

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN - RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Diandra Pinto Della Flora

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MASSA SECA DE PLANTAS DE
COBERTURA DE OUTONO/INVERNO**

**Frederico Westphalen, RS
2019**

Diandra Pinto Della Flora

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MASSA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA
DE OUTONO/INVERNO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

**Frederico Westphalen, RS
2019**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Della Flora, Diandra Pinto
Distribuição espacial de massa seca de plantas de
cobertura de outono/inverno / Diandra Pinto Della Flora.
2019.
90 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2019

1. Plantas de cobertura 2. Agricultura de Precisão 3.
Variabilidade 4. Sistema plantio direto 5. Índice de
vegetação I. Santi, Antônio Luis II. Título.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Diandra Pinto Della Flora. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Av. Joaquim Teixeira Alves, 1139. Centro. Dourados – MS.


Fone: (0xx55) 9606 0999; Endereço eletrônico: diandradellaflora@gmail.com

Diandra Pinto Della Flora

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MASSA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA
DE OUTONO/INVERNO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 18 de fevereiro de 2019:



Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)



Andre Luis Vian, Dr. (UFRGS) - videoconferência



Claudir José Basso, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2019.

À minha família, meus pais Marli e Abraão, minhas irmãs Lisandra e Bianca, meu sobrinho Lorenzo, pelo apoio e incentivo em todos os momentos, principalmente os de incerteza, muito comuns para quem trilha novos caminhos.

À meu companheiro de vida e de jornadas, Felipe Cardoso Serpa, pelo amor, carinho, cuidado, paciência e apoio incondicional nesses anos de convívio,

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, e pelas oportunidades que tem me proporcionado as quais tem possibilitado a realização de meus sonhos.

A Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente pela oportunidade de aprendizado, pela elevada qualidade do ensino público e gratuito, e qualificação profissional.

A meu mestre e orientador Dr. Antônio Luis Santi, por esses sete anos de dedicação, confiança e amizade, compartilhando conhecimentos acadêmicos, profissionais e sobre a vida.

Aos meus pais Marli Pinto Della Flora e Abraão José Della Flora pelos ensinamentos, pelo amor, incentivo e apoio para que eu seguisse a caminhada em busca dos meus objetivos, independente da distância percorrida. Sou o que sou graças a vocês!

A todos os demais familiares, em especial: minhas irmãs Lisandra e Bianca, que trilharam esse caminho antes de mim e serviram de exemplo e inspiração. Aos meus cunhados Leandro e Antônio, pelo apoio concedido a mim e por acreditarem nas minhas potencialidades. Aos meus sogros Sandra Medianeira Cardoso Serpa e Alberto Matos Serpa, meus segundos pais, e em nome deles à toda família, pelas inúmeras vezes que me ajudaram, apoiaram e incentivaram a continuar firme, independente das dificuldades. A meu companheiro, amigo e amor, Felipe Cardoso Serpa, pela tolerância nos meus momentos de impaciência, pela força nos meus momentos de fraqueza, pelo incentivo nos momentos de incerteza e pelo apoio incondicional em toda minha caminhada; com você quero dividir as duas cadeiras de balanço na varanda.

A todos os integrantes do Laboratório de Agricultura de Precisão do Sul (LAPSul) por todos os anos de convivência, amizade e pela ajuda na realização dos trabalhos a campo.

A todos aqueles não citados, familiares, colegas, amigos, professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A todos vocês, **Muito Obrigada!**

“A vida não é sobre metas, conquistas e linhas de chegada.
É sobre quem você se torna durante a caminhada.”

(Gisele Ferreira)

“Cada indivíduo dedica tempo, energia e conhecimento,
para cultivar a paz e desenvolver o bem,
de acordo com o caráter e valores que tem.”

(Dirceu Gassen – *in memoriam*)

RESUMO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MASSA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA DE OUTONO/INVERNO

AUTOR: Eng^a. Agr^a. Diandra Pinto Della Flora
ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

A utilização de plantas de cobertura do solo em planos de rotação de culturas tem se mostrado uma maneira eficaz de promover a qualidade e estabilidade do sistema plantio direto (SPD). A escolha das espécies é um fator muito importante, pois estas podem influenciar positiva ou negativamente a cultura posterior, e a distribuição da biomassa sobre a superfície é mais importante do que sua quantidade ou volume. O uso de sensores ópticos podem trazer benefícios importantes pela rapidez, agilidade e escala de campo em levantamentos que envolvem a produção de massa seca de plantas de cobertura, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, qualidade do SPD e produtividades das culturas. Objetivou-se com este estudo determinar a variabilidade espacial de massa seca (capítulo I) de diferentes plantas de cobertura de outono/inverno, através de NDVI obtido por sensor óptico (capítulo II), e verificar sua influência sobre a produtividade da cultura da soja (capítulo III). O estudo foi realizado em três áreas experimentais de uma propriedade localizada em Boa Vista das Missões - RS. A amostragem de massa seca (MS) e NDVI foi georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha (70,71m x 70,71 m). Para a determinação da variabilidade espacial de MS nas áreas experimentais foram realizadas coletas semanais de massa verde nos pontos amostrais, com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida (0,25 m²). Para a determinação do Índice de Vegetação (NDVI) utilizou-se o aparelho manual GreenSeeker, sendo as leituras realizadas nas mesmas datas de coleta de fitomassa e nos mesmos pontos amostrais. Para o capítulo III, a produtividade da soja foi determinada através de mapa de produtividade obtido a partir da colhedora. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística. A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$). A similaridade entre os mapas foi verificada pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) e as correlações através da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$). Foi possível estabelecer uma época preferencial para diagnóstico da variabilidade espacial de massa seca para as culturas da aveia branca e centeio, mas não do nabo. O NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker foi eficaz na determinação da variabilidade de produção de massa seca da cultura da aveia branca, entretanto, não foi eficaz quando aplicado às culturas do centeio e nabo forrageiro. O CDR foi um eficiente parâmetro permitindo avaliar a similaridade entre mapas temáticos de massa seca e NDVI. A variabilidade da cultura de cobertura de inverno do nabo forrageiro não influenciou o rendimento da cultura da soja no período estudado.

Palavras-chaves: Agricultura de precisão. Variabilidade. Sistema plantio direto. Sensor óptico. Índice de vegetação.

ABSTRACT

SPACE DISTRIBUTION OF DRY MASS OF AUTUMN/WINTER COVERAGE PLANTS

AUTHOR: Eng^a. Agr^a. Diandra Pinto Della Flora
ADVISOR: Dr. Antônio Luis Santi

The use of soil cover plants in crop rotation plans has been shown to be an effective way of promoting the quality and stability of the no-tillage system (SPD). The choice of species is a very important factor, as these can positively or negatively influence the later crop, and the distribution of the biomass on the surface is more important than its quantity or volume. The use of optical sensors can bring important benefits by speed, agility and field scale in surveys involving the production of dry mass of cover crops, carbon sequestration, nutrient cycling, SPD quality and crop yields. The objective of this study was to determine the spatial variability of dry mass (Chapter I) of different fall / winter cover crops, through NDVI obtained by optical sensor (chapter II), and to verify its influence on soybean crop productivity (Chapter III). The study was carried out in three experimental areas of a property located in Boa Vista das Missões - RS. The dry matter (DM) and NDVI sampling was georeferenced through the sampling grid of 0,5 ha (70,71m x 70,71 m). For the determination of the spatial variability of MS in the experimental areas, weekly green mass sampling was carried out at the sampling points, with the aid of a sample frame of known area (0,25 m²). For the determination of the Vegetative Index (NDVI), the GreenSeeker manual was used, and the readings were carried out on the same dates of collection of the phytomass and at the same sampling points. For Chapter III, soybean productivity was determined by a productivity map obtained from the harvester. Data were submitted to descriptive and geostatistical statistical analysis. The normality hypothesis was tested by the W test ($p < 0,05$). The similarity between the maps was verified by the relative deviation coefficient (RDC) and the correlations through Pearson's simple correlation ($p < 0,05$). It was possible to establish a preferential time for the diagnosis of the spatial variability of dry mass for the crops of white oats and rye, but not of turnip. The NDVI obtained by means of the GreenSeeker ground sensor was effective in determining the variability of the dry mass production of the white oat crop, however, it was not effective when applied to rye and forage turnip. The RDC was an efficient parameter allowing to evaluate the similarity between dry mass and NDVI thematic maps. The variability of the winter cover crop of forage turnip did not influence soybean yield in the studied period.

Keywords: Precision agriculture. Variability. No-till system. Optical sensor. Vegetative index.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1 – Detalhes da localização das áreas de estudo.21
- Figura 2 – Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação no período de cultivo da aveia branca, centeio e nabo forrageiro, no ano agrícola 2017/18....23
- Figura 3 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.)..28
- Figura 4 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura do centeio (*Secale cereale* L.).....29
- Figura 5 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).....30
- Figura 6 – Coeficiente de desvio relativo (CDR,%) entre os mapas de MS de aveia branca, centeio e nabo forrageiro, obtidos nas diferentes épocas de coletas.....31
- Figura 7 - Sobreposição dos mapas de variabilidade de produção de MS relativizada em relação a média da área (esquerda) e do coeficiente de variação (CV%) (direita), e correlação entre produção de MS e CV%, das culturas da aveia branca (A), centeio (B) e nabo forrageiro (C).....34

ARTIGO II

- Figura 1 – Detalhes da localização das áreas de estudo44
- Figura 2 – Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação pluviométrica no período de cultivo das plantas de cobertura.....46
- Figura 3 – Detalhe da malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha das áreas experimentais I (A) e II (B)47
- Figura 4 – Amplitude dos dados de biomassa das culturas aveia branca e centeio nas coletas realizadas ao longo dos ciclos de cultivo50
- Figura 5 – Coeficiente de desvio relativo (CDR, %) entre os mapas de biomassa e NDVI de aveia branca (A) e centeio (B), obtidos nas diferentes épocas de coletas56

ARTIGO III

- Figura 1 – Detalhes da localização das áreas de estudo69

Figura 2 – Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação pluviométrica no período de cultivo do nabo forrageiro e da soja	70
Figura 3 – Detalhe da malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha da área experimental	71
Figura 4 – Ajuste de Semivariogramas de biomassa do nabo forrageiro em cinco coletas ao longo do cultivo	77
Figura 5 – Ajuste de Semivariogramas de NDVI do nabo forrageiro em cinco coletas ao longo do cultivo.	78

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos nas áreas experimentais I, II e III	22
Tabela 2 – Identificação das áreas experimentais	24
Tabela 3 – Estatística descritiva das épocas de coleta de MS nas plantas de cobertura das áreas experimentais I, II e III	27
Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as épocas de coleta de MS nas culturas da aveia branca, centeio e nabo forrageiro	32

ARTIGO II

Tabela 1 – Identificação das áreas experimentais	44
Tabela 2 – Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos nas áreas experimentais I e II	45
Tabela 3 – Estatística descritiva das épocas de coleta de biomassa ($Mg \cdot ha^{-1}$) nas culturas da aveia branca e centeio	49
Tabela 4 – Estatística descritiva das épocas de coleta de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio	52
Tabela 5 – Parâmetros geoestatísticos de biomassa ($Mg \cdot ha^{-1}$) da aveia branca e centeio, mensuradas nas coletas ao longo do cultivo	53
Tabela 6 – Parâmetros geoestatísticos de NDVI da aveia branca e centeio, mensuradas nas coletas ao longo do cultivo.....	55
Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as de coletas de biomassa ($Mg \cdot ha^{-1}$) nas culturas da aveia branca e centeio	57
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as coletas de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio.....	58
Tabela 9 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as de coletas de biomassa ($Mg \cdot ha^{-1}$) e as coletas de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio.....	59

ARTIGO III

Tabela 1 – Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos na área experimental	69
Tabela 2 – Estatística descritiva da biomassa e NDVI do nabo forrageiro mensuradas em cinco épocas ao longo do cultivo, e da produtividade da soja	73

Tabela 3 – Parâmetros geoestatísticos de biomassa e NDVI do nabo forrageiro mensuradas em cinco coletas ao longo do cultivo, e da produtividade da soja	75
Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$) entre os mapas de produção de biomassa e NDVI do nabo forrageiro, e produtividade da soja	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 HIPÓTESE.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2 ARTIGO I – DEFINIÇÃO DA ÉPOCA PREFERENCIAL PARA DIAGNÓSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE MASSA SECA DE DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	17
2.1 RESUMO	17
2.2 ABSTRACT.....	18
2.3 INTRODUÇÃO.....	18
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	21
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
2.6 CONCLUSÕES.....	35
2.7 AGRADECIMENTOS.....	36
2.8 REFERÊNCIAS	36
3 ARTIGO II – VARIABILIDADE ESPACIAL DE BIOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO POR MEIO DO NDVI	40
3.1 RESUMO	40
3.2 ABSTRACT.....	40
3.3 INTRODUÇÃO.....	41
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.6 CONCLUSÕES.....	600
3.7 AGRADECIMENTOS.....	600
3.8 REFERÊNCIAS	611
4 ARTIGO III – VARIABILIDADE DE BIOMASSA DO NABO FORRAGEIRO E SEU IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA	655
4.1 RESUMO	655
4.2 ABSTRACT.....	655
4.3 INTRODUÇÃO.....	666
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	6868
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	733
4.6 CONCLUSÕES.....	800
4.7 AGRADECIMENTOS.....	811
4.8 REFERÊNCIAS	811
5 DISCUSSÃO	855
REFERÊNCIAS	8888

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente interesse da comunidade acadêmica por sistemas de manejo que prezam pela qualidade do solo, rotação de culturas e adubação verde, muitos estudos que levam em consideração o uso de plantas de cobertura são encontrados, entretanto, existe uma grande variabilidade de dados quanto a produção de fitomassa nas culturas utilizadas.

O conceito moderno de adubação verde é a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as na superfície, visando a proteção superficial, bem como a manutenção e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (COSTA et. al, 1992).

Na região Sul, onde é possível o cultivo de espécies de verão e de inverno, o que tem se percebido, a campo, são sistemas de produção de grãos ou integração lavoura-pecuária constituídos de monocultivos de soja e milho no verão ou rotação (dois anos soja um ano milho), e no inverno áreas com trigo, pastagens anuais de aveia preta ou adubos verdes com nabo forrageiro e ervilhaca (FONTANELLI e GASSEN, 2009). O que se busca com as plantas de cobertura e espécies forrageiras é a contribuição no manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras, ciclagem de nutrientes, minimização da erosão, tornando o sistema agrícola economicamente mais sustentável embasada em aspectos de conservação, preservação ambiental e econômicos (FIORIN, 2007).

Atualmente é crescente o interesse da comunidade científica pelo tema de qualidade do solo, cujo conceito compreende a manutenção da capacidade produtiva do solo por longo período de tempo. Para que isto seja possível é necessário que o sistema de manejo utilizado proporcione a manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, favoráveis ao desenvolvimento vegetal. O desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental tem resultado em novos paradigmas tecnológicos baseados na sustentabilidade.

Dentre as práticas mais adequadas para manter a qualidade do solo e das tecnologias de produção agrícola disponíveis, encontra-se o Sistema Plantio Direto (SPD), um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura, que consiste no cultivo sem o revolvimento do solo. O SPD é uma prática bastante difundida entre

os agricultores, sendo utilizada no Sul do Brasil desde a década de 1970, mas com crescimento expressivo no país a partir de 1990. O sucesso do SPD depende da quantidade e da qualidade da palha mantida sobre a superfície do solo.

Atrelado ao SPD, surge como um novo conceito de manejo e estratégia de gestão baseada na tecnologia da informação com o objetivo de potencializar coleta de dados e permitir decisões de manejo mais acertadas, denominado agricultura de precisão (AP). No contexto de sustentabilidade e SPD o uso de sensores ópticos tanto para leituras “por terra” ou embarcados em veículos aéreos não tripulados (VANTs), por exemplo, podem trazer benefícios importantes pela rapidez, agilidade e escala de campo em levantamentos que envolvem a produção de massa seca de plantas de cobertura, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, qualidade do SPD e produtividades das culturas.

1.1 HIPÓTESE

A hipótese testada neste trabalho é de que a estimativa da variabilidade de massa seca das plantas de cobertura de outono/inverno, a partir de sensor óptico, e sua influência sobre os cultivos de verão, possam auxiliar no monitoramento e na tomada de decisão mais rápida e eficaz, contribuindo na manutenção da qualidade do solo e garantindo altas produtividades.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Determinar a variabilidade espacial de massa seca de diferentes plantas de cobertura de outono/inverno, através do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtido por sensor óptico, e verificar sua influência sobre a produtividade da cultura da soja.

1.2.2 Objetivos específicos

Mensurar o potencial do NDVI como ferramenta para determinar a variabilidade espacial produtiva das áreas estudadas.

Determinar uma época preferencial para a estimativa da variabilidade espacial de produção de fitomassa de plantas de cobertura de inverno.

Avaliar a estabilidade produtiva das áreas cultivadas com culturas de cobertura de inverno.

Verificar a eficácia do coeficiente de desvio relativo (CDR) na determinação de similaridade entre mapas.

Avaliar os efeitos da variabilidade de massa seca da cultura do nabo forrageiro na produtividade da cultura da soja em sucessão.

2 ARTIGO I

DEFINIÇÃO DA ÉPOCA PREFERENCIAL PARA DIAGNÓSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE MASSA SECA DE DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

2.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a época preferencial para realizar o diagnóstico da variabilidade espacial de produção de massa seca em três culturas utilizadas como plantas de cobertura de solo. O estudo foi realizado no município de Boa Vista das Missões – RS, Brasil. Os dados de fitomassa foram coletados em três áreas experimentais, cultivadas com aveia branca, centeio e nabo forrageiro, com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida (0,25 m²), totalizando 186 pontos amostrais. Os dados de massa seca (MS) obtidos foram submetidos à análise estatística exploratória, obtendo-se medidas de posição e de dispersão. A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$). A espacialização dos resultados foi procedida por meio da construção dos mapas temáticos, e a similaridade foi comparada pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) e pela matriz de correlação de Pearson ($p < 0,05$). A estabilidade produtiva foi determinada por meio de mapas de variabilidade de MS considerando os resultados relativizados, além de mapas de coeficiente de variação (CV%). Foi possível estabelecer uma época preferencial para diagnóstico da variabilidade espacial de MS para as culturas da aveia branca e centeio, sendo após 92 e 86 dias após a semeadura (DAS), respectivamente. Para a cultura do nabo não foi possível estabelecer uma época preferencial. Independente da cultura avaliada, deve-se atentar para que a época de coleta não ultrapasse o tempo disponível para se redefinir planos de manejo. Nas condições estudadas, a cultura do nabo forrageiro apresentou maior estabilidade produtiva, seguida da aveia branca. O centeio não apresentou uma tendência produtiva bem definida.

Palavras-chave: Cobertura de solo. Sistema Plantio Direto. Qualidade de solo. Rotação de cultura. Agricultura de Precisão.

2.2 ABSTRACT

The objective of this work was to determine the preferential time to perform the diagnosis of the spatial variability of dry mass production in three crops used as soil cover plants. The study was carried out in the municipality of Boa Vista das Missões, Brazil. The phytomass data were collected in three experimental areas, cultivated with white oats, rye and forage turnip, with the aid of a sample frame of known area (0.25 m²), totaling 186 sampling points. The dry mass (DM) data obtained were submitted to exploratory statistical analysis, obtaining position and dispersion measurements. The normality hypothesis was tested by the W test ($p < 0,05$). The spatialization of the results was done through the construction of the thematic maps, and similarity was compared by the relative deviation coefficient (RDC) and the Pearson correlation matrix ($p < 0,05$). Productivity stability was determined by means of dry mass variability maps considering the relativized results, as well as coefficient of variation maps (CV%). It was possible to establish a preferential time for the diagnosis of the spatial variability of DM for white oat and rye crops, after 92 and 86 days after sowing (DAS), respectively. For the turnip crop it was not possible to establish a preferential season. Regardless of the culture evaluated, care must be taken that the collection time does not exceed the time available to redefine management plans. Under the conditions studied, forage turnip presented higher productive stability, followed by white oats. Rye did not show a well-defined production trend.

Keywords: Crop rotation. No-till system. Precision Agriculture. Soil cover. Soil quality.

2.3 INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura do solo em planos de rotação de culturas tem se mostrado uma maneira eficaz de promover a qualidade e estabilidade do sistema plantio direto (SPD). O uso dessas espécies favorece a utilização de forma mais eficaz dos recursos disponíveis como água, luz e nutrientes, além de propiciar

o aumento na fertilidade do solo devido a ciclagem de nutrientes, e melhorias nas suas propriedades físicas e biológicas (CORREIA e DURIGAN, 2008).

De acordo com Braz et al. (2005), as plantas possuem modelos de crescimento sigmoide pois, no início seu crescimento é lento, devido a um pequeno número de células que se dividem e resultam em pequena área foliar e menor aproveitamento da radiação solar, aumentando gradativamente até atingir seu máximo, quando este se estabiliza. O acúmulo na produção de fitomassa, segundo os mesmos autores, é uma maneira eficaz de avaliar o crescimento de plantas em comunidades vegetais, além de ser considerada uma medida de capacidade do aparelho fotossintético.

Culturas de inverno como nabo forrageiro, aveia e centeio são opções indicadas para cobertura de solo, podendo ser utilizadas em sistemas de rotação de culturas que proporcionam maior ciclagem de nutrientes e ajudam a suprimir a incidência de plantas daninhas, pragas e doenças.

Costa (1992) afirma que as aveias (*Avena* spp.) são capazes de promover melhorias nas características físicas e biológicas do solo, reduzindo a população de nematoide do gênero *Meloidogyne*, além de propiciar a redução de invasoras (ALMEIDA & RODRIGUES, 1985). Dentre as principais culturas de inverno utilizadas como cobertura de solo, o centeio (*Secale cereale* L.) apresenta a relação C/N mais elevada (aproximadamente 40:1), o que propicia a decomposição relativamente mais lenta da palhada (HERNANI et al., 1995).

A cultura do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), por sua vez, apresenta rápido crescimento inicial, promovendo a cobertura total do solo entre 50 e 80 dias após a semeadura, suprimindo de forma eficaz o desenvolvimento de plantas daninhas (HERNANI et al., 1995). Além disso, de acordo com Pitol e Salton (1993), essa cultura promove aumento na porosidade do solo, o que se deve a seu sistema radicular característico, favorecendo, conseqüentemente, características físicas como infiltração de água, e biológicas como o desenvolvimento de microrganismos. Além disso, possui elevada capacidade de reciclar nutrientes podendo, segundo Costa (1992), colocar na superfície cerca de 23 Mg ha⁻¹ de N, 8 Mg ha⁻¹ de P₂O₅, 43 Mg ha⁻¹ de K₂O, 29 Mg ha⁻¹ de CaO e 6 Mg ha⁻¹ de MgO.

A escolha das espécies é um fator muito importante, pois estas podem influenciar positiva ou negativamente a cultura posterior. As formas de manejo das

plantas de cobertura também podem afetar sua distribuição sobre a superfície, por apresentarem diferentes níveis de amassamento, enterrio ou fracionamento do vegetal (HERNANI et al., 1995).

A variabilidade da produção de massa seca produzida pelas culturas utilizadas como cobertura vegetal tem grande influencia no controle de perdas de solo por erosão e na infiltração de água e, segundo Hernani et al. (1995), a distribuição da biomassa sobre a superfície é mais importante do que sua quantidade ou volume.

Atualmente, existe uma grande amplitude de dados quanto à produção de massa seca (MS) das culturas utilizadas como plantas de cobertura de solo. Em relatos recentes, a produção de massa seca de aveia branca (*Avena sativa* L.) tem variado de 5,02 até 7,6 Mg.ha⁻¹ (SANTOS et al., 2018; SILVA, 2015). O mesmo ocorre para a cultura do centeio (*Secale cereale* L.), que apresenta dados de MS de 3,24 até 10,70 Mg.ha⁻¹ (JUNIOR et al., 2004; SANTOS, 2006; CHAVES et al., 2018). A maior variabilidade espacial é comumente observadas na cultura do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), de 5,40 a mais de 6,70 Mg.ha⁻¹ de MS (LIMA et al., 2007; SILVA et al., 2007).

A variabilidade espacial do rendimento das culturas reflete o potencial do solo em oferecer condições adequadas para a máxima expressão de produção, além de fornecer indicação do nível de nutrientes para a cultura sucessora a partir dos resíduos orgânicos gerados (ZHANG et al., 2010). O mesmo pode-se aplicar na produção de fitomassa pelas plantas de cobertura. Molin et al., (2015) afirmam que a Agricultura de Precisão (AP) é uma forma de gestão dos processos agrícolas nas lavouras, levando em consideração a variabilidade existente que deve ser avaliada, quantificada e mapeada, com a finalidade de geri-la de forma eficiente.

Ferramentas para o conhecimento e a gestão da variabilidade espacial estão disponíveis (MOLIN et al., 2015) e tem contribuído para o crescimento contínuo da produtividade agrícola. Estudos com esse objetivo já foram realizados em grande escala para o manejo da fertilidade (GIMENEZ e MOLIN, 2002; BERNARDI et al., 2015; Corassa et al., 2018a) e avaliação da qualidade física do solo (RIBEIRO et al., 2016; ALVES et al., 2018; SILVA et al., 2017) e mais recentemente para o posicionamento de genótipos e ajuste de população de plantas (CORASSA et al., 2018b; CORASSA et al., 2018c). Contudo, ainda são incipientes os estudos voltados

para o entendimento da variabilidade espacial de produção de massa seca em plantas de cobertura, bem como, sobre a época preferencial para um diagnóstico preciso, sendo que os trabalhos existentes restringem-se às décadas de 80 e 90, em sua grande maioria.

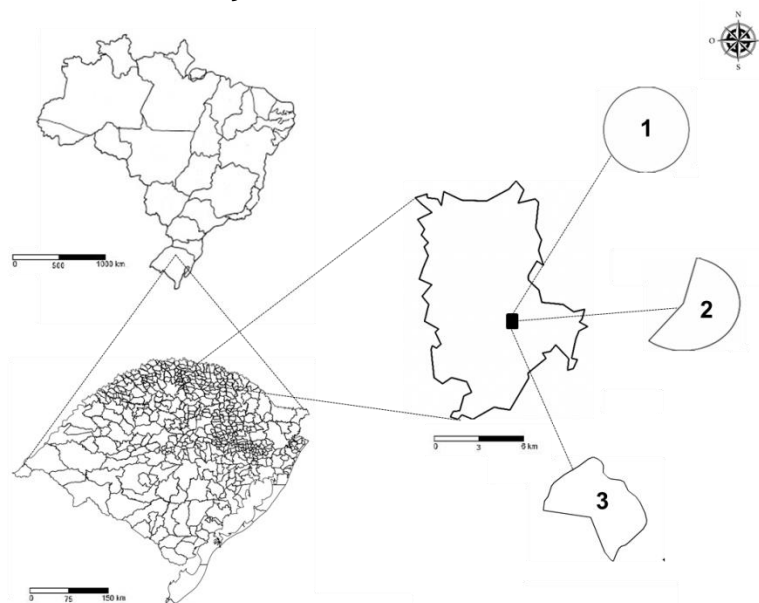
Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo determinar a época preferencial para realizar o diagnóstico da variabilidade espacial de produção de massa seca nas culturas do nabo forrageiro, centeio e aveia branca, utilizadas como cobertura de solo.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido na safra 2017/18, em uma propriedade que possui 597 ha, localizada no município de Boa Vista das Missões - RS, Brasil, entre as coordenadas 27°72'55" S (latitude) 53°33'13" O (longitude). O clima da região é subtropical de primavera úmida (ST PU) com temperatura média do ar anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano⁻¹ (MALUF, 2000). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (> 60%), o relevo predominante da região é suave ondulado.

Figura 1 – Detalhes da localização das áreas de estudo.



A área vem sendo manejada sob SPD há mais de 20 anos, sendo utilizado algumas ferramentas de agricultura de precisão como a amostragem georreferenciada de solo, piloto automático, aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada plena e monitoramento através de mapas de produtividade há oito anos e, recentemente adoção de gestão de dados através de plataformas digitais. O histórico de cultivos e do manejo de correções de adubações nas áreas estudadas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos nas áreas experimentais I, II e III.

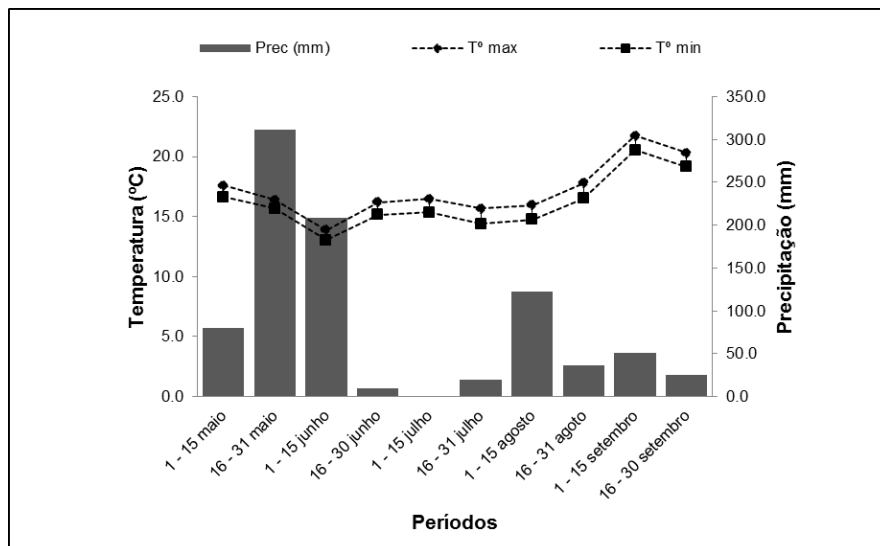
Área experimental I - aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)					
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Aveia Preta	SS ¹ 01-18-00	300	Linha
	Verão	Soja	NPK ² 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
2015/16	Inverno	Aveia branca + Nabo	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Milho	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
			NPK 45-00-00	430	Laço
2016/17	Inverno	Aveia Ucraniana	NPK 01-20-00	170	Linha
	Verão	Soja	NPK 07-40-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	180	Laço
2017/18	Inverno	Aveia branca	Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Soja	NPK 05-26-05	215	Linha
			NPK 00-00-60	150	Laço
Área experimental II – centeio (<i>Secale cereale</i> L.)					
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Trigo	NPK 08-40-00	200	Linha
			NPK 33-00-00	200	Laço
	Verão	Soja	NPK 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
2015/16	Inverno	Aveia Ucraniana	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Soja	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
			NPK 45-00-00	430	Laço
2016/17	Inverno	Nabo	Calcário	2000	Laço
	Verão	Milho	Sem adubação	SA*	SA*
				NPK 12-30-20	420

			NPK 00-00-60	150	Laço
			NPK 33-00-00	470	Laço
2017/18	Inverno	Centeio	Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Soja	NPK 05-26-05	300	Linha
			NPK 00-00-60	300	Laço
Área experimental III – nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)					
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Aveia Preta	SS 01-18-00	300	Linha
	Verão	Soja	NPK 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
2015/16	Inverno	Aveia branca + Nabo	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Milho	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
			NPK 45-00-00	430	Laço
2016/17	Inverno	Aveia Ucraniana	NPK 01-20-00	170	Linha
	Verão	Soja	NPK 07-40-00	180	Linha
NPK 00-00-60			430	Laço	
2017/18	Inverno	Nabo	Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Soja	NPK 05-26-05	215	Linha
NPK 00-00-60			150	Laço	

(* Sem adubação; ¹ Superfotato Simples; ² Nitrogênio-Fósforo-Potássio.

Os dados de temperaturas máxima e mínima, e de precipitação, no período de cultivo das espécies de cobertura, se encontram na Figura 2.

Figura 2 – Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação no período de cultivo da aveia branca, centeio e nabo forrageiro, no ano agrícola 2017/18.



Fonte: INMET, 2017.

Plano de amostragem de plantas e determinação da variabilidade espacial

Para esse estudo foram escolhidas três áreas distintas (Áreas experimentais I, II e III). Com auxílio de um aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi realizada a vetorização das áreas com a demarcação dos perímetros, sendo definida a malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha (70,71m x 70,71 m), gerada através do programa computacional Sistema CR-Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

As culturas analisadas foram aveia branca cv. Fronteira (*Avena sativa* L.), centeio comum (*Secale cereale* L) e nabo forrageiro IPR 116 (*Raphanus sativus* L.). Para a determinação da variabilidade espacial de MS nas áreas foram realizadas coletas semanais de massa verde, sendo uma coleta em cada ponto, nos 186 pontos amostrais, com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida (0,25 m²). O material coletado foi encaminhado para secagem em estufa à temperatura aproximada de 60°C, até atingir peso constante. Com o uso de uma balança de precisão foi determinada a MS (Mg.ha⁻¹) dos materiais. Os dados de tamanho da área, data de semeadura, número de pontos amostrados, época da primeira coleta e número de coletas, densidade e modo de semeadura, para cada área, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação das áreas experimentais.

AE*	Cultura	Tamanho da área (ha)	Semeadura	Pontos amostrados	1ª coleta (DAS)	Nº de coletas	DS* (Kg/ha)	Modo
I	aveia branca	31	16/06/2017	60	63	8	95	Linha
II	centeio	25	17/05/2017	50	65	6	115	Linha
III	nabo forrageiro	38	27/06/2017	76	52	5	18	Linha

*AE – área experimental, DS – densidade de semeadura.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística exploratória (estatística descritiva), obtendo-se medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria e de curtose). Com base nos valores de assimetria (Cs) obtidos, visando caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados como: Cs = 0 distribuição simétrica, Cs > 0 distribuição assimétrica à

direita e $C_s < 0$ distribuição assimétrica à esquerda. Os valores de curtose (C_k), que expressam a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente utilizada a curva normal, foram classificados em: $C_k = 0$ distribuição mesocúrtica, $C_k < 0$ distribuição platicúrtica e $C_k > 0$ distribuição leptocúrtica.

A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965), sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram p -valor $> 0,05$. As análises estatísticas descritivas e de correlação foram realizadas utilizando o programa computacional *Statistical Analysis System – SAS 8.0* (SAS Inc, Cary, USA).

A espacialização da variabilidade de MS das áreas experimentais foi procedida por meio da construção dos mapas temáticos de interpolação por krigagem, utilizando o programa computacional Sistema CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007). A determinação da época preferencial para o diagnóstico da variabilidade espacial de MS nas áreas estudadas foi realizada por meio da verificação da similaridade entre os mapas temáticos de MS das plantas de cobertura, construídos a partir dos dados coletados nas diferentes épocas. A similaridade foi avaliada por meio de dois parâmetros estatísticos, o coeficiente de desvio relativo (CDR,%) e a matriz de correlação de Pearson ($p < 0,05$). O CDR expressa a diferença média, em módulo, dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como mapa referência (padrão – utilizado nesse trabalho a última coleta de cada cultura), de modo que quanto menor for o percentual encontrado, maior será a similaridade entre os mapas (COELHO et al., 2009). O cálculo é dado pela equação abaixo.

$$CDR = \sum |(P_i - P_{ipad}) / P_{ipad}| * (100/n)$$

em que: CDR – coeficiente de desvio relativo, %; n – número de pontos estimados; P_{ipad} – ponto i do mapa padrão; P_i – ponto i para o mapa a ser comparado.

Foram gerados ainda mapas de variabilidade de MS para cada época de coleta de dados considerando os resultados relativizados, ou seja, os dados de MS normalizados em relação às médias de produção da área, além de mapas de coeficiente de variação (CV%), como medida de auxílio para verificar a estabilidade produtiva das áreas experimentais.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise estatística descritiva das épocas de coleta de MS das áreas experimentais I, II e III, está representada na Tabela 3, onde é possível verificar a amplitude entre os dados de mínimo e máximo na produção de MS para a cultura do nabo, sendo que a época 3 (67 DAS) apresentou maior variação (entre 0,28 e 3,25 Mg ha⁻¹), demonstrando grande variabilidade na área experimental I. Isso indica que os valores médios de MS obtidos não devem ser utilizados na tentativa de estabelecer a época preferencial para estivação da variabilidade produtiva da área. O mesmo pode ser verificado nas culturas de aveia branca e centeio, que apresentaram maior amplitude nas épocas 8 (115 DAS) e 6 (101 DAS), respectivamente.

A cultura que apresentou maior produção de MS no final do período vegetativo foi o centeio, atingindo 4,60 Mg ha⁻¹, seguido pelas culturas do nabo forrageiro e aveia branca, com produções máximas de 3,40 e 2,96 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os dados obtidos na produção de MS do centeio corroboram com os encontrados em literatura (JUNIOR et al., 2004; SANTOS, 2006; CHAVES et al., 2018), entretanto, a cultura da aveia branca obteve resultados de produção de MS menores que os citados pela bibliografia (SANTOS et al., 2018; SILVA, 2015). A cultura do nabo forrageiro foi submetida a um período de 18 dias de estivação (Figura 1) logo após sua semeadura, o que pode ser sido o fator principal da baixa produção de MS ao longo do ciclo (máxima de 3,40 Mg.ha⁻¹), uma vez que o nabo é considerado uma cultura exigente em umidade do solo durante sua implantação e desenvolvimento inicial (HERNANI et al., 1995). De acordo com Berlato et al. (2005), a variabilidade temporal verificada na produção das culturas pode ser fortemente influenciada pela instabilidade climática.

Para todas as culturas analisadas, a dispersão relativa dos dados (CV%) (Tabela 3) diminuiu conforme o avanço no seu desenvolvimento, entretanto, apenas a cultura da aveia branca apresentou alta dispersão (25,35% na época 7 – 106 DAS), conforme a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), sendo que as culturas de nabo e centeio obtiveram resultados de dispersão considerados muito altos para todas as épocas de coleta. Resultados diferentes foram encontrados por Silva et al. (2015), que avaliando a produção de MS de diferentes plantas de

cobertura de inverno observou uma baixa dispersão (CV% = 9,6) na cultura da aveia branca.

Tabela 3 - Estatística descritiva das épocas de coleta de MS nas plantas de cobertura das áreas experimentais I, II e III.

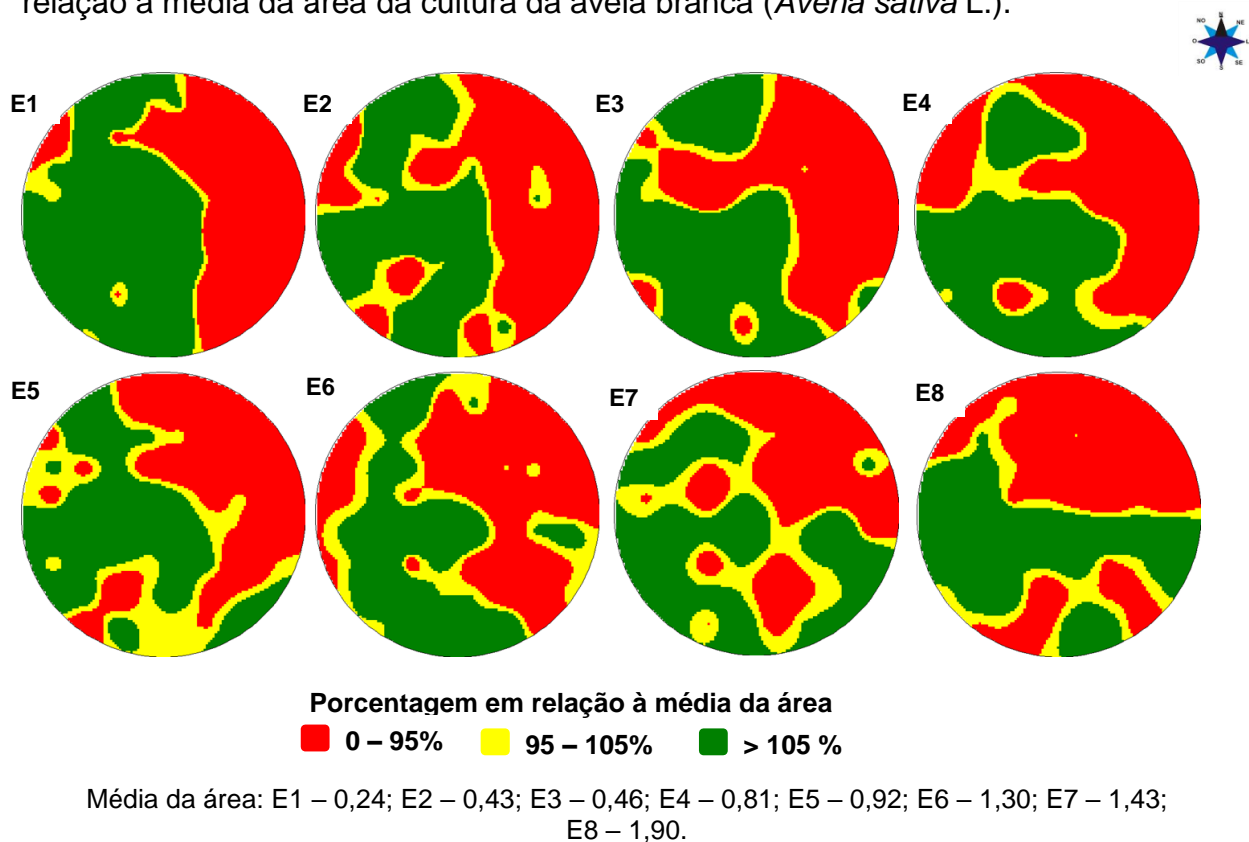
Épocas de coleta (DAS)	Mínimo	Média	Máximo	DP ¹	CV% ²	Cs ³	Ck ⁴	W ⁵
ÁREA EXPERIMENTAL I - aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
Mg.ha ⁻¹								
E1 (63)	0,07	0,24	0,55	0,13	52,23	0,29	-0,76	0,95*
E2 (70)	0,11	0,43	0,96	0,17	39,37	0,52	0,57	0,98 ^{ns}
E3 (77)	0,13	0,46	0,91	0,16	34,11	0,29	0,09	0,98 ^{ns}
E4 (85)	0,19	0,81	1,67	0,29	35,07	0,43	0,29	0,99 ^{ns}
E5 (92)	0,45	0,92	1,41	0,25	27,21	0,21	-0,61	0,98 ^{ns}
E6 (101)	0,56	1,30	2,20	0,39	30,25	0,55	-0,12	0,96 ^{ns}
E7 (106)	0,79	1,43	2,47	0,36	25,35	0,61	0,57	0,97 ^{ns}
E8 (115)	0,98	1,90	2,96	0,51	27,01	0,19	-0,80	0,98 ^{ns}
ÁREA EXPERIMENTAL II – centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
Mg.ha ⁻¹								
E1 (65)	0,06	0,26	0,68	0,14	56,12	1,23	1,41	0,89*
E2 (71)	0,16	0,34	0,76	0,16	45,34	0,98	0,26	0,90*
E3 (79)	0,21	0,58	1,59	0,29	49,68	1,25	2,02	0,91*
E4 (86)	0,34	1,04	2,46	0,47	45,49	0,91	0,87	0,94*
E5 (93)	0,53	1,26	2,90	0,56	44,33	1,11	0,61	0,89*
E6 (101)	0,83	2,12	4,60	0,90	42,34	0,99	0,70	0,92*
ÁREA EXPERIMENTAL III – nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)								
Mg.ha ⁻¹								
E1 (52)	0,10	0,33	0,70	0,13	39,27	0,71	0,17	0,96*
E2 (60)	0,11	0,42	0,90	0,18	43,67	0,59	-0,24	0,96*
E3 (67)	0,28	0,96	3,25	0,39	40,68	2,78	14,27	0,80*
E4 (76)	0,45	1,26	2,66	0,45	35,57	0,53	0,27	0,96*
E5 (81)	0,74	1,60	3,40	0,54	33,86	0,78	0,82	0,96*

(¹) DP: Desvio padrão; (²) CV%: Coeficiente de variação; (³) Cs: Coeficiente de assimetria; (⁴) Ck: Coeficiente de curtose; (⁵) Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (^{ns}) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Os dados de fitomassa apresentaram dispersão muito alta para a cultura da aveia branca em mais de 60%, e para as culturas de centeio e nabo forrageiro, em 100%. Dessa forma, as áreas experimentais II e III, cultivadas com centeio e nabo forrageiro, respectivamente, não seguiram distribuição de frequências normal (Tabela 3), sendo confirmados pelos coeficientes de assimetria deslocados à direita

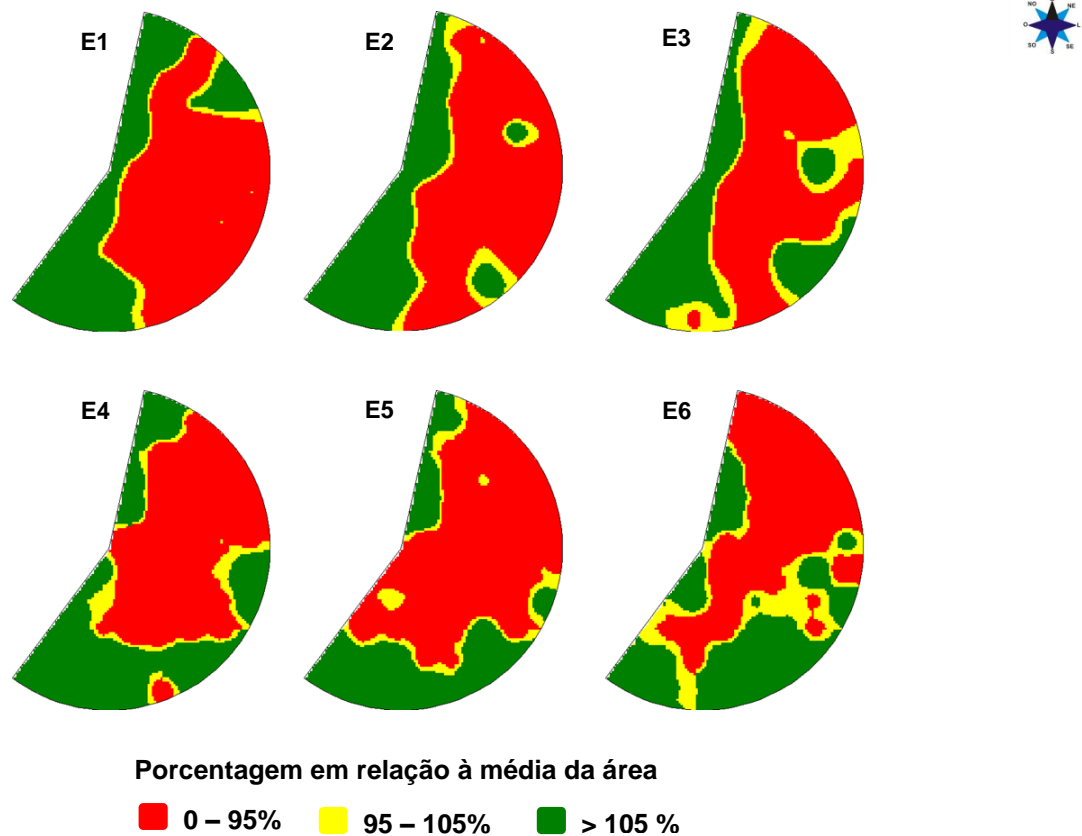
($C_s > 0$), e de curtose com distribuições platicúrticas ($C_k < 0$) e leptocúrticas ($C_k > 0$). Esses dados que indicam a falta de normalidade dos dados foram comprovados pelo teste W. Na cultura da aveia branca, os dados de MS apresentaram valores próximos à zero para os coeficientes de assimetria e curtose, de modo que a distribuição de frequências tende à normalidade, o que pode ser verificado pelo resultado do teste W.

Figura 3 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.).



Os mapas de sequência temporal de produção de MS relativizada da cultura da aveia branca especializados na forma de mapas temáticos (Figura 3) indicam que o avanço no desenvolvimento da cultura promove um maior detalhamento da distribuição espacial desse atributo na área, permitindo identificar melhor a variabilidade existente. O mesmo comportamento pode ser verificado para a cultura do centeio (Figura 4). Essas constatações são confirmadas pelos resultados obtidos nas análises de similaridade entre os mapas interpolados por meio do CDR e da correlação de Pearson.

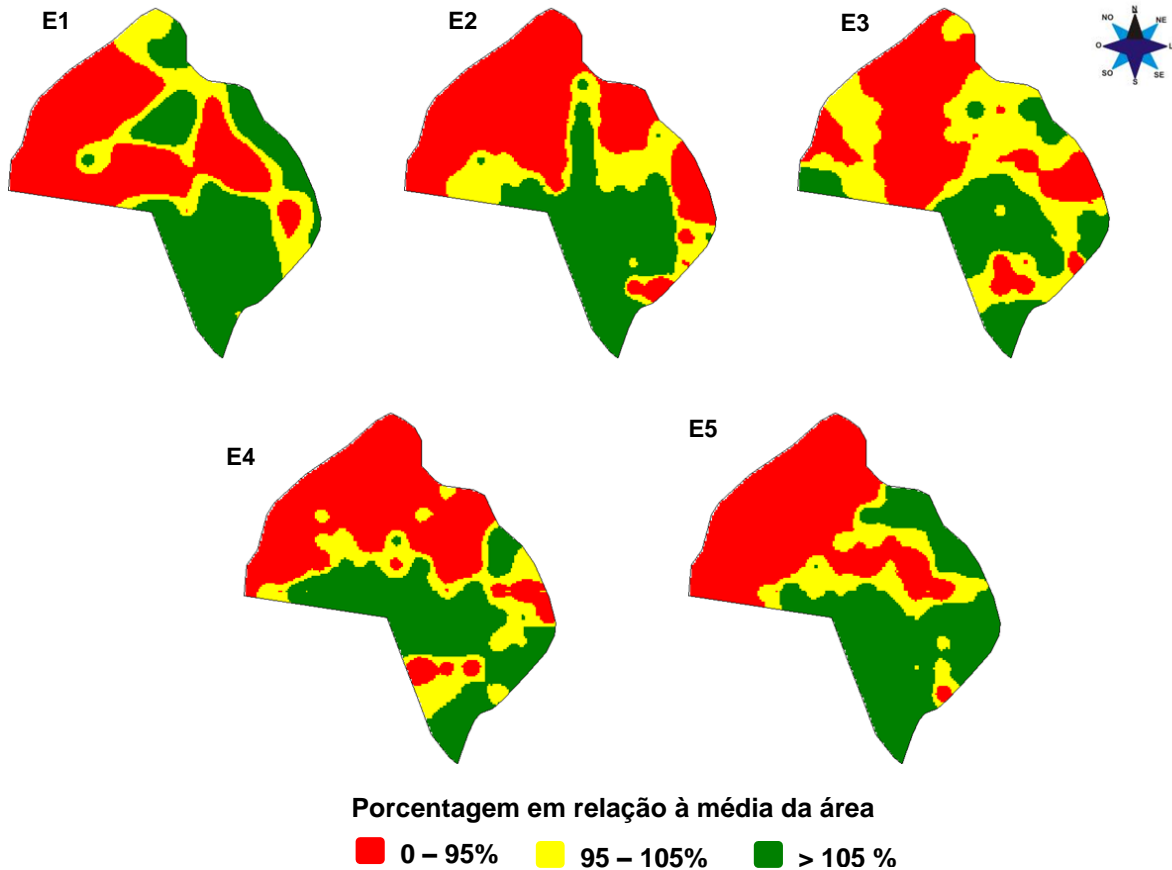
Figura 4 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura do centeio (*Secale cereale* L.).



Média da área: E1 – 0,26; E2 – 0,34; E3 – 0,58; E4 – 1,04; E5 – 1,26; E6 – 2,12.

Para a cultura do nabo forrageiro, os mapas de sequência temporal de produção de MS relativizada da cultura especializada na forma de mapas temáticos (Figura 5), não apresentaram uma tendência como nas culturas da aveia branca e centeio, de modo que a variabilidade pôde ser captada pelas coletas de fitomassa desde o início de seu desenvolvimento, entretanto, a maior variabilidade foi verificada na área a partir da terceira coleta (67 DAS), quando, de acordo com Hernani et al. (1995), a cultura já se encontrava em um estágio que permitia a cobertura total do solo.

Figura 5 - Sequência temporal de mapas de produção de MS relativizados em relação a média da área da cultura do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).



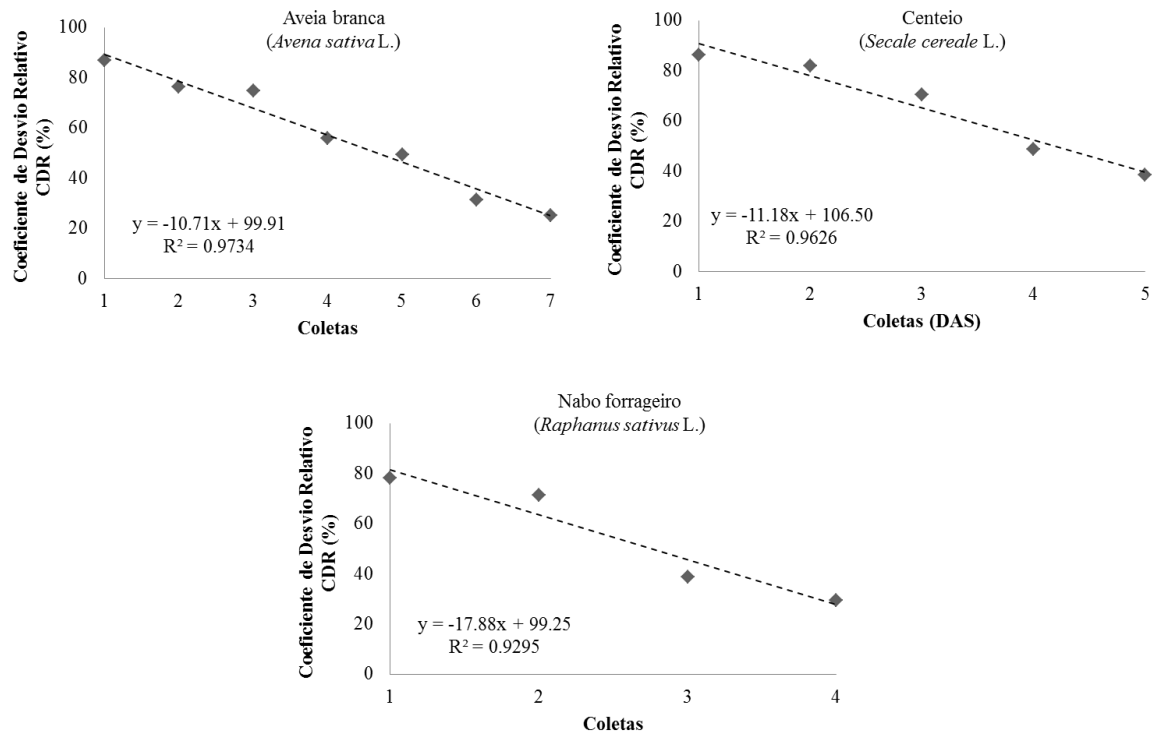
Média da área: E1 – 0,33; E2 – 0,42; E3 – 0,96; E4 – 1,26; E5 – 1,60.

Com base nos resultados do CDR (Figura 6), percebeu-se que para todas as culturas, conforme estas avançam seu desenvolvimento e, conseqüentemente as épocas de coleta, houve uma redução na dissimilaridade dos mapas obtidos, em relação ao mapa utilizado como padrão, sendo este a última coleta de cada cultura, quando as mesmas se encontravam no pleno florescimento, época estabelecida como referência. Esta redução foi ajustada por regressões lineares com coeficientes de determinação (R^2) de 0,97, 0,96 e 0,93 para as culturas da aveia branca, centeio e nabo forrageiro, respectivamente.

Os mapas do centeio apresentaram maior dissimilaridade entre si, com CDR variando de 30,6 a 86,2%, enquanto nos mapas de aveia branca e nabo forrageiro, os valores de CDR variaram de 25,2 a 86,8% e 29,6 a 78,3%, respectivamente. Estes resultados demonstram que o coeficiente de desvio relativo é um eficiente parâmetro que permite avaliar a similaridade dos mapas temáticos de massa seca.

Resultados semelhantes foram observados em mapas de atributos do solo (CHERUBIN et al., 2015), e produtividade de soja (COELHO et al., 2009) e de milho (SPEZIA et al., 2012).

Figura 6 – Coeficiente de desvio relativo (CDR,%) entre os mapas de MS de aveia branca, centeio e nabo forrageiro, obtidos nas diferentes épocas de coletas.



Observando os resultados da análise de correlação linear de Pearson (Tabela 4), nota-se que para os mapas de massa seca da cultura da aveia branca, o comportamento foi semelhante ao verificado por meio do CDR, indicando aumento da correlação entre o mapa obtido na época oito (E8 - referência) e os mapas interpolados das demais épocas de coleta estudadas, à medida que as coletas avançam no desenvolvimento da cultura. Todas as épocas de coleta se correlacionaram significativamente com a coleta de referência (E8), com coeficientes de correlação (r) variando de 0,36 (E1 e E2) até 0,55 (E6). O mesmo comportamento foi verificado na cultura do centeio, sendo que apenas a primeira época de coleta de MS não apresentou correlação com a época de referência para a cultura (E6), tendo correlações nas demais épocas variando de 0,35 (E2) até 0,54 (E5).

Por outro lado, para os mapas de MS do nabo forrageiro, não foi possível estabelecer um padrão de aumento da similaridade entre os mapas temáticos a partir da análise de correlação, apesar das mesmas terem sido significativas para todas as épocas de coleta com a época de referência (E5). Isso se deve, em partes, ao comportamento de desenvolvimento menos homogêneo da cultura do nabo forrageiro, além de ter sido submetido a um período de 18 dias de estiagem (Figura 1) logo após sua semeadura, demonstrando um comportamento espacial menos estruturado em relação às demais culturas (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as épocas de coleta de MS nas culturas da aveia branca, centeio e nabo forrageiro.

Épocas de coleta	Épocas de coleta							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
E1 (63 DAS)	-							
E2 (70 DAS)	0,64*	-						
E3 (77 DAS)	0,59*	0,65*	-					
E4 (85 DAS)	0,60*	0,58*	0,69*	-				
E5 (92 DAS)	0,51*	0,55*	0,55*	0,56*	-			
E6 (101 DAS)	0,57*	0,62*	0,62*	0,51*	0,42*	-		
E7 (106 DAS)	0,14	0,31*	0,36*	0,50*	0,36*	0,39*	-	
E8 (115 DAS)	0,36*	0,36*	0,48*	0,49*	0,44*	0,55*	0,49*	-
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
E1 (65 DAS)	-							
E2 (71 DAS)	0,51*	-						
E3 (79 DAS)	0,57*	0,62*	-					
E4 (86 DAS)	0,65*	0,48*	0,48*	-				
E5 (93 DAS)	0,57*	0,53*	0,60*	0,69*	-			
E6 (101 DAS)	0,23	0,35*	0,40*	0,46*	0,54*	-		
Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)								
E1 (52 DAS)	-							
E2 (60 DAS)	0,35*	-						
E3 (67 DAS)	0,26*	0,20	-					
E4 (76 DAS)	0,30*	0,32*	0,26*	-				
E5 (81 DAS)	0,52*	0,33*	0,39*	0,39*	-			

(*) Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$).

Dessa forma, é possível estabelecer que, para as culturas da aveia branca e do centeio, a época preferencial para realizar a estimativa da variabilidade espacial

na produção de massa seca ocorre a partir de 92 e 86 DAS, respectivamente, período em que, o crescimento em estatura de plantas é mais acentuado, antecedendo a emissão de panículas, ou seja, antes do início do florescimento das culturas, época comumente indicada na literatura como ideal.

A cultura do nabo forrageiro não apresentou um comportamento espacial bem estruturado, de modo que não foi possível determinar uma época preferencial para as coletas de dados de massa seca. Entretanto, deve-se atentar para que a época de coleta de dados não ultrapasse o tempo disponível para redefinir planos de manejo adequados que possam promover um aumento de produção de MS nos locais considerados como zonas de baixa produção, diminuindo, conseqüentemente, a variabilidade produtiva da área.

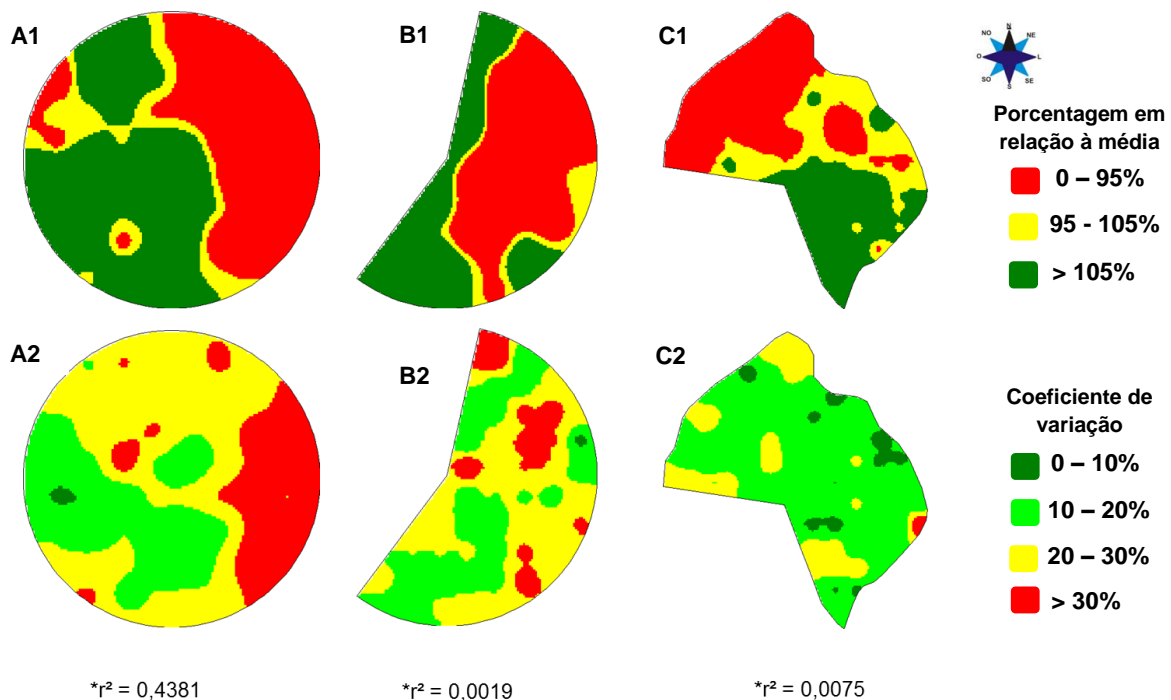
De modo geral, a coleta de MS das plantas de cobertura mostrou-se eficiente na predição de épocas preferenciais de coleta de dados. Basso et al. (2014), estudando o comportamento da grama Tifton 85, verificaram elevada discrepância de produção nos pontos amostrados da área, confirmando a presença de variabilidade espacial. Esses resultados enfatizam a importância do monitoramento das áreas de produção de plantas de cobertura, mesmo antes do cultivo das culturas de interesse comercial, e a importância de realizar a confecção de mapas temáticos de produção que permitem visualizar a variabilidade produtiva da área, permitindo assim a tomada de decisão em tempo hábil na tentativa de reduzi-la.

Na Figura 7 é possível observar a sobreposição dos mapas de produção de MS relativizada (A_1 , B_1 e C_1) e dos mapas de CV% (A_2 , B_2 e C_2) que indicam a estabilidade produtiva das áreas cultivadas com aveia branca (A), centeio (B) e nabo forrageiro (C). Para a confecção dos mapas sobrepostos, foram utilizados os dados até a quinta coleta para as culturas do nabo forrageiro e centeio, e até a sexta coleta para a cultura da aveia branca, levando-se em consideração os resultados que apresentaram correlações significativas entre as épocas de coleta (Tabela 4), acompanhado pelas similaridades entre os mapas temáticos das coletas de MS das culturas (Figuras 3, 4 e 5), já discutidos anteriormente.

Na área experimental I, cultivada com aveia branca, mais de 68% dos pontos amostrados estão concentrados em valores de CV entre 10 e 30%, considerados de média a alta variação (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002). A área que apresentou menor produção de MS (< 95%) representa a área de maior instabilidade de

produção, com variação muito alta (> 30%), em contrapartida, regiões da área experimental com maior estabilidade de produção (CV entre 10 e 30%) estão concentradas nos pontos de média a alta produção de MS (> 95%). A cultura do centeio não apresentou uma tendência produtiva bem definida, de modo que apenas em um ponto amostrado a variação foi considerada baixa (< 10%), e 80% da área está concentrada em variações de CV consideradas média a alta. A maior estabilidade produtiva foi verificada na área cultivada com nabo forrageiro, tendo 84% dos pontos amostrados entre média e alta variação e, além disso, apresentou maior número de amostras com baixa variação, totalizando 14,3% dos pontos amostrados. Logo, tanto para zonas de alta quanto para as de baixa produção de MS das plantas de cobertura, a área cultivada com nabo forrageiro mostrou elevada estabilidade produtiva.

Figura 7 - Sobreposição dos mapas de variabilidade de produção de MS relativizada em relação a média da área (esquerda) e do coeficiente de variação (CV%) (direita), e correlação entre produção de MS e CV%, das culturas da aveia branca (A), centeio (B) e nabo forrageiro (C).



O que se busca na prática é a estabilidade produtiva das áreas, porém ainda é um estudo pouco discutido, apesar dos avanços apresentados nas pesquisas voltadas a AP, de modo que sua definição ainda não é totalmente clara. De acordo com Santi et al. (2013), é necessário um histórico mínimo de três mapas de produção de mais de uma cultura dentro de uma mesma área, para que se possa realizar a correta distinção de unidades estáveis. Milani et al. (2006), analisando mapas de produtividade de soja ao longo de cinco anos, verificaram poucas semelhanças entre eles, com pequena similaridade em alguns pontos isolados, confirmando a variabilidade temporal da produtividade.

Em estudos realizados com mapas de produtividade, Santi et al. (2013) verificaram que a diferenciação das zonas estáveis ficou mais evidente a partir da união dos dados de produtividade padronizados em apenas um mapa, ressaltando que a utilização do histórico de mapas permite evidenciar pontos da lavoura que sofrem limitações de fatores persistentes. Acredita-se que o mesmo possa ser aplicado no acompanhamento das áreas durante do cultivo de plantas de cobertura, permitindo a investigação in loco de agentes limitantes de produção de MS.

A dissimilaridade dos mapas temáticos de produção de MS para as plantas de cobertura, ou a falta de reprodutibilidade da variabilidade espacial observada nas áreas experimentais analisadas no presente trabalho deve-se, em partes, ao fato de terem sido realizadas coletas de plantas independentes para cada época de coleta, obtendo diferentes conjuntos de dados. Resultados similares foram verificados por Cherubin et al. (2015), ao realizar coletas de solo independentes. Isso indica que mesmo que coletadas próximas, os resultados das coletas independentes estão sujeitos a variações em função da variabilidade espacial da produção de MS ao longo do tempo. Além disso, os resultados indicam que coletas manuais, destrutivas e com malha amostral utilizada de 0,71 x 0,71 m podem estar sendo influenciadas pela microvariabilidade. Tais efeitos poderão ser captados e suavizados a partir do uso de sensores e imagens digitais de índices vegetativos, sendo necessária a realização desses estudos.

2.6 CONCLUSÕES

Foi possível estabelecer uma época preferencial para diagnóstico da variabilidade espacial de massa seca para as culturas da aveia branca e centeio, sendo esta a partir de 92 e 86 DAS, respectivamente. Na cultura do nabo forrageiro não foi possível estabelecer uma época preferencial para diagnóstico da variabilidade espacial de massa seca.

Nas condições estudadas, a cultura do nabo forrageiro apresentou maior estabilidade produtiva, seguida da aveia branca. O centeio não apresentou uma tendência produtiva bem definida.

2.7 AGRADECIMENTOS

A Fazenda Vila Morena, pertencente ao Grupo Schaedler, pela disponibilização da área de estudo e das informações necessárias para a realização deste trabalho. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

2.8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.S. de; RODRIGUES, B.N. **Guia de herbicidas: contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional**. Londrina: IAPAR, 1985. 468p.

ALVES, G. M. S.; FIGUEIREDO, Z. N.; OLIVEIRA, T. C.; GREGO, C. R.; SILVA, P. C. L. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração de um solo cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.1, p.59-66, 2018.

BASSO, C. J.; PIAS, O. H. de C., SANTI, A. L.; BIER, D. R.; PINTO, M. A. B. Variabilidade da produção do Tifton 85 e sua relação com os atributos físicos do solo. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.9, n.4, p.526-531, 2014.

BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Nino Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.423-432, 2005.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1/2, p.205-221. 2015.

BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. Produção de fitomassa de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.55-64, 2005.

CHAVES, G. G.; FILHO, A. C.; CARINI, F.; KLEINPAUL, J. A.; NEU, I. M. M.; PROCEDI, A. Tamanho de parcela e número de repetições para avaliação de caracteres vegetativos em centeio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, n.3, 2018.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.2, p.168-177, 2015.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.165-174., 2009.

CORASSA, G. M.; SANTI, A. L.; SILVA, V. R.; BARON, F. A.; REIMCHE, G. B.; FIORESI, D.; FLORA, D. P. D. Soil chemical attributes restricting grain yield in Oxisols under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.11, p.1203-1212, 2018a.

CORASSA, G. M.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; REIMCHE, G. B.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; PIRES, J. L. Performance of soybean varieties differs according to yield class: a case study from Southern Brazil. **Precision agriculture**, v.19, p.1-21, 2018b.

CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum Soybean Seeding Rates by Yield Environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.110, n.6, p.2430-2438, 2018c.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema plantio direto (SPD). **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 20-31, 2008.

COSTA, M.B.B. da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. **Fertilidade do solo e sua influência no rendimento das culturas: propostas de uma metodologia para definição de unidades de manejo**. Piracicaba: Esalq. 347p, 2002.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7. Manual do usuário**. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Aubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93p. (EMBRAPA - CPAO. Documentos, 4).

JUNIOR, A. A. B.; BACKES, R. L.; TÔRRES, A. N. L. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.1, p.38-42, 2004.

LIMA, J. D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.1, p.60-63, 2007

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p.141-150, 2000.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1 ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2015.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PITOL, C.; SALTON, J.C. **Nabo forrageiro: opção para cobertura de solo**. Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, 1993. 4p.

RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; SILVA, C. V.; SILVA, G. B.; AZEVEDO, J. R. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1699-1702, 2016.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

SANTOS, E. D. dos.; VECHIETTI, T.; SCHLOSSER, O. D.; SLIM, N. R.; MALDANER, I. C. **Produtividade de massa verde e seca de diferentes cereais no município de São Vicente do Sul**. Anais da Mostra de Educação, Ciência, Tecnologia e Cultura – MECTeC. São Vicente do Sul: IFFar, 2018.

SANTOS, H. G. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Cereais de inverno de duplo propósito para integração lavoura pecuária no Sul do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo : 104. 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.928-935, 2007.

SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; SANTOS, M. S.; BELLO, R. A. M. D.; MARTINI, R. T. Uso de índice de vegetação na estimativa da produção de biomassa de plantas de cobertura do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p. 2772-2780, 2015.

SILVA, F. J.; OLIVEIRA, C. A. A.; ALMEIDA, L. S.; LIMA, L. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, n.3, p.77-84, 2017.

SPEZIA, G. R.; SOUZA, E.G.; NOBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; MILAN. M.; BAZZI, C. L. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.449-457, 2012.

ZHANG, X. et al. Zone mapping application for precision-farming: a decision support tool for variable rate application. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 103–114, 2010.

3 ARTIGO II

VARIABILIDADE ESPACIAL DE BIOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO POR MEIO DO NDVI

3.1 RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo determinar a variabilidade espacial da produção de biomassa de plantas de cobertura de inverno, através do NDVI obtido por sensor óptico terrestre. O estudo foi conduzido em uma propriedade localizada no município de Boa Vista das Missões – RS. Os dados de biomassa e NDVI foram coletados em duas áreas experimentais, cultivadas com aveia branca e centeio. A malha amostral utilizada foi de 0,5 ha (70,71 m x 70,71m), totalizando 110 pontos amostrais. A coleta de biomassa foi realizada com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida (0,25 m²) e os dados de NDVI foram obtidos por meio do sensor terrestre GreenSeeker. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística. A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$). A similaridade entre as coletas das variáveis foi verificado pelo coeficiente de desvio relativo (CDR). As correlações entre biomassa e NDVI foram verificadas através da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$). O NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker foi eficaz na determinação da variabilidade de produção de biomassa da cultura da aveia branca, entretanto, não foi eficaz quando aplicado à cultura do centeio. O CDR foi um eficiente parâmetro que permitiu avaliar a similaridade entre mapas temáticos de biomassa e de NDVI.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto. Agricultura de Precisão. Sistema Plantio Direto. NDVI.

3.2 ABSTRACT

The objective of this work was to determine the spatial variability of the biomass production of winter cover crops, through NDVI obtained by terrestrial optical sensor. The study was conducted at a property located in the municipality of Boa Vista das

Missões - RS. The biomass and NDVI data were collected in two experimental areas, cultivated with white oats and rye. The sampling mesh used was 0,5 ha (70,71 m x 70,71 m), totaling 110 sampling points. The biomass was collected using a sample frame of known area (0,25 m²) and the NDVI data were obtained using the GreenSeeker ground sensor. Data were submitted to descriptive and geostatistical statistical analysis. The normality hypothesis was tested by the W test ($p < 0,05$). The similarity between the collections of the variables was verified by the relative deviation coefficient (CDR). The correlations between biomass and NDVI were verified through Pearson's simple correlation ($p < 0,05$). The NDVI obtained by means of the GreenSeeker ground sensor was effective in determining the variability of biomass production of the white oat crop, however, it was not effective when applied to the rye crop. The CDR was an efficient parameter that allowed to evaluate the similarity between thematic maps of biomass and NDVI.

Key words: Remote sensing. Precision agriculture. No-till system. NDVI.

3.3 INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes indicadores da qualidade e das condições da cobertura vegetal, que utiliza técnicas de sensoriamento remoto, é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI promove o acompanhamento evolutivo da vegetação através de estimação das diferentes densidades que a vegetação pode apresentar (EDUVIRGEM et al., 2018), relacionando as reflectâncias da banda do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR). Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), o NDVI é aplicado na identificação da presença de vegetação verde na superfície, de modo a permitir a caracterização da distribuição espacial da vegetação ao longo do tempo.

O desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental tem resultado em novos paradigmas tecnológicos baseados na sustentabilidade, e para tanto, é necessário que o sistema de manejo utilizado proporcione a manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, favoráveis ao desenvolvimento vegetal. De acordo com Damian

(2017), um dos principais desafios da atualidade é desenvolver um sistema agrícola que seja rentável e economicamente viável, sem causar danos ao meio ambiente. Neste contexto, Bullock et al. (2007) indicam a Agricultura de Precisão (AP) como a abordagem mais viável para atingir este objetivo.

Desde seu surgimento, a AP tem sido reconhecida como uma importante técnica utilizada no manejo da variabilidade espacial das áreas produtivas, tendo como princípio a adoção de estratégias que permitem a percepção mais detalhada dos atributos de solo e planta, associados á intervenções localizadas, com conseqüente aumento de produtividade e redução nos custos de produção (CORASSA, 2015).

Recentes avanços da AP, com o uso de tecnologias emergentes a partir da utilização de imagens de satélite e aplicação de índices vegetativos a partir de sensores terrestres ou embarcados em Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotadas (RPAS) e drones, tem possibilitado a obtenção de informações em tempo real, bem como tomadas de decisão imediatas e eficazes (COLOMINA e MOLINA, 2014). Nesse contexto, sensores ópticos tem sido amplamente utilizados no monitoramento da vegetação, gerando imagens a partir da detecção da energia refletida pela vegetação em diferentes faixas do espectro eletromagnético, principalmente onde a vegetação interage intensamente com a radiação solar incidente, ou seja, nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo (NOBEL, 1999). De acordo com Abreu e Coutinho (2014), o sensoriamento vem sendo amplamente aplicado no monitoramento da vegetação, mais especificamente para seu comportamento espacial e fisiológico.

Dentre as praticas mais adequadas para manter a qualidade do solo, e das tecnologias de produção agrícola disponíveis, encontra-se o Sistema Plantio Direto (SPD), um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura, que consiste no cultivo sem o revolvimento do solo. De acordo com Amado et al. (2007), uma das estratégias mais eficientes para melhoria da qualidade do solo e do potencial produtivo da área é o SPD, entretanto, nem toda a área manifesta esta melhoria de forma homogênea, de modo que comumente se verifica subáreas com diferentes níveis de qualidade e, conseqüentemente, diferentes potenciais produtivos. O sucesso do SPD depende da quantidade e da qualidade da cobertura mantida sobre a superfície do solo.

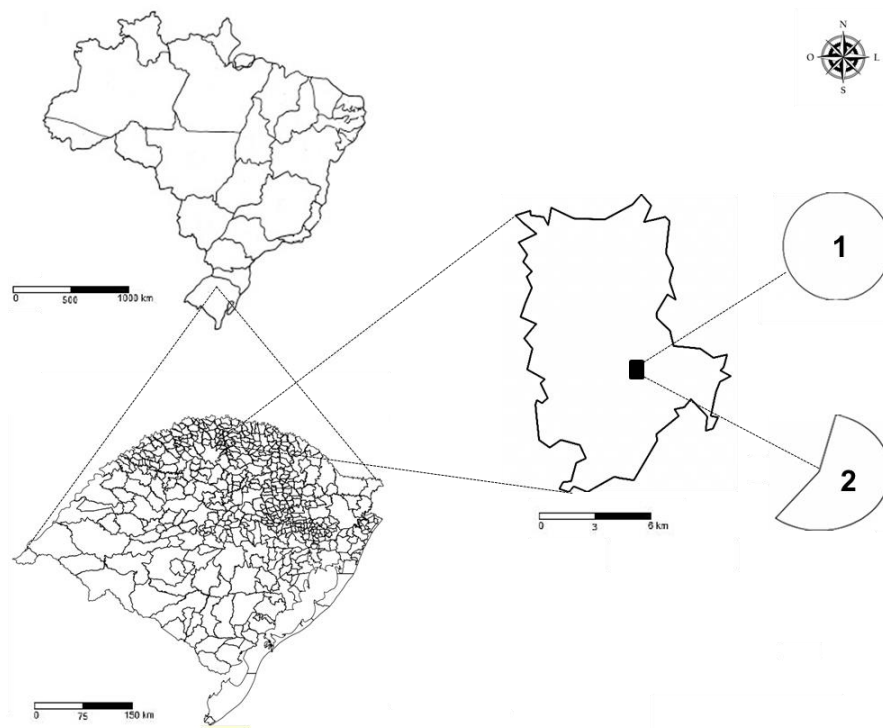
Em função das diferentes culturas que podem ser utilizadas como cobertura de solo, quantidades diferentes de material vegetal são acumuladas na sua superfície (FURLANI et al., 2007), de modo a contribuir com a variabilidade produtiva da área. Segundo Santi et al. (2016), o conceito de variabilidade não é recente, entretanto, tem se limitado a parâmetros de produtividade ou fertilidade do solo. Ainda de acordo com os mesmos autores, o monitoramento de aspectos ligados à conservação do solo, como a produção de palhada, é possível com o uso de ferramentas geoespaciais, promovendo a redefinição de planos de manejo e escolhas de plantas de cobertura.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo determinar a variabilidade espacial da produção de massa seca de plantas de cobertura de inverno, através do NDVI obtido por sensor óptico terrestre.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na safra 2017/18, em uma propriedade localizada no município de Boa Vista das Missões - RS, Brasil, entre as coordenadas 27°72'55" S (latitude) 53°33'13" O (longitude) (Figura 1). O clima da região é subtropical de primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano⁻¹ (MALUF, 2000). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (> 60%), o relevo predominante da região é suave ondulado.

Figura 1 - Detalhes da localização das áreas de estudo.



Na propriedade foram definidas duas áreas experimentais, e os dados de tamanho da área, data de semeadura, número de pontos amostrados, época da primeira coleta, número de coletas, densidade e modo de semeadura, para cada área, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação das áreas experimentais.

AE*	Cultura	Tamanho da área (ha)	Semeadura	Pontos amostrados	1ª coleta (DAS)	Nº. de coletas	DS* (Mg/ha)	Modo
I	aveia branca	31	16/06/2017	60	63	8	95	Linha
II	centeio	25	17/05/2017	50	65	6	115	Linha

*AE – área experimental.

As áreas experimentais vem sendo manejadas sob SPD há mais de 20 anos, sendo utilizado algumas ferramentas de agricultura de precisão como a amostragem georreferenciada de solo, piloto automático, aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada plena e monitoramento através de mapas de produtividade há oito anos e, recentemente adoção de gestão de dados através de plataformas digitais. O

histórico de cultivos e do manejo de correções de adubações nas áreas estudadas é apresentado na Tabela 2.

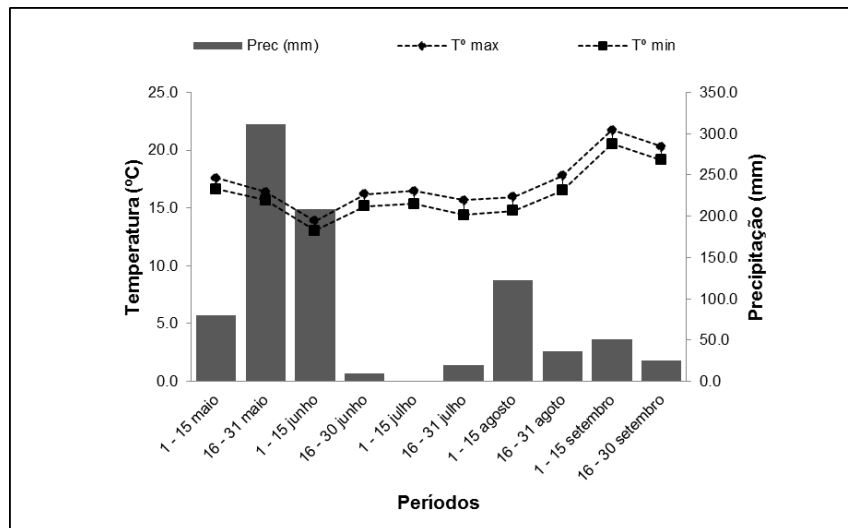
Tabela 2 - Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos nas áreas experimentais I e II.

Área experimental I - aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)					
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Aveia Preta	SS ¹ 01-18-00	300	Linha
	Verão	Soja	NPK ² 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
2015/16	Inverno	Aveia branca + Nabo	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Milho	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
			NPK 45-00-00	430	Laço
2016/17	Inverno	Aveia Ucraniana	NPK 01-20-00	170	Linha
	Verão	Soja	NPK 07-40-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	180	Laço
2017/18	Inverno	Aveia branca	Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Soja	NPK 05-26-05	215	Linha
			NPK 00-00-60	150	Laço
Área experimental II – centeio (<i>Secale cereale</i> L.)					
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Trigo	NPK 08-40-00	200	Linha
			NPK 33-00-00	200	Laço
	Verão	Soja	NPK 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
2015/16	Inverno	Aveia Ucraniana	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Soja	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Laço
			NPK 45-00-00	430	Laço
2016/17	Inverno	Nabo	Calcário	2000	Laço
			Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Milho	NPK 12-30-20	420	Linha
			NPK 00-00-60	150	Laço
2017/18	Verão	Soja	NPK 33-00-00	470	Laço
			Sem adubação	SA*	SA*
			NPK 05-26-05	300	Linha
			NPK 00-00-60	300	Laço

(*) Sem adubação. ¹ Superfotato Simples. ² Nitrogênio-Fósforo-Potássio.

Os dados de temperaturas do ar máxima e mínima, e de precipitação, no período de cultivo das espécies de cobertura, se encontram na Figura 2.

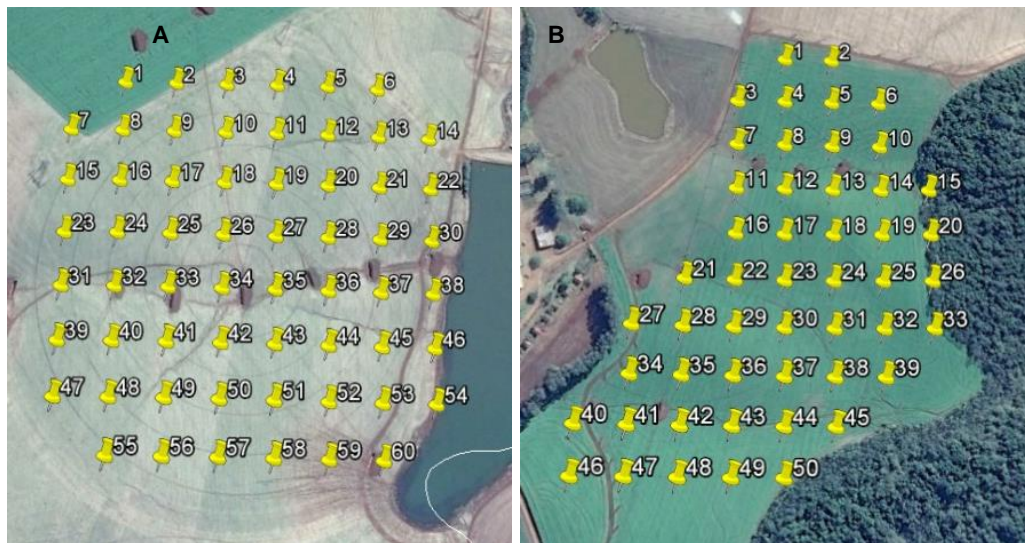
Figura 2 - Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação pluviométrica no período de cultivo das plantas de cobertura.



Fonte: INMET, 2017.

Com auxílio de um aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi realizada a vetorização das áreas com a demarcação dos perímetros, sendo definida a malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha (70,71m x 70,71 m), gerada através do programa computacional Sistema CR-Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007) (Figura 3).

Figura 3 – Detalhe da malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha das áreas experimentais I (A) e II (B).



Fonte: Google Earth, 2018.

Para a determinação da variabilidade espacial de biomassa nas áreas experimentais foram realizadas coletas semanais de massa verde nos pontos amostrais, com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida ($0,25 \text{ m}^2$). O material coletado foi encaminhado para secagem em estufa à temperatura aproximada de 60°C , até atingir peso constante. Com o uso de uma balança de precisão foi determinada a biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Para a determinação do Índice de Vegetação (NDVI) utilizou-se o aparelho manual GreenSeeker, sendo as leituras realizadas nas mesmas datas de coleta de fitomassa e nos mesmos pontos amostrais, já delimitados anteriormente com a malha amostral. As leituras foram realizadas a uma altura entre 0,6 e 1,2 m acima do dossel e paralelamente à superfície do solo, em cinco repetições por ponto em um raio de 10 m ao redor do ponto central.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística exploratória (estatística descritiva), obtendo-se medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria e de curtose). Com base nos valores de assimetria (C_s) obtidos, visando caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados como: $C_s = 0$ distribuição simétrica, $C_s > 0$ distribuição assimétrica à direita e $C_s < 0$ distribuição assimétrica à esquerda. Os valores de curtose (C_k), que

expressam a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente utilizada a curva normal, foram classificados em: $C_k = 0$ distribuição mesocúrtica, $C_k < 0$ distribuição platicúrtica e $C_k > 0$ distribuição leptocúrtica.

A dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores de coeficiente de variação (CV%), foram classificadas como baixa quando CV for inferior a 10% (alta precisão), média quando o CV estiver entre 10% e 20% (boa precisão), alta de 20% a 30% (baixa precisão) e muito alta com CV maior que 30% (baixíssima precisão) (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2000). A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965), sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram p -valor $> 0,05$. As análises estatísticas descritivas e de correlação foram realizadas utilizando o programa computacional *Sisvar* 5.6.

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando-se o programa computacional Gamma Design Software – GS+® (ROBERTSON, 1998). O ajuste dos modelos foi realizado com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação: $IDE = [C_0 / (C_0 + C_1)] * 100$. Com base nos IDE, classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como: forte, para $IDE \leq 25\%$; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e fraco, para $IDE > 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

A determinação da variabilidade espacial nas áreas estudadas foi realizada por meio da verificação da similaridade entre os mapas temáticos de MS e NDVI das plantas de cobertura, construídos a partir dos dados coletados nas diferentes épocas. A similaridade foi avaliada por meio de dois parâmetros estatísticos, o coeficiente de desvio relativo (CDR,%) e a matriz de correlação de Pearson ($p < 0,05$). O CDR expressa a diferença média, em módulo, dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como mapa referência (utilizado nesse trabalho a última coleta de cada cultura), de modo que quanto menor for o percentual encontrado, maior será a similaridade entre os mapas (COELHO et al., 2009). O cálculo é dado pela equação abaixo.

$$CDR = \sum |(P_i - P_{ipad}) / P_{ipad}| * (100/n)$$

em que: CDR – coeficiente de desvio relativo, %; n – número de pontos estimados; P_{ipad} – ponto i do mapa padrão; P_i – ponto i para o mapa a ser comparado. Como mapa padrão foi utilizado a última coleta de cada cultura, quando estas estavam no pleno florescimento.

As correlações entre os dados de NDVI e de biomassa foram verificadas através da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$), por meio do programa computacional *Sisvar* 5.6.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na análise estatística descritiva das coletas de biomassa das áreas experimentais I e II, está representada na Tabela 3. Para a cultura da aveia branca foi possível verificar grande amplitude (Figura 4) entre os dados de mínimo e máximo na produção de biomassa, sendo que a época 8 (115 DAS) apresentou maior variação (entre 0,98 e 2,96 Mg.ha⁻¹), sendo esta de quase 2 Mg.ha⁻¹. O mesmo pode ser verificado na cultura do centeio, que apresentou maior amplitude na época 6 (101 DAS), com produção de biomassa variando entre 0,83 e 4,60 Mg.ha⁻¹.

Tabela 3 - Estatística descritiva das épocas de coleta de biomassa (Mg.ha⁻¹) nas culturas da aveia branca e centeio.

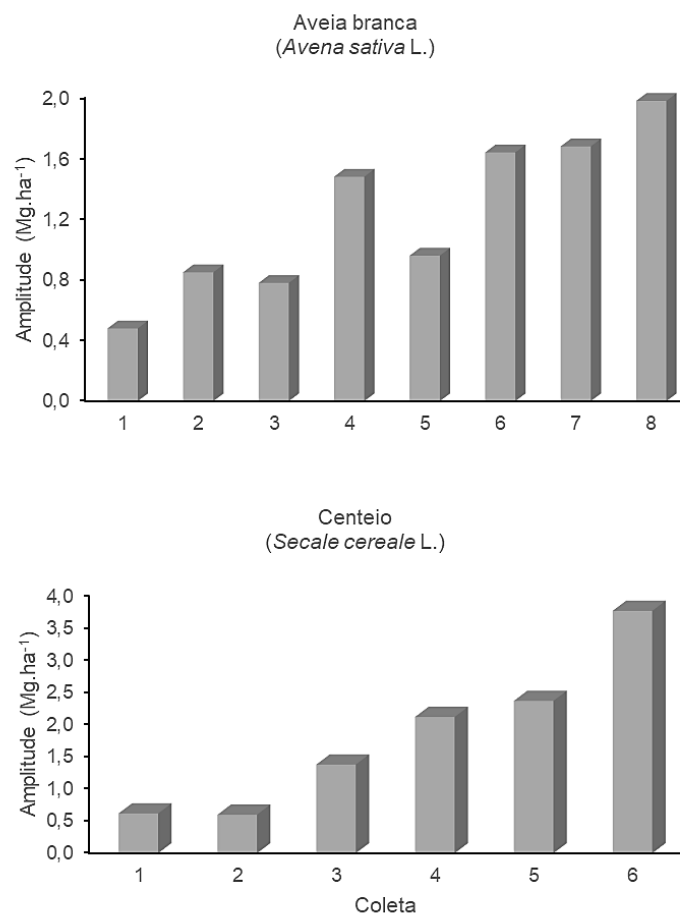
Coletas (DAS)	Mínimo	Média	Máximo	DP ¹	CV% ²	Cs ³	Ck ⁴	W ⁵
ÁREA EXPERIMENTAL I - aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
E1 (63)	0,07	0,24	0,55	0,13	52,23	0,29	-0,76	0,95*
E2 (70)	0,11	0,43	0,96	0,17	39,37	0,52	0,57	0,98 ^{ns}
E3 (77)	0,13	0,46	0,91	0,16	34,11	0,29	0,09	0,98 ^{ns}
E4 (85)	0,19	0,81	1,67	0,29	35,07	0,43	0,29	0,99 ^{ns}
E5 (92)	0,45	0,92	1,41	0,25	27,21	0,21	-0,61	0,98 ^{ns}
E6 (101)	0,56	1,30	2,20	0,39	30,25	0,55	-0,12	0,96 ^{ns}
E7 (106)	0,79	1,43	2,47	0,36	25,35	0,61	0,57	0,97 ^{ns}
E8 (115)	0,98	1,90	2,96	0,51	27,01	0,19	-0,80	0,98 ^{ns}
ÁREA EXPERIMENTAL II - centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	0,06	0,26	0,68	0,14	56,12	1,23	1,41	0,89*
C2 (71)	0,16	0,34	0,76	0,16	45,34	0,98	0,26	0,90*

C3 (79)	0,21	0,58	1,59	0,29	49,68	1,25	2,02	0,91*
C4 (86)	0,34	1,04	2,46	0,47	45,49	0,91	0,87	0,94*
C5 (93)	0,53	1,26	2,90	0,56	44,33	1,11	0,61	0,89*
C6 (101)	0,83	2,12	4,60	0,90	42,34	0,99	0,70	0,92*

(¹) DP: Desvio padrão; (²) CV%: Coeficiente de variação; (³) Cs: Coeficiente de assimetria; (⁴) Ck: Coeficiente de curtose; (⁵) Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

A cultura que apresentou maior produção de biomassa no final do período vegetativo foi o centeio, atingindo $4,60 \text{ Mg ha}^{-1}$. Os dados obtidos na produção de biomassa do centeio corroboram com os encontrados em literatura (JUNIOR et al., 2004; SANTOS, 2006; CHAVES et al., 2018), entretanto, a cultura da aveia branca obteve resultados de produção menores que os citados pela bibliografia (SANTOS et al., 2018; SILVA, 2015).

Figura 4 – Amplitude dos dados de biomassa das culturas aveia branca e centeio nas coletas realizadas ao longo dos ciclos de cultivo.



A maior amplitude dos dados (Figura 4), bem como maior acúmulo de biomassa, foi verificada quando ambas as culturas encontravam-se no pleno florescimento. De acordo com Wien et al. (1976), no florescimento, período que antecede o início da formação de grãos, as raízes passam a receber menos assimilados, sendo que, no padrão de distribuição dos assimilados, mais de 90% permanecem na parte superior da planta.

Para as culturas analisadas, a dispersão relativa dos dados (CV%) de biomassa (Tabela 3) diminuiu conforme o avanço no seu desenvolvimento, entretanto, a cultura da aveia branca apresentou alta dispersão (25,35%) na época 7 (106 DAS), e dispersão muito alta em mais de 60% das coletas, conforme a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), sendo que o centeio obteve resultados de dispersão considerados muito altos para todas as épocas de coleta. Resultados diferentes foram encontrados por Silva et al. (2015), que avaliando a produção de biomassa de diferentes plantas de cobertura de inverno observou uma baixa dispersão (CV% = 9,6) na cultura da aveia branca.

A área experimental II, cultivada com centeio, não seguiu distribuição de frequência normal (Tabela 3), sendo confirmado pelos coeficientes de assimetria deslocados à direita ($C_s > 0$), e de curtose com distribuições leptocúrticas ($C_k > 0$). Na cultura da aveia branca, os dados de biomassa apresentaram valores próximos à zero para os coeficientes de assimetria e curtose, de modo que a distribuição de frequências tende à normalidade, o que pode ser verificado pelo resultado do teste W.

O NDVI (Tabela 4), das culturas da aveia branca e centeio, apresentou alta amplitude dos dados, variando de 0,21 a 0,74 para a aveia branca, e de 0,24 a 0,69 para o centeio. O NDVI máximo foi observado, em ambas as culturas, na última coleta, quando estas se encontravam no pleno florescimento. A partir da quinta coleta (93 DAS), o centeio apresentou baixa variação nos dados de NDVI obtidos, o que pode ser explicado pelo início do florescimento, que causa uma variação na coloração do dossel, influenciando nas leituras de NDVI.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), o NDVI é aplicado na identificação da presença de vegetação verde na superfície. Além disso, é possível verificar maiores valores na leitura do índice para a cultura da aveia branca, o que pode ter ocorrido devido a sua habilidade de perfilhar, além do fato da cultura do centeio

apresentar uma coloração mais esbranquiçada que, possivelmente, gera um ruído no momento da coletas dos dados de NDVI pelo sensor utilizado.

Tabela 4 - Estatística descritiva das épocas de coleta de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio.

Coletas (DAS)	Mínimo	Média	Máximo	DP ¹	CV% ²	Cs ³	Ck ⁴	W ⁵
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
E1 (63)	0,21	0,33	0,45	0,07	20,16	-0,10	-0,80	0,96 ^{ns}
E2 (70)	0,27	0,37	0,50	0,06	16,24	-0,06	-1,07	0,95*
E3 (77)	0,31	0,42	0,57	0,05	11,45	0,94	1,21	0,94*
E4 (85)	0,33	0,46	0,63	0,06	14,19	0,50	0,45	0,97 ^{ns}
E5 (92)	0,35	0,48	0,61	0,06	12,53	0,14	-0,61	0,98 ^{ns}
E6 (101)	0,28	0,48	0,61	0,09	17,95	-0,36	-0,60	0,97 ^{ns}
E7 (106)	0,37	0,55	0,71	0,10	18,36	-0,43	-0,98	0,93*
E8 (115)	0,42	0,61	0,74	0,08	12,99	-0,23	-0,49	0,97 ^{ns}
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	0,24	0,30	0,43	0,05	15,14	1,24	0,74	0,86*
C2 (71)	0,26	0,33	0,40	0,03	9,14	0,37	0,04	0,97 ^{ns}
C3 (79)	0,29	0,37	0,56	0,05	12,79	1,33	3,58	0,92*
C4 (86)	0,31	0,41	0,60	0,07	17,62	1,07	0,49	0,90*
C5 (93)	0,32	0,47	0,68	0,10	20,80	0,75	-0,35	0,92*
C6 (101)	0,31	0,48	0,69	0,10	20,32	0,46	-0,54	0,96 ^{ns}

(¹) DP: Desvio padrão; (²) CV%: Coeficiente de variação; (³) Cs: Coeficiente de assimetria; (⁴) Ck: Coeficiente de curtose; (⁵)Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (^{ns}) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto à dispersão relativa dos dados (CV%) (Tabela 4), a cultura da aveia branca apresentou dispersão média para todas as coletas de NDVI. Para a cultura do centeio, os dados de NDVI apresentaram dispersão baixa e média até a quarta coleta (86 DAS), e alta a partir da quinta coleta.

Na cultura da aveia branca, os dados de NDVI seguiram distribuição de frequência normal na maioria das coletas (Tabela 4), sendo confirmado pelos coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero, porém, as coletas 2, 3 e 7 não apresentaram o mesmo comportamento, o que pode ser verificado através dos coeficientes de assimetria deslocados à direita (CS > 0) e à esquerda (Cs < 0), e de curtose com distribuições leptocúrticas (Ck > 0) e platicúrticas (Ck < 0). Para a cultura do centeio, apenas as coletas dois (71 DAS) e seis (101 DAS) apresentaram distribuição normal dos dados, enquanto as demais apresentaram coeficientes de

assimetria descolados à esquerda, e de curtose classificados como distribuição leptocúrticas ($C_k > 0$) e platicúrtica ($C_k < 0$).

Na análise da variabilidade espacial de biomassa da cultura da aveia branca, por meio dos resultados da análise geoestatística (Tabela 5), observou-se que todas as coletas de biomassa apresentaram dependência espacial, classificada como forte e moderada, o que permite a predição de valores em locais não amostrados utilizando o interpolador geoestatístico krigagem. Segundo Burgess e Webster (1980), se constatada a dependência espacial entre as amostras, o método de krigagem é capaz de estimar os valores não coletados com variância mínima e sem tendência, resultando em maior exatidão nas estimativas dos valores e proporcionando maior precisão na confecção dos mapas (CORÁ e BERALDO, 2006). Os dados de biomassa da cultura do centeio apresentam dependência espacial moderada para todas as coletas de dados, com exceção da primeira, considerada forte.

Tabela 5 - Parâmetros geoestatísticos de biomassa ($Mg \cdot ha^{-1}$) da aveia branca e centeio, mensuradas nas coletas ao longo do cultivo.

Coletas (DAS)	C_0	C_0+C_1	C_1	a	Modelo	r^2	Dependência Espacial ⁽¹⁾	
							IDE	GDE
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
E1 (63)	0,00273	0,02366	0,02093	575,00	Esférico	1,00	11,54	Forte
E2 (70)	0,00418	0,03146	0,02728	255,00	Exponencial	0,97	13,29	Forte
E3 (77)	0,00570	0,02710	0,02140	209,00	Esférico	0,92	21,03	Forte
E4 (85)	0,03350	0,09180	0,05830	373,00	Esférico	0,91	36,49	Moderado
E5 (92)	0,03470	0,07170	0,03700	455,00	Esférico	0,99	48,40	Moderado
E6 (101)	0,02620	0,16640	0,14020	243,00	Exponencial	0,87	15,75	Forte
E7 (106)	0,01110	0,13120	0,12010	99,00	Exponencial	0,84	8,46	Forte
E8 (115)	0,11320	0,28140	0,16820	223,43	Gaussiano	0,91	40,23	Moderado
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	0,01290	0,05880	0,04590	1160,47	Gaussiano	0,99	21,94	Forte
C2 (71)	0,01289	0,02858	0,01569	497,00	Esférico	0,99	45,10	Moderado
C3 (79)	0,04840	0,10500	0,05660	756,00	Exponencial	0,99	46,10	Moderado
C4 (86)	0,14150	0,30500	0,16350	1065,00	Exponencial	1,00	46,39	Moderado
C5 (93)	0,17810	0,47220	0,29410	1311,00	Exponencial	0,95	37,72	Moderado
C6 (101)	0,54700	1,33900	0,79200	2076,00	Exponencial	0,96	40,85	Moderado

C_0 - Efeito Pepita; C_0+C_1 - Patamar; C_1 - Contribuição; a – Alcance (m); r^2 – Coeficiente de Determinação; ⁽¹⁾IDE – Índice de dependência espacial; GDE – Grau de dependência espacial.

As coletas de biomassa da cultura da aveia branca apresentaram estrutura espacial bem definida, sendo classificada de moderada (IDE 25-75%), para as coletas 4, 5 e 8, a forte (IDE < 25%), nas coletas 1, 2, 3, 6 e 7 (Tabela 5). Os modelos teóricos que possibilitaram os melhores ajustes dos semivariogramas foi exponencial (C2, C6 e C7), esférico (C1, C3, C4 e C5) e gaussiano (C8), com altos coeficientes de determinação (r^2), variando de 0,84 a 1,00. Para os dados de biomassa da cultura do centeio, o índice de dependência espacial foi classificado como moderado para a maioria das coletas, e os melhores ajustes dos semivariogramas foram obtidos pelos modelos exponencial (C3, C4, C5 e C6), esférico (C2) e gaussiano (C1), com altos coeficientes de determinação ($0,95 > r^2 > 1,00$).

Os valores de alcance para biomassa da aveia branca (Tabela 5) variaram de 99,0 m (C7) a 575,0 m (C1). O menor alcance obtido para a biomassa da cultura foi aos 101 DAS, quando a cultura se encontrava no final do ciclo vegetativo, apresentando total cobertura do solo. Já os valores de alcance para a cultura do centeio variaram de 497,0 m (C2) a 2076,0 m (C6). O alcance refere-se à distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente (DAVIS, 1986), e de acordo com Vieira (2000), variáveis amostradas a distâncias maiores que os valores de alcance tem distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si.

Trabalhos publicados por Kerry e Oliver (2003; 2004) sugerem que seja possível utilizar metade do valor do alcance como maneira de definir a distância máxima entre amostras, porém, segundo Cherubin (2013), este é um critério que deve ser aplicado com cautela, visto que os valores de alcance obtidos para determinado atributo são muito variáveis entre áreas, além de que condições como tamanho de área e valor do alcance resulte em poucos pontos amostrais, caso este parâmetro seja aplicado, comprometendo a acurácia e a confiabilidade das informações geradas.

O ajuste do modelo teórico é realizado de modo experimental através dos parâmetros contribuição, alcance, efeito pepita e patamar, tornando possível estabelecer uma representação matemática capaz de descrever as características do fenômeno espacial (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). De acordo com Seidel e Oliveira (2014), na geoestatística, o semivariograma é a principal ferramenta utilizada na descrição da dependência espacial, permitindo a determinação do grau

de dissimilaridade entre pares de medidas em razão da distância e orientação da linha entre duas amostragens (OLEA, 2006). Segundo a literatura, os modelos teóricos de semivariogramas esféricos e exponenciais são os mais comumente atribuídos aos atributos de solo e de plantas (CORÁ et al., 2004; CORRÊA et al., 2009; CHERUBIN et al., 2015).

Os parâmetros geoestatísticos de NDVI das culturas aveia branca e centeio são apresentadas na Tabela 6. As coletas de NDVI da cultura da aveia branca apresentaram estrutura espacial bem definida, sendo classificada de moderada (IDE 25-75%), para as coletas 5, 7 e 8, a forte (IDE < 25%), nas coletas 1, 2, 3, 4 e 6. Os modelos teóricos que possibilitaram os melhores ajustes dos semivariogramas foi esférico (C1, C4, C5 e C6) e gaussiano (C2, C3, C7 e C8), com altos coeficientes de determinação (r^2). Para os dados de NDVI da cultura do centeio, o índice de dependência espacial foi classificado como forte para maioria das coletas, e os melhores ajustes dos semivariogramas foram obtidos pelos modelos exponencial (C3), esférico (C4, C5 e C6) e gaussiano (C1 e C2), com altos coeficientes de determinação ($0,68 > r^2 > 0,97$).

Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos de NDVI da aveia branca e centeio, mensuradas nas coletas ao longo do cultivo.

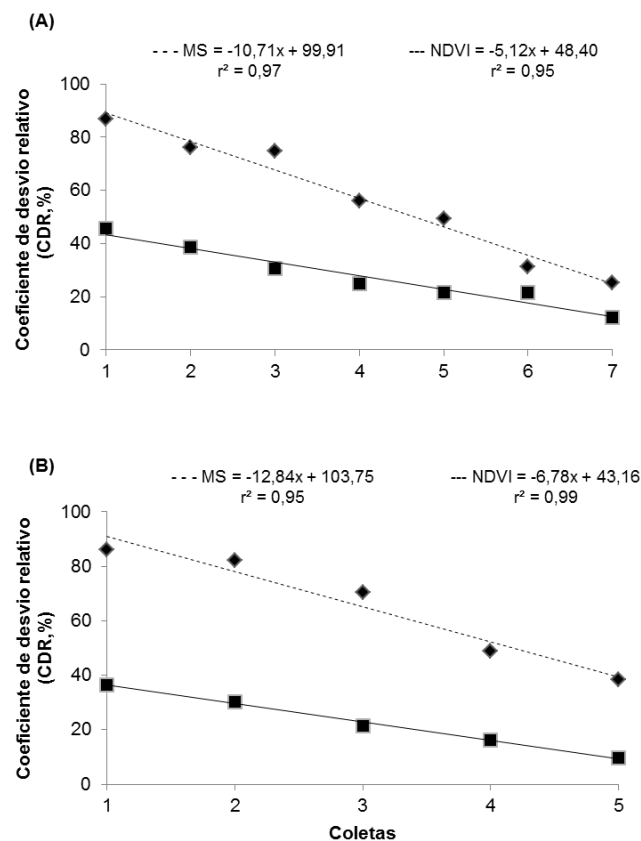
Coletas (DAS)	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a	Modelo	r ²	Dependência Espacial ⁽¹⁾	
							IDE	GDE
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
E1 (63)	0,000680	0,006630	0,005950	603,00	Esférico	1,00	10,26	Forte
E2 (70)	0,000950	0,006780	0,005830	607,95	Gaussiano	1,00	14,01	Forte
E3 (77)	0,000890	0,005180	0,004290	779,42	Gaussiano	1,00	17,18	Forte
E4 (85)	0,000130	0,004300	0,004170	159,00	Esférico	0,69	3,02	Forte
E5 (92)	0,002033	0,004456	0,002423	568,00	Esférico	1,00	45,62	Moderado
E6 (101)	0,002070	0,008530	0,006460	351,00	Esférico	0,96	24,27	Forte
E7 (106)	0,004180	0,015960	0,011780	557,72	Gaussiano	0,99	26,19	Moderado
E8 (115)	0,002590	0,010160	0,007570	587,17	Gaussiano	0,99	25,49	Moderado
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	0,000304	0,002158	0,001854	140,30	Gaussiano	0,68	14,09	Forte
C2 (71)	0,000155	0,000960	0,000805	142,03	Gaussiano	0,81	16,15	Forte
C3 (79)	0,001678	0,003626	0,001948	1794,00	Exponencial	0,97	46,28	Moderado
C4 (86)	0,001150	0,006010	0,004860	334,00	Esférico	0,91	19,13	Forte
C5 (93)	0,001770	0,011540	0,009770	365,00	Esférico	0,96	15,34	Forte
C6 (101)	0,001930	0,011760	0,009830	376,00	Esférico	0,96	16,41	Forte

C_0 - Efeito Pepita; C_0+C_1 - Patamar; C_1 - Contribuição; a – Alcance (m); r^2 – Coeficiente de Determinação; $^{(1)}IDE$ – Índice de dependência espacial; GDE – Grau de dependência espacial.

Os valores de alcance para NDVI da aveia branca (Tabela 6) variaram de 159,0 m (C4) a 779,4 m (C3). Para a cultura do centeio, os valores de alcance variaram de 140,3 m (C1) a 1794,0 m (C3).

Com base nos resultados do CDR (Figura 5), percebeu-se que, para a variável biomassa das culturas avaliadas, houve uma redução na dissimilaridade dos mapas obtidos, em relação ao mapa utilizado como padrão, conforme estas avançaram seu desenvolvimento. Esta redução foi ajustada por regressões lineares com coeficientes de determinação (R^2) de 0,97 e 0,95 e 0,93 para as culturas da aveia branca e centeio, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado quanto aos mapas de NDVI, com coeficientes de determinação de 0,95 para a aveia branca e 0,99 para o centeio. A coleta adotada como padrão foi a última coleta de cada cultura, quando as mesmas se encontravam no pleno florescimento, época estabelecida como referência para coleta de dados.

Figura 5 - Coeficiente de desvio relativo (CDR,%) entre os mapas de biomassa e NDVI de aveia branca (A) e centeio (B), obtidos nas diferentes épocas de coletas.



Quando comparado as coletas de biomassa e NDVI, para ambas as culturas os mapas de NDVI apresentaram maior similaridade entre as coletas realizadas ao longo do ciclo das culturas, com CDR variando de 9,58 a 36,48%, enquanto nos mapas de aveia branca os valores variaram de 12,25 a 45,62%. Estes resultados demonstram que o coeficiente de desvio relativo é um eficiente parâmetro que permite avaliar a similaridade dos mapas temáticos de biomassa e NDVI. Resultados semelhantes foram observados em mapas de atributos do solo (CHERUBIN et al., 2015), e produtividade de soja (COELHO et al., 2009) e de milho (SPEZIA et al., 2012).

Observando os resultados da análise de correlação linear de Pearson (Tabela 7), nota-se que para os mapas de biomassa da cultura da aveia branca, o comportamento foi semelhante ao verificado por meio do CDR, indicando aumento da correlação entre o mapa obtido na época oito (E8 - referência) e os mapas interpolados das demais épocas de coleta estudadas, à medida que as coletas avançam no desenvolvimento da cultura. Todas as épocas de coleta de correlacionaram significativamente com a coleta de referência (E8), com coeficientes de correlação (r) variando de 0,36 (E1 e E2) até 0,55 (E6). O mesmo comportamento foi verificado na cultura do centeio, sendo que apenas a primeira época de coleta de biomassa não apresentou correlação com a época de referência para a cultura (E6), tendo correlações nas demais épocas variando de 0,35 (E2) até 0,54 (E5).

Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as de coletas de biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nas culturas da aveia branca e centeio.

Coletas (DAS)	Coletas							
	C1**	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
C1 (63)	-							
C2 (70)	0,64*	-						
C3 (77)	0,59*	0,65*	-					
C4 (85)	0,60*	0,58*	0,69*	-				
C5 (92)	0,51*	0,55*	0,55*	0,56*	-			
C6 (101)	0,57*	0,62*	0,62*	0,51*	0,42*	-		
C7 (106)	0,14	0,31*	0,36*	0,50*	0,36*	0,39*	-	
C8 (115)	0,36*	0,36*	0,48*	0,49*	0,44*	0,55*	0,49*	-
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	-							

C2 (71)	0,51*	-				
C3 (79)	0,57*	0,62*	-			
C4 (86)	0,65*	0,48*	0,48*	-		
C5 (93)	0,57*	0,53*	0,60*	0,69*	-	
C6 (101)	0,23	0,35*	0,40*	0,46*	0,54*	-

(*) Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$). **C1 – coleta 1; C2 – coleta 2; C3 – coleta 3; C4 – coleta 4; C5 – coleta 5; C6 – coleta 6; C7 – coleta 7; C8 – coleta 8.

Para os dados de NDVI da cultura da aveia branca, os resultados da análise de correlação linear de Pearson (Tabela 8), mostraram o mesmo comportamento apresentado por meio do CDR, com correlações significativas entre o mapa obtido na época oito (E8 - referência) e os mapas interpolados das demais épocas de coleta estudadas, com coeficientes de correlação (r^2) variando de 0,34 à 0,74. Comportamento similar foi verificado na cultura do centeio, tendo correlações significativas com coeficientes de correlação entre 0,51 e 0,75.

Tabela 8 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as coletas de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio.

Coletas (DAS)	Coletas							
	C1**	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
C1 (63)	-							
C2 (70)	0,85*	-						
C3 (77)	0,58*	0,54*	-					
C4 (85)	0,39*	0,54*	0,47*	-				
C5 (92)	0,20	0,32*	0,42*	0,66*	-			
C6 (101)	0,21	0,36*	0,22	0,51*	0,62*	-		
C7 (106)	0,18	0,34*	0,24	0,48*	0,64*	0,70*	-	
C8 (115)	0,47*	0,64*	0,34*	0,61*	0,57*	0,60*	0,74*	-
Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)								
C1 (65)	-							
C2 (71)	0,59*	-						
C3 (79)	0,47*	0,59*	-					
C4 (86)	0,59*	0,58*	0,46*	-				
C5 (93)	0,72*	0,64*	0,53*	0,80*	-			
C6 (101)	0,64*	0,60*	0,51*	0,69*	0,76*	-		

(*) Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$). **C1 – coleta 1; C2 – coleta 2; C3 – coleta 3; C4 – coleta 4; C5 – coleta 5; C6 – coleta 6; C7 – coleta 7; C8 – coleta 8.

Os resultados da análise de correlação de Pearson entre as coletas de biomassa e NDVI são apresentados na Tabela 9. A cultura do centeio apresentou correlação significativa entre biomassa e NDVI apenas na quarta coleta, enquanto as demais não apresentaram correlação entre as variáveis. Entretanto, a cultura da aveia branca apresentou correlação significativa entre biomassa e NDVI para todas as coletas, com coeficientes de correlação (r^2) variando entre 0,38 e 0,80. Isso demonstra que o NDVI obtido a partir do sensor terrestre GreenSeeker foi eficiente em estimar a variabilidade de produção de biomassa da cultura da aveia branca, mas não foi eficaz em determinar a variabilidade produtiva do centeio.

Nas plantas, as folhas são os principais órgãos que absorvem a radiação eletromagnética, contribuindo para o sinal detectado pelos sensores remotos, podendo-se destacar como fatores dominantes que influenciam no comportamento espectral da vegetação os pigmentos existentes nas folhas, a estrutura celular o conteúdo de água da mesma, sendo que a influência destes fatores depende do comprimento de onda (PEREIRA e BREUNIG, 2012). A cultura da aveia branca, apesar de pertencer à mesma classificação do centeio, possui a habilidade de perfilhar, apresentando uma área verde, detectável pelos sensores, maior que a do centeio. Além disso, a cultura do centeio apresenta uma coloração mais esbranquiçada que, possivelmente, gera um ruído no momento das coletas dos dados de NDVI pelo sensor utilizado.

Ao avaliar a correlação de biomassa e NDVI em diversas plantas de cobertura, Silva et al. (2015) observaram que o NDVI obtido por sensor terrestre foi satisfatório na determinação da biomassa produzida pela cultura da aveia branca.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as de coletas de biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e as coletas de NDVI nas culturas da aveia branca e centeio.

	MSC1 ⁽²⁾	MSC2	MSC3	MSC4	MSC5	MSC6	MSC7	MSC8
Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.)								
NDVIC1 ⁽³⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,69*	0,57*	0,55*	0,45*	0,51*	0,15	0,34*
NDVIC2	0,80*	0,78 *	0,69*	0,67*	0,58*	0,63*	0,36*	0,48*
NDVIC3	0,45*	0,34*	0,32 *	0,29*	0,36*	0,19	0,10	0,24
NDVIC4	0,43*	0,46*	0,51*	0,53 *	0,53*	0,44*	0,53*	0,52*
NDVIC5	0,24	0,22	0,29*	0,33*	0,42 *	0,29*	0,52*	0,52*
NDVIC6	0,26*	0,28*	0,25	0,23	0,47*	0,39 *	0,46*	0,64*
NDVIC7	0,23	0,22	0,36*	0,36*	0,35*	0,48*	0,63 *	0,67*
NDVIC8	0,49*	0,52*	0,52*	0,52*	0,46*	0,52*	0,51*	0,75 *

Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)						
NDVIC1	0,16	-0,06	0,24	0,25	0,19	0,07
NDVIC2	0,03	-0,04	0,31*	0,27	0,28*	0,24
NDVIC3	0,00	0,13	0,41*	0,11	0,34*	0,21
NDVIC4	-0,04	-0,09	0,12	0,29*	0,09	0,24
NDVIC5	0,01	-0,07	0,22	0,27	0,18	0,24
NDVIC6	-0,07	-0,24	-0,01	0,20	0,17	0,26

(*) Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$). ⁽¹⁾Valores destacados em negrito referem-se à correlação de MS e NDVI na mesma data de coleta. ⁽²⁾MSC1 – MSC8: massa seca na coleta um até a coleta oito. ⁽³⁾NDVIC1 – NDVIC8: NDVI na coleta um até a coleta oito.

Nos últimos anos, o uso de sensores ópticos utilizados na identificação de atributos morfológicos dos dosséis vegetais tem ganhado destaque, além de diversos índices que levam em consideração os valores de reflectância entre bandas espectrais específicas que vem sendo aplicados como indicadores quantitativos e qualitativos da vegetação, sendo o NDVI o mais conhecido (OLLINGER, 2011; SIMÕES et al., 2015), tornando-se o mais amplamente utilizado, seja por meio de sensores terrestres portáteis, embarcados ou por meio de imagens de satélites (TARNAVSKY et al., 2008).

3.6 CONCLUSÕES

O NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker foi eficaz na determinação da variabilidade de produção de biomassa da cultura da aveia branca, entretanto, não foi eficaz quando aplicado à cultura do centeio.

O coeficiente de desvio relativo (CDR) foi um eficiente parâmetro para avaliar a similaridade entre mapas temáticos de biomassa e NDVI.

Para a cultura da aveia branca é possível utilizar o NDVI na predição da variabilidade de biomassa produzida.

3.7 AGRADECIMENTOS

A Fazenda Vila Morena, pertencente ao Grupo Schaedler pela disponibilização da área de estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

3.8 REFERÊNCIAS

ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo de vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Vértices**, v.16, n.1, p. 173-198, 2014.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p.1101-1110, 2007.

BULLOCK, D. S.; KITCHEN, N.; BULLOCK, D. G. Multidisciplinary teams: A necessity for research in precision agriculture systems. **Crop Science**, v. 47, n. 5, p. 1765-1769, 2007.

BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I - The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, v.31, n.2, p.315-31, 1980.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CHAVES, G. G.; FILHO, A. C.; CARINI, F.; KLEINPAUL, J. A.; NEU, I. M. M.; PROCEDI, A. Tamanho de parcela e número de repetições para avaliação de caracteres vegetativos em centeio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, n.3, 2018.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com Agricultura de Precisão**. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.2, p.168-177, 2015.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v,31, p.165-174., 2009.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p. 79-97, 2014.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.374-387, 2006.

CORASSA, G. M. **Manejo por ambiente: atributo de solo e desempenho de cultivares de soja**. 2015. 123p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2015.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; FORNARI, M.; DA ROS, C. O.; ESCHNER, V. L. Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 142, p. 607-621, 2017.

DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. 2.ed. New York: John Wiley, 1986. 646p.

EDUVIRGEM, R. V.; PERIÇATO, A. J.; SOARE, C. R. **Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do córrego Lombo em Maringá, Paraná**. In: XIV Fórum Ambiental, 2018.

FURLANI, C. E. A.; CORTEZ, J. W.; DA SILVA, R. T.; GROTTA, D. C. C. Cultura do milho em diferentes manejos de plantas de cobertura do solo em plantio direto. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 7, n. 1, p. 161-167, 2007.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7. Manual do usuário**. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JUNIOR, A. A. B.; BACKES, R. L.; TÔRRES, A. N. L. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.1, p.38-42, 2004.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Average variograms to guide soil sampling for land management. **The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.307-325, 2004.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Variograms of ancillary data to aid sampling for soil surveys. **Precision Agriculture**, v.4, p.261-278, 2003.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. London: Academic Press, 1999. 474p.

OLEA, R .A. A six-step practical approach to semivariogram modeling. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, v.20, p.307-318, 2006.

OLLINGER, S. V. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. **New Phytologist**, v.189, p.375-394, 2011.

PEREIRA, G.; BREUNIG, F. M. **Geotecnologias e suas aplicações**. Resposta espectral de alvos – GEOTEC. Universidade Federal do Pará, AEDI, 2012.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba FEALQ : 309, 2002.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese, 2007.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: Third ERTS Symposium. NASA, p. 309-317, 1973.

SANTI, A.L.; BASSO, C. J.; SILVA, D. A. A.; DAMIAN, J. M.; SANTOS, L. D. A.; BELLO, R. A. M. D.; FLORA, D. P. D.; FIORESI, D.; MARTINI, R. 'Taxa Variada de Palha': qual o investimento no sistema de plantio direto?. **Revista Plantio Direto**, v. 149, p. 34-41, 2016.

SANTOS, E. D. dos.; VECHIETTI, T.; SCHLOSSER, O. D.; SLIM, N. R.; MALDANER, I. C. **Produtividade de massa verde e seca de diferentes cereais no município de São Vicente do Sul**. Anais da Mostra de Educação, Ciência, Tecnologia e Cultura – MECTeC. São Vicente do Sul: IFFar, 2018.

SANTOS, H. G. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Cereais de inverno de duplo propósito para integração lavoura pecuária no Sul do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo : 104. 2006.

SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.699-705, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; SANTOS, M. S.; BELLO, R. A. M. D.; MARTINI, R. T. Uso de índice de vegetação na estimativa da produção de biomassa de plantas de cobertura do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p. 2772-2780, 2015.

SIMÕES, C. R. et al. Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim Tifton 85, sob adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.

SPEZIA, G. R.; SOUZA, E.G.; NOBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; MILAN. M.; BAZZI, C. L. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.449-457, 2012.

TARNAVSKY, E.; GARRIGUES, S.; BROWN, M. E. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 535-549, 2008.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, 352p. p. 1-54.

WIEN, H. C.; ALTSCHULER, S. L.; OZBUN, J. L.; WALLACE, D. H. 14C-assimilate distribution in *Phaseolus vulgaris* L. during the reproductive period. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 101, n. 5, p. 510-513, 1976.

4 ARTIGO III

VARIABILIDADE DE BIOMASSA DO NABO FORRAGEIRO E SEU IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

4.1 RESUMO

O trabalho objetiva analisar a relação da variabilidade de produção de biomassa da cultura do nabo forrageiro com a produtividade da cultura da soja em sucessão. O estudo foi conduzido em uma propriedade localizada no município de Boa Vista das Missões – RS, em área experimental contendo 38 ha. As coletas de dados foram realizadas utilizando uma malha georreferenciada regular de 0,5 ha (70,71 m x 70,71 m), totalizando 76 pontos amostrais. As variáveis analisadas foram: biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e NDVI na cultura do nabo forrageiro, e produtividade ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) da cultura da soja. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, obtendo-se medidas de posição e de dispersão. A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$). A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais, sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos. As correlações entre os dados de NDVI e de biomassa do nabo forrageiro com a produtividade da cultura da soja foram verificadas através da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$). O NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker não foi eficiente na determinação da variabilidade de produção de biomassa para a cultura do nabo forrageiro. A variabilidade da cultura de cobertura de inverno do nabo forrageiro não influenciou o rendimento da cultura da soja no período estudado.

Palavras chave: Plantas de cobertura. Rotação de cultura. Agricultura de Precisão. Sistema Plantio Direto.

4.2 ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the relationship between the biomass production variability of the forage turnip and the soybean yield in succession. The

study was conducted in a property located in the municipality of Boa Vista das Missões - RS, in an experimental area containing 38 ha. Data collection was done using a regular georeferenced grid of 0,5 ha (70,71 m x 70,71 m), totaling 76 sampling points. The variables analyzed were: biomass ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) and NDVI in the forage turnip crop, and yield ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of the soybean crop. The data were submitted to descriptive statistical analysis, obtaining position and dispersion measurements. The normality hypothesis was tested by the *W* test ($p < 0,05$). The geostatistical analysis was performed using experimental semivariograms, and the adjustments were made through theoretical models. The correlations between the NDVI and biomass data of the radish for soybean yield were verified through Pearson's simple correlation ($p < 0,05$). The NDVI obtained using the GreenSeeker ground sensor was not efficient in determining the variability of biomass production for the turnip. The variability of the winter cover crop of forage turnip did not influence soybean yield in the studied period.

Key words: Cover plants. Rotation of culture. Precision agriculture. No-till system.

4.3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de sensores ópticos utilizados na identificação de atributos morfológicos dos dosséis vegetais tem ganhado destaque, além de diversos índices que levam em consideração os valores de reflectância entre bandas espectrais específicas que vem sendo aplicados como indicadores quantitativos e qualitativos da vegetação. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (ROUSE et al., 1973), tornou-se o mais amplamente utilizado, seja por meio de sensores terrestres portáteis, embarcados ou por meio de imagens de satélites.

O constante crescimento da demanda de alimentos no mundo culminou no aumento na intensidade do uso das terras. Contudo para manejar um sistema agrícola de modo que seja economicamente viável, socialmente justo e simultaneamente promova o mínimo de perturbações ambientais, é essencial o uso de ferramentas e técnicas de manejo adequadas a cada sistema de produção. De acordo com Amado et al. (2007), uma das mais eficientes estratégias adotadas visando

a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo foi o Sistema Plantio Direto (SPD), entretanto, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda área. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão (AP) atua no manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial existente, levando em consideração os fatores que determinam o desempenho das culturas (SCHWALBERT et al., 2016).

A utilização de plantas de cobertura do solo em planos de rotação de culturas tem se mostrado uma maneira eficaz de promover a qualidade e estabilidade do SPD, favorecendo a utilização de forma mais eficaz dos recursos disponíveis como água, luz e nutrientes, além de propiciar o aumento na fertilidade do solo devido à ciclagem de nutrientes, e melhorias nas suas propriedades físicas e biológicas (CORREIA e DURIGAN, 2008). A variabilidade da produção de biomassa produzida pelas culturas utilizadas como cobertura vegetal tem grande influência no controle de perdas de solo por erosão e na infiltração de água, ciclagem de nutrientes e, segundo Hernani et al. (1995), a distribuição da biomassa sobre a superfície é mais importante do que sua quantidade ou volume.

No sul do Brasil, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é comumente utilizado como adubação verde de inverno (LIMA et al., 2007) e em rotação de culturas como pré-cultivo de culturas como algodão, feijão (CROCHEMORE e PIZA, 1994), milho (CORRÊA e SHARMA, 2004) e soja, devido sua capacidade de ciclar nutrientes (CALEGARI, 2001), sendo capaz de, segundo Costa (1992), colocar na superfície cerca de 23 kg há⁻¹ de N, 8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 43 kg ha⁻¹ de K₂O, 29 kg ha⁻¹ de CaO e 6 kg ha⁻¹ de MgO. O nabo forrageiro uma cultura que inibe a incidência de espécies de plantas invasoras devido sua precocidade e agressividade de cobertura, possuindo, segundo Calegari (1990), capacidade de recobrir 70% do solo em até 60 dias. Entretanto, dados que apresentam elevada variabilidade em relação a produção de biomassa seca pela cultura do nabo forrageiro comumente são encontrados, variando de 2 à mais de 7 Mg.ha⁻¹ (CALEGARI, 2001; MORAES et al., 2009).

Essa variabilidade na produção de biomassa é um fator muito importante, pois pode influenciar positiva ou negativamente a cultura posterior. Damian et al. (2017), com o intuito de verificar o efeito da variabilidade da cultura de cobertura do solo sob a variabilidade da cultura de verão, constatou que houve influência da cultura da aveia preta sobre a produtividade da soja. Em trabalho realizado com rotação de

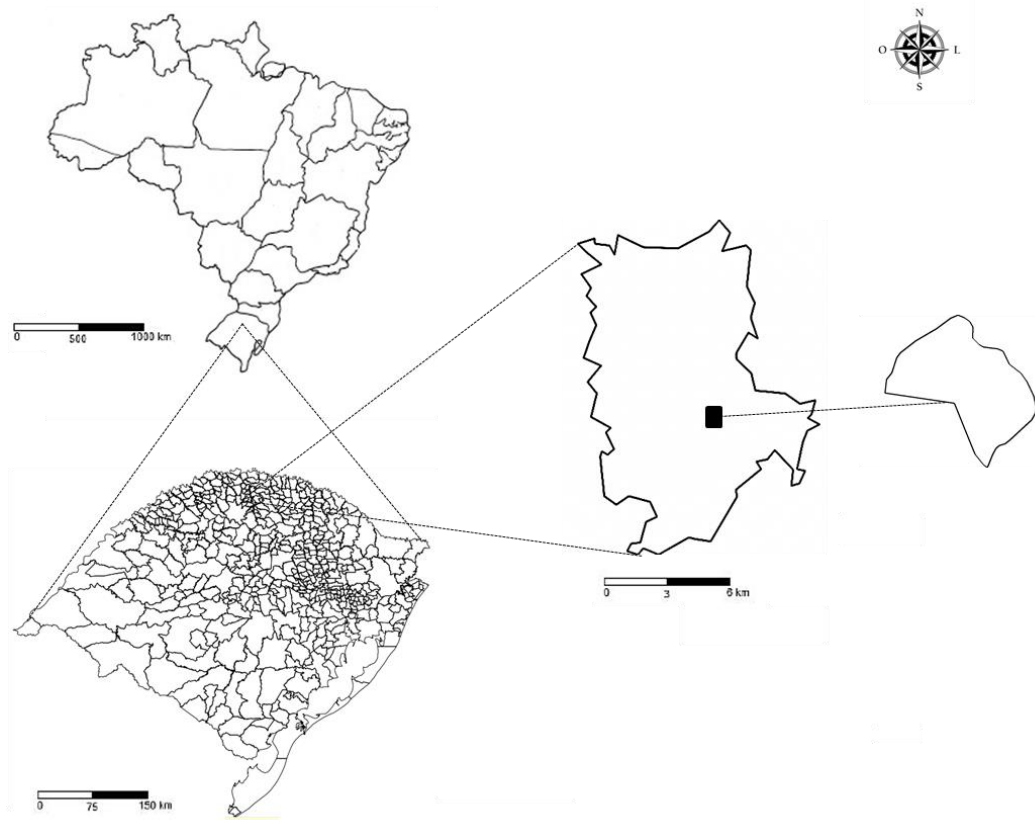
culturas, Santi et al. (2016), verificaram que o uso racional e inteligente da cobertura do solo resultou em um incremento na produtividade de soja de até 2.000 kg.ha⁻¹ quando comparado a não utilização de cobertura vegetal. Entretanto, há trabalhos desenvolvidos que verificaram que a produtividade da soja não foi influenciada pelas plantas de cultura de inverno (DEBIASI ET AL., 2010; GAZOLA & CAVARIANI, 2011; NICOLOSO ET AL., 2008). Assim, a quantificação e distribuição espacial de massa seca produzida é um ponto fundamental no manejo de precisão das lavouras.

Dessa forma, o presente trabalho objetiva verificar a eficiência da determinação da variabilidade de biomassa do nabo forrageiro através do NDVI e sua influência sobre a produtividade da soja em sucessão.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na safra 2017/18, em uma propriedade localizada no município de Boa Vista das Missões - RS, entre as coordenadas 27°72'55" S e longitude: 53°33'13" O (Figura 1). O clima da região é subtropical de primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano⁻¹ (MALUF, 2000). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (> 60%), o relevo predominante da região é suave ondulado.

Figura 1 – Detalhes da localização da área de estudo.



A área é manejada sob SPD há mais de 20 anos, sendo utilizado algumas ferramentas de AP como a amostragem georreferenciada de solo, piloto automático, aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variada plena e monitoramento georreferenciado da produtividade há oito anos. O histórico de cultivos e do manejo de correções de adubações na área estudada é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de culturas e de aplicação de fertilizantes e corretivos na área experimental.

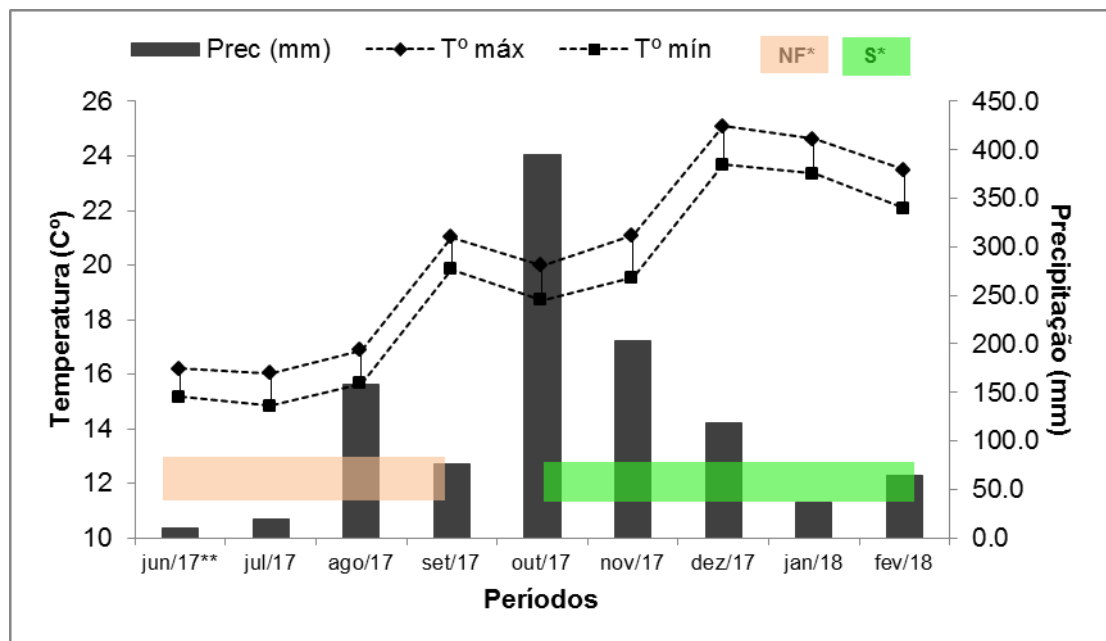
Ano agrícola	Safr	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte	Quantidade (kg/ha)	Modo de aplicação
2014/15	Inverno	Aveia Preta	SS 01-18-00	300	Linha
	Verão	Soja	NPK 11-52-00	150	Linha
			NPK 00-00-60	200	Lanço
2015/16	Inverno	Aveia branca + Nabo	SS 01-18-00	200	Linha
	Verão	Milho	NPK 18-46-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	200	Lanço
			NPK 45-00-00	430	Lanço

2016/17	Inverno	Aveia Ucraniana	NPK 01-20-00	170	Linha
	Verão	Soja	NPK 07-40-00	180	Linha
			NPK 00-00-60	430	Lanço
2017/18	Inverno	Nabo	Sem adubação	SA*	SA*
	Verão	Soja	NPK 05-26-05	215	Linha
			NPK 00-00-60	150	Lanço

(*) Sem adubação.

Os dados de temperaturas do ar máxima e mínima, e de precipitação, no período de cultivo das espécies de cobertura, se encontram na Figura 2.

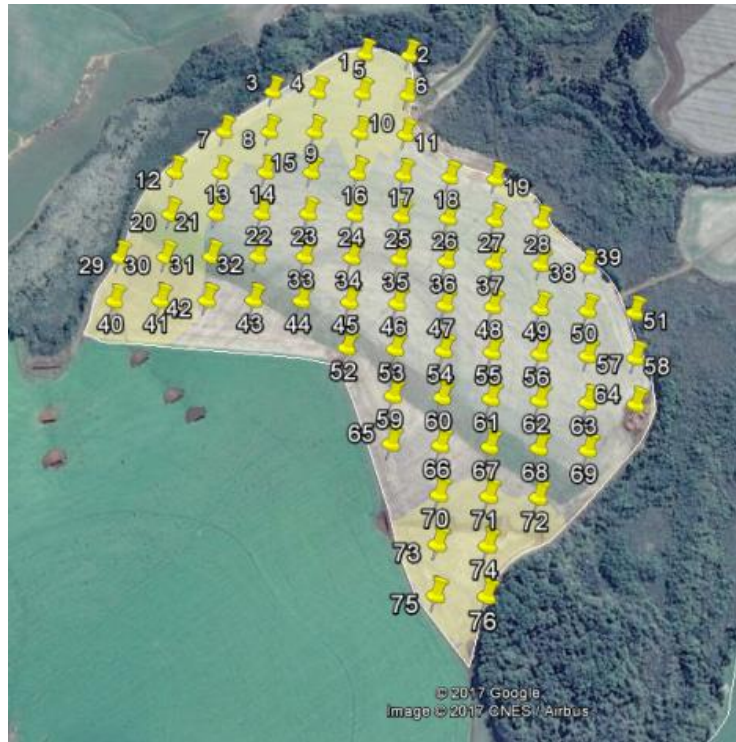
Figura 2 - Temperatura do ar máxima e mínima, e precipitação pluviométrica no período de cultivo do nabo forrageiro e da soja.



*NF – nabo forrageiro; S – soja. **Dados correspondem de 15 a 30 de junho.

Com auxílio de um aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi realizada a vetorização da área experimental com a demarcação dos perímetros, sendo definida a malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha (70,71m x 70,71 m), gerada através do programa computacional Sistema CR-Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), totalizando 76 pontos amostrais (Figura 3).

Figura 3 – Detalhe da malha de amostragem georreferenciada através da grade amostral de 0,5 ha da área experimental.



Fonte: Google Earth, 2018.

A área experimental possui 38 ha, foi semeada em 27 de junho de 2017 com a cultura do nabo forrageiro IPR 116 (*Raphanus sativus* L.), com densidade de semeadura de $18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Durante o desenvolvimento da cultura foram coletados dados de biomassa e NDVI nos 76 pontos amostrais. A área foi dessecada quando a cultura atingiu o pleno florescimento.

Para a determinação da variabilidade espacial de biomassa na área estudada, foram realizadas coletas semanais de fitomassa nos 76 pontos amostrais, a partir de 52 dias após a semeadura (DAS), sendo realizadas cinco coletas até a cultura atingir o pleno florescimento. O material foi coletado manualmente com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida ($0,25 \text{ m}^2$), e posteriormente encaminhado para secagem em estufa a temperatura aproximada de 60°C , até atingir peso constante. Com o uso de uma balança de precisão foi determinada a biomassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Para a determinação do Índice Vegetativo (NDVI) utilizou-se o aparelho manual GreenSeeker, sendo as leituras realizadas nas mesmas datas de coleta de biomassa e nos mesmos pontos amostrais, já delimitados anteriormente com a malha amostral. As leituras foram realizadas a uma altura entre 0,6 e 1,2 m acima do

dossel e perpendicularmente à superfície do solo, em cinco repetições por ponto em um raio de 10 m ao redor do ponto central.

A cultura da soja foi semeada em 28 de outubro de 2017. A produtividade foi determinada através de mapa de produtividade obtido a partir de uma colhedora marca CASE® modelo Axial-Flow 2399, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS® (Advanced Farming System). O sistema é composto de um sensor instantâneo de grãos do tipo placa de impacto, instalado ao final do elevador de grãos limpos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística exploratória (estatística descritiva), obtendo-se medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria e de curtose). Com base nos valores de assimetria (C_s) obtidos, visando caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados como: $C_s = 0$ distribuição simétrica, $C_s > 0$ distribuição assimétrica à direita e $C_s < 0$ distribuição assimétrica à esquerda. Os valores de curtose (C_k), que expressam a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente utilizada a curva normal, foram classificados em: $C_k = 0$ distribuição mesocúrtica, $C_k < 0$ distribuição platicúrtica e $C_k > 0$ distribuição leptocúrtica. As análises estatísticas descritivas foram realizadas utilizando o programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS Inc, Cary, USA).

A dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores de coeficiente de variação (CV%), foram classificadas como baixa quando CV for inferior a 10% (alta precisão), média quando o CV estiver entre 10% e 20% (boa precisão), alta de 20% a 30% (baixa precisão) e muito alta com CV maior que 30% (baixíssima precisão) (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2000). A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965) realizado no software Sigma Plot®, sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram p -valor $> 0,05$.

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando-se o programa computacional Gamma Design Software – GS+® (ROBERTSON, 1998). O ajuste dos modelos foi realizado com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e

avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C0), contribuição (C1), patamar (C0+C1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação: $IDE = [C0 / (C0 + C1)] * 100$. Com base nos IDE, classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como: forte, para IDE $\leq 25\%$; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e fraco, para IDE $> 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

As correlações entre os dados de NDVI e de biomassa do nabo forrageiro com a produtividade da cultura da soja foram verificadas através da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$), por meio do programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS Inc, Cary, USA).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da estatística descritiva das coletas de biomassa e NDVI do nabo forrageiro, e da produtividade da soja, é apresentada na Tabela 2. Para a biomassa do nabo forrageiro, a terceira coleta realizada apresentou a maior variação, sendo de 0,28 a 3,25 Mg.ha⁻¹, com produção média de 0,96 Mg.ha⁻¹. De modo geral, é possível verificar que conforme a cultura avança seu desenvolvimento, a produção média de biomassa tende a aumentar. Entretanto, esse incremento não ocorre de maneira uniforme na área, o que contribui para o aumento de variação produtivada mesma.

Tabela 2 - Estatística descritiva da biomassa e NDVI do nabo forrageiro mensuradas em cinco épocas ao longo do cultivo, e da produtividade da soja.

Coleta	Mínimo	Média	Máximo	DP ¹	CV% ²	Cs ³	Ck ⁴	W ⁵
Biomassa do nabo forrageiro (Mg/ha)								
C1	0,10	0,33	0,70	0,13	39,27	0,71	0,17	0,96*
C2	0,11	0,42	0,90	0,18	43,67	0,59	-0,24	0,96*
C3	0,28	0,96	3,25	0,39	40,68	2,78	14,27	0,80*
C4	0,45	1,26	2,66	0,45	35,57	0,53	0,27	0,96*
C5	0,74	1,60	3,40	0,54	33,86	0,78	0,82	0,96*
NDVI do nabo forrageiro								
C1	0,33	0,43	0,59	0,05	11,90	0,20	0,14	0,98ns
C2	0,38	0,47	0,64	0,05	10,57	0,83	0,91	0,95*

C3	0,45	0,56	0,66	0,05	8,44	0,18	-0,70	0,97ns
C4	0,43	0,54	0,66	0,05	8,34	0,03	0,48	0,98ns
C5	0,43	0,51	0,60	0,04	7,82	0,33	-0,26	0,98ns
Produtividade da soja (Mg/ha)								
	3,16	3,92	4,38	0,31	7,80	-0,42	-0,55	0,96*

(¹) DP: Desvio padrão; (²) CV%: Coeficiente de variação; (³) Cs: Coeficiente de assimetria; (⁴) Ck: Coeficiente de curtose; (⁵)Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Em estudos realizados com a cultura do nabo forrageiro, os valor de produção de biomassa são extremamente variáveis, como produções de 0,4 a 0,6 Mg.ha⁻¹ (EMBRAPA, 1995) Entretanto, Furlani (2000), Calegari (2001) e Derpsch e Calegari (1992) observaram produtividade média da cultura no estágio de floração de 3,0 Mg.ha⁻¹. De acordo com Berlatto et al. (2005), a variabilidade temporal verificada na produção das culturas pode ser fortemente influenciada pela instabilidade climática. No presente estudo, a cultura do nabo forrageiro foi submetida a um período de 18 dias de estiagem (Figura 1) logo após sua semeadura, o que pode ser sido o fator principal da baixa produção biomassa ao longo do ciclo, uma vez que o nabo é considerado uma cultura exigente em umidade do solo durante sua implantação e desenvolvimento inicial (OLIVEIRA, 2009).

O NDVI da cultura do nabo forrageiro apresentou baixa variação dos dados durante o desenvolvimento da cultura, com médias variando de 0,43 a 0,56. O maior valor para o NDVI foi observado na terceira coleta (0,56), onde, de acordo com Calegari (1990), nesse estágio a cultura já possuiu a capacidade de recobrir 70% do solo. Nas coletas seguintes os valores de NDVI diminuíram, o que pode ser explicado pelo comportamento de crescimento da planta, que pode iniciar seu florescimento a partir dos 60 DAS, causando uma variação na coloração do dossel e influenciando negativamente nas leituras de NDVI.

A distribuição espacial da produção de biomassa do nabo forrageiro não seguiu a tendência de distribuição normal e apresentou coeficientes de assimetria positivos, indicando uma distribuição assimétrica à direita, e de curtose classificado como distribuição leptocúrtica. Os dados de NDVI do nabo forrageiro apresentaram menor variação e sua distribuição espacial foi considerada normal, justificando-se pelos coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero. Os dados de produtividade da soja não seguiram uma distribuição normal, apresentando

coeficientes de -0,55 para cutose e -0,42 para assimetria, o que caracteriza uma curva assimétrica negativa, que indica a cauda da curva de distribuição deslocada para o lado esquerdo e, portanto, um desvio da curva para a direita em comparação com a curva normal.

Para todas as coletas de biomassa do nabo forrageiro, a dispersão relativa dos dados (Tabela 2) foi considerada muito alta ($CV > 30\%$), enquanto o NDVI apresentou uma dispersão baixa na maioria das coletas. A produtividade da soja apresentou uma baixa variação, sendo de 3,16 a 4,38 $Mg.ha^{-1}$, com média de 3,92 $Mg.ha^{-1}$ e CV de 7,80%, classificado como baixo.

Na análise da variabilidade espacial de biomassa e NDVI da cultura do nabo forrageiro, por meio dos resultados da análise geoestatística (Tabela 3), observou-se que todas as coletas de biomassa apresentaram dependência espacial, em sua maioria classificada como forte, o que permite a predição de valores em locais não amostrados utilizando o interpolador geoestatístico krigagem.

Tabela 3 - Parâmetros geoestatísticos de biomassa e NDVI do nabo forrageiro mensuradas em cinco coletas ao longo do cultivo, e da produtividade da soja.

Coleta	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a	Modelo	r ²	Dependência Espacial ⁽¹⁾	
							IDE	GDE
Biomassa do nabo forrageiro ($Mg.ha^{-1}$)								
C1	0,00095	0,0138	0,01285	141,90	Exponencial	0,77	6,88	Forte
C2	0,0015	0,0332	0,0317	130,50	Exponencial	0,61	4,52	Forte
C3	0,0001	0,0739	0,0738	107,00	Esférico	0,38	0,14	Forte
C4	0,0069	0,1718	0,1649	125,70	Exponencial	0,84	4,02	Forte
C5	0,1693	0,3396	0,1703	573,00	Esférico	0,85	49,85	Moderado
NDVI do nabo forrageiro								
C1	0,000212	0,00243	0,002222	188,10	Exponencial	0,56	8,72	Forte
C2	0,000126	0,00216	0,002036	107,40	Exponencial	0,61	5,83	Forte
C3	0,000216	0,00237	0,002156	196,20	Exponencial	0,61	9,11	Forte
C4	0,000097	0,00182	0,001727	94,50	Exponencial	0,08	5,33	Forte
C5	0,000064	0,0015	0,001434	120,00	Exponencial	0,16	4,27	Forte
Produtividade da soja ($Mg.ha^{-1}$)								
	0,0284	0,1088	0,0804	211,70	Esférico	0,997	26,11	Moderado

C₀ - Efeito Pepita; C₀+C₁ - Patamar; C₁ - Contribuição; a – Alcance (m); r² – Coeficiente de Determinação; ⁽¹⁾IDE – Índice de dependência espacial; GDE – Grau de dependência espacial.

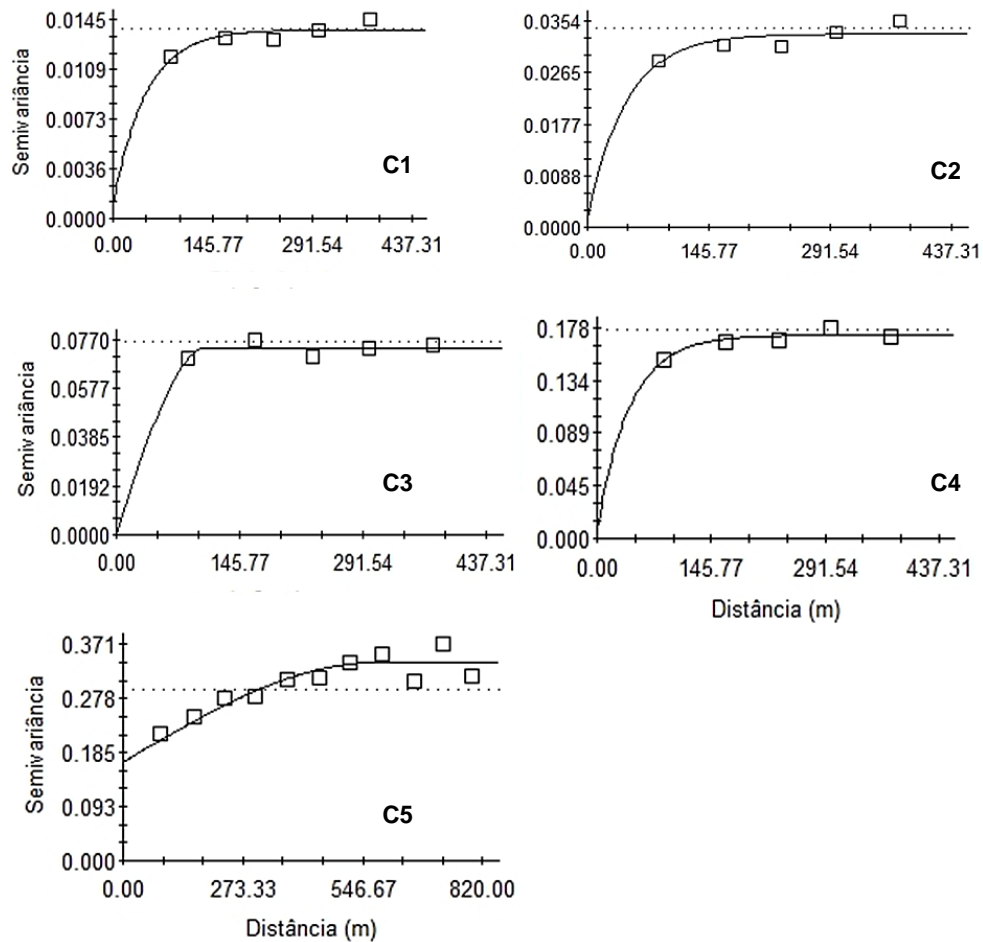
As coletas de biomassa da cultura do nabo forrageiro apresentaram estrutura espacial bem definida, sendo classificada de moderada (IDE 25-75%), para a quinta

coleta, a forte ($IDE < 25\%$), até a quarta coleta (Tabela 3). Os modelos teóricos que possibilitaram os melhores ajustes dos semivariogramas (Figura 2) foi exponencial (C1, C2 e C4), e esférico (C3 e C5), com coeficientes de determinação (r^2) entre 0,38 e 0,85. Para os dados de NDVI, o índice de dependência espacial foi classificado como forte para todas as coletas, e o melhor ajuste dos semivariogramas (Figura 3) foi obtido pelo modelo exponencial, com baixos coeficientes de determinação ($0,08 > r^2 > 0,61$). A produtividade da soja apresentou dependência espacial classificada como moderada, e o modelo teórico que possibilitou os melhores ajustes dos semivariogramas foi esférico com coeficiente de determinação alto (0,997).

Os valores de alcance para biomassa (Tabela 3) variaram de 107,0 m (C3) a 573,0 m (C5). A coleta de biomassa onde se encontra o maior alcance (C5) se confirma pelo menor CV (33,86%) (Tabela 1), ou seja, permite a utilização de uma intensidade amostral menor. Isso pode ser justificado por se tratar, o momento da coleta (pleno florescimento), de uma estabilização na produção de fitomassa pela cultura. O menor alcance obtido para biomassa (107 m) foi aos 67 DAS, quando a cultura apresenta crescimento exponencial e, segundo Hernani et al. (1995), promove a cobertura de mais de 70% do solo. Já os valores de alcance para NDVI variaram de 94,5 m (C4) a 196,7 m (C3). O alcance refere-se à distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente, e de acordo com Vieira (2000), variáveis amostradas a distâncias maiores que os valores de alcance tem distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si. A produtividade da soja apresentou alcance de 211,7 m.

Trabalhos publicados por Kerry e Oliver (2003; 2004) sugerem que seja possível utilizar metade do valor do alcance como maneira de definir a distância máxima entre amostras. Porém, segundo Cherubin (2013), este é um critério que deve ser aplicado com cautela, visto que os valores de alcance obtidos para determinado atributo são muito variáveis entre áreas, além de que condições como tamanho de área e valor do alcance resulte em poucos pontos amostrais, caso este parâmetro seja aplicado, comprometendo a acurácia e a confiabilidade das informações geradas.

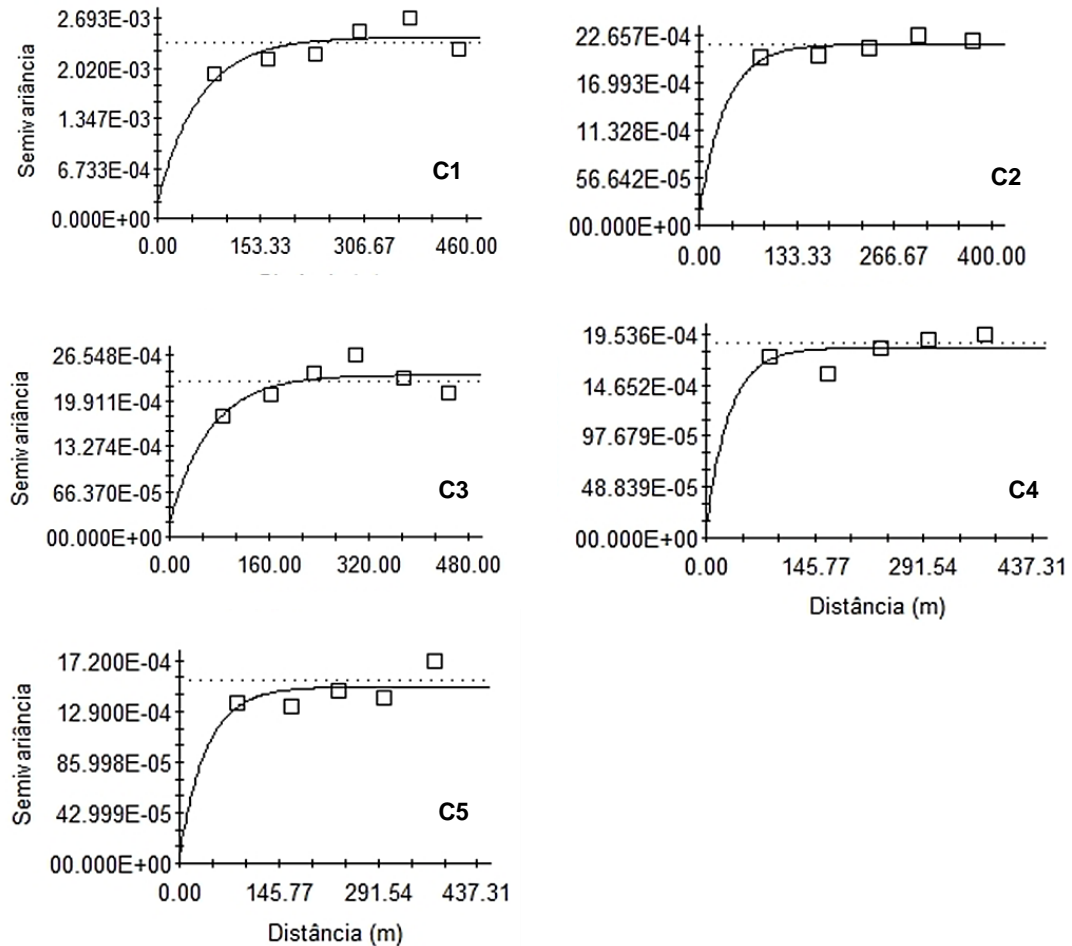
Figura 4 - Ajuste de Semivariogramas de biomassa do nabo forrageiro em cinco coletas ao longo do cultivo.



O ajuste do modelo teórico é realizado de modo experimental através dos parâmetros contribuição, alcance, efeito pepita e patamar, tornando possível estabelecer uma representação matemática capaz de descrever as características do fenômeno espacial (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). De acordo com Seidel e Oliveira (2014), na geoestatística, o semivariograma é a principal ferramenta utilizada na descrição da dependência espacial, permitindo a determinação do grau de dissimilaridade entre pares de medidas em razão da distância e orientação da linha entre duas amostragens (OLEA, 2006).

Segundo a literatura, os modelos teóricos de semivariogramas esféricos e exponenciais são os mais comumente atribuídos aos atributos de solo e de plantas (CORÁ et al., 2004; CORRÊA et al., 2009; CHERUBIN et al., 2015).

Figura 5 - Ajuste de Semivariogramas de NDVI do nabo forrageiro em cinco coletas ao longo do cultivo.



Observando os resultados da análise de correlação de Pearson (Tabela 4), nota-se que a correlação entre as coletas de biomassa do nabo forrageiro e o NDVI, de modo geral, são baixas, com exceção da primeira coleta que apresentou coeficiente de correlação de 0,31. Isso demonstra que o NDVI obtido a partir do sensor terrestre GreenSeeker não foi eficiente em estimar a variabilidade de produção de biomassa da cultura do nabo forrageiro. Resultado similar foi obtido por Silva et al. (2015), verificando que, para a cultura do nabo forrageiro, o NDVI, obtido por sensor terrestre, não eficaz na determinação da biomassa produzida pela cultura. Entretanto, outros estudos indicam que o NDVI mostrou-se eficiente na predição de biomassa para culturas como amendoim (DEGHAIID et al., 2013), ervilhaca, aveia preta, aveia branca e tremoço branco (SILVA et al., 2015).

Nos últimos anos, o uso de sensores ópticos utilizados na identificação de atributos morfológicos dos dosséis vegetais tem ganhado destaque, além de diversos índices que levam em consideração os valores de reflectância entre bandas espectrais específicas que vem sendo aplicados como indicadores quantitativos e qualitativos da vegetação, sendo o NDVI o mais conhecido (OLLINGER, 2011; SIMÕES et al., 2015), tornando-se o mais amplamente utilizado, seja por meio de sensores terrestres portáteis, embarcados ou por meio de imagens de satélites.

Tabela 4 - Matriz de correlação de Pearson a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$) entre os mapas de produção de biomassa e NDVI do nabo forrageiro, e produtividade da soja.

	MSC1	MSC2	MSC3	MSC4	MSC5	NDVIC1	NDVIC2	NDVIC3	NDVIC4	NDVIC5	PRO D
MSC1	-										
MSC2	0,35*	-									
MSC3	0,26	0,20	-								
MSC4	0,30*	0,32*	0,26	-							
MSC5	0,52*	0,33*	0,39*	0,39*	-						
NDVIC1	0,31*	0,11	0,24	0,36*	0,11	-					
NDVIC2	0,28	0,20	0,29	0,16	0,26	0,40*	-				
NDVIC3	0,14	-0,15	0,23	0,12	0,26	0,14	0,30*	-			
NDVIC4	0,10	-0,05	0,10	0,02	0,16	0,28	0,21	0,37*	-		
NDVIC5	0,13	0,04	0,10	0,31*	0,12	0,32*	0,24	0,30*	0,33*	-	
PROD	0,07	-0,04	-0,22	-0,05	-0,16	-0,19	-0,16	-0,09	-0,05	-0,12	-

(*) Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$). Mapas de produção de massa seca do nabo forrageiro da primeira à quinta coleta (MSC1 – MSC5); mapas de NDVI do nabo forrageiro da primeira à quinta coleta (NDVIC1 – NDVIC5); mapa de produtividade da soja (PROD).

A produtividade da soja não apresentou correlação com as coletas de biomassa e NDVI (Tabela 4), apresentando coeficientes negativos para quase todas as coletas, ou seja, conforme a produção de biomassa do nabo forrageiro e do NDVI aumentam, a produtividade da soja tendeu a sofrer uma redução, porém não significativa. Gazola e Cavariani (2011), relataram que a produtividade da soja não foi influenciada pelas culturas de inverno utilizadas como cobertura (aveia branca, nabo forrageiro, cevada, trigo e ervilhaca) em sucessão. Nicoloso et al. (2008) e Debiasi et al. (2010) também verificaram não haver influências das plantas de cobertura do solo sobre a produtividade da soja em sucessão. Porém em estudo realizado por Damian et al. (2017), quando em rotação de culturas, foi constatado

que a variabilidade de biomassa da aveia preta, utilizada como cobertura de inverno, influenciou o rendimento da cultura da soja.

Essa contradição em respostas positivas, quando em rotação de culturas, e respostas nulas, quando a soja é cultivada em sucessão (efeito imediato), justificam novos estudos incluindo avaliações de médio e longo prazo tanto da produção de biomassa como NDVI e produtividade das culturas, pois a relação das coberturas com a produtividade dos cultivos, em geral, requerem um tempo maior para de fato promoverem melhorias quanti e qualitativas nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e, por sua vez, influenciar no desenvolvimento e na produtividade das plantas.

De acordo com Sanchez (2012), culturas sucessoras às plantas de cobertura são beneficiadas pelo aumento de matéria orgânica, além de poderem atuar como forma de escarificação biológica do solo (NICOLOSO et al., 2008), proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das culturas sucessoras. A cultura do nabo forrageiro apresenta elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio (CALEGARI., 2001; AITA e GIACOMINI, 2003; GIACOMINI et al., 2003) podendo, segundo Costa (1992), colocar na superfície cerca de 23 kg há⁻¹ de N, 8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 43 kg ha⁻¹ de K₂O, 29 kg ha⁻¹ de CaO e 6 kg ha⁻¹ de MgO. De acordo com Pitol e Salton (1993), essa cultura promove aumento na porosidade do solo, favorecendo características físicas como infiltração de água, e biológicas como o desenvolvimento de microrganismos.

4.6 CONCLUSÕES

O NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker não foi eficiente na determinação da variabilidade de produção de biomassa para a cultura do nabo forrageiro.

A variabilidade da cultura de cobertura de inverno do nabo forrageiro não influenciou o rendimento da cultura da soja no período estudado.

4.7 AGRADECIMENTOS

A Fazenda Vila Morena, pertencente ao Grupo Schaedler pela disponibilização da área de estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

4.8 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMONI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.

CALEGARI, A. Sustentabilidade sim. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001, Dourados. **Anais...** Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 23-28.

CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Paraná**, n. 35, p. 1-36, 1990.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com Agricultura de Precisão**. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.2, p.168-177, 2015.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

CORRÊA, J. C.; SHARMA, R. D. Produtividade do algodoeiro herbáceo em plantio direto no Cerrado com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 41-46, jan. 2004.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema plantio direto (SPD). **Biosci. J.**, v. 24, n. 4, p. 20-31, Oct./Dec. 2008.

COSTA, M.B.B. da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CROCHEMORE, M. L.; PIZA, S. M. T. Germinação e sanidade de sementes de nabo forrageiro conservadas em diferentes embalagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 677-680, maio 1994.

DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; FORNARI, M.; DA ROS, C. O.; ESCHNER, V. L. Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 142, p. 607-621, 2017.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p. 603-612, 2010.

DEGHAI, J.; ROSALEN, D.L.; ZERBATO, C.; FURLANI, C.E.A. Correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e características agrônômicas da cultura do amendoim. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia - CONBEA 2013. **Anais...** Campo Grande: SBEA, 2013. Não paginado.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 78 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Nabo forrageiro**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. Folder.

FURLANI, C. E. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Biosci J.**, v.27, n.5, p.748-763, 2011.

GIACOMONI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7. Manual do usuário**. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Aubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93p. (EMBRAPA - CPAO. Documentos, 4).

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Average variograms to guide soil sampling for land management. **The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.307-325, 2004.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Variograms of ancillary data to aid sampling for soil surveys. **Precision Agriculture**, v.4, p.261-278, 2003.

LIMA, J. D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 37, n. 1, p. 60-63, mar. 2007.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; VIGNOLO, G.K.; SANTOS, L.S.; PANOZZO, L.E. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2009.

NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T. J. C.; SCHENEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.

OLEA, R. A. A six-step practical approach to semivariogram modeling. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, v,20, p.307-318, 2006.

OLIVEIRA, A. S. **Características agronômicas e qualidade de sementes de nabo forrageiro em função da densidade de semeadura e do espaçamento**. 2009. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavra, 2009.

OLLINGER, S. V. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. **New Phytologist**, v. 189, p. 375-394, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba FEALQ : 309, 2002.

PITOL, C.; SALTON, J.C. **Nabo forrageiro: opção para cobertura de solo**. Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, 1993. 4p.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: Third ERTS Symposium. NASA, p. 309-317, 1973.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. Guarapuava, 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Centro-Oeste.

SANTI, A. L. et al. Manejo de precisão: Planos de Manejo Inteligentes e estratégias multi-plantas. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Santa Maria : CESPOL, 2016. p. 233 – 249.

SANTOS, H. G. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C. Definição de zonas de manejo utilizando “multi-layers” e sensoriamento “on-the-go”: Definições e usos. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Santa Maria : CESPOL, 2016. p. 233 – 249.

SEIDEL, E.J.; OLIVEIRA, M.S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.699-705, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; SANTOS, M. S.; BELLO, R. A. M. D.; MARTINI, R. T. Uso de índice de vegetação na estimativa da produção de biomassa de plantas de cobertura do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p. 2772-2780, 2015.

SIMÕES, C. R. et al. Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim Tifton 85, sob adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, 352p. p. 1-54.

5 DISCUSSÃO

A variabilidade espacial do rendimento das culturas reflete o potencial do solo em oferecer condições adequadas para a máxima expressão de produção, além de fornecer indicação do nível de nutrientes para a cultura sucessora a partir dos resíduos orgânicos. O mesmo pode-se aplicar na produção de biomassa pelas plantas de cobertura. É importante, na gestão dos processos agrícolas nas lavouras, levar em consideração a variabilidade existente que deve ser avaliada, quantificada e mapeada, com a finalidade de geri-la de forma eficiente.

A época preferencial para realizar o diagnóstico da variabilidade produtiva de determinada área é essencial para que, durante o ciclo das culturas, haja tempo disponível para redefinir planos de manejo adequados que possam promover um aumento de produção de biomassa nos locais considerados como zonas de baixa produção, diminuindo, conseqüentemente, a variabilidade produtiva da área. De acordo com os resultados observados no capítulo I, foi possível estabelecer uma época preferencial para diagnóstico da variabilidade espacial de massa seca para as culturas da aveia branca e centeio, entretanto, o mesmo não ocorreu para a cultura do nabo forrageiro.

As coletas de fitomassa ao longo dos cultuvis mostrou-se eficiente na predição de épocas preferenciais de coleta de dados. Basso et al. (2014), estudando o comportamento da grama Tifton 85, verificaram elevada variação de produção nos pontos amostrados da área, confirmando a presença de variabilidade espacial. Esses resultados enfatizam a importância do monitoramento das áreas de produção de plantas de cobertura, mesmo antes do cultivo das culturas de interesse comercial, e a importância de realizar a confecção de mapas temáticos de produção que permitem visualizar a variabilidade produtiva da área, permitindo assim a tomada de decisão em tempo hábil na tentativa de reduzi-la.

Uma maneira que tem-se mostrado eficiente na predição da variabilidade de áreas produtivas é o uso de sensores ópticos, utilizados no monitoramento da vegetação, gerando imagens a partir da detecção da energia refletida pela mesma em diferentes faixas do espectro eletromagnético, principalmente onde a vegetação interage intensamente com a radiação solar incidente (NOBEL, 1999). Um dos mais importantes indicadores da qualidade e das condições da cobertura vegetal, que

utiliza técnicas de sensoriamento remoto, é o Índice Vegetativo por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI promove o acompanhamento evolutivo da vegetação através de estimação das diferentes densidades que esta pode apresentar (EDUVIRGEM et al., 2018).

Nos capítulos II e III, o NDVI obtido por meio do sensor terrestre GreenSeeker foi eficaz na determinação da variabilidade de produção de biomassa da cultura da aveia branca, entretanto, não foi eficaz quando aplicado às culturas do centeio e nabo forrageiro. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), o NDVI é aplicado na identificação da presença de vegetação verde na superfície, de modo a permitir a caracterização da distribuição espacial da vegetação ao longo do tempo. Nas plantas, as folhas são os principais órgãos que absorvem a radiação eletromagnética, contribuindo para o sinal detectado pelos sensores remotos, (PEREIRA e BREUNIG, 2012).

A cultura da aveia branca, apesar de pertencer à mesma classificação do centeio, possui a habilidade de perfilhar, apresentando uma área verde, detectável pelos sensores, maior que a do centeio. Além disso, a cultura do centeio apresenta uma coloração mais esbranquiçada que, possivelmente, gera um ruído no momento da coletas dos dados de NDVI pelo sensor utilizado. Entretanto, essa detecção poderia ser mais eficiente com a utilização de sensores embarcados em RPAS ou através da obtenção de imagens de satélite, sendo necessários estudos para sua verificação.

A variabilidade na produção de biomassa de plantas utilizadas como cobertura de solo é um fator muito importante, pois pode influenciar positiva ou negativamente a cultura posterior. No capítulo III a variabilidade de biomassa e do NDVI do nabo forrageiro não influenciaram o rendimento da cultura da soja no período estudado. Existe uma contradição em respostas positivas e respostas nulas, quando a soja é cultivada em sucessão ou rotação com as plantas de cobertura de inverno (GAZOLA e CAVARIANI, 2011; NICOLOSO et al., 2008; DEBIASI et al., 2010; DAMIAN et al., 2017; CARDOSO et al., 2014), que justifica novos estudos incluindo avaliações de médio e longo prazo tanto da produção de MS como NDVI e produtividade das culturas, pois a relação das coberturas com a produtividade dos cultivos, em geral, requer um tempo maior para de fato promoverem melhorias

quanti e qualitativas nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e, por sua vez, influenciar no desenvolvimento e na produtividade das plantas.

REFERÊNCIAS

- BASSO, C. J.; PIAS, O. H. de C., SANTI, A. L.; BIER, D. R.; PINTO, M. A. B. Variabilidade da produção do Tifton 85 e sua relação com os atributos físicos do solo. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.4, p.526-531, 2014.
- CARDOSO, R. A.; BENTO, A. S.; MORESKI H. M.; GASPAROTTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 35, n. 2, p. 51-60, jul/dez. 2014.
- COSTA, M.B.B. da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.
- DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; FORNARI, M.; DA ROS, C. O.; ESCHNER, V. L. Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 142, p. 607-621, 2017.
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p. 603-612, 2010.
- EDUVIRGEM, R. V.; PERIÇATO, A. J.; SOARE, C. R. **Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do córrego Lombo em Maringá, Paraná**. In: XIV Fórum Ambiental, 2018.
- FIORIN, J. E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.
- FONTANELI, R. S., GASSEN, D. N. Integração Agriculturapecuária - Potencial das forrageiras para adubação verde. **Revista Plantio Direto**, v. 18, p. 26-34, 2009.
- GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Biosci J.**, v.27, n.5, p.748-763, 2011.
- NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T. J. C.; SCHENEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.
- NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. London: Academic Press, 1999. 474p.
- PEREIRA, G.; BREUNIG, F. M. **Geotecnologias e suas aplicações**. Resposta espectral de alvos – GEOTEC. Universidade Federal do Pará, AEDI, 2012.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese, 2007.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: Third ERTS Symposium. NASA, p. 309-317, 1973.