, mais do que em outros.

Vários estudos demonstram que o número de grãos por espiga é o componente dominante para explicar variações da produtividade do trigo (ESTRADA-CAMPUZANO et al., 2008; FISCHER, 2008; CIVIERO, 2010). Outros trabalhos atribuem a produtividade de uma cultura ao número de espigas por m² como o componente mais representativo do rendimento de grãos. Estes trabalhos reforçam a ideia de que todos os componentes têm sua importância, mas dependendo dos fatores climáticos e regiões de cultivo, pode haver maior importância para um destes componentes que determinam a produtividade do trigo, entretanto, as duas referências estão ligadas ao número de grãos por m², considerado como referência de produtividade (RODRIGUES, 2007).

O aspecto para se estimar a produtividade de grãos do trigo consiste na identificação do subperíodo crítico concentrado em um curto espaço de tempo imediatamente anterior à antese, delimitado entre os estádios de espigeta terminal e a antese (FISCHER, 1985). Esse subperíodo crítico, para a definição da produtividade potencial em trigo, caracteriza-se como a etapa de crescimento da espiga no interior do colmo, estágio 10 (Tabela 1) (CIVIERO, 2010).

A temperatura ideal para o pleno desenvolvimento da planta não deve ser muito baixa, pois pode paralisar o crescimento de trigo, quando ocorre baixa temperatura na fase inicial da lavoura, sem formação de geadas, haverá prolongamento do período vegetativo e o trigo desenvolverá mais afilhos. O resultado será um sistema radicular mais abundante e a possibilidade de maior exploração dos nutrientes do solo (SCHEEREN, 2000). Para o afilhamento, temperaturas entre 15 e 20 °C são excelentes, enquanto para o desenvolvimento de folhas, a temperatura ideal é de 20 a 25 °C. A partir do estágio de alongamento, as temperaturas muito baixas, com formação de geadas fortes, poderão provocar 'queima' de folhas e 'estrangulamento' do colmo de trigo, e conseqüentemente prejudicarão severamente a produtividade.

Quando atingido por geadas nas fases iniciais de desenvolvimento, o trigo pode não sofrer perdas significativas de produção, porém nos períodos reprodutivos da planta os danos podem ser severos (MAPA, 2012). Segundo o relatório apresentado pela CONAB no ano de 2013, praticamente a totalidade da área paranaense de trigo estava plantada no dia 22 de julho, antes das geadas, onde 47% estavam em período germinativo ou desenvolvimento vegetativo, não sendo fases suscetíveis. O restante das áreas, porém, estavam em floração ou na fase inicial de formação de grãos, causando danos significativos na produtividade do estado (CONAB, 2013). Foram estimadas quase 954 mil toneladas perdidas principalmente em função das geadas. Além disto, outros fatores contribuíram para a redução da produtividade como a seca ocorrida em maio e as doenças ocasionadas pelo excesso de chuvas em junho. Com isso, a produção paranaense no ano de 2013 reduziu 33% em relação ao potencial. As perdas com o frio estão concentradas na faixa que abrange os regionais de Cascavel, Campo Mourão, Ivaiporã e Apucarana, municípios esses que representam aproximadamente 60% do total perdido da safra.

Para que o rendimento de grãos seja satisfatório, a planta necessita acumular determinada quantidade de graus ao dia, tão importante quanto a garantia de que essa quantidade seja atendida é o tempo na qual ela ocorrerá. As menores temperaturas prolongam o ciclo, garantem acúmulo gradual de graus-dia e melhor desenvolvimento dos órgãos reprodutivos das plantas.

Segundo Junges 2008, o efeito de baixas temperaturas do ar na cultura de trigo produz resultados diferenciados, dependendo do estágio de desenvolvimento em que

ocorrem. A partir do florescimento, o trigo é prejudicado por baixas temperaturas, não tolerando aquelas inferiores a 2 ou 3 °C, em função da esterilidade provocada pelo congelamento das estruturas reprodutivas. Baixas temperaturas e geadas prejudicam o processo de formação do grão, em função da paralisação do seu enchimento, sendo que, na colheita, grãos que passam por esse estresse apresentam-se enrugados com baixo peso.

Altas temperaturas são prejudiciais em qualquer etapa do desenvolvimento das plantas em função da inibição da germinação em temperaturas superiores a 32 °C. Quando a temperatura do ar é alta ocorre a aceleração do ciclo, de maneira que as plantas apresentam folhas pequenas, flores e espiguetas em número reduzido. Ocorrem, portanto, a diminuição do potencial das espiguetas e a esterilidade das estruturas reprodutivas, tanto femininas quanto masculinas. O 'Golpe de calor', ou seja, a temperatura do ar superior a 32 °C por dois ou mais dias prejudica o enchimento de grãos, em função da paralisação da síntese de proteínas e o resultado são grãos chochos. A fotossíntese é um dos principais processos afetados por altas temperaturas, a taxa fotossintética decai quando a temperatura do ar atinge 28-29 °C, o que prejudica o desenvolvimento da planta, pois as perdas via respiração celular continuam ocorrendo, não sendo supridas pela incorporação de CO₂ (JUNGES, 2008).

3.3 Uso do sensoriamento remoto no monitoramento agrícola

Oficialmente, no Brasil, os órgãos responsáveis pela divulgação das estatísticas agrícolas (CONAB e IBGE) utilizam métodos baseados em entrevistas e amostragens a campo, porém os custos do trabalho são altos e um limitado tempo disponível. Informações sobre as datas de plantio, culturas implantadas e o tamanho das áreas são parâmetros para a estimativa da produtividade de uma região. No entanto, um método baseado em sensoriamento remoto pode fornecer dados estimados para grandes áreas a custos relativamente baixos, pela facilidade de aquisição das informações, periodicidade no recobrimento das áreas, possibilidade de acompanhamento sem o contato direto, porque não há necessidade de coletar informações diretamente no campo e a produtividade poderia ser estimada através de modelos matemáticos (ESQUERDO, 2007).

As técnicas de sensoriamento remoto representam grande potencial tanto na coleta como no processamento de dados referentes às áreas agrícolas (MERCANTE et al., 2009). Assim, é possível obter informações sobre a estimativa de área semeada e do vigor vegetativo das culturas além de subsidiar o planejamento estratégico de um país. O estudo de diversos tipos de vegetação é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto. Além do monitoramento há um interesse em avaliar as propriedades biofísicas dos alvos, como a percentagem de cobertura do solo, o índice de área foliar e a biomassa. Estas

informações são coletadas a partir da medição da reflectância de determinado alvo (EIPHANIO et al., 1990; EIPHANIO e FORMAGGIO, 1991).

A análise multi-temporal baseada no estudo das variações da resposta espectral dos cultivos *versus* as variações do ciclo fenológico de cada espécie é ideal para a identificação das espécies cultivadas em cada área de estudo, desde que seja possível a visualização das diferenças no ciclo fenológico que induzam variações na resposta espectral (CAMPBELL, 2006). A fenologia de uma espécie é descrita a partir das observações dos estádios de desenvolvimento externamente visíveis, tais como germinação, desenvolvimento das folhas, floração e senescência (LARCHER, 2000).

O monitoramento de desenvolvimento fenológico da cultura por sensoriamento remoto já foi sugerido em 1979, quando Tucker et al. (1979) apresentaram as relações entre os índices de vegetação e o desenvolvimento de milho e soja, com base em dados espectrais coletados com radiômetros portáteis. Badhwar (1980) observou datas estimadas de surgimento de trigo e cevada a partir de observações do satélite Landsat. Gallo e Flesh (1989) identificaram a fase de florescimento do milho nos EUA. Groten (1993) identificou o início da estação de crescimento, em Burkina Faso. Reed et al. (1994) observaram diferenças fenológicas entre vários tipos de cobertura do solo e Fischer (1985) desenvolveu um modelo semi-empírico do perfil sazonal do NDVI em campos agrícolas. Mais tarde, surgiram os modelos multi-temporais com base nos índices de vegetação - AVHRR NOAA / tornou-se largamente utilizado para caracterizar fenologia.

A interpretação dos estádios fenológicos das plantas por sensoriamento remoto é de grande importância para o acompanhamento da cultura, pois o trigo quando atingido por geadas nas fases iniciais de desenvolvimento não sofre danos severos, porém nos períodos reprodutivos sofre perdas significativas de produção (MAPA, 2012).

Dentre as principais dificuldades da utilização das tecnologias de sensoriamento remoto, as várias culturas apresentam padrões de resposta espectral semelhante e nem todos os talhões de cultivo são semeados em uma mesma data. Com isso, a mesma cultura pode estar em estádios fenológicos diferentes e isso acarreta respostas espectrais distintas em uma mesma imagem para uma mesma cultura (FONSECA, 2009).

A coleta de informações por sensoriamento remoto denota a existência de uma radiação eletromagnética (REM). Para que o sensor possa capturar as informações da superfície terrestre, é necessária uma fonte de radiação eletromagnética que pode ser emitida pelo próprio equipamento ou pela luz solar, que é a fonte primária de toda a energia que mantém a biosfera de nosso planeta. Para essa energia luminosa ser utilizada, é necessário que ela seja primeiramente absorvida. A substância que absorve luz é denominada pigmento. A maioria dos pigmentos absorve somente um comprimento de onda e transmitem ou refletem os comprimentos de onda que não são absorvidos.

O padrão de absorção da luz por um pigmento é conhecido como espectro de absorção de cada substância. A partir da fotossíntese, as plantas superiores em geral, e até mesmo algas e alguns tipos de bactérias, convertem a energia física da luz solar em energia química. Este processo é essencial para a manutenção de todas as formas de vida aqui existentes.

Desse modo, a fotossíntese pode ser definida como um processo físico-químico, mediante o qual os organismos fotossintéticos sintetizam compostos orgânicos a partir de matéria-prima inorgânica, ou seja, na presença de luz solar (RAVEN et al., 2001). A fotossíntese é um processo bastante complexo que pode ser analisado em duas etapas: uma etapa fotoquímica, com a presença obrigatória de luz, também chamada de fase clara, e a segunda etapa, bioquímica ou ciclo fotossintético de redução do carbono, que é diferenciada segundo o grupo fotossintético ao qual a planta pertence.

A luz é transmitida em ondas e absorvida ou emitida em partículas chamadas de fótons. Assim, para que a fotossíntese ocorra, é necessário que os pigmentos fotossintéticos (clorofilas) absorvam a energia de um fóton de dado comprimento de onda e, posteriormente, utilizem essa energia para iniciar uma cadeia de eventos da fase fotoquímica (LARCHER, 2000). Para o estudo da vegetação, a energia refletida é medida a partir da quantificação dos comprimentos de onda que não foram utilizados para realização da fotossíntese. Segundo Ponzoni (2001), ao se atingir a vegetação, a REM interage com aquela, onde uma parte é absorvida, outra é refletida e a terceira sofre o processo de transmissão. Devido a este processo, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sua relação com a vegetação estão intimamente ligadas com o processo de interação entre a radiação eletromagnética (REM) e as plantas.

Considerando-se que a folha é o principal elemento da vegetação sob o ponto de vista da interação com a REM, verifica-se que quando se comparam as curvas de refletância de uma folha verde sadia com as medições de dosséis, essas apresentam formas muito semelhantes. Assim, permite-se que os padrões de refletância apresentados pelos dosséis possam ser previstos de acordo com o padrão de refletância da folha verde (PONZONI, 2001). Segundo resultados obtidos por Lillesand et al., (2004), a identificação das espécies cultivadas, em determinado talhão agrícola, parte da premissa de que as mesmas possam ser identificadas com base no seu padrão de resposta espectral, apresentadas em imagens multiespectrais.

O conhecimento do padrão espectral de qualquer superfície em seu entorno natural é fundamental como base quantitativa em estudos de modelos de refletividade, que relacionam atributos biofísicos e características espectrais (PONZONI, 2001). Os modelos de simulação do desenvolvimento das culturas constituem ferramentas úteis no

planejamento de práticas culturais (aplicação de fertilizantes, fungicidas etc.) e na seleção de genótipos adaptados a uma região (STRECK et al., 2008).

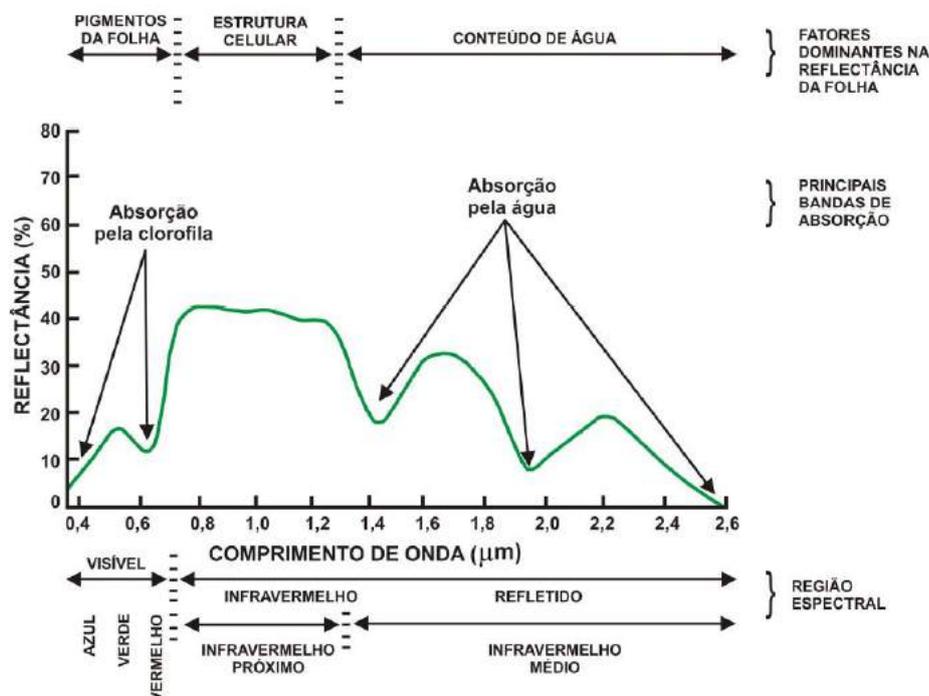


Figura 4. Comportamento espectral da folha verde.
 FONTE: Adaptado de Swain et al. (1978)

No padrão espectral da vegetação em relação ao comprimento de onda (Figura 4), pode-se observar maior absorção da REM pela vegetação na região do visível (0,4 a 0,7 μm). A faixa correspondente à parte do espectro eletromagnético utilizada pelas plantas para a fotossíntese e, nessa região, a alta absorção é consequência das duas bandas de absorção da clorofila (azul e vermelho). O pico de refletância na região do visível ocorre em aproximadamente 0,54 μm, a região espectral do verde que dá cor verde para a vegetação, e já a região do infravermelho (0,7 a 1,3 μm) não é utilizada pela fotossíntese. As estruturas internas das folhas são responsáveis pela alta refletância nesta região, podendo ser influenciada pelas variações na forma e na orientação das folhas das plantas e pela quantidade de ar existente dentro da célula de cada folha (COURA, 2007).

O processamento é simplificado para o emprego dos índices de vegetação, uma vez que sua construção a partir dos dados originais de radiometria ou de imagens de satélite não é, em geral, um procedimento complexo. Tais propriedades biofísicas funcionam como indicadores da condição desses alvos e, muitas vezes, servem como parâmetros de entrada em modelos diversos (EIPHANIO, 1990).

No sensoriamento remoto, há vários índices disponíveis para serem utilizados, os quais são determinados de acordo com o objetivo da pesquisa. Os índices que melhor se

correlacionam com a vegetação são os que utilizam como base de informações obtidas pela combinação de dados espectrais nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximos, diretamente relacionados às regiões fotossintéticas ativas das plantas (JESUS e MIURA, 2009). Um dos índices que se baseia neste princípio é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o qual é capaz de transformar as informações recebidas por meio da reflectância dos feixes luminosos em números (NEIVERTH et al., 2013).

O uso do Sensoriamento Remoto vem sendo estudado pelos cientistas e já foi possível modelar muitos parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de ferramentas remotas. Grande parte das pesquisas envolve a utilização de índices de vegetação, os quais se configuram como medidas radiométricas adimensionais, que indicam a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, entre outros (BACKES, 2010).

3.3.1 Monitoramento da vegetação através de índices de vegetação

Os índices de vegetação são indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam elevadas correlações incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (PONZONI, 2001). Esses índices têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escalas continental, regional e global (BANNARI et al, 1995 citados por BARBOSA, 2006). Esse sucesso deve-se à reflectância diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho (BARBOSA, 2006).

A determinação da natureza dos alvos pelas técnicas de sensoriamento remoto é baseada no fato de que diferentes materiais são caracterizados por reflectâncias próprias em cada banda do espectro eletromagnético. A reflectância, ou fator de reflexão, é proporcional à razão da radiação refletida pela radiação incidente. Quando as respostas espectrais de vários materiais são conhecidas, as propriedades de alvos desconhecidos podem ser determinadas pela comparação das respostas espectrais desses alvos com dados de referência (WAGNER, 2013).

Na região do visível do espectro eletromagnético (0,4-0,6 μm) a reflexão é determinada pela clorofila. A radiação incidente atravessa, quase sem perdas, a cutícula e a epiderme onde as radiações correspondentes ao vermelho e ao azul são absorvidas pelos pigmentos do mesófilo, causando uma reflexão característica baixa nos comprimentos de onda citados. Na região do infravermelho (0,7-1,3 μm), dependendo da espécie vegetal, a radiação é refletida em proporção de 30 a 70 % dos raios incidentes. A reflexão neste

intervalo é causada pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo. O conteúdo de água das folhas influencia os comprimentos de onda acima de 1,3 μm mais fortemente a interação com a radiação (MOREIRA, 2005). De modo geral, os IVs têm tido associação direta entre suas grandezas e as condições hídricas e de biomassa dos padrões de vegetação. São diversos os índices de vegetação utilizados e dentre eles tem-se:

- RVI (Índice Relativo de Vigor): primeiro índice proposto por Pearson e Miller (1972), citados por Barbosa (2006), baseia-se na razão de bandas do vermelho e infravermelho próximos.

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

Em que NIR é a banda correspondente ao Infravermelho Próximo ao RED, banda correspondente ao vermelho.

- NDVI é o Índice de vegetação por diferença normalizada proposto por Rouse et al. (1973), citados por Eastman (1998), introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho, normalizada pela soma das bandas (Figura 2).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

- RATIO (Índice da Razão) também proposto por Rouse et al. (1974), citados por Eastman (1998), para separar a vegetação verde de solo é produzido por uma simples divisão de valores de reflectância, contidos em bandas do infravermelho próximo, por aqueles contidos na banda do vermelho.

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

- TVI (Índice de Vegetação Transformado), proposto por Deering et al. (1978), modifica o NDVI para adicionar uma constante de 0,50 para todos os valores e efetuar a raiz quadrada dos resultados. A constante 0,50 é introduzida na equação para evitar operações com valores negativos de NDVI. O cálculo da raiz quadrada pretende corrigir os valores do NDVI introduzindo uma distribuição normal. Todavia, o uso do TVI requer que o valor mínimo NDVI introduzido seja maior que -0.5 para evitar abortar a operação (EASTMAN, 1998). Valores negativos ainda permanecerão menores que -0.5 para o NDVI. Além disso,

não há qualquer diferença técnica entre o NDVI e o TVI em termos de produção de imagem ou detecção de vegetação ativa.

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}} + 0,5$$

- CTVI (Índice de Vegetação Transformado Corrigido), proposto por Perry e Lautenschlager (1984) citados por EASTMAN (1998), pretende corrigir o TVI ao adicionar a constante de 0,50 para todos os valores NDVI, porém, nem sempre eliminam-se todos os valores negativos de NDVI, podendo ter um alcance de -1 a +1. Valores menores que -0.50 tornam-se valores negativos menores depois da operação de adição. Assim, o CTVI é elaborado para resolver essa situação ao se dividir o (NDVI + 0.50) por seu valor absoluto ABS (NDVI + 0.50) e multiplicar pela raiz quadrada do valor absoluto.

$$CTVI = \frac{NDVI + 0,5}{|NDVI + 0,5|} \times \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

- TTVI (Índice de Vegetação de Thiam Transformado) proposto por Thiam (1997) citado por EASTMAN (1998), cujo autor indicou que o resultado imagem do CTVI pode ser muito ruidoso devido à superestimação da vegetação verde. Para a obtenção de melhores resultados, Thiam sugeriu ignorar o primeiro termo da equação do CTVI e adicionar simplesmente a raiz quadrada dos valores absolutos para o NDVI e o TVI, para se apresentar neste novo índice (TTVI).

$$TTVI = \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

Quando nos atemos aos padrões de vegetação observamos que são possíveis a determinação e a diferenciação da vegetação por métodos de sensoriamento remoto em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético. Na região do visível a interação da radiação eletromagnética com a vegetação tem como fator determinante da reflectância os pigmentos da folha, no infravermelho próximo com a estrutura foliar bem como no infravermelho médio, o conteúdo de água da folha (MOREIRA, 2005).

Um índice de vegetação (IV) ideal deve maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas para fins de validação e controle de qualidade. Também devem-se normalizar efeitos externos como ângulo solar, ângulo de visada e as interferências atmosféricas e internas como variações no substrato abaixo do dossel, incluído topografia,

solos e diferenças quanto à vegetação senescente ou à presença de ramos lenhosos (JENSEN, 2009).

Assim, dentre os diversos índices propostos, o mais utilizado é o NDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada). Os IV associados ao sistema de informação geográfica auxiliam e agilizam as mais diversas pesquisas, principalmente o monitoramento ambiental.

Embora numericamente os valores do NDVI possam variar entre -1 e 1, a vegetação está associada aos valores positivos. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho, em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água e neve), apresentam NDVI negativo. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo, quase que na mesma intensidade, conseqüentemente seu NDVI aproxima-se de zero (RIZZI, 2004). Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2007), considerando-se a vegetação, o limite superior desse índice está em torno de 0,80 e está associado à vegetação vigorosa.

Esse índice tem sido utilizado em várias aplicações operacionais, incluindo mapeamentos, classificação do uso da terra, detecção de mudanças e monitoramento ambiental. É um importante parâmetro para muitos tipos de análise em diferentes níveis de abrangência como local, regional e global (YOUNG, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O experimento foi desenvolvido nos anos de 2013 e 2014, de Maio a Setembro, implantado em uma área experimental localizada no Centro de pesquisas da COODETEC no município de Cascavel-PR, com coordenadas aproximadas de Latitude de 24°53'S, Longitude de 53°23'W e altitude da área de, aproximadamente, 781 metros.

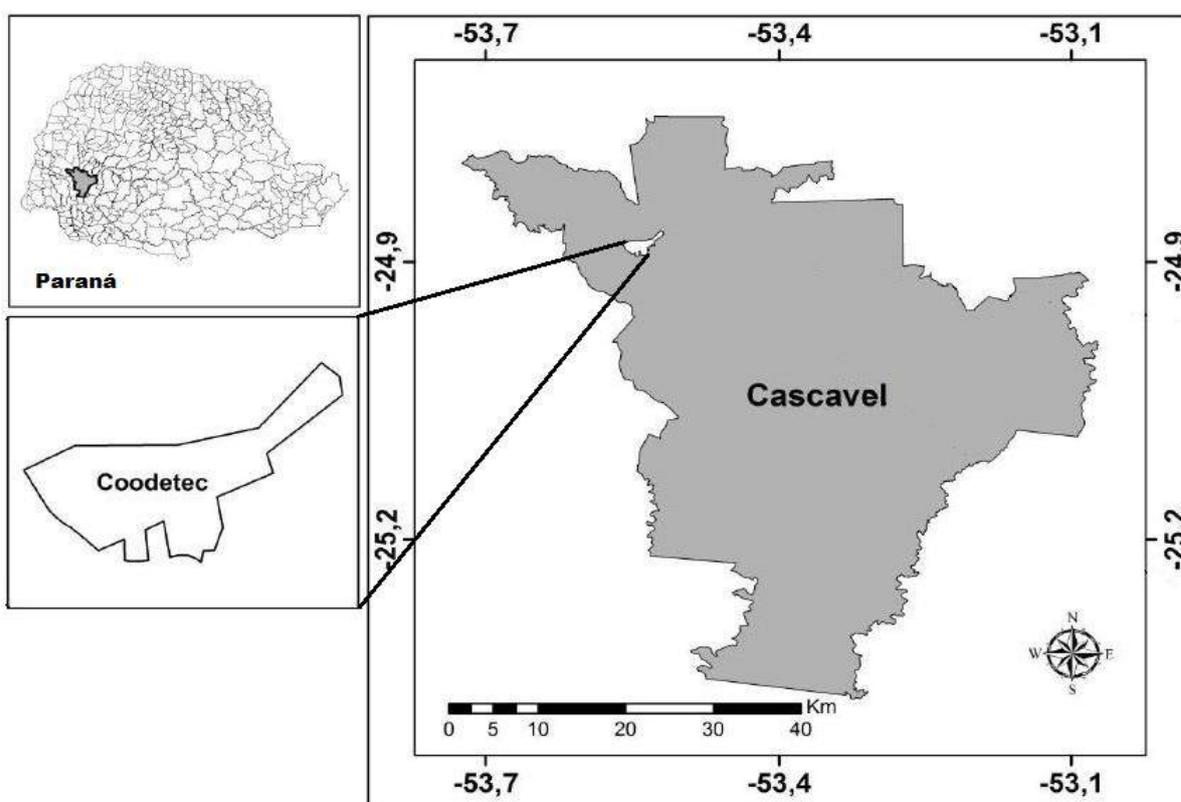


Figura 5. Mapa de localização da área experimental da COODETEC.

O clima da região é classificado como subtropical mesotérmico (Cfa), segundo a classificação de Köppen, com temperatura anual média de 19,6 °C e precipitação anual de 1971 milímetros (LUNELLI, 2012). O solo na região é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013).

4.2 Caracterização das cultivares e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido com onze cultivares de trigo, nos anos de 2013 e 2014, com as seguintes cultivares: CD104, CD 108, CD 116, CD 150, CD 154, CD 1440, CD 1550, BRS Guamirim, BRS Pardela, Mirante, Quartzo. Essas cultivares representam grande amplitude de variação de ciclo de todas as cultivares indicadas para o cultivo no Estado do Paraná.

O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados, com três repetições, utilizando-se as cultivares como tratamentos sorteados em cada bloco. As parcelas apresentavam dimensões de 5,0 metros de comprimento, e 1,0 metro de largura, com 6 linhas espaçadas em 0,17 metros. Foi adotada uma separação de 0,5 metros entre as parcelas e cada bloco foi isolado por corredores de 2,5 metros. Para reduzir a influência de outros fatores e simular com maior confiança uma área agrícola, no entorno de todo o experimento, foi programada a bordadura (Figura 6).

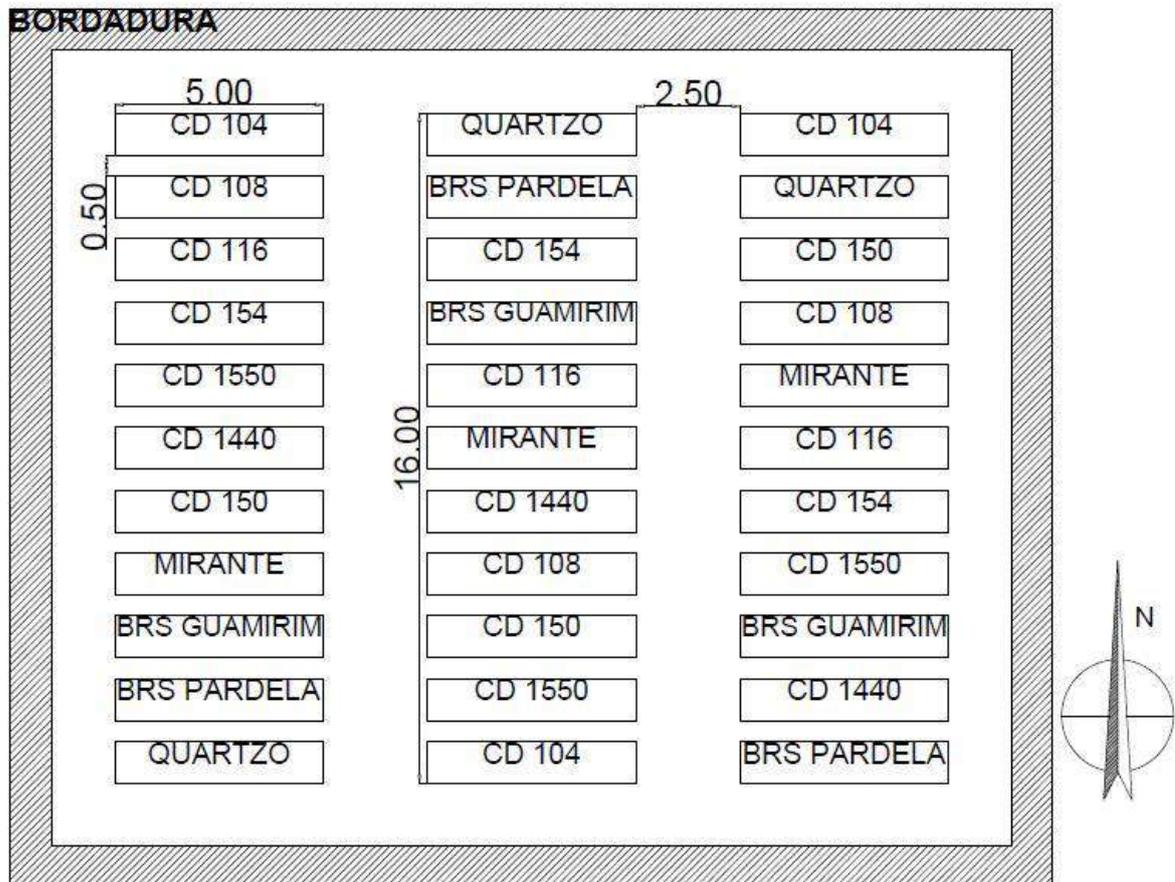


Figura 6. Disposição das parcelas em campo (escala em metros).

As sementes das diferentes cultivares foram tratadas, antes da semeadura, com o fungicida Baytan SC (Triadimenol) + inseticida Gaúcho FS (Imidacloprid) nas doses de 20 e 36 g i.a./100 kg de sementes, respectivamente. A semeadura foi realizada com semeadora de fluxo contínuo, no dia 24 de abril para o ano de 2013 e 17 de maio em 2014. Para tal, adotou-se a quantidade de 360 sementes por metro quadrado (m^2), em parcelas de 5

metros de área útil. A adubação de semeadura foi de 330 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, da formulação concentrada 08-30-20, mais 45 kg ha⁻¹ de (N) na forma de ureia, aplicando-se a lanço, na fase de afilhamento do trigo.

No início da fase de afilhamento foi realizada uma aplicação de herbicida (iodosulfuron-methyl 100 gramas de i.a. ha⁻¹) para o controle de aveia e duas semanas depois foi usado o Metsulfurom metílico (quatro gramas.ha⁻¹) para o controle de dicotiledôneas. Para o controle de pragas, foi utilizado o inseticida Metamidofós do grupo químico dos organofosforados na dose de 300 mL ha⁻¹. Em todo o período de desenvolvimento da cultura até a sua fase de enchimento de grãos, foram controladas as doenças, conforme recomendações técnicas para a cultura do trigo (IAPAR, 2013). É importante destacar que não foi necessária irrigação.

Na Tabela 3, estão apresentadas características das cultivares apresentadas segundo informações contidas nos documentos das empresas mantenedoras: ciclo, maturação, espigamento.

Tabela 3. Ciclo, espigamento (dias) e maturação (dias) das 11 cultivares de trigo.

Cultivar	Ciclo	Espigamento médio (dias)	Maturação (dias)
CD 108	Superprecoce	58	120
CD 116	Precoce	68	124
CD 150	Precoce	66	122
BRS GUAMIRIM	Precoce	62	122
BRS PARDELA	Médio	67	124
CD 154	Médio	68	122
CD 1440	Médio	73	125
CD 1550	Médio	69	123
CD 104	Médio	75	122
MIRANTE	Médio	70	125
QUARTZO	Médio	72	125

Fonte: COODETEC (2014), OR/Biotrigo (2014), Embrapa (2014) de maturação.

4.3 Coleta de dados

Foram utilizados equipamentos dotados de sensores terrestres para a coleta de dados, um ativo denominado de GreenSeeker e outro passivo denominado FieldSpec 4.

O equipamento GreenSeeker, sensor ativo, foi utilizado para a coleta de dados em 2013. Esse sensor foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA), na década de 1990, e explora o contraste nos valores de refletância dos canais (bandas) do vermelho e do infravermelho próximo. O aparelho utiliza diodos de emissão de radiação nas bandas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm).



Figura 7. Medidor de índice de vegetação GreenSeeker.

A leitura de refletância é calculada por microprocessador interno. Os dados de saída, dentre eles o NDVI, foram transmitidos para um computador portátil adaptado ao sensor, conforme GROHS (2009). O GreenSeeker forneceu medição rápida das culturas em terra em resolução adequada. Os dados podem ser utilizados para estimar e prever a produtividade, o acúmulo de biomassa, a taxa de crescimento, a cobertura do solo bem como os padrões de senescência e a detecção de estresses bióticos e abióticos. A tecnologia NDVI foi usada porque também pode auxiliar na tomada de decisões sobre agricultura de precisão: detecção de ervas daninhas, herbicidas de pulverização, velocidade e tempo de aplicação de fertilizantes nitrogenados (NTECH INDUSTRIES, 2013).

As medidas realizadas com o equipamento GreenSeeker (Figura 6) foram conduzidas para acompanhar o desenvolvimento da cultura e as diferentes fases fenológicas de cada cultivar, tomadas com frequência de sete dias, variando somente quando as condições climáticas não permitiram fazer avaliações no campo. Em cada parcela percorreu-se o trecho de cinco metros lineares, em um tempo de 8 segundos, para o aparelho determinar o mesmo número de repetições em cada parcela.

O equipamento foi apontado para o dossel da parcela a uma altura de 0,8 m, ou seja, dentro do intervalo recomendado pelo fabricante (Trimble, 2010), considerando que a faixa de leitura do equipamento é de 0,60 m, a área real de leitura foi de aproximadamente três metros quadrados, dentro deste espaço atingiu a coleta de 80 repetições em cada parcela (Figura 8).

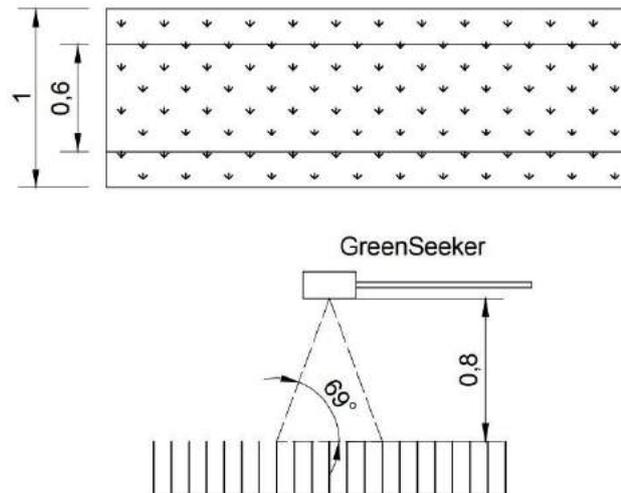


Figura 8. Faixa de leitura do GreenSeeker

As fases fenológicas da cultura foram identificadas em todas as avaliações em campo para dar suporte às informações obtidas com os equipamentos e os dados da parcela colhida de 5 m² de área foram transformados em (Kg.ha⁻¹). Contudo, no ano de 2013, ocorreu geada no momento em que as plantas/parcelas estavam em floração ou no início da formação de grãos, causando perdas significativas na produtividade das parcelas.

Em 2014, foram coletadas medidas com os equipamentos GreenSeeker e FieldSpec 4, os quais possuem sensor passivo hiperespectral (Figura 9). Tais equipamentos têm a capacidade de leitura da radiação eletromagnética advinda do sol, refletida por alvos no intervalo de comprimento de onda entre 0,350 e 2,500 μm, faixas do espectromagnético que vai do visível, passando pelo infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (ASD Inc., 2014).



Figura 9. Sensor óptico multiespectral FieldSpec 4.

Os dados espectrais coletados em 2014 com o sensor hiperespectral FieldSpec 4 (Figura 9) foram obtidos a cada sete dias. Houve variação de alguns dias conforme a possibilidade de entrada em campo, no período correspondente ao início do desenvolvimento da cultura até o estágio de maturação. Por ser um sensor passivo, as avaliações de dossel foram obtidas apenas em dias ensolarados, entre 10:00 e 12:00 horas. Primeiramente, para cada bloco, o equipamento foi calibrado utilizando a placa padrão que acompanha o aparelho. Posteriormente, foi realizada uma leitura em cada parcela em um ponto previamente sorteado. Para cada ponto foram obtidas quatro leituras com o sensor posicionado a 1 metro acima do dossel da cultura, com a cabeça do sensor posicionada para olhar verticalmente para baixo, com leituras pontuais e centralizadas na fileira de plantas. Esta disposição permitiu um campo de visada de aproximadamente 40 cm de diâmetro ao nível do dossel (Figura 10).



Figura 10. Coleta de dados com o FieldSpec 4

O sensor FieldSpec 4 não fornece automaticamente o índice de NDVI, diferente do GreenSeeker que fornece diretamente o valor de NDVI.

Deste modo, para o equipamento FieldSpec 4, o índice de vegetação foi calculado utilizando as médias de 25 comprimentos de onda, cujos comprimentos de onda centrais foram 650 nm para o vermelho e 770 nm para o infravermelho próximo. Assim, a partir dos resultados das médias, foi calculado o NDVI de cada parcela.

4.4 Análise de dados

O delineamento experimental foi analisado em blocos completos, com três repetições, utilizando-se as cultivares como tratamentos sorteados em cada bloco.

A análise descritiva e exploratória dos dados foi conduzida para verificação das medidas de posição, incluindo média, mediana; medidas de dispersão, como amplitude,

desvio padrão, variância e coeficiente de variação (CV). Pimentel Gomes e Garcia (2002) sugerem uma classificação do CV como baixo quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade), médio quando $10\% < CV \leq 20\%$, alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade). A normalidade dos dados foi verificada a partir dos testes de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, ao nível de 5% de significância, admitindo a normalidade dos dados, em pelo menos um dos testes.

As respostas do índice de vegetação para cada ano foram separadas em cinco das principais fases: afilhamento, alongamento do colmo, espigamento, florescimento e maturação. Foi aplicado o teste da ANOVA seguido do teste de Scott-Knott para comparação das diferentes respostas entre as cultivares e entre os dias, nos anos safra de 2013 e 2014, considerando 5% de significância.

A partir dos dados coletados foram compostos os perfis temporais de NDVI, para cada ciclo, e comparado o índice de vegetação NDVI entre as cultivares, utilizando o software estatístico R, através do teste de comparação de médias de Scott-Knott ao nível 5% de significância.

As cultivares foram avaliadas durante o ciclo de cada uma delas para melhor compreensão. Cada ciclo foi dividido em cinco principais estágios: afilhamento (Feeks de 1 a 5), alongamento do colmo (Feeks de 6 a 10), espigamento (Feeks de 10.1 a 10.5), florescimento (Feeks de 10.5.1 a 10.5.4), maturação (Feeks de 11 a 11.4). A fim de avaliar os valores de NDVI entre as cultivares estudadas, foram realizados testes de comparação entre as médias de NDVI, obtidas para as datas de coleta dos dias após a semeadura (DAS).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Influências da temperatura no desenvolvimento das cultivares

Ocorreram diferentes situações em relação às condições climáticas no decorrer da pesquisa. No experimento realizado no ano de 2013, o inverno na Região Sul do País apresentou temperaturas abaixo de 0 °C, com ocorrência de geadas. Em contrapartida, no ano de 2014, as temperaturas foram mais elevadas, tendo sido registradas temperaturas de 3 °C até 34 °C. A ocorrência de baixas temperaturas pode resultar em importantes danos e influenciar diretamente no desenvolvimento das cultivares (Figuras 11 e 12).

Segundo dados fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR, as menores temperaturas foram registradas no dia 24/07/13, ou seja, temperaturas abaixo de 0° C, com incidência de geada. Naquela data, as cultivares testadas estavam na fase de enchimento de grãos (89 dias), fase sensível às ocorrências deste fenômeno. Na Figura 10, estão apresentadas as temperaturas baixas, para o referido período, que ocasionaram danos severos à produtividade e prolongaram o ciclo. Algumas cultivares completaram o ciclo somente com 130 dias após a germinação, provavelmente pelas condições favoráveis após a geada, que levou as plantas a tentarem compensar os efeitos negativos.

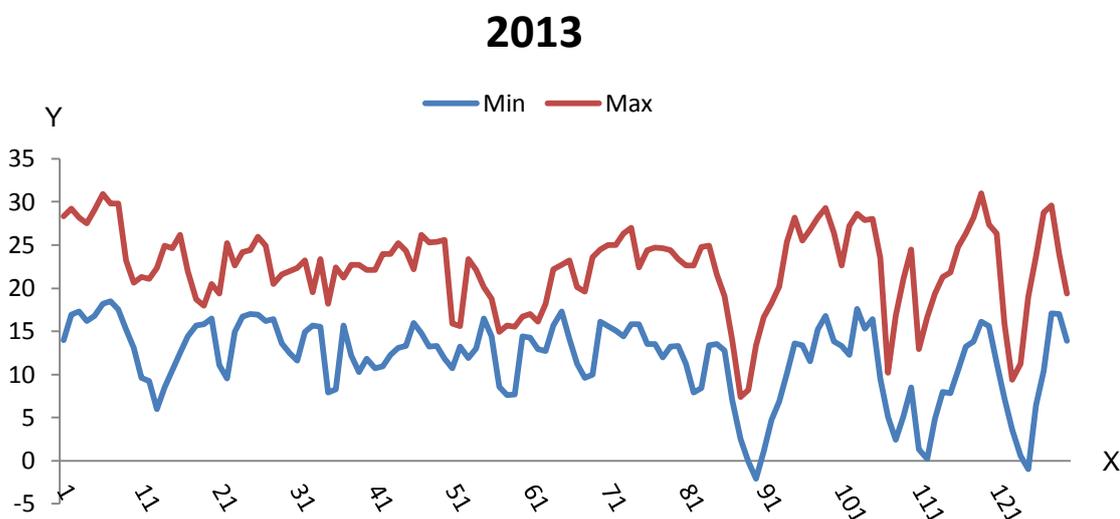


Figura 11. Temperaturas Mínima (Min) e Máxima (Max) em °C (Eixo Y) e dias após a germinação (Eixo X)
Fonte: Simepar, 2013.

As temperaturas médias, no início do ciclo de crescimento da cultura em 2013, permaneceram entre 10 °C e 25 °C; a partir dos 75 dias após a sementeira. As cultivares estavam no estágio de espigamento e formação de grãos e as temperaturas médias diminuíram, em geral entre 5 °C e 25 °C, com poucos dias de temperaturas médias

superiores a 25 °C. No entanto, as temperaturas caíram abaixo de 0 °C em alguns dias, com grande oscilação, curtos períodos com elevadas temperaturas, intercalados com baixas temperaturas.

Quando as geadas ocorrem na fase de espigamento/florescimento (10 a 10.5.4), os danos podem ser muito severos, com redução no número de grãos por espiguetas e, conseqüentemente, por espiga. Os danos causados pela geada podem ser observados quando a temperatura, durante a floração, é menor do que - 1 °C. Além disso, quando a geada é muito intensa na fase de florescimento, os danos são totais e as perdas irreversíveis. Sérios prejuízos também podem ocorrer no período de enchimento de grãos. Logo, nesse caso, o principal dano causado é o enchimento incompleto do grão, resultando em baixo peso específico e, por conseqüência, em redução no rendimento e na qualidade final dos grãos (SCHEEREN, 2000).

Os resultados podem ser observados de cinco a sete dias, após a geada. Segundo o relatório apresentado pela CONAB, em diversas áreas do Estado do Paraná, no ano de 2013, ocorreram perdas com o frio, concentradas na faixa que abrange as regiões de Cascavel, Campo Mourão, Ivaiporã e Apucarana, no Paraná (CONAB, 2013). A mesma oscilação ocorreu em 2014. No entanto, as condições não foram suficientemente drásticas para apresentar temperaturas abaixo de 0 °C e causar efeitos negativos na formação do rendimento de grãos.

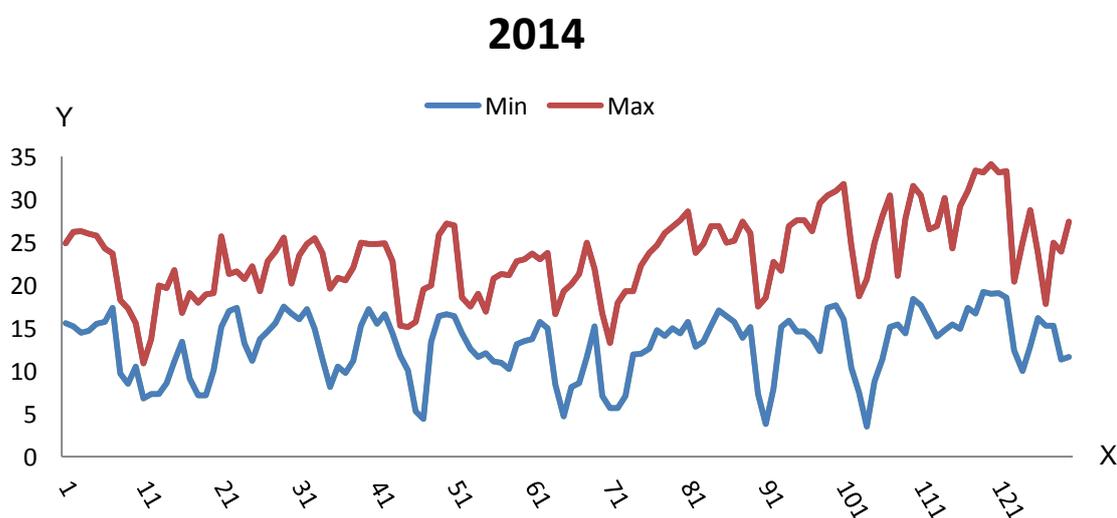


Figura 12. Temperaturas Mínima (Min) e Máxima (Max) em °C (Eixo Y) e dias após a germinação (Eixo X)

Fonte: Simepar 2014

No ano de 2014 (Figura 11), a média da temperatura foi mais elevada, fazendo com que as mesmas cultivares completassem o ciclo com menos de 130 dias após a germinação (Tabela 4). Segundo Demirevska et al. (2005), o excesso de calor tanto induz perdas

quantitativas e qualitativas na produção como encurta a duração do ciclo, reduz a área foliar, a estatura e a percentagem de fecundação das flores, acelera o período de enchimento e a senescência, além de diminuir o peso médio dos grãos do trigo, citando a fotossíntese como um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao calor.

Na Tabela 4, estão apresentadas as médias das observações de espigamento e de maturação das cultivares. É possível notar que os períodos de tempo entre o espigamento e a maturação das cultivares são semelhantes e varia entre 50 a 60 dias após a identificação de 50% da parcela em fase de espigamento. O período crítico para ocorrência de geada no trigo pode chegar até 30 dias após o espigamento, por isso, os efeitos negativos da geada em 2013 atingiram todas as cultivares, devido a uma sequência de geadas nessa fase sensível às baixas temperaturas.

Tabela 4. Médias do período de espigamento e de maturação das cultivares de trigo, conduzidas em Cascavel nos anos 2013 e 2014.

Cultivares	2013		2014	
	Espigamento	Maturação	Espigamento	Maturação
CD 108	58 a	112 a	59 a	105 a
BRS GUAMIRIM	60 b	112 a	63 b	105 a
CD 154	65 c	119 b	67 c	112 b
CD 150	64 c	119 b	66 c	112 b
CD 116	67 d	119 b	68 c	112 b
CD 1440	67 d	126 c	68 c	119 c
BRS PARDELA	69 e	119 b	70 d	119 c
CD 1550	68 e	126 c	69 d	112 b
MIRANTE	68 e	126 c	72 e	119 c
QUARTZO	70 e	126 c	74 f	119 c
CD 104	80 f	133 d	78 g	124 d

¹Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Para Kirby et al., (1999), a diferença na duração do ciclo de desenvolvimento das culturas é resultado de diferenças genótípicas em resposta aos fatores ambientais que variam com a data, o local e a estação do ano da semeadura.

As plantas nesses estudos foram cultivadas em condições de campo, sujeitas às variações climáticas. Segundo Waldren & Flowerday (1979), as variações climáticas não influem na ocorrência dos estádios de desenvolvimento da planta, e sim afetam as datas de ocorrência e duração dos estádios de crescimento. Desta forma, um enfoque foi dado para relacionar o comportamento do desenvolvimento do trigo ao estágio de crescimento da cultura.

Existe dificuldade em determinar a data de maturação real devido às influências que a cultura pode sofrer de acordo com o clima ou doenças, como ocorreu neste experimento. As temperaturas mais elevadas do ano de 2014 causaram o encurtamento do ciclo de todas as cultivares. A classificação das diferentes cultivares de trigo pode ser feita referindo-se ao período de espigamento. É expressa em número de dias desde a emergência até o espigamento, por ser a fase mais sensível da cultura aos efeitos negativos de condições climáticas do ano. As cultivares apresentaram espigamentos entre 61 e 80 dias, portanto, estão dentro das faixas de espigamento conforme informado pelas empresas mantenedoras.

De acordo com a Tabela 4, quatro grupos diferentes de maturação das cultivares foram identificados. Entretanto, o período de espigamento foi mais importante para expressar as pequenas variações entre as cultivares BRS Guamirim e CD 108, que no segundo ano completaram o ciclo com apenas 105 dias. Da mesma forma, as demais cultivares também apresentaram ciclo mais curto em 2014, em relação à maturação das plantas durante o ano de 2013, assim, tal dado confirma que as temperaturas mais elevadas contribuíram para acelerar a maturação.

5.2 Caracterização espectro-temporal do NDVI no período de desenvolvimento das cultivares

As principais diferenças entre as cultivares estão no porte e no ciclo, que possuem influência direta no índice de vegetação. Para efeito de comparação entre as cultivares, analisou-se a resposta de NDVI das cultivares em relação ao número de dias após a semeadura, visto que, fenologicamente, as cultivares apresentam características diferentes. Nas Tabelas 5 e 6, estão apresentados as médias e o resultado do teste de comparação de médias Skott-Knott a 5%, dos valores de NDVI medidos com os sensores GreenSeeker e FieldSpec 4.

No início do desenvolvimento do trigo, período de afilamento e alongamento do colmo, que corresponde aos estádios de 1 a 10 na classificação de Feeks e Large, as medições apresentaram valores baixos e elevada dispersão. Esse fato é devido à maior influência do solo, que no início do desenvolvimento, as plantas têm folhas pequenas, por isso representam maior parte da área sensoriada sem a presença do trigo. A Figura 10 mostra as parcelas CD 150 e CD 1440, no ano de 2014, com 18 dias após a germinação. Nessa fase, a área de solo exposto influencia negativamente os valores do índice de vegetação. Tanto em 2013 quanto em 2014 esse período pode ser identificado pelos baixos valores de NDVI, como pode ser observado no ano de 2013, com oito dias após a germinação, e as médias de NDVI variaram de 0,21 a 0,25.

Tabela 5a. Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2013.

Cultivares	Dias após semeadura								
	8	26	36	43	50	58	63	71	78
BRS Guamirim	0,25Ah	0,56Ae	0,74Ac	0,82*b	0,82*b	0,85*a	0,87*a	0,83*b	0,80*b
CD 108	0,24Ai	0,50Af	0,59Be	0,71*c	0,70*c	0,80*b	0,84*a	0,77*b	0,73*c
CD 116	0,22Bf	0,45Bd	0,58Bc	0,66*b	0,62*b	0,74*a	0,80*a	0,76*a	0,72*a
CD 150	0,24Al	0,45Bi	0,58Bg	0,70*d	0,71*d	0,80*b	0,85*a	0,80*b	0,78*b
CD 154	0,25Ak	0,51Ac	0,70Aa	0,71*a	0,69*a	0,75*a	0,81*a	0,78*a	0,74*a
BRS Pardela	0,23Bk	0,50Ah	0,70Ad	0,77*b	0,77*b	0,83*a	0,86*a	0,80*a	0,77*b
CD 1440	0,22Bh	0,43Bf	0,62Bd	0,74*b	0,72*b	0,81*a	0,84*a	0,81*a	0,79*a
CD 1550	0,23Ak	0,47Bh	0,65Ae	0,76*c	0,76*c	0,83*b	0,85*a	0,78*c	0,76*c
Mirante	0,21Bk	0,42Bh	0,57Bf	0,68*d	0,68*d	0,79*b	0,84*a	0,79*b	0,78*b
Quartzo	0,22Bi	0,44Bf	0,60Bd	0,71*c	0,70*c	0,81*a	0,86*a	0,83*a	0,82*a
CD 104	0,22Bh	0,43Bg	0,65Ad	0,72*c	0,74*b	0,76*b	0,83*a	0,81*a	0,79*a

Tabela 5b. Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2013.

Cultivares	Dias após semeadura								
	84	91	98	105	112	119	126	133	140
BRS Guamirim	0,75*c	0,74*c	0,64Ad	0,55Be	0,47Bf	0,30Bg	0,25Ch	0,23Ch	0,19Di
CD 108	0,66*d	0,62*e	0,51Bf	0,44Cg	0,35Bh	0,25Ci	0,21Cj	0,21Cj	0,18Dj
CD 116	0,66*b	0,65*b	0,59Bc	0,56Bc	0,51Ac	0,42Ad	0,32Be	0,28Be	0,22Bf
CD 150	0,74*c	0,73*c	0,65Ae	0,61Af	0,55Ah	0,37Bj	0,28Ck	0,25Cl	0,20Cm
CD 154	0,65*b	0,62*b	0,54Bc	0,44Cd	0,37Bd	0,24Ch	0,19Ci	0,20Cj	0,18Dk
BRS Pardela	0,72*c	0,69*d	0,64Ae	0,60Af	0,55Ag	0,46Ah	0,34Bi	0,30Bj	0,23Bk
CD 1440	0,76*b	0,74*b	0,69Ac	0,67Ac	0,63Ad	0,52Ae	0,38Bf	0,30Bg	0,22Ah
CD 1550	0,73*d	0,71*d	0,66Ae	0,61Af	0,57Ag	0,45Ah	0,34Bi	0,31Bj	0,24Bk
Mirante	0,73*c	0,73*c	0,68Ad	0,65Ad	0,61Ae	0,49Ag	0,35Bi	0,29Bj	0,22Bk
Quartzo	0,76*b	0,77*b	0,72Ac	0,69Ac	0,66Ac	0,51Ad	0,37Bg	0,31Bh	0,22Bi
CD 104	0,77*b	0,76*b	0,71Ac	0,70Ac	0,67Ac	0,58Ae	0,51Af	0,40Ag	0,25Ah

¹Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna (entre cultivares) e minúscula na linha (entre os dias) não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade. * Período em que não houve diferença significativa entre as cultivares.

Tabela 6a. Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2014.

Cultivares	Dias após semeadura						
	18	26	34	46	56	67	80
BRS Guamirim	0,31Bf	0,45Be	0,58Ad	0,77*b	0,82*a	0,81*a	0,76Ab
CD 108	0,30Bd	0,45Bc	0,52Bc	0,69*a	0,73*a	0,71*a	0,64Bb
CD 116	0,30Bd	0,43Bc	0,51Bb	0,65*a	0,73*a	0,72*a	0,65Ba
CD 150	0,34Af	0,54Ae	0,68Ac	0,82*a	0,83*a	0,84*a	0,79Aa
CD 154	0,30Be	0,45Bd	0,61Ac	0,75*b	0,81*a	0,80*a	0,70Bb
BRS Pardela	0,29Bh	0,45Bg	0,59Ae	0,78*b	0,82*a	0,81*a	0,72Ac
CD 1440	0,28Bh	0,42Bf	0,49Be	0,68*c	0,77*a	0,79*a	0,75Aa
CD 1550	0,28Bh	0,40Bg	0,47Bf	0,71*c	0,80*a	0,81*a	0,75Ab
Mirante	0,30Bh	0,44Bf	0,54Be	0,71*c	0,79*a	0,80*a	0,77Ab
Quartzo	0,30Bh	0,43Bg	0,51Be	0,74*c	0,81*a	0,83*a	0,79Ab
CD 104	0,30Bf	0,44Be	0,55Bd	0,75*b	0,80*a	0,80*a	0,75Ab

Tabela 6b. Médias de NDVI coletadas com o equipamento GreenSeeker em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2014.

Cultivares	Dias após semeadura						
	84	90	98	105	112	119	129
BRS Guamirim	0,75*b	0,75*b	0,64Ac	0,48Be	0,28Bf	0,17Bg	0,13*g
CD 108	0,62*b	0,62*b	0,48Bc	0,29Dd	0,18Be	0,15Be	0,12*e
CD 116	0,63*a	0,63*a	0,56Bb	0,41Cc	0,25Bd	0,17Be	0,13*e
CD 150	0,80*a	0,80*a	0,73Ab	0,59Ad	0,37Af	0,22Ag	0,13*h
CD 154	0,72*b	0,72*b	0,60Bc	0,39Cd	0,22Bf	0,14Bg	0,11*g
BRS Pardela	0,73*c	0,73*c	0,65Ad	0,51Bf	0,29Bh	0,16Bi	0,11*j
CD 1440	0,75*a	0,75*a	0,71Ab	0,58Ad	0,32Bg	0,17Bi	0,11*j
CD 1550	0,75*b	0,75*b	0,68Ad	0,52Be	0,27Bh	0,17Bi	0,11*j
Mirante	0,76*b	0,76*b	0,68Ad	0,53Be	0,40Ag	0,21Ai	0,10*j
Quartzo	0,77*b	0,77*b	0,72Ac	0,63Ad	0,47Af	0,25Ai	0,11*j
CD 104	0,74*b	0,74*c	0,69Ac	0,57Ad	0,41Ae	0,23Ag	0,12*h

¹Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna (entre cultivares) e minúscula na linha (entre os dias) não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade. *Período em que não houve diferença significativa entre as cultivares.

Tabela 7a. Médias de NDVI coletadas com o equipamento FieldSpec 4 em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2014.

Cultivares/Dias	Dias após semeadura						
	18	26	34	46	56	67	77
BRS Guamirim	0,34*d	0,47Ac	0,66Bb	0,89*a	0,92*a	0,92*a	0,92*a
CD 108	0,40*c	0,49Ac	0,78Ab	0,88*a	0,91*a	0,90*a	0,88*a
CD 116	0,38*b	0,51Ac	0,65Bb	0,82*a	0,87*a	0,89*a	0,87*a
CD 150	0,42*c	0,53Ab	0,84Aa	0,90*a	0,92*a	0,93*a	0,92*a
CD 154	0,34*d	0,49Ac	0,79Ab	0,87*a	0,92*a	0,92*a	0,91*a
BRS Pardela	0,32*d	0,50Ac	0,74Ab	0,89*a	0,92*a	0,92*a	0,91*a
CD 1440	0,30*e	0,47Ad	0,63Bd	0,85*a	0,91*a	0,90*a	0,90*a
CD 1550	0,31*e	0,44Bd	0,61Bc	0,86*a	0,91*a	0,91*a	0,92*a
Mirante	0,36*e	0,45Bd	0,76Ab	0,88*a	0,92*a	0,92*a	0,91*a
Quartzo	0,33*c	0,40Bc	0,69Bb	0,87*a	0,92*a	0,92*a	0,92*a
CD 104	0,34*e	0,41Be	0,62Bc	0,86*a	0,91*a	0,91*a	0,89*a

Tabela 7b. Médias de NDVI coletadas com o equipamento FieldSpec 4 em diferentes fases de desenvolvimento de 11 cultivares de trigo em Cascavel, no ano de 2014.

Cultivares/Dias	Dias após sementeira						
	84	90	98	105	112	119	129
BRS Guamirim	0,91*a	0,89*a	0,82*a	0,68Ab	0,40Bd	0,17Be	0,12*e
CD 108	0,87*a	0,85*a	0,71*b	0,48Bc	0,26Cd	0,14Be	0,11*e
CD 116	0,85*a	0,81*a	0,71*b	0,58Bb	0,32Cd	0,18Be	0,11*e
CD 150	0,93*a	0,92*a	0,89*a	0,81Aa	0,59Ab	0,29Ab	0,13*e
CD 154	0,90*a	0,88*a	0,76*b	0,57Bc	0,33Cd	0,15Be	0,10*e
BRS Pardela	0,91*a	0,89*a	0,82*b	0,73Ab	0,44Bc	0,18Be	0,11*e
CD 1440	0,91*a	0,90*a	0,86*a	0,77Ab	0,52Ad	0,20Bf	0,12*f
CD 1550	0,91*a	0,89*a	0,83*a	0,74Ab	0,39Bd	0,17Bf	0,11*f
Mirante	0,92*a	0,91*a	0,84*a	0,72Ab	0,57Ac	0,30Ae	0,10*f
Quartzo	0,92*a	0,91*a	0,88*a	0,82Aa	0,64Ab	0,35Ac	0,11*d
CD 104	0,88*a	0,90*a	0,85*a	0,76Ab	0,53Ad	0,26Af	0,12*g

¹Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna (entre cultivares) e minúscula na linha (entre os dias) não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade. *Período em que não houve diferença significativa entre as cultivares.

No ano de 2014, a cultivar CD 150 apresentou melhor média no início do desenvolvimento, com 18 dias após a sementeira e a média de NDVI foi de 0,34. Visualmente, essa cultivar tinha maior cobertura de solo em relação às outras. E, de acordo com a Figura 10, pode-se comparar a CD 150 (a) com a CD 1440 (b) que, nesse período, apresentou a menor média (0,28).

a)



b)



Figura 13. Cultivares CD 150 (a) e CD 1440 (b), com 18 DAS.

Na fase inicial, que compreende as coletas com 8, 26 e 36 dias no ano de 2013, foi possível identificar dois grupos de médias diferentes. As cultivares que apresentaram os menores valores de NDVI, no início desse período, foram as cultivares CD 116, CD 1440, Mirante e Quartzo. Portanto, com 36 dias, as médias das cultivares variavam de 0,57 a 0,62,

indicando maior exposição do solo pela menor agilidade no desenvolvimento na fase inicial em relação às cultivares que apresentaram maiores médias de NDVI.

As maiores médias de NDVI na fase inicial do experimento do ano de 2013 foram obtidas nas parcelas das cultivares BRS Guamirim, CD 154, BRS Pardela, CD 1550 e CD 104, quando o NDVI variou de 0,65 a 0,74 com 36 dias. A diferença de desenvolvimento inicial pode ser identificada na Figura 14, a qual mostra que as cultivares estão com o mesmo número de dias após a semeadura. As Figuras 13 (a) e 13 (b) representam parcelas das cultivares BRS Guamirim e CD 154, que apresentavam as médias mais elevadas de NDVI, seguidas das cultivares CD 116 e Mirante (c e d) que apresentaram médias mais baixas no período inicial de desenvolvimento. Foi observada diferença estatística entre as mesmas, portanto, foi possível considerar que as cultivares apresentaram maior desenvolvimento inicial.

a)



b)



c)



d)



Figura 14. Cultivares BRS Guamirim (a), CD 154 (b), CD 116 (c) e Mirante (d) com 36 DAS.

As cultivares Mirante, CD 108, CD 116, CD 150, CD 1440 e Quartzo tiveram menor vigor vegetativo no período correspondente à fase final de afilhamento. Os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6 mostram que as cultivares formaram apenas dois grupos e mesmo tendo características genéticas diferentes na avaliação do desenvolvimento vegetativo, revelaram semelhanças que permitiram permanecer no mesmo grupo de desenvolvimento inicial das plantas. De forma geral, as cultivares diferem entre si, possivelmente devido as suas diferentes características de desenvolvimento vegetativo e estrutura de planta.

Em 2013, no período de afilhamento, as cultivares BRS Guamirim e CD 154 apresentaram os maiores valores de NDVI, quando comparadas às demais variedades (Tabela 5a). Isto se deve à capacidade em cobrir mais rapidamente o solo com área foliar. Em estudo sobre a variação espectral de oitenta e dois genótipos de trigo, entre a fase de emborrachamento e ponto de colheita, Hatfiell (1981) já tinha observado tal variabilidade na resposta espectral dos genótipos. O autor concluiu que as diferenças encontradas estão associadas não apenas às variáveis agrônômicas como índice de área foliar ou acúmulo de biomassa, mas também à alta dependência da geometria de incidência da radiação e sua interação com as características da arquitetura dos dosséis vegetativos.

A Figura 15 mostra a diferença visual no desenvolvimento das cultivares BRS Guamirim e CD 108 que, embora estejam enquadradas no mesmo ciclo fenológico, existe diferença no desenvolvimento e, por consequência, diferentes valores de NDVI.

a)



b)



Figura 15. Cultivares BRS Guamirim (a) e CD 108 (b) com 34 DAS.

As cultivares de hábito vegetativo e posição da folha ereta a semiereta CD 108, CD 1440 e CD 1550 não apareceram como destaque de cobertura de solo. Este fato confirma que o tipo de germoplasma permite maior penetração da radiação dentro do dossel.

A diferença na velocidade em que a cultura cobre o solo é uma característica genética importante quando a mesma (VELOCID - apagar) é relacionada com a competitividade entre plantas, em que a maior cobertura de solo reduz a capacidade de desenvolvimento de outras plantas. Nessa fase, as cultivares estavam no período de afilhamento, segundo a classificação de Feeks e Large, o qual corresponde aos estádios de 1 a 5. De modo geral, todos os fatores que permitem bons crescimento e desenvolvimento da planta como disponibilidade hídrica, fertilidade, estruturação do solo e adubação adequada acabam por favorecer também a emissão de afilhos e gerar maior cobertura do solo pelo aumento de área verde.

No ano de 2014, com 18 dias após a semeadura, todas as cultivares, exceto a CD 150, apresentavam médias estatisticamente iguais. Porém, esses resultados não permaneceram ao longo da fase inicial, em que ocorreu maior desenvolvimento nas cultivares CD 150, CD 154, BRS Guamirim (Tabela 6). Os comportamentos de diferenças podem ser visíveis no campo (Figura 16). A determinação das diferentes respostas das cultivares indica que tal variação não está ligada somente aos fatores ambientais que geram maior ou menor NDVI; ela também pode estar ligada ao desempenho das cultivares.

a)



b)



Figura 16. Cultivares CD 1550 (a) e CD 150 (b) com 34 DAS.

Os baixos valores de NDVI para a cultivar CD 1550 estão relacionados à exposição do solo, haja vista a cultivar também ter hábito vegetativo semiereto e posição de folhas

eretas, similar à CD 108. Por outro lado, as médias mais elevadas da CD 150 estão relacionadas ao seu maior desenvolvimento e cobertura da área fotossintética.

As cultivares que tiveram destaque no ano de 2013 foram as BRS Guamirim, CD 154, BRS Pardela, CD 1550, CD 104 no período de 8 a 36 dias. Em 2014, o período de 18 a 34, corresponde à mesma fase inicial do ano anterior. O desempenho no desenvolvimento variou nos dois anos, e as cultivares que obtiveram as maiores médias também em 2014 foram as BRS Guamirim, CD 154 e BRS Pardela.

Desde a fase de desenvolvimento inicial até a fase de início da alongação pode ser considerado como o período essencial para formação dos afilhos e potencialização dos componentes de rendimento, tamanho de espigas, e número de inflorescências por espiguetas. Essas cultivares que têm grande desenvolvimento inicial e elevada capacidade de gerar um potencial superior de NDVI bem como a estrutura da planta para maximizar os componentes de rendimento de grãos, mostrando elevado potencial para atingir a máxima resposta para as condições disponíveis no ambiente onde foram analisadas.

Entretanto, das três cultivares BRS Pardela, CD 150 e Mirante, que apresentaram maior resposta de rendimento de grãos, somente a CD 150 apresentou maior NDVI na fase inicial de desenvolvimento. Para essa cultivar, pode-se afirmar que a maior área fotossintética teve importância positiva na expressão do potencial de produtividade. As outras duas cultivares, geneticamente diferentes da CD 150, podem ter outras características que contribuem para a formação de maior quantidade de carboidratos acumulados nos grãos.

No ano de 2013, não foram considerados os valores de rendimento por representar a possibilidade apenas de menor efeito da geada na cultivar com maior produtividade.

Segundo Larcher (2000), após a emergência, as plantas de trigo têm rápido desenvolvimento do tamanho de folhas. Em condições ambientais favoráveis, a área fotossintética possibilita o desenvolvimento de mais afilhos (+- 15 a 25 dias) que contribui para a mais rápida cobertura do solo. A partir dessa fase, inicia-se a formação da espiga e começa o período de alongação, que corresponde à fase de aumento de: estatura de planta, de área foliar e dos componentes de rendimento de grãos. A máxima cobertura do solo, que corresponde ao máximo NDVI, pode ser alcançada na fase de espigamento. Nessa fase, a preferência para formação da espiga ocorre em detrimento da área foliar. Após o período de espigamento começa a fase de desenvolvimento e enchimento de grãos. A preferência pela produtividade pode provocar a redução da área verde, e como consequência menor NDVI. Cultivares com maior duração de área verde podem garantir maior enchimento de grãos, por permanecerem mais tempo em atividade fotossintética.

Conforme o desenvolvimento das parcelas aumenta, os valores de NDVI respondem da mesma forma. No entanto, de acordo com o teste de média no ano de 2013, no período

que compreendeu de 43 a 91 dias, não houve diferença significativa nos valores de NDVI medidos. Esta característica de resposta se repetiu no ano de 2014, entre os dias 46 a 90, exceto no dia 80, quando as cultivares CD 108, CD 116 e CD 154 apresentaram médias estatisticamente menores das demais. Tal diferença pode estar relacionada à exposição do solo já que as cultivares apresentavam hábito vegetativo semiereto e posição de folhas eretas. Por outro lado, a frequência de médias mais elevadas do CD 150 está relacionada ao maior desenvolvimento e cobertura da área fotossintética. Esse período vai desde a fase final de afilamento até o pós-espigamento, momento em que o solo estava praticamente todo coberto (Figura 14).

O hábito vegetativo ereto da CD 108 permite a elevada penetração de luz no dossel e gera valores menores de NDVI por permitir a entrada de maior quantidade de radiação, como consequência da menor barreira ocorre uma melhor distribuição de luz entre as plantas, bem como, nas folhas inferiores. O tipo ereto de folha é uma característica importante para o melhoramento genético, por gerar cultivares com melhor aproveitamento de radiação. Pode ser também uma característica altamente correlacionada com o aumento da população de plantas por unidade de área, por isto contribui para diferenciar as cultivares.

No estágio de espigamento, ocorreu a estabilização da curva, a qual sugere saturação do índice. Isso pode ser observado no resultado do teste de média que apresenta a mesma letra minúscula (Tabelas 5 e 6), na comparação do NDVI entre os dias da mesma cultivar e o período de maior desenvolvimento não apresenta diferença de médias. De acordo com Thenkabail et al. (2000), quando o índice satura, ele não é capaz de registrar aumento de biomassa após a cultura apresentar 100% de cobertura do solo.

a)



b)



Figura 17. Cultivares CD 150 (a) e CD 108 (b) com 80 DAS.

As primeiras cultivares que entraram na fase de espigamento foram a CD 108 (58 dias após a germinação) e a BRS Guamirim (60), no ano de 2013. No entanto, mesmo com a variação de ciclo, o comportamento do NDVI entre as cultivares na fase de espigamento foi estatisticamente igual para todas. As cultivares CD 116, CD 150, CD 154 e BRS Pardela são consideradas de ciclos precoce e médio; apresentaram espigamento com 65, 64, 67, 67 dias, respectivamente, com valores muito próximos. Além disso, podem ser consideradas com o mesmo período de emissão de espigas. O período estatisticamente igual que ocorreu durante o pré-espigamento, espigamento e início do florescimento, período em que a cultura apresenta a maior quantidade de biomassa. Isso indica uma saturação no índice de vegetação, pois acarreta em uma não diferenciação entre as cultivares durante o período.

Aos 63 dias em 2013 e, aos 56 e 67 dias em 2014, foram registradas as maiores respostas em NDVI para todas as cultivares. Os dados revelam que as cultivares de ciclo médio com maior tempo para formação de área foliar podem atingir a máxima NDVI antes do período de espigamento, diferente das cultivares de ciclo mais curto, como ficou comprovado pelos resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6. A necessidade de emitir espigas mais cedo poderia causar a perda do desenvolvimento das folhas, que são as estruturas básicas para atividade fotossintética das plantas, responsáveis pela maior resposta no rendimento das cultivares.

A expressão de maior NDVI em algumas cultivares em relação às demais é evidente nos resultados obtidos nos dois anos de avaliação. Em 2013, as cultivares BRS Guamirim, CD 154 e BRS Pardela obtiveram a mais rápida cobertura do solo no período de 8 a 36 dias. Já no final do ciclo do mesmo ano, as cultivares BRS Pardela, CD 1440, CD 1550, Mirante, Quartzo e CD 104 obtiveram destaque pela maior média de NDVI no período de 105 a 119 dias. Esse comportamento foi observado no ano de 2014, no período de 98 a 119 dias, quando as cultivares CD 150, Mirante, Quartzo, CD 104 apresentaram maiores médias de NDVI e maior área verde no período final do ciclo. No entanto, as maiores produtividades foram encontradas nas parcelas das cultivares CD 150, BRS Pardela, e Mirante (Tabela 8). Isso indica que o maior período de área verde se correlacionou positivamente com a produtividade nas cultivares CD 150 e Mirante e corresponde a um efeito positivo em 50% das cultivares com melhor resposta em produtividade.

Tabela 8. Médias de estatura de plantas (cm) e produtividade (kg.ha⁻¹) obtidas nos experimentos de 2013 e 2014.

Cultivares	Altura de planta (cm)	Produtividade kg.ha ⁻¹	
		2013	2014
BRS GUAMIRIM	60 a	162,65 c	5633,00 b
CD 108	60 a	392,50 a	5834,33 b
CD 116	65 b	119,19 d	5171,33 b
CD 150	65 b	239,75 b	7011,66 a

CD 154	70 c	70,11 d	6026,00 b
BRS PARDELA	75 d	46,72 d	6647,00 a
CD 1440	75 d	121,02 d	5753,00 b
CD 1550	65 b	183,12 c	5957,00 b
MIRANTE	80 e	240,33 b	7031,33 a
QUARTZO	75 d	278,12 b	6270,66 b
CD 104	80 e	465,30 a	5468,00 b

¹Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Foram comparadas as médias obtidas ao longo do ciclo de cada cultivar (letra minúscula nas Tabelas 5 e 6), no período em que ocorrem os maiores valores de NDVI, da mesma cultivar, que define o período de estabilização ou saturação do índice de vegetação NDVI. Este período corresponde ao pré-espigamento e ao espigamento das cultivares, pois mantêm os valores do índice estatisticamente iguais entre as cultivares. Tal saturação pode estar relacionada ao ápice da quantidade de biomassa que cada cultivar desenvolve. De acordo com a Figura 18, podemos ver que a cobertura do solo está completa e causa a não diferenciação das cultivares a partir do índice NDVI.

No estágio de florescimento, o índice NDVI começa a reduzir, pois a planta direciona sua energia para a fecundação das flores e formação de grãos. A formação de grãos é o período que se estende da fertilização do óvulo até o máximo acúmulo de massa seca no grão, caracterizado pela formação do embrião e pela deposição de reservas (LARCHER, 2000).

a)



b)



Figura 18. Cultivares CD 150 (a) e BRS Pardela (b) com 71 DAS no ano de 2014.

O material translocado aos grãos provém da fotossíntese e da remobilização do que foi previamente acumulado no colmo, nas folhas e raízes. A formação do grão dura de 30 a 50 dias. Tal período é reduzido em condições de elevada temperatura do ar, pouca precipitação pluvial com conseqüente baixa umidade do solo, dias longos e ensolarados.

No estágio de maturação correspondente à fase de senescência da cultura, o solo volta a ficar aparente e os valores de NDVI reduzem significativamente. Mas, de acordo com esta pesquisa, a cultivar CD 104, de ciclo maior, teve destaque no comportamento no período de 98 a 140 dias, o que está dentro de um desempenho esperado, por possuir maior período para maturação, o qual contribuiu para manter por mais tempo a área fotossintética para atender à demanda de assimilados durante o processo de enchimento de grãos.

O apêndice mostra o desenvolvimento dos valores médios de NDVI medidos em cada cultivar, cruzados com os estádios fenológicos nos anos 2013 e 2014. Assim, ficam reforçados os resultados das Tabelas 5, 6 e 7. Ao serem divididos os gráficos em quatro regiões 1 a 5, 6 a 10, 10.1 a 10.5.4 e de 11 a 11.4 pela classificação de Feeks e Large, no período de 1 a 5, os dados apresentam baixos valores. Isso ocorre devido à influência do solo, que no início do ciclo das cultivares representa a maior parte da área sensoriada. No período de 6 a 10, como ainda ocorre o crescimento da vegetação, existe variação entre as cultivares e, ao cobrir 100% do solo, estádios de 10.1 a 10.5.4, o NDVI atingiu o valor máximo conseqüentemente a dispersão dos dados diminui. Nos estádios de 11 a 11.4, correspondentes à fase de senescência da cultura, o solo volta a ficar aparente e os resultados obtidos a partir das leituras aumentam a dispersão.

O estágio de maturação apresentou médias estatisticamente semelhantes para cultivares que pertencem ao mesmo grupo de maturação, as quais são atribuídas ao efeito do ano, que pode ter interagido confirmando as médias que permitiram a caracterização das cultivares.

No apêndice deste trabalho, estão apresentados os perfis temporais médios de NDVI obtidos para as onze cultivares estudadas. Verifica-se que as curvas expõem comportamento típico de culturas anuais, em que os valores de NDVI iniciam-se baixos devido à grande influência do solo exposto/palhada. E, conforme a cultura se desenvolve, aumentam os valores de NDVI, relacionados diretamente com a biomassa até a época em que a cultura atinge o valor máximo do índice vegetativo, período em que a cultura está em espigamento. A partir daí a planta reduz o vigor vegetativo e se inicia o processo de maturação. Isso faz com que os valores de NDVI diminuam até os patamares iniciais quando as plantas atingem o estágio de maturação.

Ao serem analisados os perfis temporais de NDVI das culturas, nota-se que, de maneira geral, o valor de NDVI se comporta de maneira semelhante. No entanto, ao longo

do tempo, apresentam-se diferenças estatísticas. As principais delas são: o vigor vegetativo da cultura, o ciclo fenológico e a arquitetura de planta de cada cultivar, características que influenciam diretamente no índice de vegetação. Observando-se o apêndice, as variedades de ciclo precoce (BRS Guamirim e CD 108) apresentaram redução nos valores de NDVI muito antes da cultivar CD 104, que tem ciclo fenológico tardio. Isto comprova a sensibilidade que o índice de vegetação tem em relação à variação do ciclo fenológico de cada cultivar.

Os valores do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) variaram ao longo do ciclo da cultura, quando no estágio de duas folhas completamente expandidas foram de 0,22 e 0,80, próximos ao espigamento. Esta variação já foi registrada em outras pesquisas realizadas com sensores que utilizam a região do visível (AMARAL et. al. 2015).

Os perfis temporais de NDVI no apêndice foram obtidos pelo sensor GreenSeeker, para as onze cultivares estudadas nos anos de 2013 e 2014 e FieldSpec 4 em 2014. Verifica-se que as curvas apresentam o comportamento típico de culturas anuais, cujos valores de NDVI iniciam-se baixo e aumentam à medida que a planta cresce, época em que a cultura atinge o valor máximo do índice vegetativo. Com o desenvolvimento vegetal, a planta reduzirá o vigor vegetativo e entra na fase senescência, fazendo com que os valores de NDVI diminuam próximos aos valores iniciais do ciclo.

Em todas as cultivares a curva começa a decrescer de forma mais expressiva, por volta de 105 dias após a semeadura, que correspondente ao estágio 11 das cultivares, segundo a classificação de Feeks e Large. Esta redução no valor do NDVI está relacionada ao período de senescência da cultura (Figura 16), por não ocorrer mais a fotossíntese os valores de NDVI reduzem ao patamar inicial.

a)



b)



Figura 19. BRS Pardela (a) e BRS Guamirim (b) com 119 DAS no ano de 2014.

O apêndice mostra a curva do perfil obtida a partir das médias das leituras para cada cultivar, descreve o comportamento da cultura de acordo com a evolução da sua biomassa, nos primeiros dias após a semeadura (DAS), no início da curva, o NDVI apresentou valores próximos a 0,2, valor este referente ao solo, devido às plantas ainda em estágio inicial apresentarem pequena quantidade de folhas. À medida que o tempo avança, as plantas crescem, aumentando a sua biomassa e também os valores de NDVI, até o valor máximo próximo a 0,9, onde a curva estabiliza o seu crescimento.

As diferenças encontradas estão no vigor vegetativo de cada cultivar e na capacidade que a planta tem em cobrir a superfície do solo com área fotossintética, o que influencia diretamente nos valores do índice de vegetação. No período inicial, a diferença está relacionada à capacidade que a planta tem em cobrir o solo e a arquitetura de planta. Por outro lado, as diferenças no final do ciclo estão relacionadas à velocidade que a planta para completar seu ciclo e entrar em senescência.

As informações sobre os atributos agrônômicos do trigo podem ser inferidas a partir de suas características espectrais. Os dados espectrais mostraram ser relacionados com o desenvolvimento fenológico da cultura, mais evidente nos estádios iniciais e maturação final. Já no início do ciclo do crescimento, houve, possivelmente, influência da fração de área do terreno exposto (solo e restos da palhada) e no estágio de maturação final, o efeito foi ocasionado pela senescência da planta.

As cultivares estudadas apresentaram comportamentos espectro-temporais de NDVI semelhantes ao longo do ciclo fenológico. Entretanto, os testes de comparações de médias mostraram haver diferenças significativas de NDVI, a 5% de significância, entre as cultivares, em determinadas datas de coleta. O comportamento espectral entre os sensores foi semelhante para o nível de significância de 5%.

5.3 Comparação entre os sensores GreenSeeker e FieldSpec 4

Os sensores GreenSeeker e FieldSpec 4 além da capacidade de leitura de diferentes comprimentos de onda, um é ativo e outro passivo, ou seja, no sensor ativo para realização das medições a luz é emitida pelo próprio equipamento (GreenSeeker) e o sensor passivo necessita da emissão de uma fonte externa de energia eletromagnética (FieldSpec 4).

Ambos sensores mostraram-se semelhantes na caracterização do padrão espectro temporal dos cultivares de trigo, pelo índice de vegetação por diferença normalizada, apresentando respostas semelhantes na comparação de médias da maior parte do ciclo da cultura no ano de 2014 (Tabela 9).

Tabela 9. Comparação das leituras medidas com os sensores GreenSeeker e FieldSpec 4.

Cult ¹ /Dia s	Equip. 2	18	26	34	46	56	67	80	84	90	98	105	112	119	129
CD 104	GS ³	0.30*	0.44 b	0.55*	0.75*	0.80*	0.80*	0.75*	0.74*	0.71*	0.69*	0.57*	0.41*	0.23*	0.12*
	FS ⁴	0.34*	0.55a	0.62*	0.86*	0.91*	0.91*	0.89*	0.88*	0.90*	0.85*	0.76*	0.53*	0.26*	0.12*
CD 108	GS ³	0.30*	0.45*	0.52*	0.69*	0.73*	0.71*	0.64*	0.62*	0.61*	0.49*	0.29*	0.18*	0.15*	0.12*
	FS ⁴	0.40*	0.59*	0.78*	0.88*	0.91*	0.90*	0.88*	0.87*	0.85*	0.72*	0.48*	0.26*	0.14*	0.11*
CD 116	GS ³	0.30*	0.43*	0.51*	0.65*	0.73*	0.72*	0.65*	0.63*	0.62*	0.56*	0.41*	0.25*	0.17*	0.13*
	FS ⁴	0.38*	0.51*	0.65*	0.82*	0.87*	0.89*	0.87*	0.85*	0.81*	0.71*	0.58*	0.32*	0.18*	0.11*
CD 150	GS ³	0.34*	0.54*	0.68*	0.82*	0.83*	0.84*	0.79*	0.80*	0.78*	0.73*	0.59*	0.37*	0.22*	0.13*
	FS ⁴	0.42*	0.53*	0.84*	0.90*	0.92*	0.93*	0.92*	0.93*	0.92*	0.89*	0.81*	0.59*	0.29*	0.13*
CD 154	GS ³	0.30*	0.45*	0.61*	0.75*	0.81*	0.80*	0.70*	0.72*	0.69*	0.60*	0.39*	0.22*	0.14*	0.11*
	FS ⁴	0.34*	0.49*	0.79*	0.87*	0.92*	0.92*	0.91*	0.90*	0.88*	0.76*	0.57*	0.33*	0.15*	0.10*
CD 1440	GS ³	0.28*	0.42*	0.49*	0.68*	0.77*	0.79*	0.75*	0.75*	0.76*	0.71*	0.59*	0.32*	0.17*	0.11*
	FS ⁴	0.30*	0.57*	0.63*	0.85*	0.91*	0.90*	0.90*	0.91*	0.90*	0.86*	0.77*	0.52*	0.20*	0.12*
CD 1550	GS ³	0.28*	0.41*	0.48*	0.72*	0.81*	0.81*	0.75*	0.76 b	0.75*	0.68*	0.52*	0.27*	0.17*	0.12*
	FS ⁴	0.31*	0.53*	0.62*	0.87*	0.92*	0.92*	0.93*	0.92a	0.90*	0.84*	0.74*	0.40*	0.18*	0.12*
BRS Guamirim	GS ³	0.31*	0.45*	0.58*	0.77*	0.82*	0.81*	0.76*	0.75*	0.72 b	0.64 b	0.49*	0.28*	0.17*	0.13*
	FS ⁴	0.34*	0.47*	0.67*	0.89*	0.92*	0.92*	0.92*	0.91*	0.89a	0.82a	0.68*	0.40*	0.17*	0.12*
BRS Pardela	GS ³	0.29*	0.45*	0.59*	0.78*	0.82*	0.81*	0.72*	0.73 b	0.71*	0.65*	0.51*	0.29*	0.16*	0.11*
	FS ⁴	0.32*	0.50*	0.74*	0.89*	0.92*	0.92*	0.91*	0.91a	0.89*	0.82*	0.73*	0.44*	0.18*	0.11*
Mirante	GS ³	0.30*	0.44*	0.54*	0.71*	0.79*	0.80*	0.77*	0.76*	0.75*	0.68*	0.53 b	0.40*	0.21*	0.10*
	FS ⁴	0.36*	0.45*	0.76*	0.88*	0.92*	0.92*	0.91*	0.92*	0.91*	0.84*	0.72a	0.57*	0.30*	0.10*
Quartzo	GS ³	0.30*	0.43*	0.51*	0.74*	0.81*	0.83*	0.79*	0.77*	0.77*	0.72*	0.63*	0.47*	0.25*	0.11*
	FS ⁴	0.33*	0.40*	0.69*	0.87*	0.92*	0.92*	0.92*	0.92*	0.91*	0.88*	0.82*	0.64*	0.35*	0.11*

¹Cultivar, ²Equipamento, ³GreenSeeker, ⁴FieldSpec 4, ⁵Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Foi possível constatar que os dois sensores apontaram os períodos de estabilização dos índices de vegetação em um mesmo intervalo de coleta. Os sensores também foram eficientes em identificar médias estatisticamente diferentes no início e no final do ciclo (Tabelas 6 e 7).

O teste de média dos valores de NDVI medidos com o sensores FieldSpec 4 e GreenSeeker podem ser observado na Tabelas 9. Essa mostra que os valores de NDVI obtidos pelos sensores FieldSpec 4 e GreenSeeker são estatisticamente iguais (Teste de Scott-Knott a 5%). Os comportamentos do NDVI foram diferentes apenas nos dias 26 com a CD 104, dia 84 com a CD 1550 e BRS Pardela, nos dias 90 e 98 para a BRS Guamirim e 105 dias a cultivar Mirante. As diferenças de médias podem estar relacionadas à forma de coleta de dados do equipamento FieldSpec 4, que é pontual, causando menor variação nas leituras de NDVI.

5 CONCLUSÕES

A referida pesquisa possibilitou caracterizar o padrão espectro-temporal do ciclo da cultura do trigo traduzido pelo NDVI. Os valores do NDVI permitiram estimar o momento máximo da quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa para diferentes cultivares de trigo.

Os dados da resposta espectral do dossel da cultura, caracterizados pela medição da reflectância de ondas eletromagnéticas, podem ser utilizados como indicadores indiretos do status da cultura. As cultivares estudadas de trigo apresentaram comportamentos de NDVI semelhantes durante o ciclo da cultura, entretanto, os testes de comparações de médias mostraram que há diferenças significativas nas médias NDVI no início e no final da cultura.

O comportamento espectral entre as cultivares de trigo apresentou diferenças estatísticas, que podem ser atribuídas ao fato das cultivares apresentarem ciclos e arquiteturas de planta que diferem entre si.

Ambos sensores foram eficientes em identificar o comportamento espectro-temporal da cultura. Assim, é possível fazer o acompanhamento temporal do NDVI, para auxiliar na interpretação dos estágios fenológicos da cultura do trigo e isso evidencia a importância deste trabalho no desenvolvimento da cultura a partir do NDVI. De acordo com este acompanhamento, foi possível a identificação do período em que o trigo permite relacionar informações de estágios fenológicos com os períodos que em ocorrem as adversidades climáticas. Tais períodos fornecem subsídio ao monitoramento da produção agrícola para a identificação de possíveis oscilações de produtividade por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

O trabalho atingiu o objetivo e permitiu estudar o comportamento espectro-temporal por sensor terrestre, assim como a variação do índice para diferentes cultivares. Além de permitir relacionar o perfil de NDVI com determinadas fases fenológicas da cultura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P.; PORTZ, G.; FINAZZI, F. B.; CORTINOVE, L. **Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status**. Precision Agriculture, v. 16, n. 1, p. 15-28, 2015.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO). **Sobre o Trigo. O que é o Trigo**. São Paulo - SP 2014. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/index.php?mpg=02.00.00>. Acesso em: 13 abril 2014.

BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2010. 64 f. (Dissertação mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

BADHWAR G.D. **Crop Emergence date Determination from Spectral Data, Photogram**. Remote Sense, v. 46, p. 369-377, 1980.

BARBOSA, K. M. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 06 de junho de 2006. 131 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 3, de 14 de outubro de 2008**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/zoneamento_agricola/INSTRUCAO_N_3.pdf. Acesso em: 11 de setembro de 2014.

BIOTRIGO – OR/Biotrigo Genética. **Cultivares**. Disponível em: <http://www.biotrigo.com.br/cultivares/listaCultivares.php?empresa=> or Acesso em: 14 de abril de 2014.

BRASIL, **Instrução Normativa nº 58 de 19 de novembro de 2008**. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Paraná. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/vegetal/RegistroAutorizacoes/TRIGO%20\(TRITICUM%20SPP\) \(1\).doc](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/vegetal/RegistroAutorizacoes/TRIGO%20(TRITICUM%20SPP) (1).doc) Acesso em: 14 de janeiro de 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Política agrícola brasileira para a triticultura e demais culturas de inverno** / Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA, 2012.

BRASIL. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (6: 2012 jul.-ago., 29-2, Londrina, PR). Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2013 / Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Londrina, PR, 29 de julho a 2 de agosto de 2012. – Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 2013.

BRASIL. **Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2012**. V Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Dourados, MS, 25 a 28 de julho de 2011. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br> Acesso em: 14 de janeiro de 2014

BRISKE, D. D. **Developmental morphology and physiology of grasses**. Grazing management: an ecological perspective. Portland: Timber Press, 1991. p. 85-108.

CAMARGO, C. E. O.; FELICIO, J. C; FERREIRA FILHO, A. W. P.; FREITAS, J. G.; PETTINELLI JUNIOR, A.; RAMOS, V. J. & KANTHACK, R. A. D. **Adubação N, P, K e S**

para a cultura de trigo no Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1990. 33p. (Boletim técnico, 129).

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Preço médio do trigo CEPEA/ESALQ – Estado do Paraná.** Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/trigo> Acesso em: 14 de abril de 2014.

CIVIERO, J. C. **Efeito de épocas de semeadura no desenvolvimento e produtividade do trigo (*Triticum Aestivum* L.) na região de Pato Branco, PR.** 2012. 73 f. (Dissertação de mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de safra.** Brasília: Conab, 2013. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>. Acesso em: Diversas datas.

COURA, S. M. da C. **Mapeamento de vegetação do estado de minas gerais utilizando dados MODIS.** 2007. 147f. (Dissertação de mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos – SP, 2007.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing.** New York: Taylor & Francis, 2006. 625p.

COODETEC - Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola. **Guia de produtos 2014.** Disponível em: <http://www.coodetec.com.br/downloads/guia-de-produtos-2014-sul.pdf> Acesso em: 14 de abril de 2014.

DEERING, D. W. **Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors.** College Station, Texas A&M University. Dissertation (Ph. D), 338 p., 1978.

DEMIREVSKA-KEPOVA, K.; HÖLZER, R.; SIMOVA-STOILOVA, L. et al. **Heat stress effects on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, rubisco binding protein and rubisco activase in wheat leaves.** *Biologia Plantarum*, v. 49, p. 521- 525, 2005.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows. Manual do usuário.** Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 245 p., 1998.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Embrapa Trigo.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/trigo>. Acesso em: Diversas datas.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 3ª Ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.**

ESTRADA-CAMPUZANO, G.; MIRALLES, D. J.; SLAFER, G. A. **Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases.** *European Journal of Agronomy*. v. 28, n. 4, 2008, p. 597–605.

EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. **Sensoriamento remoto de três parâmetros biofísicos de trigo e de feijão.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n. 10, p. 1615-1624, 1991.

EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; FRANÇA, G. V. **Avaliação das bandas do satélite Landsat-5 na discriminação entre culturas de trigo e de feijão.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 25, n. 3, p. 371-377, 1990.

ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no Oeste do Paraná.** 2007 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FAO – **Organização das Nações Unidas para a alimentação e a Agricultura** – Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2013.

FISCHER, Anthony R. **The importance of grain or kernel number in wheat:** A reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*, v. 105, p. 15-21, 2008.

FISCHER, A. R. **Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature.** *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, v. 105, p. 447-461, 1985.

FONSECA, E. L.; VARELLA, A. C. **Análise dos padrões de resposta espectral multi-temporal de cereais de estação fria cultivados para a produção de grãos e para produção de forragem em imagens de média resolução espacial.** XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais... Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 191-197.

GOMIDE, C. C. C. **Algumas características fisiológicas e químicas de cinco cultivares de Cynodon.** 1996. 100f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1996.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK C. M.; POLETTI, N. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker.** *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 29, n. 1, p. 101-112, jan./mar. 2009.

HATFIELD, J. L. **Spectral behavior of wheat yield variety trials.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, London*, v. 47, p. 1487-1491, 1981.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/>>. Acesso em: 13 de setembro de 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos Terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) [et.al.]. Ed. Parêntese, São José dos Campos-SP, p. 597, 2009.

JESUS, S. C.; MIURA, A. K. **Análise de regressão linear múltipla para estimativa do índice de vegetação melhorado (EVI) a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat5.** In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, p. 1103-1110, 2009.

JUNGES, A. H. **Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul.** 2008, 137 f. (Dissertação mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LARGE, E. C. **Growth stages in cereals.** Illustration of the Feekscale. *Plant Pathology*, v. 3, p. 128-129, 1954.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. 763p.

LOPES, B. A. **Aspectos Importantes Da Fisiologia Vegetal Para O Manejo**. 2003, ???? Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Zootecnia Programa de Pós-Graduação Em Zootecnia, Viçosa, 2003.

LANGER, R. H. M. **Tillering in herbage grasses**. *Herbage Yield*. v. 33, n. 3, p. 141-148, 1963.

LUNELLI, I. E. **Efeitos de arranjos nutricionais de npk na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe**. 2012. 40f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2012.

MCMASTER, G. S.; WILHELM, W. W.; FRANK, A. B. **Developmental sequences for simulating crop phenology for water-limiting conditions**. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, p. 1277-1288, 2005.

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. **Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens LANDSAT 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Jaboticabal, v. 29, n. 02, p. 328-338, 2009.

MOORE, K. J., MOSER, L. E., VOGEL, K. P., WALLER, S. S., JOHNSON, B. E., PEDERSEN, J. F. **Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses**. *Agronomic Journal*, v. 83, n. 6, p. 1073-1077, 1991.

NEIVERTH, W.; CRUSIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. F. C.; FERREIRA, L. C.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. **NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação**. VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. 2013.

NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker manuals**. Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>> Acesso em: 16 de abril de 2013.

OR/Biotrigo – Biotrigo Genética –Disponível em: <<http://www.biotrigo.com.br/cultivares/internaCultivar.php?empresa=2&id=23/>>. Acesso em: 16 de agosto de 2014.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PEDRO LUIZ SCHEEREN, P. L.; CUNHA, G. R.; QUADROS, F. J. S. de; MARTINS, L. F. **Efeito do frio em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 2p. html. 2ilust. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 57). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co57.htm

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª Ed. Atual. Ampl. Viçosa: Editora: UFV, 320p. 2005.

PETERSON, D. L.; ABER, J. D.; MATSON, P. A.; CARD, D. H.; SWANBERG, N.; WESSMAN, C.; SPANNER, M. **Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents**. *Revista Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 85-108, 1988.

- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. p. 157 - 199. In: MENESES. P. R.; NETTO. J. S. M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, p. 262, 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1ª Ed. São José dos Campos: Parêntese, 135p., 2007.
- PULLANAGARI, R. R. et al. **Multi-spectral radiometry to estimate pasture quality components**. Precision Agriculture, v. 13, n. 4, p. 442-456, 2012.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2001, 906p.
- RYLE, G. J. A. **A comparison of leaf and tiller growth in seven perennial grasses as influenced by nitrogen and temperature**. Journal Brit. Grassl. Soc., v. 19, n. 3, p. 281-290, 1964.
- RIBEIRO et al. **Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância**. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 18, n. 2-4, p.133-142, abr.-jun., 2012.
- RISSINI, A. L. L. **NDVI, crescimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio**. 04 de julho de 2011. 62 f. Tese de Pós-graduação. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, 2011.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. (Tese de Doutorado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 212 f. 2004.
- RITCHIE, G. L. **Use of ground-based canopy reflectance to determine radiation capture, nitrogen and water status, and final yield in wheat**. (Dissertação de mestrado) 134f. Utah State University, Logan – Utah, 2003.
- RODRIGUES, Osmar. *et al.* **Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 42, n. 6, p. 817-825, 2007.
- ROSA, H. T. et al. **Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **ERTS-1 Symposium**, v. 3, p. 10-14 December, Washington, DC. Proceedings. Washington, NASA SP-351, p. 309-317, 1973.
- SAVIN, R.; SLAFER, G. A. **Shading effects on yield of an Argentinian wheat cultivar**. Journal of Agricultural Science, London, v. 116, p. 1-7, 1991.
- SCHEEREN, P. L et al. **Efeito do frio em trigo**. 2000. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/pco57.htm#endereço>>. Acesso em: 12 de maio de 2014.
- SILSBURY, J. H. **Leaf growth in pasture grasses**. Trop. Grassl., v. 4, n. 1, p. 17-36, 1970.
- SILVA, D. B. et al. **Trigo para o abastecimento familiar: do plantio a mesa brasileira**. EMBRAPA-SPI, Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996, 176p.

SOARES SOBRINHO, J.; SOUZA, M. A. **Origem, descrição botânica e desenvolvimento do trigo**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 9, n. 97, p. 9-13, 1983.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K. **Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 449-455, 2008.

SWAIN, P. H. **Remote sensing: The quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 396p., 1978.

THENKABAIL, P. S.; SMITH, R. B.; PAUW, E. D. **Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics**. Remote Sensing of Environment, v. 71, p. 158–182, 2000.

TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Revista Remote Sensing of Environment, 8: 127-50. [S.l.]: [s.n.], 1979.

TRIMBLE. **GreenSeeker System Datasheet**. 2013. Disponível em: <[HTTP://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-11231_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0114_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-11231_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0114_LR.pdf)>. Acesso em: 07/11/2014

WALLER, S. S., MOSER, L. E., REECE, P. E. **Understanding grass growth: the key to profitable livestock production**. Kansas City: Traben Printing, 1985.

ZANON A. J., STRECK N. A., ROSA H. T., WALTER L.C., ALBERTO C. M. **Número de folhas associado com duplo anel e espiguetas terminal em cultivares de trigo**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 3, p. 569-578, 2012.

YOUNG A. F. **Aplicação de índices relativos de vegetação e temperatura para estudo das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso de Curitiba (PR), 1986 a 2002**. Data de publicação: 2005, Campinas, SP (Tese doutorado) Unicamp: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

WAGNER A. P. L. **Dinâmica Temporal de Índices de Vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas Relações com os Elementos Meteorológicos Regionais**. 2013. 160 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (Tese de Doutorado), 2013.

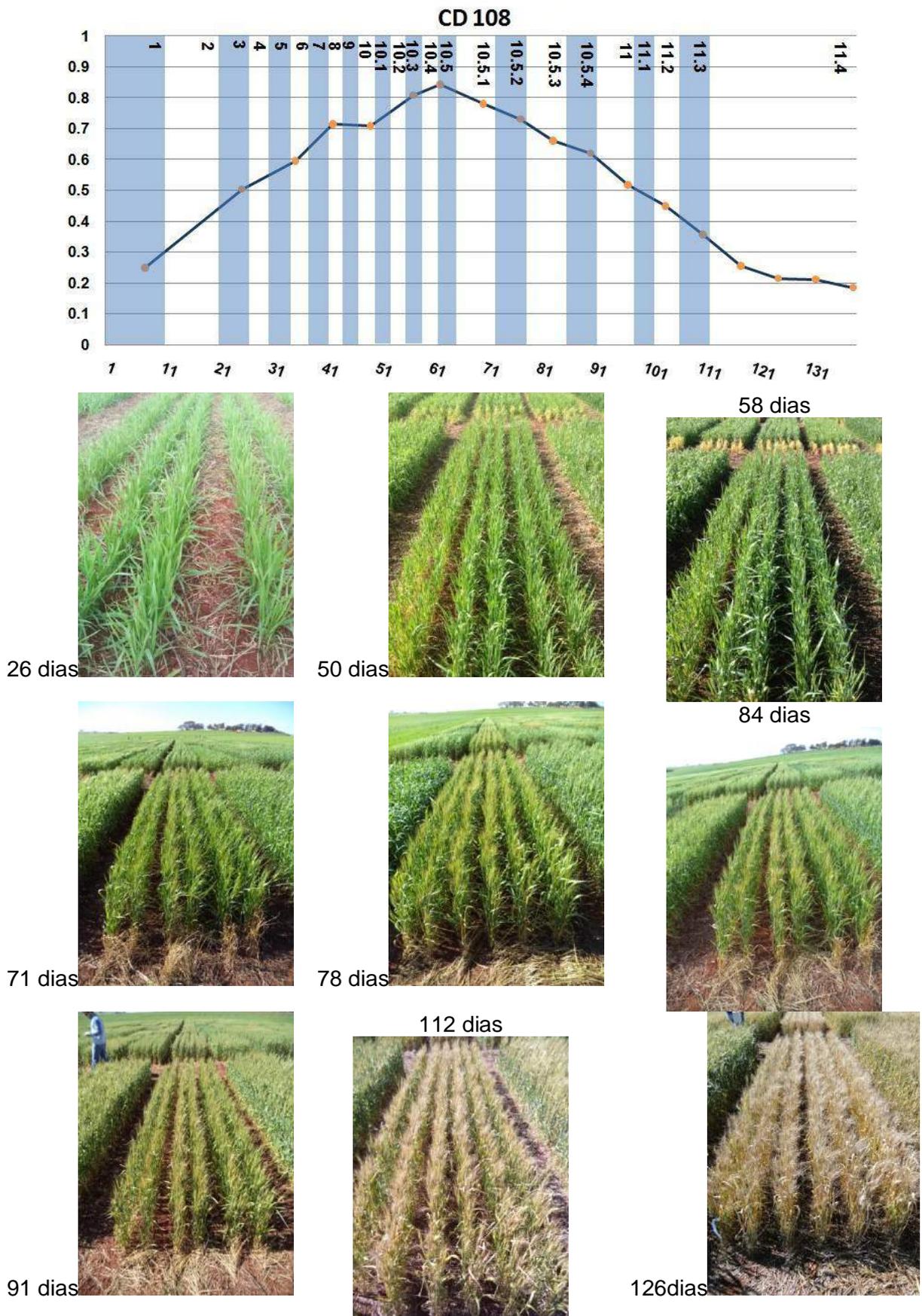


Figura 18. Perfil temporal da cultivar CD 108 no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguido das imagens do desenvolvimento.

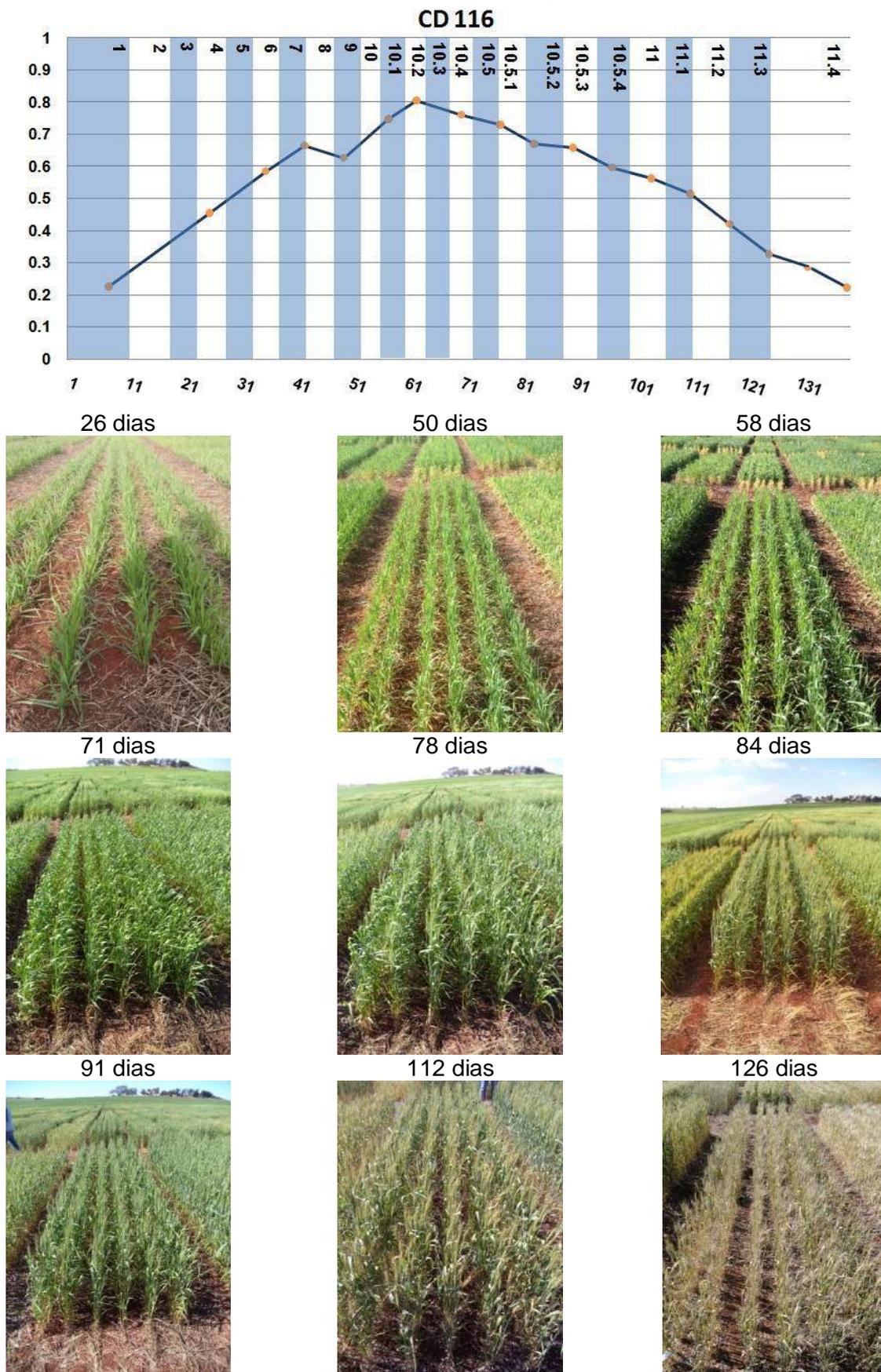


Figura 19. Perfil temporal da cultivar CD 116 no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

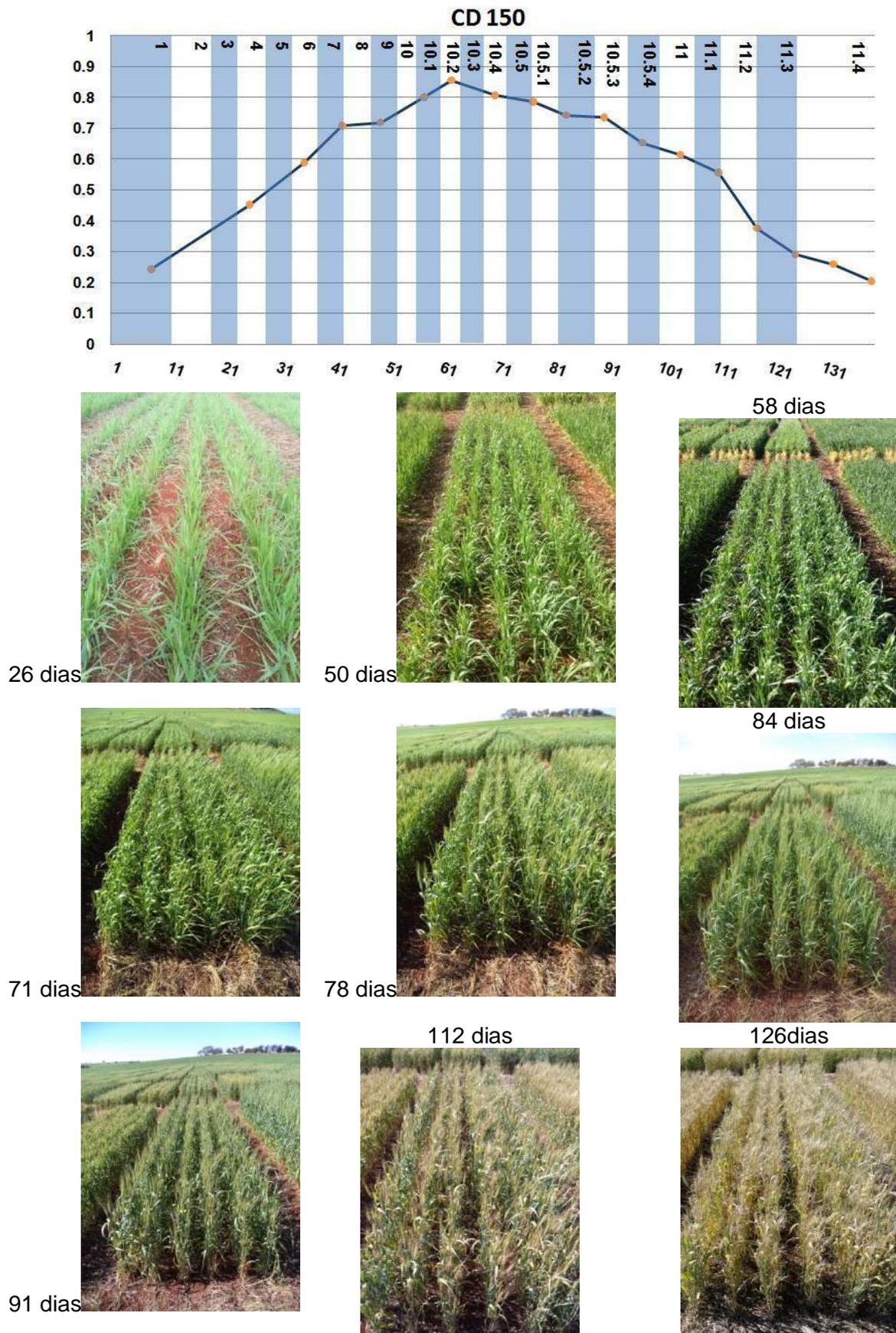


Figura 20. Perfil temporal da cultivar CD 150 no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

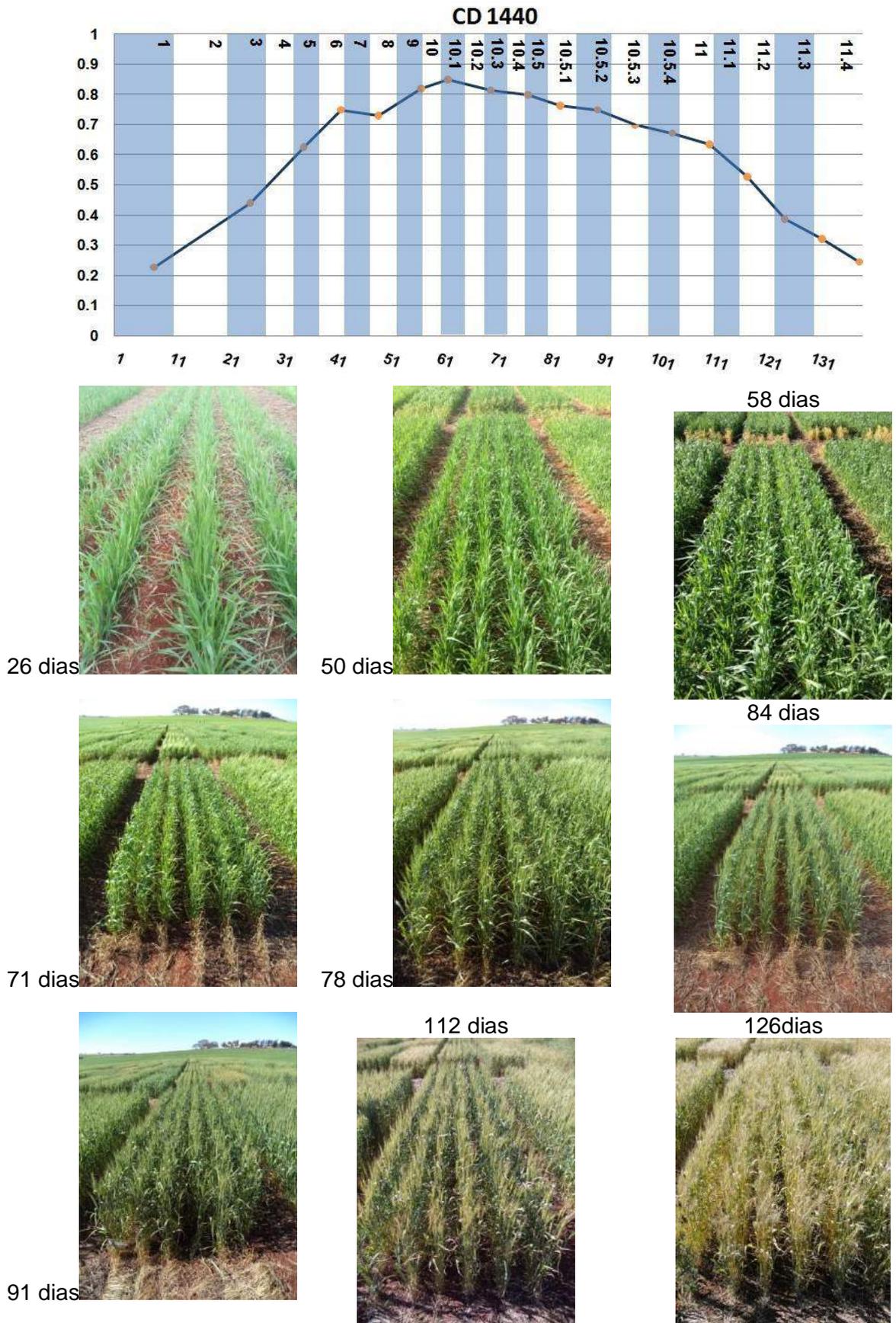


Figura 22. Perfil temporal da cultivar CD 1440 no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

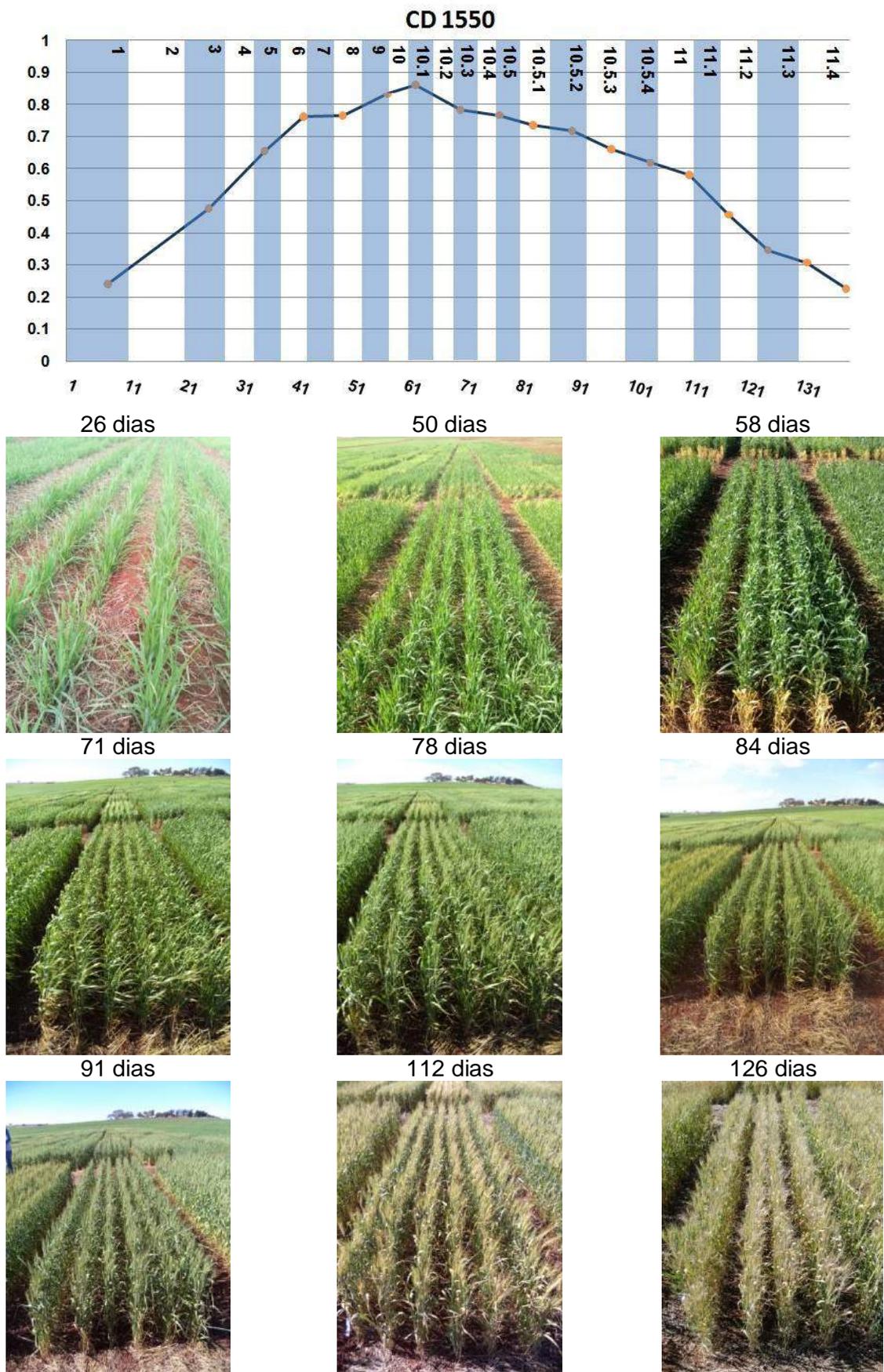


Figura 23. Perfil temporal da cultivar CD 1550 no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

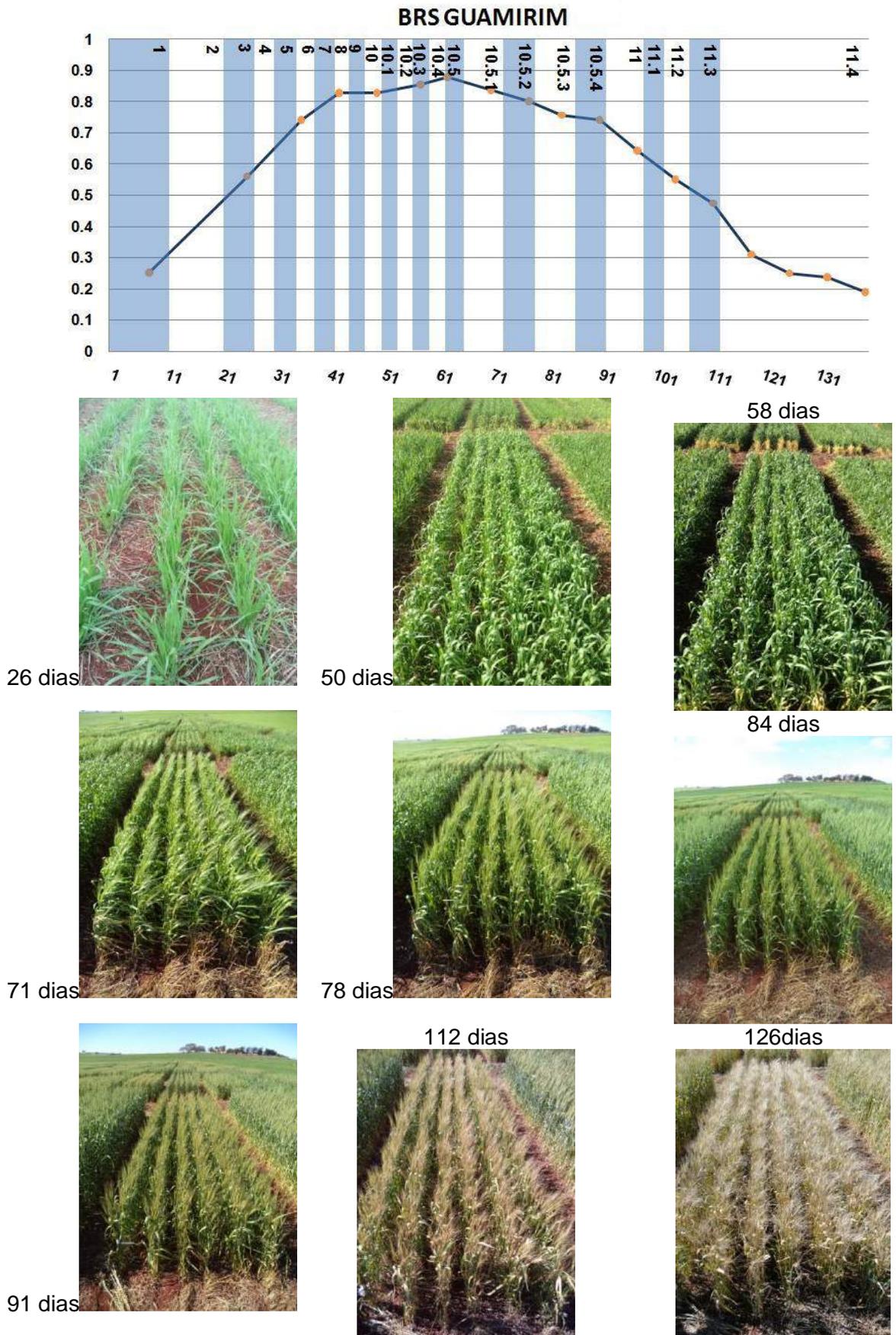


Figura 24. Perfil temporal da cultivar BRS Guamirim no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

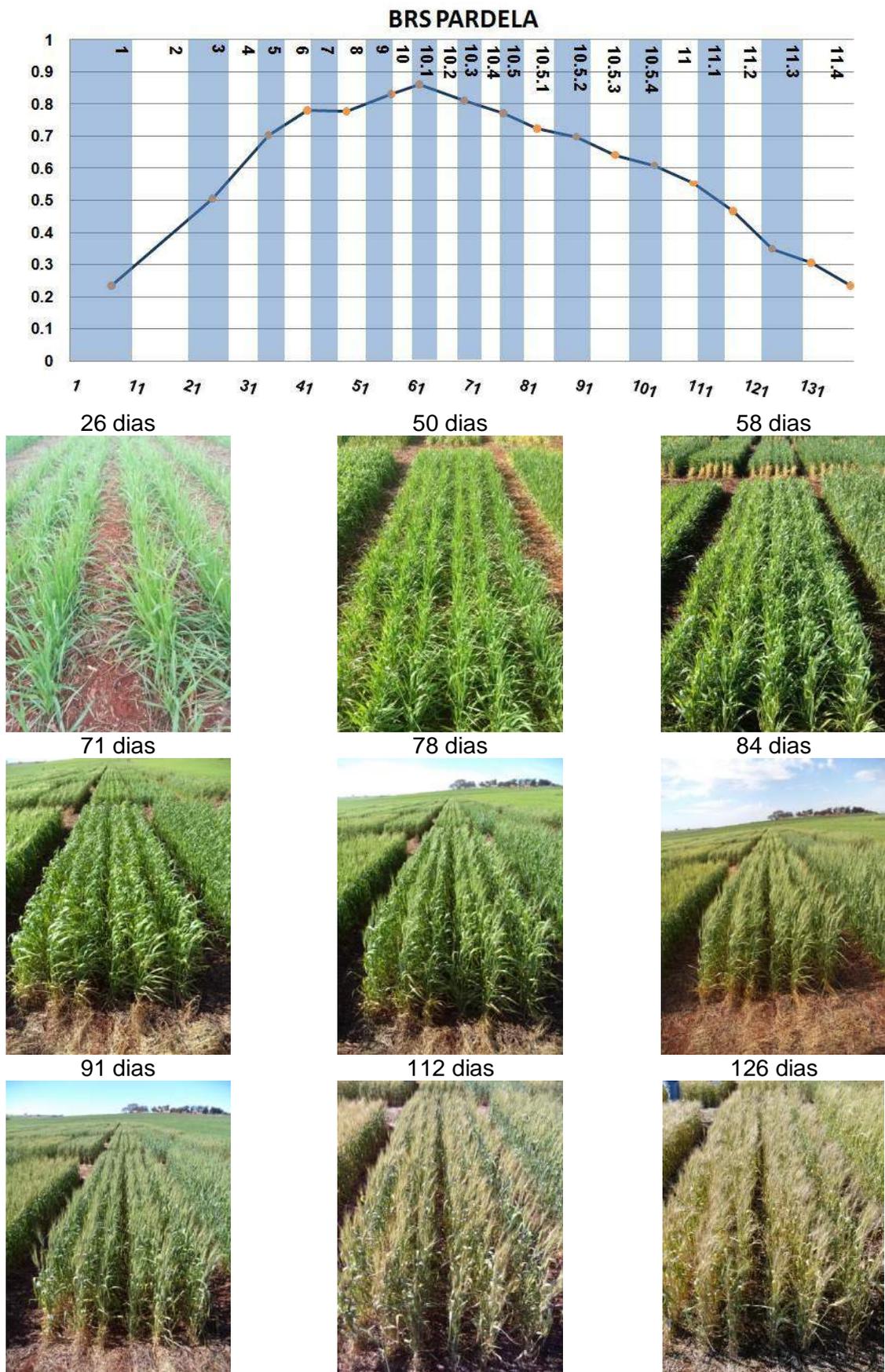


Figura 25. Perfil temporal da cultivar BRS Pardela no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

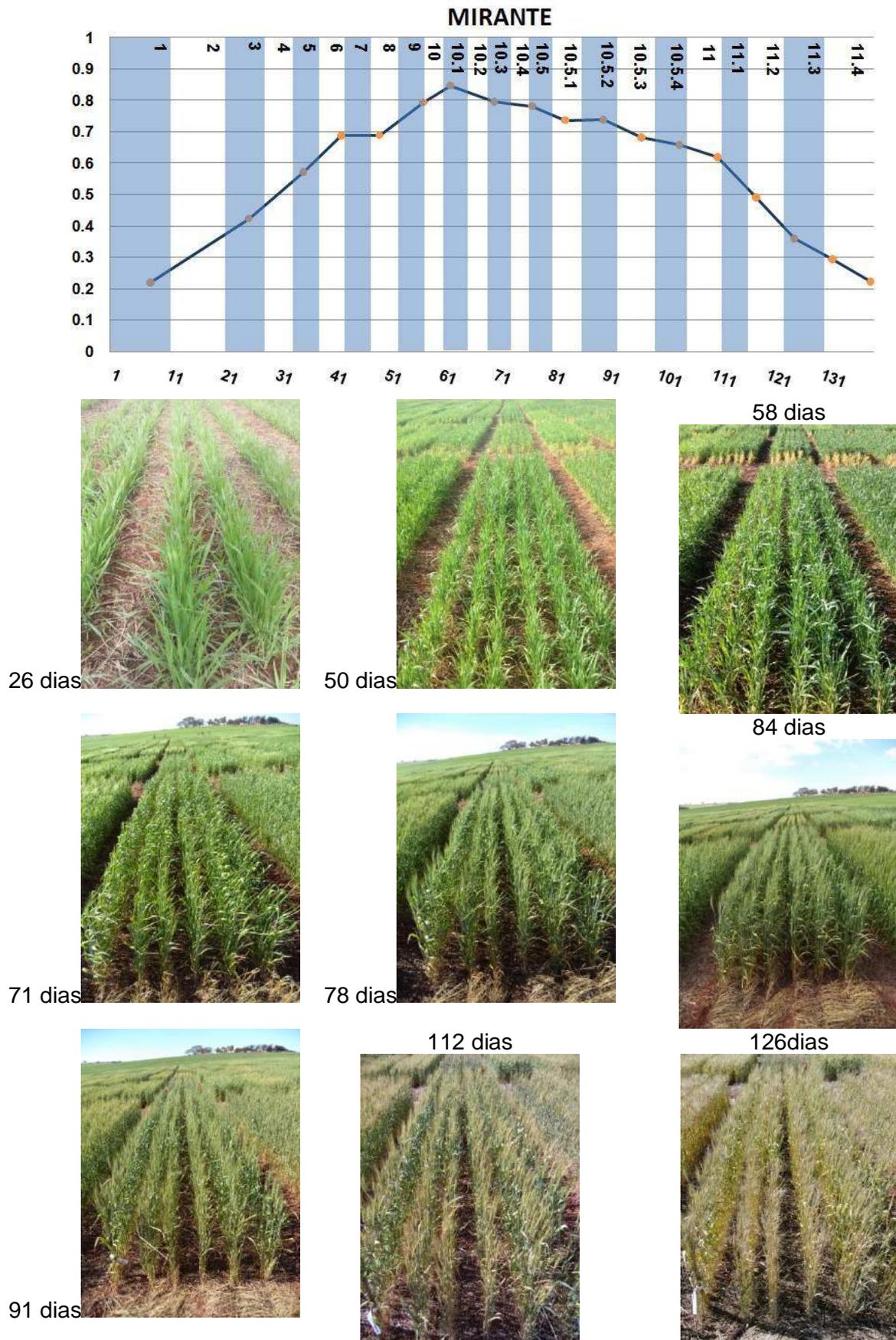


Figura 26. Perfil temporal da cultivar Mirante no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguido das imagens do desenvolvimento.

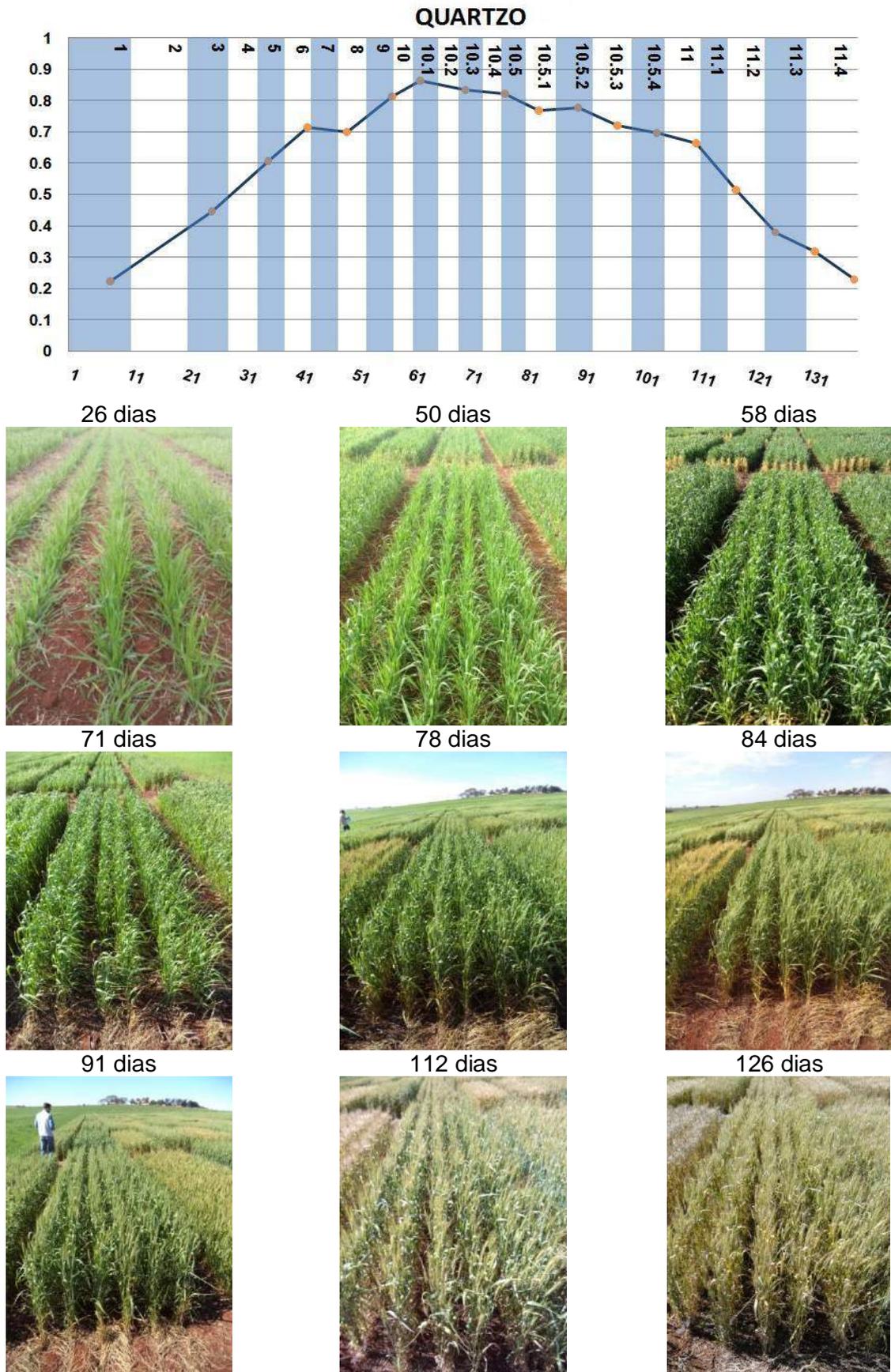


Figura 27. Perfil temporal da cultivar Quartzo no ano de 2013, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguido das imagens do desenvolvimento.

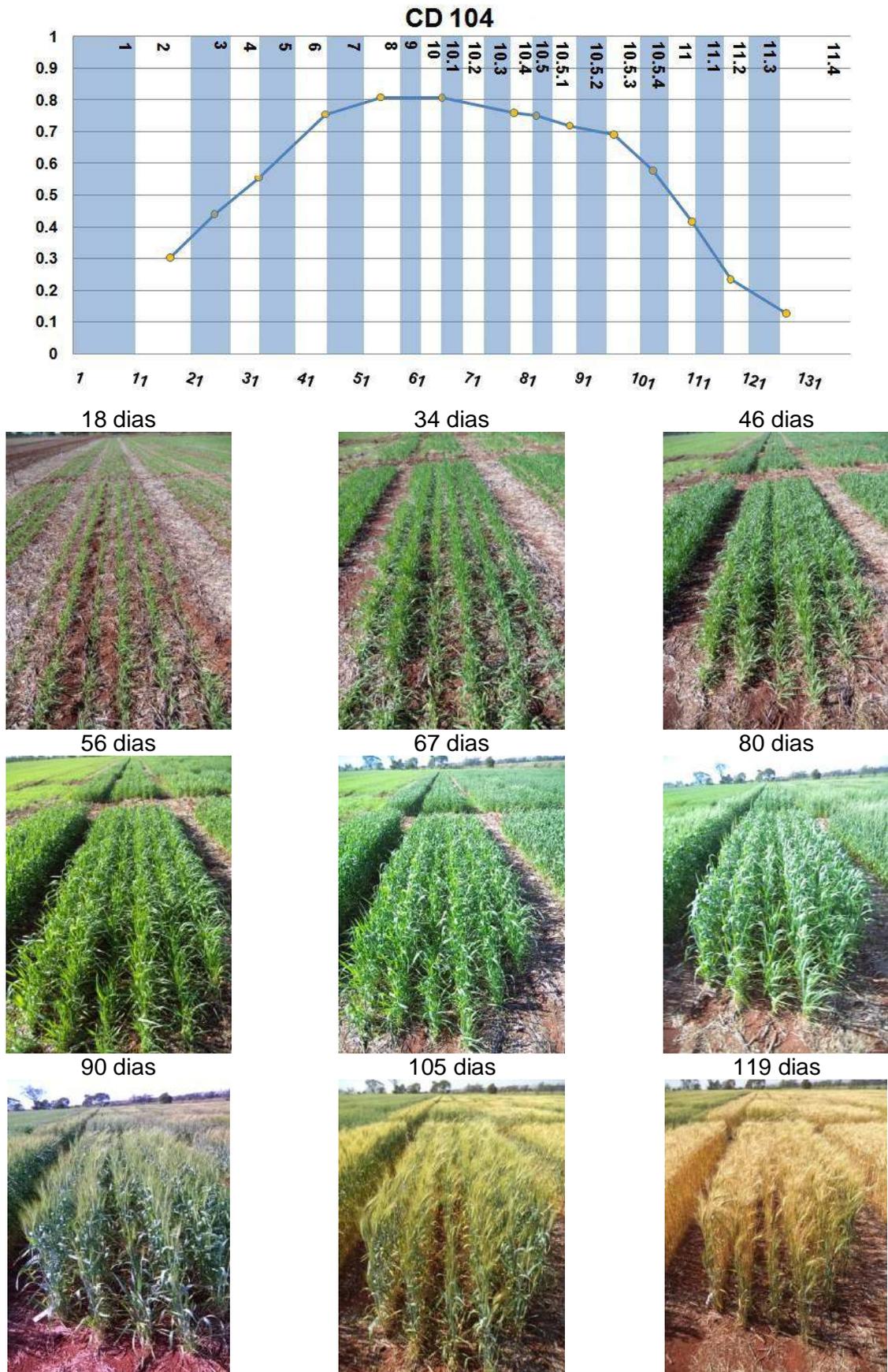


Figura 28. Perfil temporal da cultivar CD 104 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

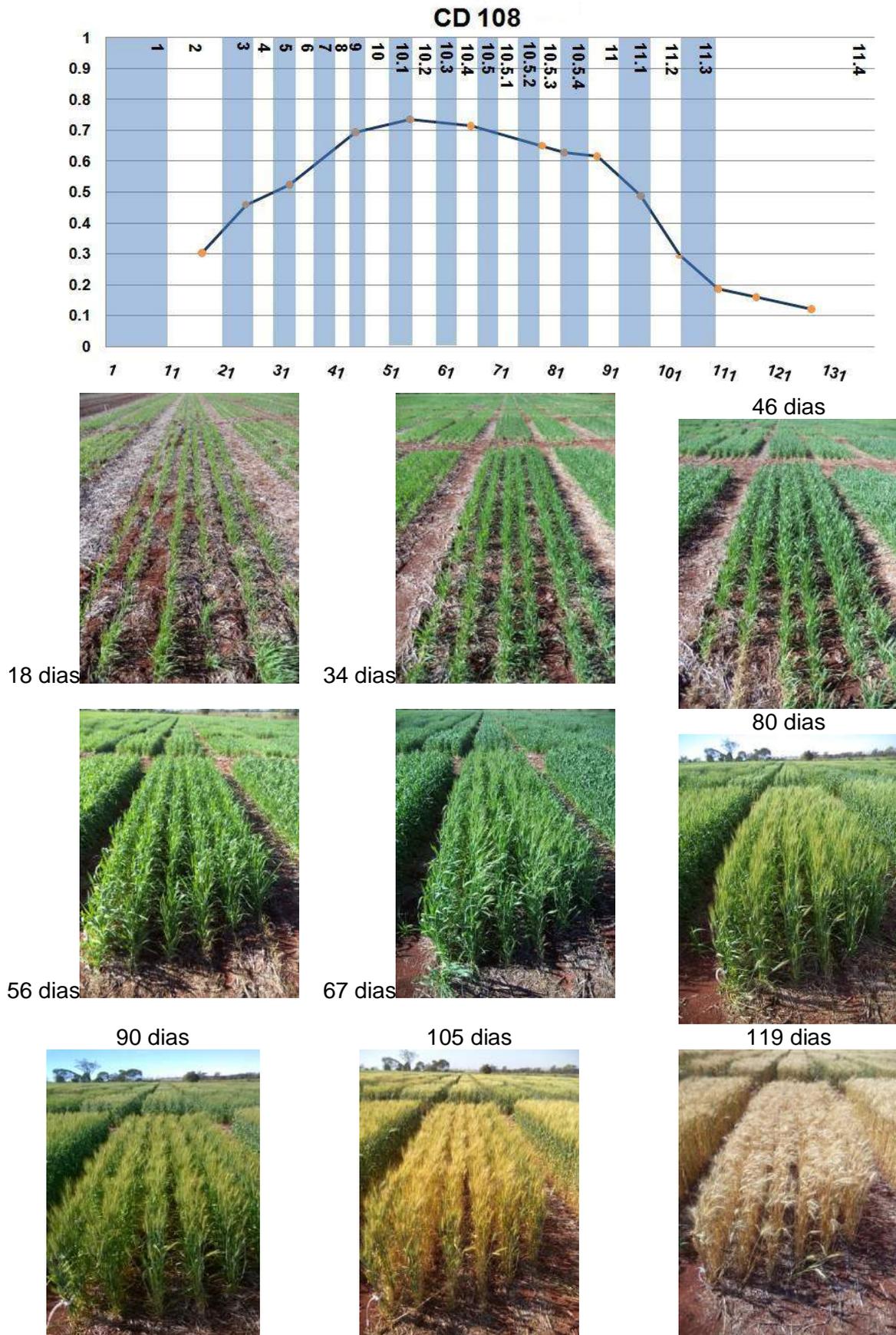


Figura 29. Perfil temporal da cultivar CD 108 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

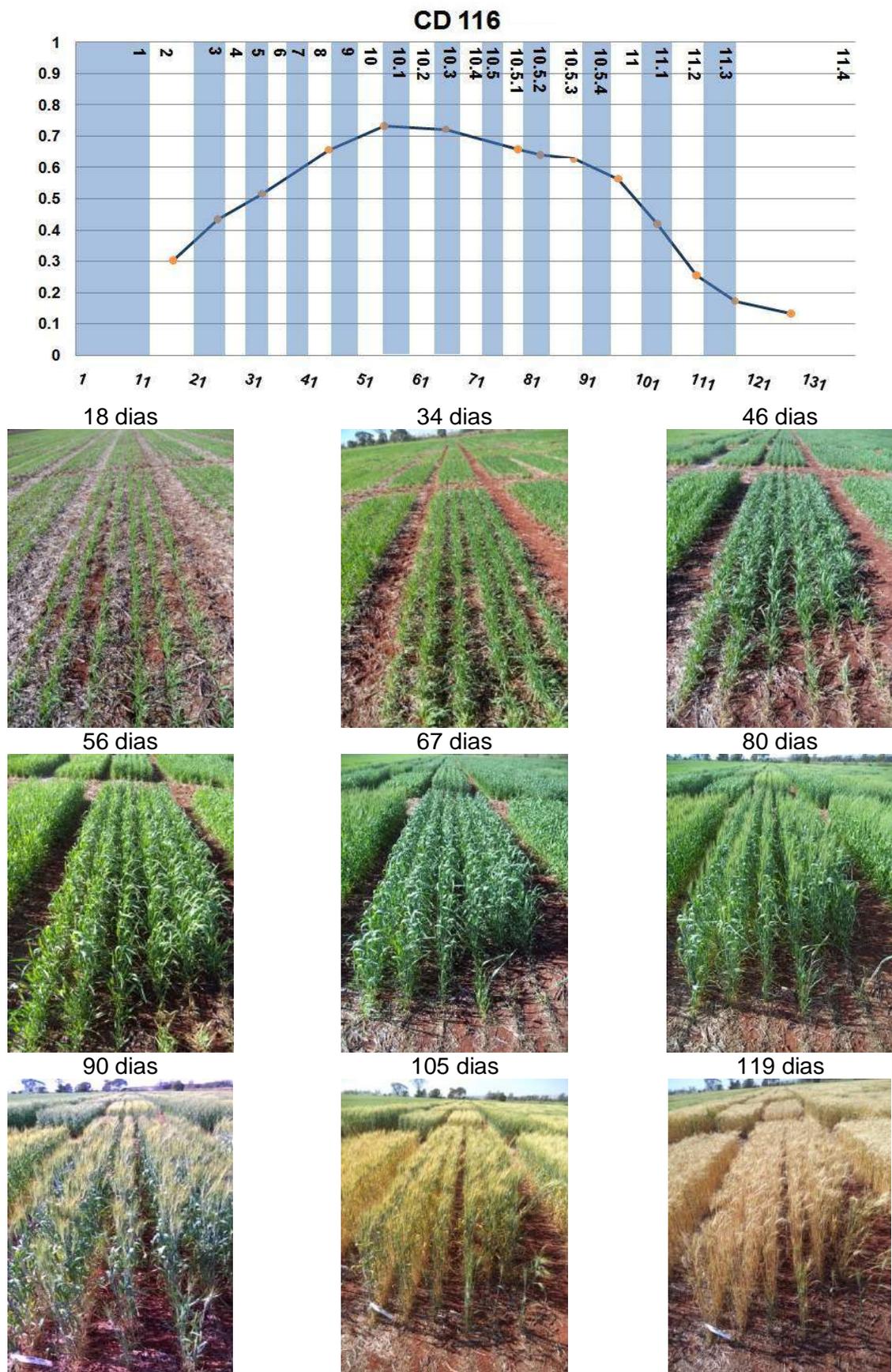


Figura 30. Perfil temporal da cultivar CD 116 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguido das imagens do desenvolvimento.

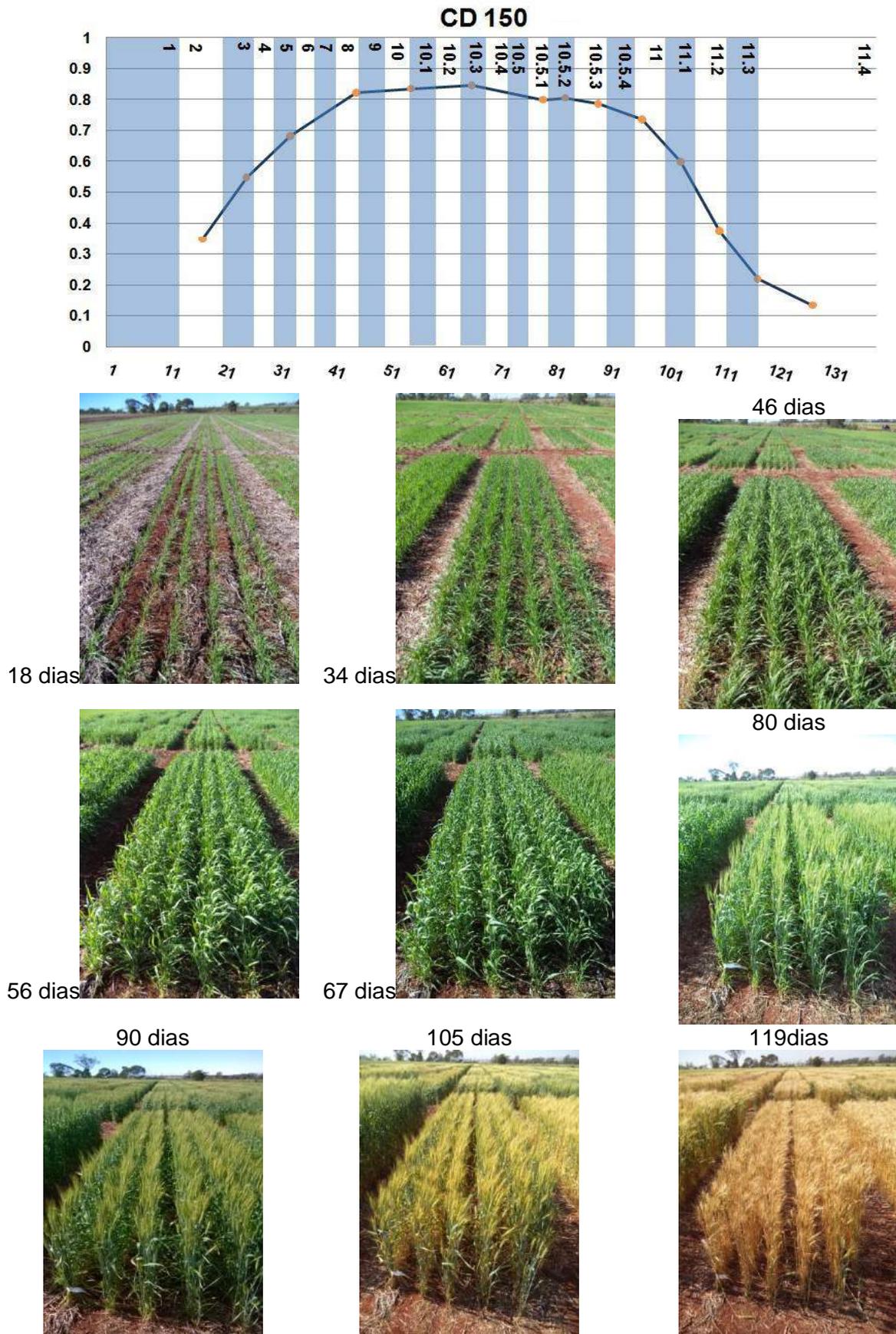


Figura 31. Perfil temporal da cultivar CD 150 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

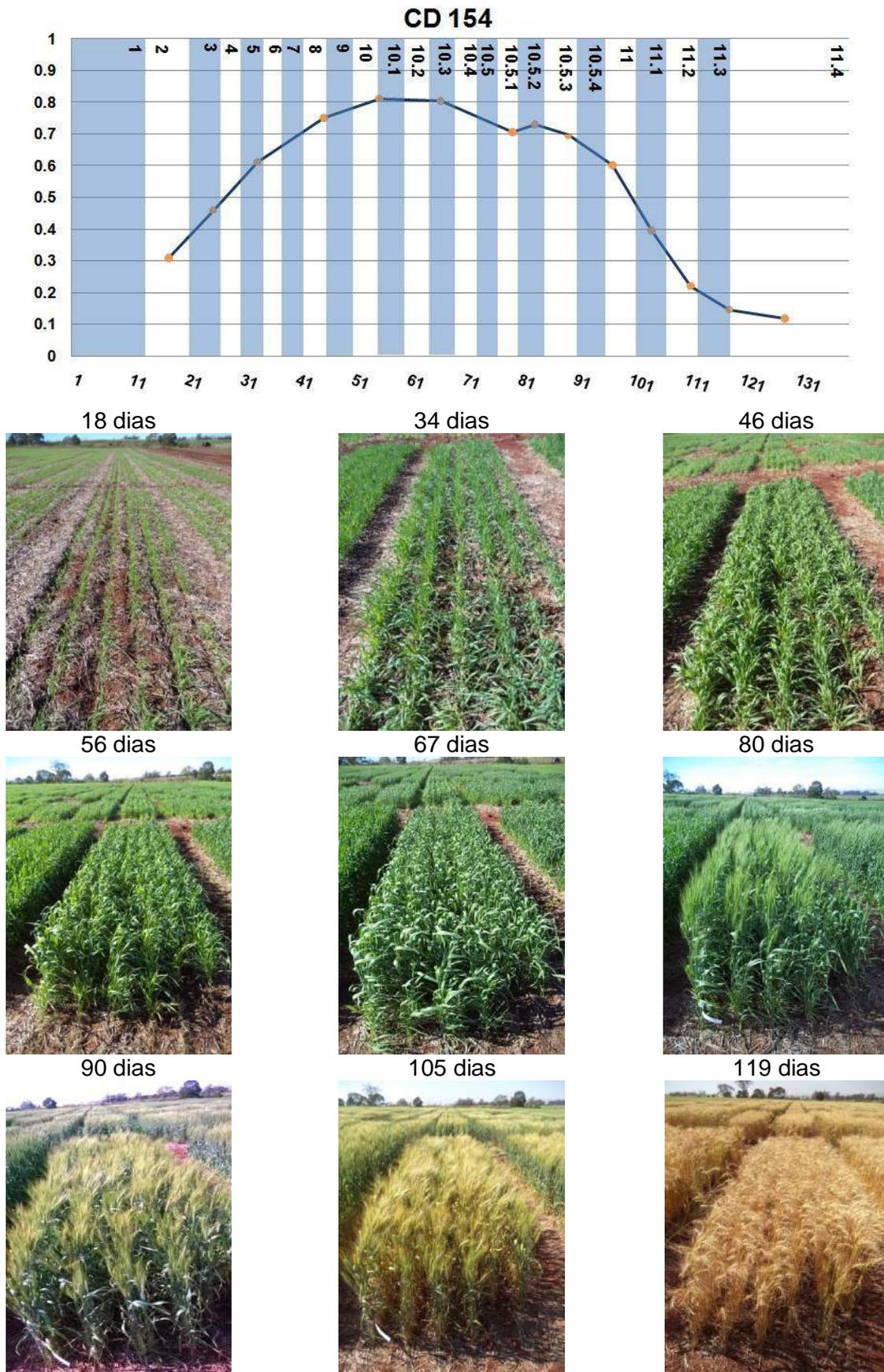


Figura 32. Perfil temporal da cultivar CD 154 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

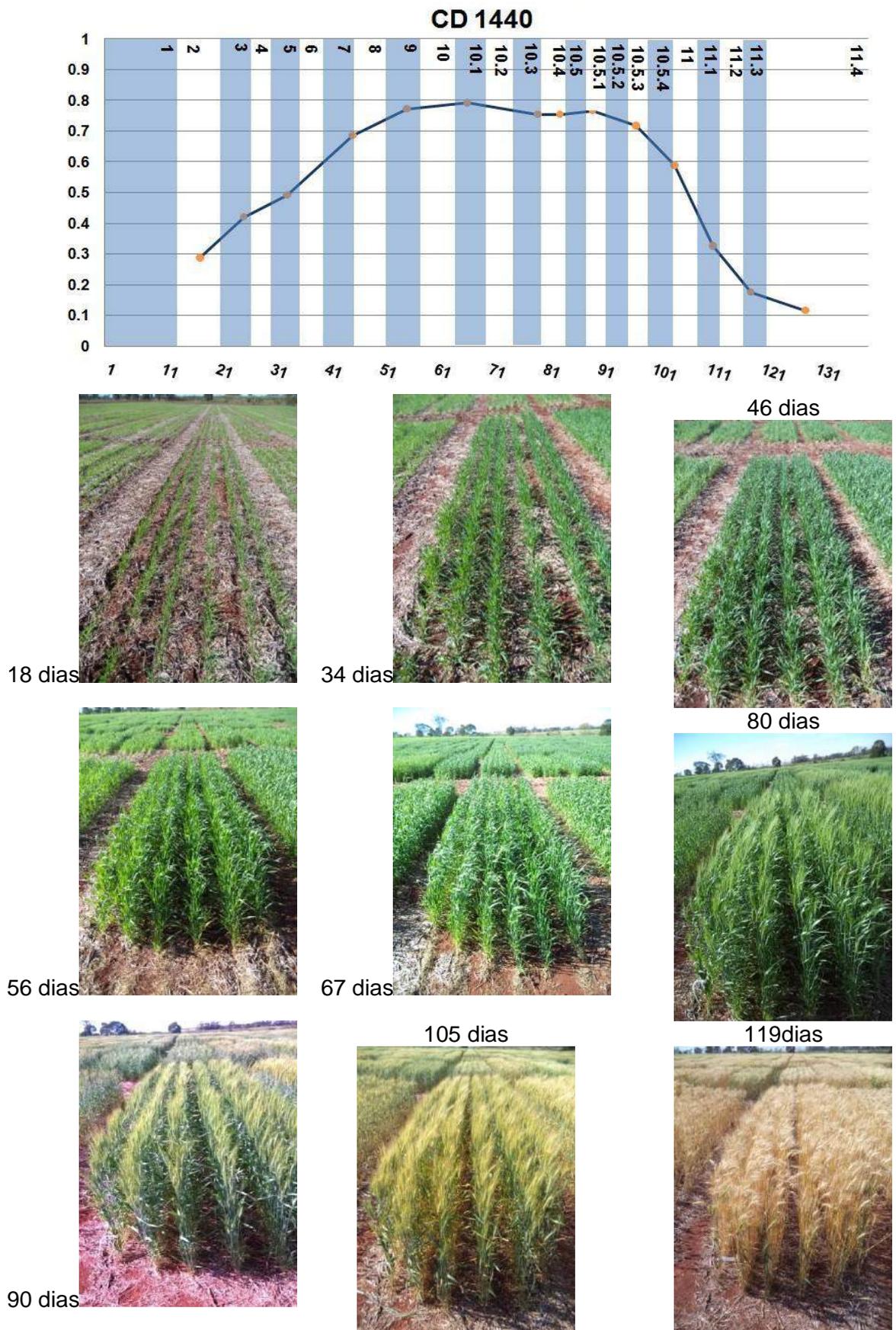


Figura 33. Perfil temporal da cultivar CD 1440 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

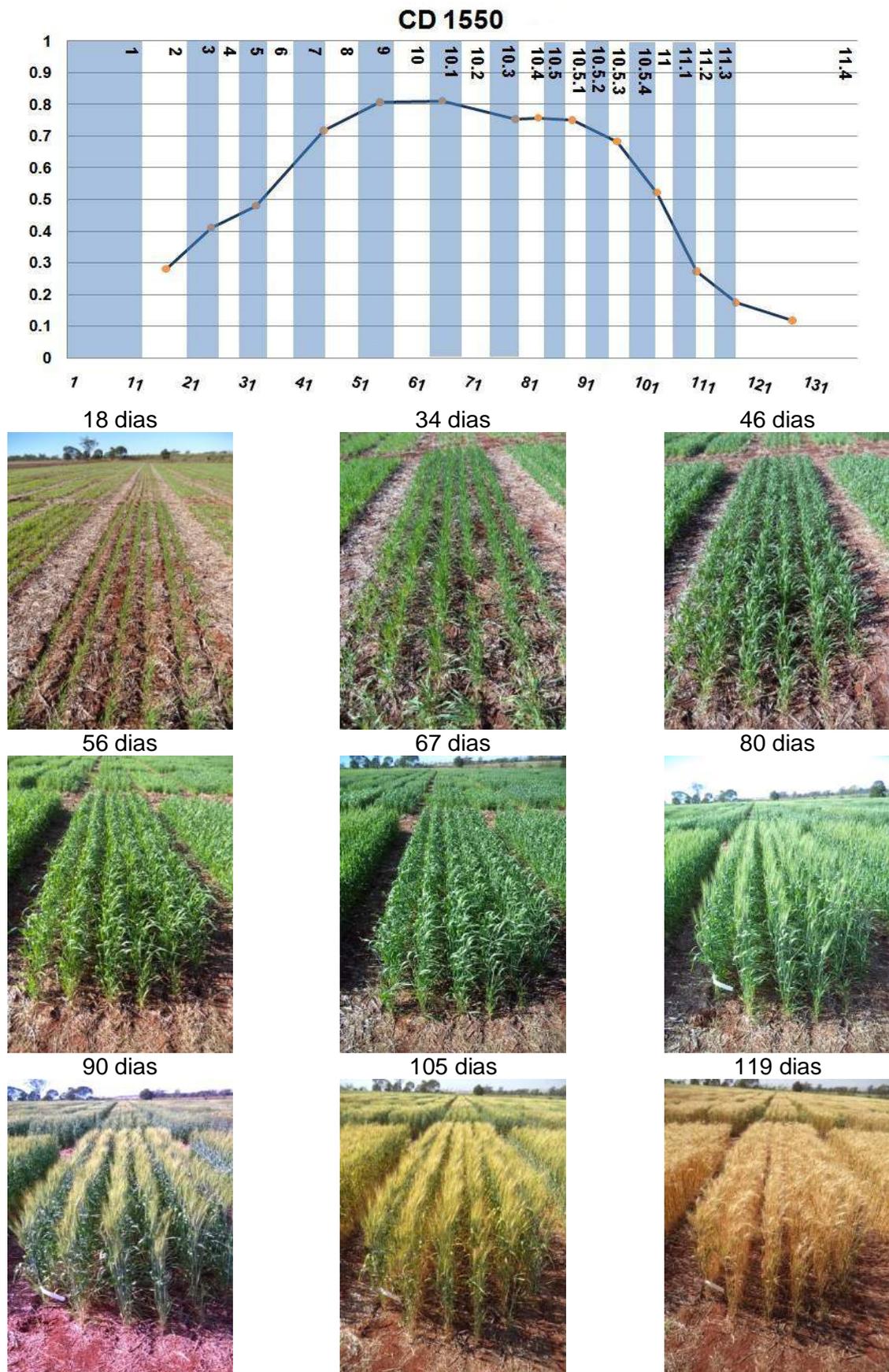


Figura 34. Perfil temporal da cultivar CD 1550 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

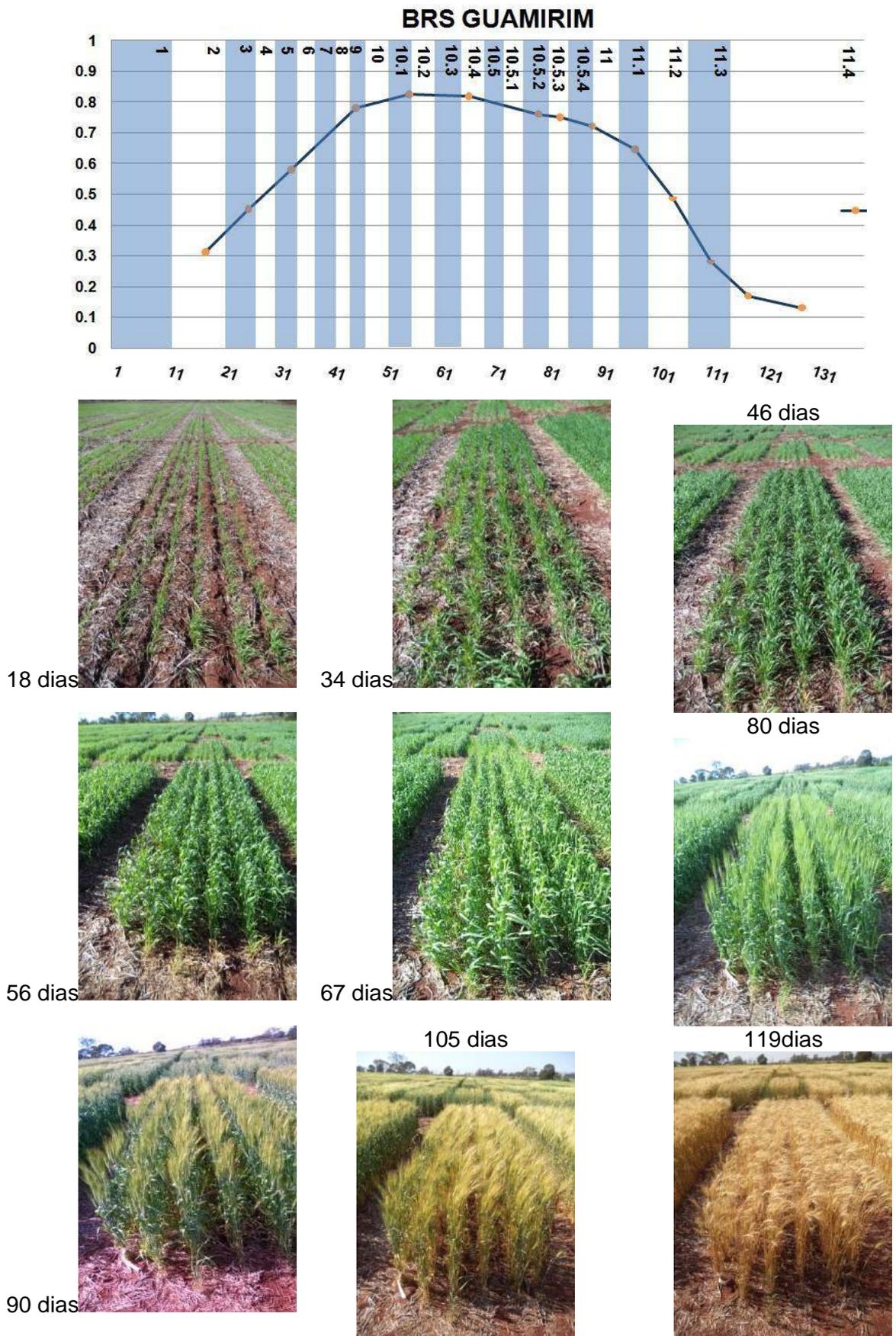


Figura 35. Perfil temporal da cultivar BRS Guamirim no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feekes e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguido das imagens do desenvolvimento.

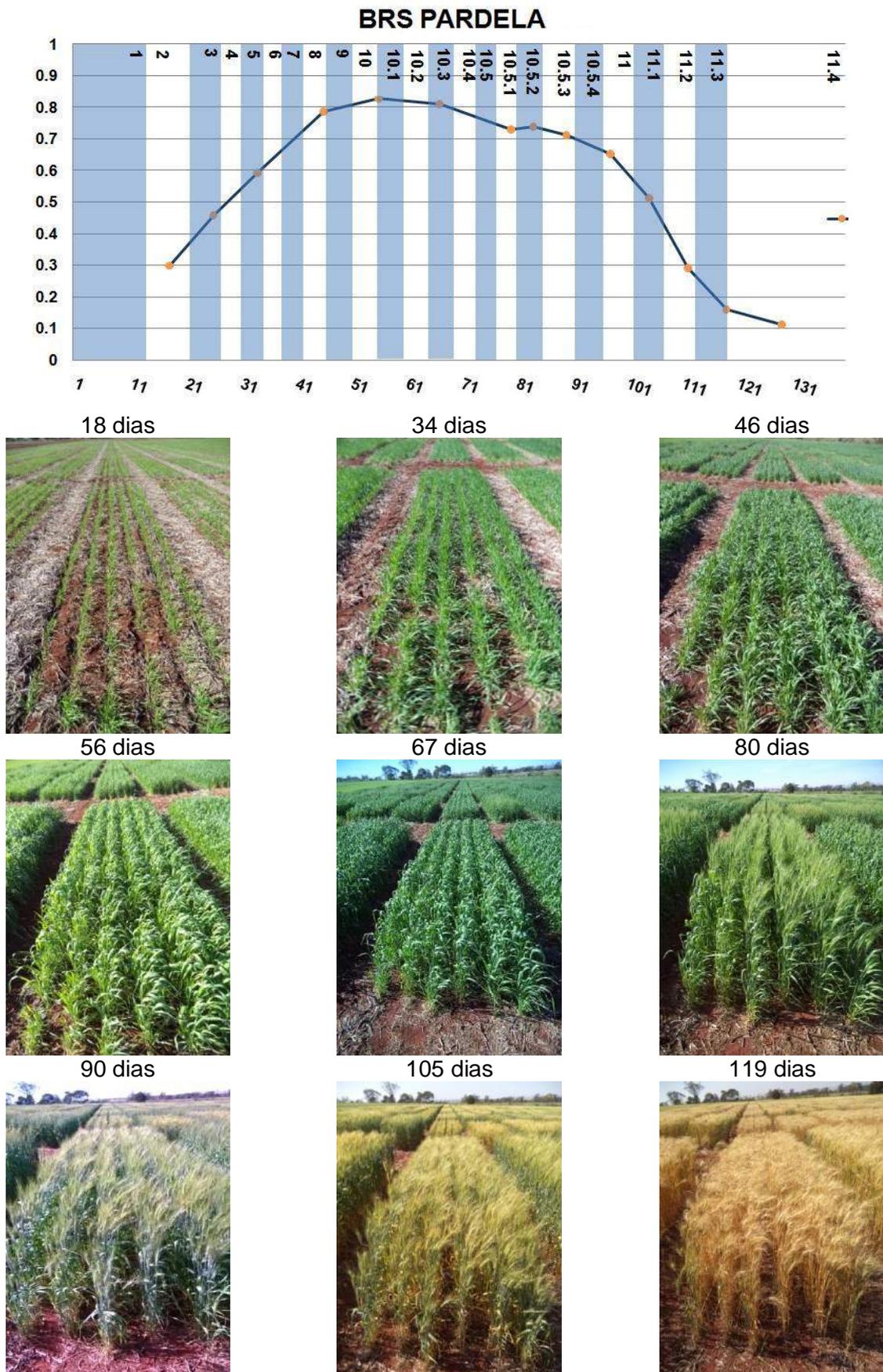


Figura 36. Perfil temporal da cultivar BRS Pardela no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

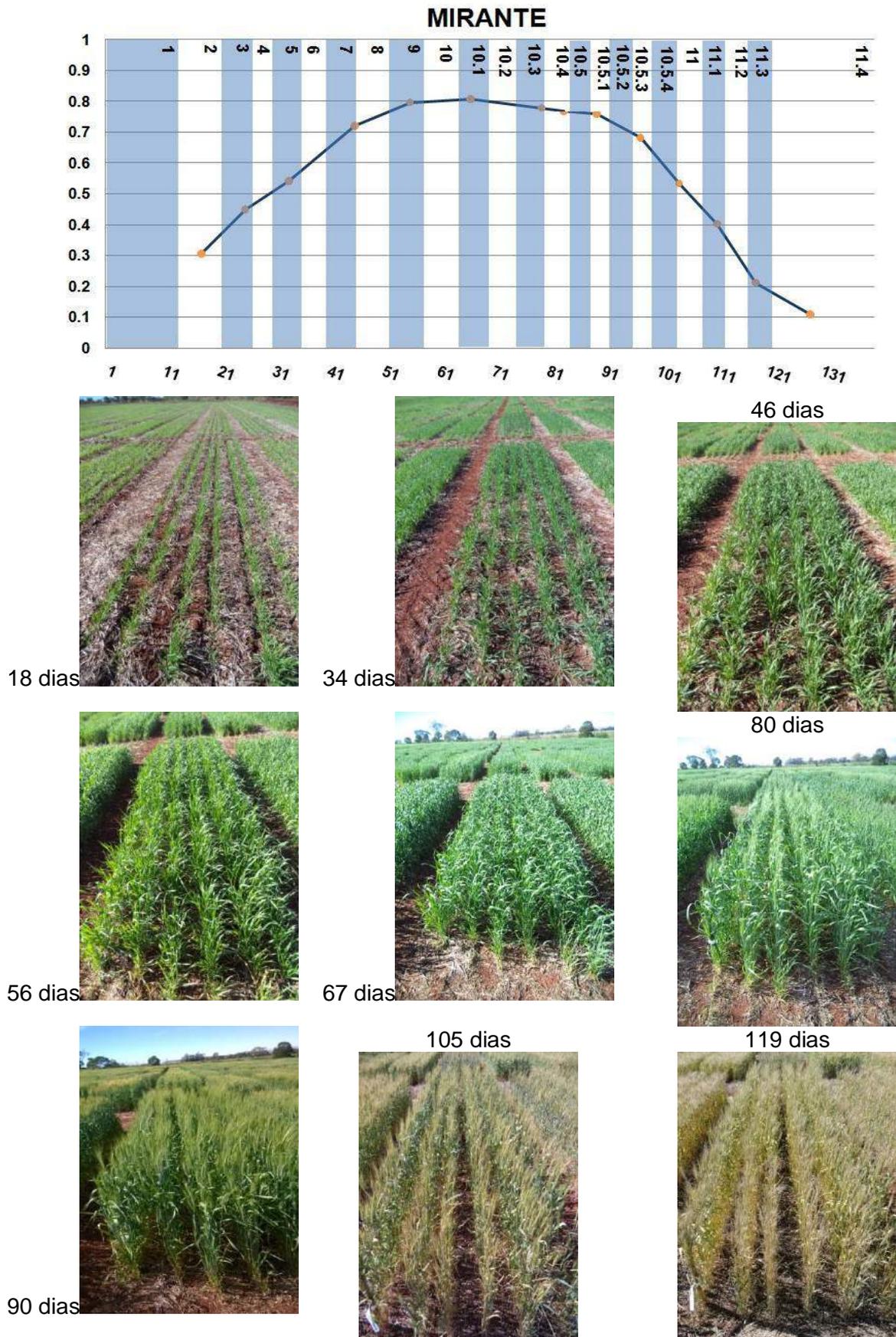


Figura 37. Perfil temporal da cultivar Mirante no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura. Seguindo das imagens do desenvolvimento.

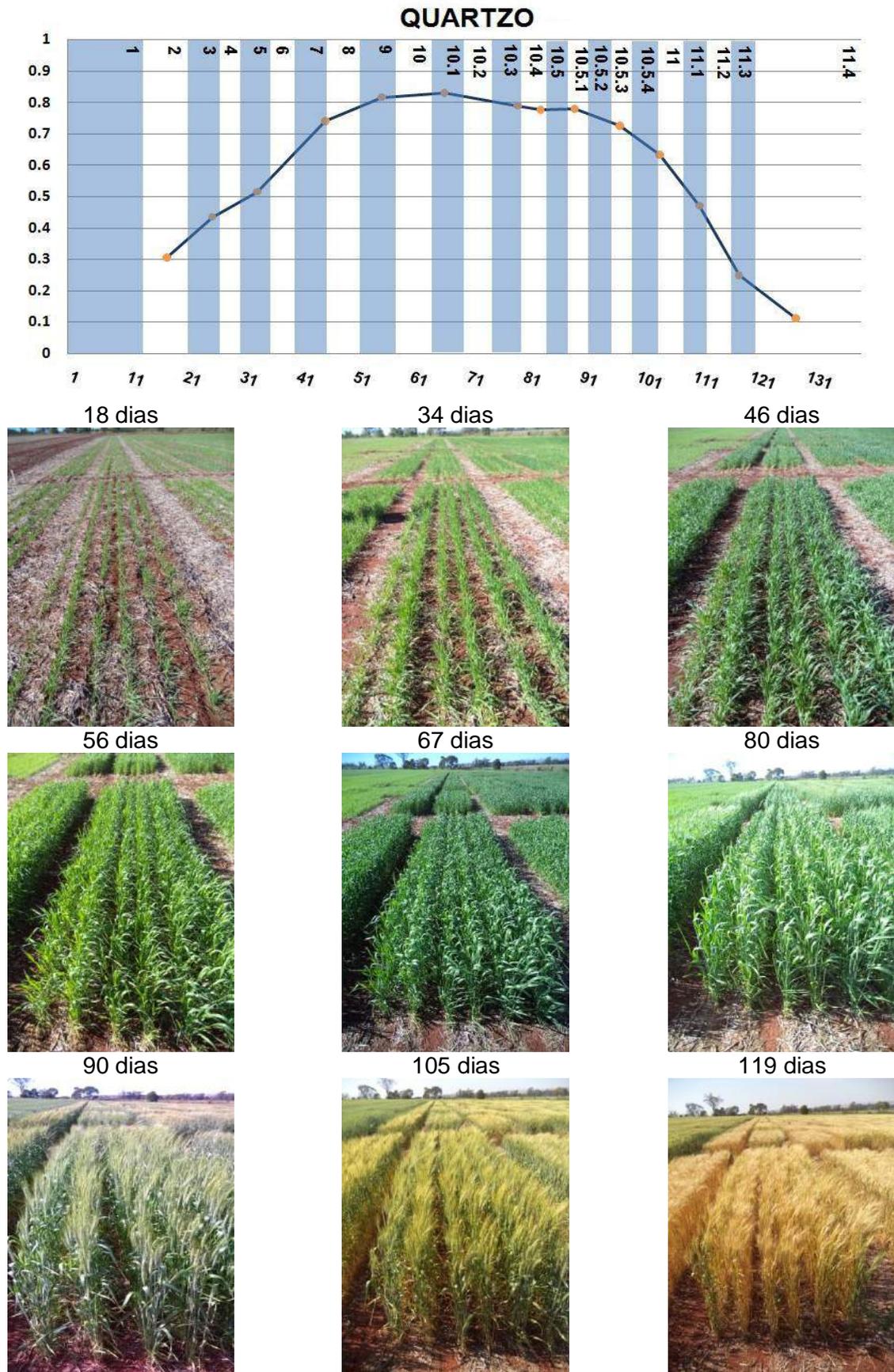


Figura 38. Perfil temporal da cultivar Quartzo no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a sementeira. Seguido das imagens do desenvolvimento.

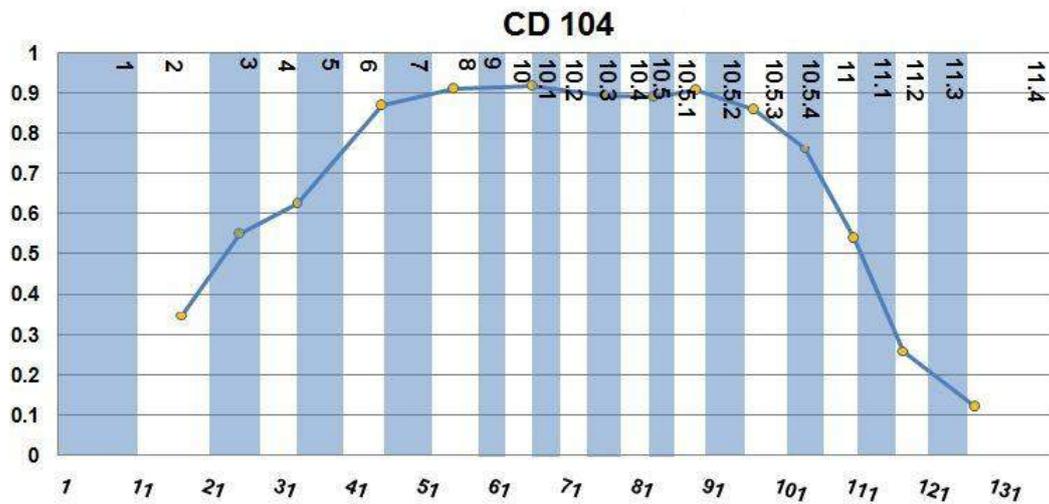


Figura 39. Perfil temporal da cultivar CD 104 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

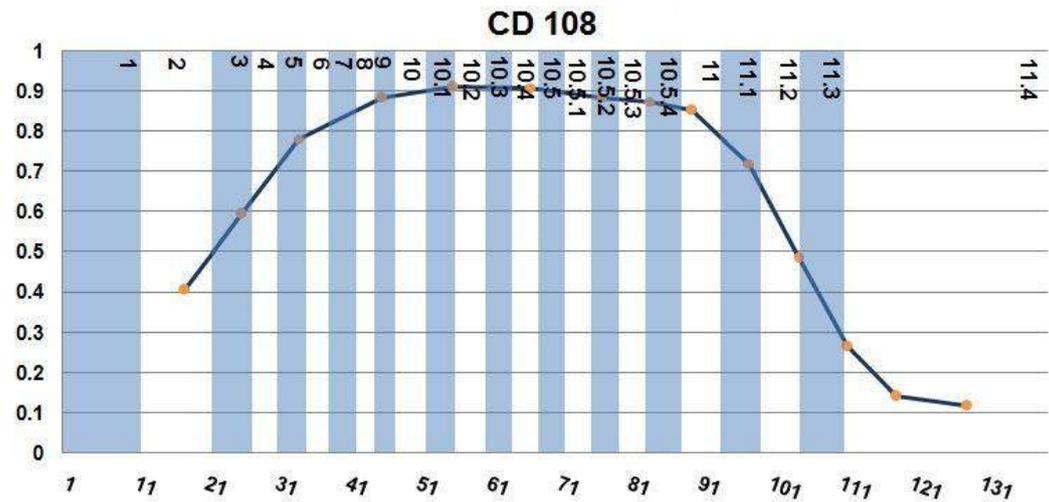


Figura 40. Perfil temporal da cultivar CD 108 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

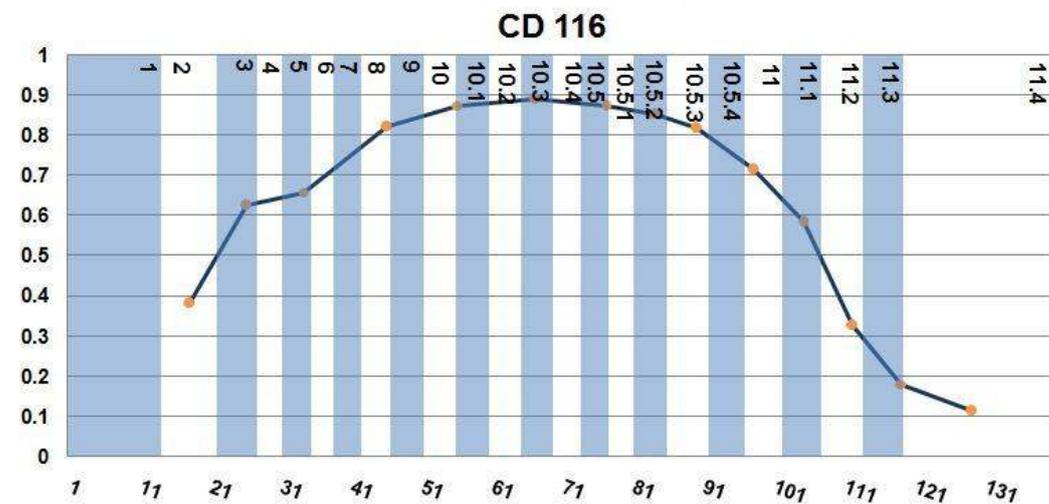


Figura 41. Perfil temporal da cultivar CD 116 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

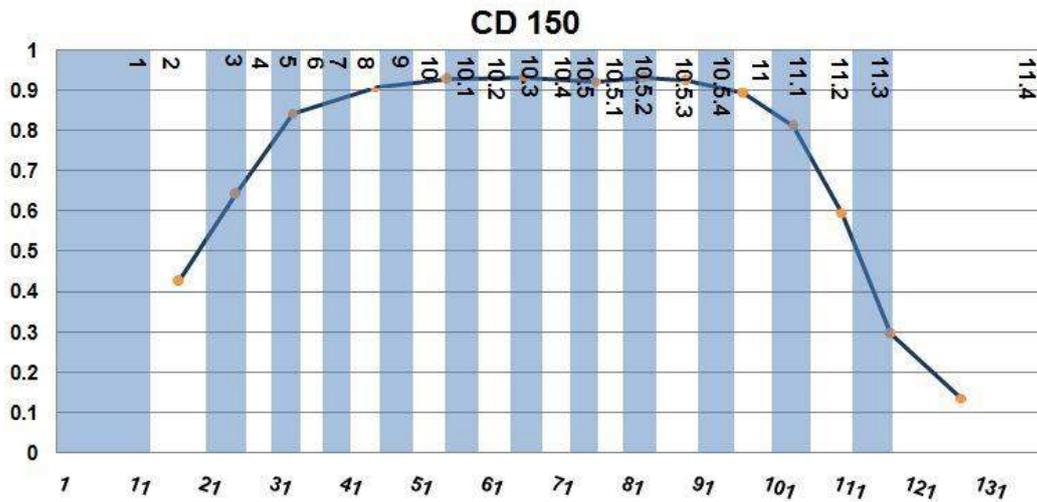


Figura 42. Perfil temporal da cultivar CD 150 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

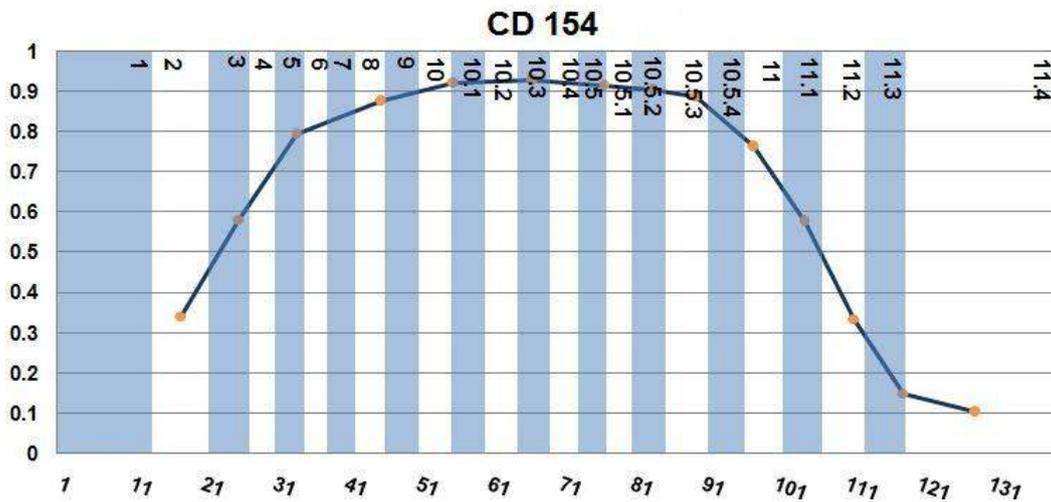


Figura 43. Perfil temporal da cultivar CD 154 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

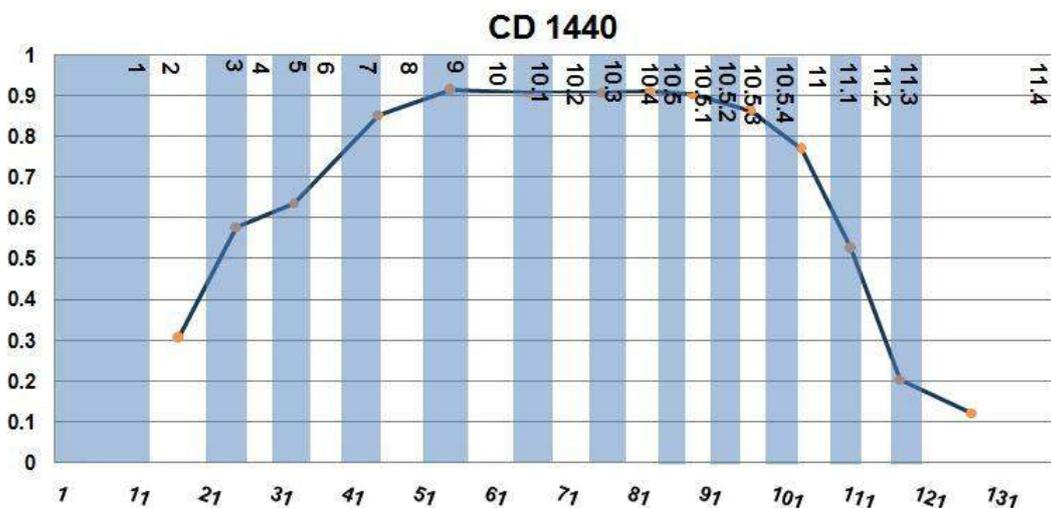


Figura 44. Perfil temporal da cultivar CD 1440 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

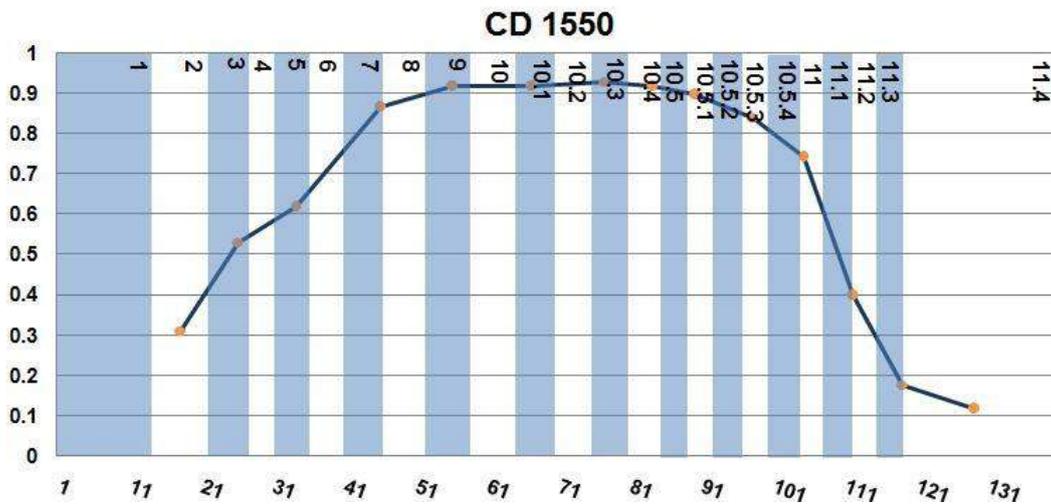


Figura 45. Perfil temporal da cultivar CD 1550 obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

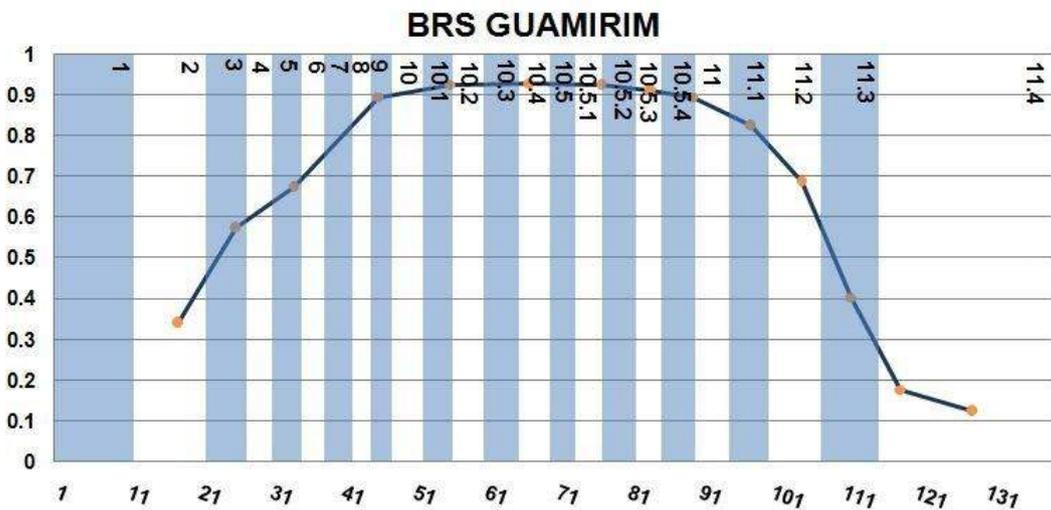


Figura 46. Perfil temporal da cultivar BRS Guamirim obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

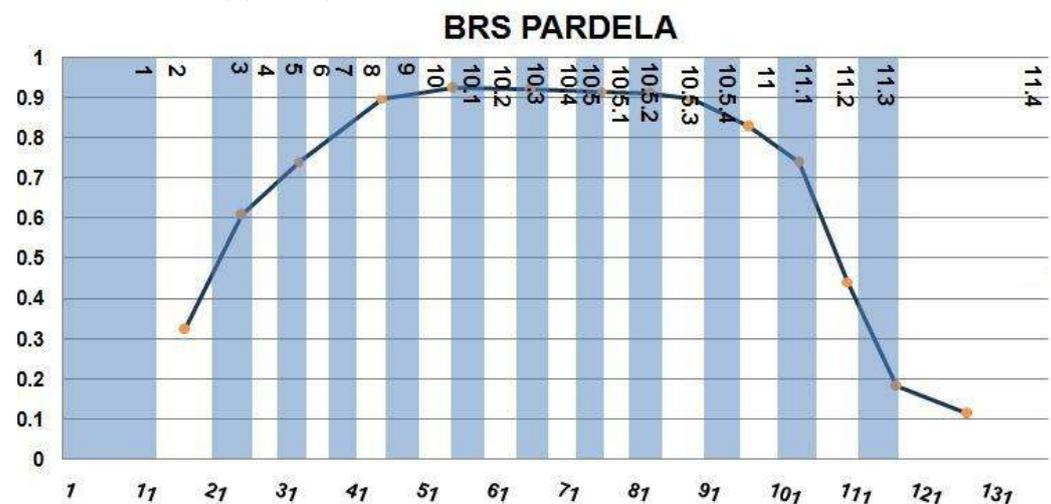


Figura 47. Perfil temporal da cultivar BRS Pardela obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.

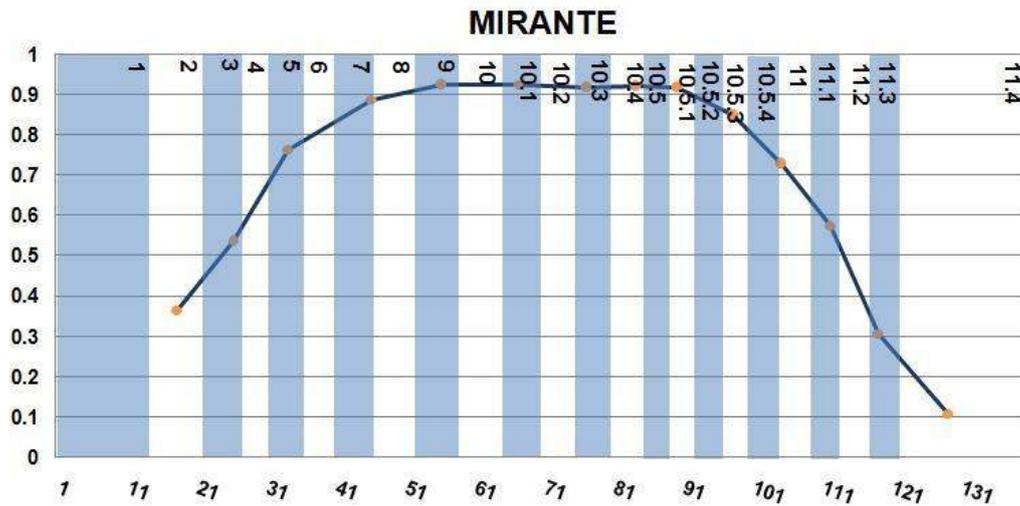


Figura 48. Perfil temporal da cultivar Mirante obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.



Figura 49. Perfil temporal da cultivar Quartzo obtido com o sensor FieldSpec 4 no ano de 2014, com indicação dos estádios fenológicos de acordo com a classificação de Feeks e Large. Eixo (Y) leituras de NDVI e eixo (X) dias após a semeadura.