

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**MAPEAMENTO DA COMPACTAÇÃO EM ÁREA IRRIGADA
DE GRÃOS E SUA CORRELAÇÃO COM CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Charles Luis Schons

**Santa Maria, RS, Brasil.
2014**

MAPEAMENTO DA COMPACTAÇÃO EM ÁREA IRRIGADA DE GRÃOS E SUA CORRELAÇÃO COM CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA

Charles Luis Schons

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologias em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Claire Delfini Viana Cardoso

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

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

Schons, Charles Luis

Mapeamento da compactação em área irrigada de grãos e sua correlação com condutividade elétrica do solo e produtividade de soja / Charles Luis Schons.-2014.
58 p.; 30cm

Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Agricultura de Precisão 2. Condutividade Elétrica
3. Compactação do Solo 4. Mapas de Produtividade 5.
Sensores I. Delfini Viana Cardoso, Claire II. Título.

© 2013 Todos os direitos autorais reservados a Charles Luis Schons. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço eletrônico: c-schons@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da UFSM
Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

**MAPEAMENTO DA COMPACTAÇÃO EM ÁREA IRRIGADA DE
GRÃOS E SUA CORRELAÇÃO COM CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA**

elaborada por
Charles Luis Schons

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claire Delfini Viana Cardoso.Dr.^a
(Presidente/Orientadora)

Enio Giotto, Dr. (UFSM)

Daniel Boemo, Dr. (IFFARROUPILHA)

Santa Maria, 30 de outubro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter-me concedido a vida, sempre com muita saúde, e pela família maravilhosa com que me presenteou.

A Universidade Federal de Santa Maria, e a Coordenação do PPGAP, pela oportunidade ímpar de poder realizar esse Mestrado. À toda a equipe docente pelo conhecimento transmitido, pelo convívio e amizade.

A professora orientadora Claire Delfini Viana Cardoso, sempre muito prestativa, atenciosa, disposta a solucionar todos os problemas e questionamentos.

Ao professor Antônio Santi, meu co-orientador, que sempre esteve disposto auxiliar na condução da parte prática do trabalho, tirando dúvidas, dando sugestões na análise de dados, enriquecendo o trabalho com a vasta sabedoria teórica e prática que possui.

Ao professor Enio Giotto, pela colaboração na análise dos mapas e dados estatísticos.

Agradecer também ao Sr. João Augusto Telles, primeiramente pela oportunidade de trabalho e também pelo apoio irrestrito, para que pudesse desenvolver minhas atividades acadêmicas, muitas vezes em horário de trabalho.

Agradeço aos meus pais Acádio e Diva, que nunca mediram esforços para conceder condições de estudo principalmente durante a graduação. Agradeço pela maravilhosa educação recebida, por sempre estarem ao meu lado, me aconselhando e apoiando. Também não posso deixar de agradecer a minha irmã Diana, que mesmo de longe, sempre me incentivou.

Um agradecimento especial à minha namorada Micaela, pelo companheirismo, carinho e palavras de motivação quando das adversidades durante essa jornada. Aos sogros e cunhados pela acolhida, apoio e amizade.

Na pessoa do Rafael, agradecer a empresa FALKER, pelo empréstimo de equipamentos para a avaliação da compactação de solo e pelo suporte técnico.

A empresa STARA, pelo trabalho realizado em conjunto na avaliação da condutividade elétrica do solo e na obtenção dos mapas de produtividade.

A todos, que de uma ou outra forma contribuíram para o êxito nessa etapa da minha vida. **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

MAPEAMENTO DA COMPACTAÇÃO EM ÁREA IRRIGADA DE GRÃOS E SUA CORRELAÇÃO COM CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Autor: Charles Luis Schons
Orientadora: Claire Delfini Viana Cardoso
Local e data da defesa: Santa Maria, 24 de outubro de 2014.

A Agricultura de Precisão é uma ferramenta de gestão que permite avaliar, analisar e intervir com ações no local correto, na hora correta com o insumo correto e da maneira mais rentável, diminuindo a variabilidade espacial da área permitindo também aumentos na produtividade com racionalização dos recursos. Em termos econômicos, a utilização desta tecnologia possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo maior retorno econômico. A geostatística se tornou uma importante ferramenta pois permite estudar o comportamento da variabilidade espacial, além de poder também quantificar o seu tamanho. Estudos da variabilidade espacial, tanto de natureza química quanto física, permite ao produtor aliar essas informações aos mapas de produtividade e assim tomar decisões que possam aumentar a eficiência da produção. O objetivo desse trabalho foi avaliar através de mapas de compactação de solo e condutividade elétrica quais desses fatores que mais se correlacionam com a produtividade de soja em área irrigada. O trabalho foi realizado no município de Pejuçara, RS, onde sua primeira etapa foi a aquisição do mapa de produtividade na colheita da soja safra 2013-2014, numa área demarcada de 47 ha. Após realizou-se o trabalho para originar os mapas de compactação de solo em três camadas de solo, coletados em 190 pontos da área, sendo que os dados obtidos foram interpolados com o CRCampeiro7. Para a avaliação da condutividade elétrica do solo, utilizou-se o equipamento Veris 3100 o qual fez avaliações nas camadas de 0-30 e 30-90 cm de profundidade. Após as avaliações feitas, verificou-se que grande parte da área encontra-se compactada, não sendo possível perceber correlação entre produtividade e as variáveis estudadas. Esses fatos nos levam a concluir que em área irrigada a compactação de solo não é capaz de afetar, com tanta severidade, até os níveis detectados, o desenvolvimento da cultura.

Palavras chave: Mapas de produtividade. Resistência a compactação. Condutividade elétrica.

ABSTRACT

Master's degree dissertation
Master Course in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria

MAPPING OF COMPACTION IN IRRIGATED GRAIN AREA AND ITS CORRELATION WITH SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND YIELD OF SOYBEAN

Author: Charles Luis Schons
Advisor: Claire Delfini Viana Cardoso
Santa Maria, October, 24 rd 2014.

The Precision Agriculture is a management tool that allows you to evaluate, analyze and intervene with actions in the correct location, at the correct time with the correct agricultural input and with the more profitably way, decreasing the spatial variability of the area also allowing increases in productivity with rationalization of resources. In economic terms, the use of this technology allows the prioritization of investments in areas where the potential for production is more effective, ensuring a bigger economic return. The geostatistics has become an important tool because it allows us to study the behavior of the spatial variability, both of chemical and of physical nature, allows to the producer to combine this information with the productivity maps and thus make decisions that can increase production efficiency. The objective of this study was to evaluate through maps of soil compaction and electrical conductivity which of these factors is more correlated with soybean yield in irrigated area. The work was conducted in the municipality of Pejuçara, RS. The first step was the acquisition of productivity map at harvest of the crop soybeans 2013-2014, in a demarcated area of 47 hectares. After was carried the work to yield maps of soil compaction on three layers of soil, collected in 190 points in the area, and the data were interpolated with CR Campeiro 7. For the assessment of soil electrical conductivity, we used the equipment Veris 3100 which made assessments at depths 0-30 and 30-90 cm deep. After the evaluations, it was found that much of the area is compacted. From the analyzes performed, it was not possible to notice the correlation between productivity and the variables studied. These facts lead us to conclude that in irrigated area the soil compaction is not able to affect, so severely in the levels detected, the development of culture.

Keywords: Productivity Maps. Compaction resistance. Electrical conductivity.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Visualização dos componentes e localização de cada um na colhedora. | 25 |
| Figura 2 | Área de estudo. Agropecuária Nossa Senhora de Fátima, Pejuçara, RS | 32 |
| Figura 3 | Medindo a CE com o equipamento Veris 3100. | 34 |
| Figura 4 | PenetroLog. | 35 |
| Figura 5 | Avaliação da compactação do solo com o equipamento PenetroLog. | 36 |
| Figura 6 | Malha gerada pelo software Campeiro CR 7 para a coleta de dados com o penetrômetro, 190 pontos em 47 ha. | 36 |
| Figura 7 | Mapa temático de produtividade da cultura da soja, safra 2013-2014. | 37 |
| Figura 8 | Mapa temático RP camada 0-10cm. | 38 |
| Figura 9 | Mapa temático RP camada 10-20 cm. | 39 |
| Figura 10 | Mapa temático RP camada 20-30 cm. | 39 |
| Figura 11 | Mapa temático Ce camada 0-30 cm. | 40 |
| Figura 12 | Mapa temático da Ce, camada 30-90 cm. | 41 |
| Figura 13 | Mapa temático de argila. | 41 |
| Figura 14 | Relação entre mapa de produtividade e RP camada 0-10 cm. | 42 |
| Figura 15 | Relação entre mapa de produtividade e RP camada 10-20 cm. | 43 |
| Figura 16 | Relação entre mapa de produtividade e RP camada 20-30 cm. | 44 |
| Figura 17 | Relação entre mapas de produtividade e Ce 0-30 cm. | 45 |
| Figura 18 | Relação entre mapas de produtividade e Ce 30-90 cm. | 45 |
| Figura 19 | Relação entre RP camada 0-10 cm e Ce camada 0-30cm | 46 |
| Figura 20 | Relação entre RP camada 0-10 cm e Ce camada 30-90 cm | 46 |
| Figura 21 | Relação entre RP camada 10-20 cm e Ce 0-30 cm. | 47 |
| Figura 22 | Relação entre RP camada 10-20 cm e Ce 30-90 cm. | 47 |
| Figura 23 | Relação entre RP camada 20-30 cm e Ce camada 0-30 cm. | 48 |
| Figura 24 | Relação entre RP camada 20-30 cm e Ce camada 30-90 cm. | 48 |
| Figura 25 | Relação entre argila e Ce camada 0-30 cm | 49 |
| Figura 26 | Relação entre argila e Ce camada 30-90 cm | 49 |
| Figura 27 | Relação entre argila e RP camada 0-10 cm | 50 |
| Figura 28 | Relação entre argila e RP camada 10-20 cm | 51 |
| Figura 29 | Relação entre argila e RP camada 20-30 cm | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP – Agricultura de Precisão

CE – Condutividade Elétrica

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

DoD – Departamento of Defense - Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

GPS – Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global

Ha – Hectare

MPa – Mega Pascal

NAVSTAR- GPS – Navigation Satellite with Time and Ranging - Global Positioning System

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PH – Potencial de Hidrogênio

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SPD – Sistema Plantio Direto

RP – Resistência a Penetração

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Análise das correlações

59

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 Objetivos | 13 |
| 2.1 Objetivo Geral | 13 |
| 2.1.2 Objetivos Específicos | 13 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 3.1 Agricultura de Precisão | 14 |
| 3.2 Sistema de Informação Geográfica SIG | 16 |
| 3.3 Sistema de Posicionamento Global – GPS | 17 |
| 3.4 Aplicativo CR Campeiro | 17 |
| 3.5 Geoestatística | 18 |
| 3.5.1 Interpolação | 19 |
| 3.6 Condutividades elétricas do solo | 20 |
| 3.7 Mapas produtividade | 23 |
| 3.7.1 Sensores que Integram o Sistema | 25 |
| 3.7.1.1 Sensores de Produtividade | 25 |
| 3.7.1.2 Sensores de Umidade | 26 |
| 3.7.1.3 Sensor de Velocidade | 26 |
| 3.7.1.4 Interruptor de coleta de dados ou sensor de plataforma | 26 |
| 3.7.1.5 Monitor e coletor de dados | 27 |
| 3.8 Estrutura Física do Solo e Sua Relação Com a Produtividade | 28 |
| 4 METODOLOGIA | 32 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 37 |
| 6 CONCLUSÕES | 52 |
| REFERÊNCIAS | 53 |

1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento e a ampliação do uso da técnica da Agricultura de Precisão (AP), percebe-se que as propriedades rurais usuárias dessa tecnologia, detêm um conhecimento sobre a variabilidade espacial dos atributos. Técnicas como aplicação localizada de fertilizantes, defensivos agrícolas, e novas formas de monitoramento de características dos solos e outros fatores de produção, fornecem informações que permitem um melhor gerenciamento da área a ser cultivada, e em última instância resultam num maior rendimento econômico por área cultivada. Nesse contexto de gerenciamento pregado pela AP, pode-se citar como uma das ferramentas disponíveis os mapas de produtividade.

A variabilidade de produtividade das culturas expressa nos mapas de colheita, podem ter inúmeras causas. Normalmente correlacionam-se essas variabilidades com fertilidade do solo, variações climáticas e/ou topografia. Mas quando os fatores químicos já tiverem sido corrigidos, até por serem mais fáceis de fazê-lo, deve-se atentar para outras causas da variação da produtividade. A estrutura física do solo, densidade, porosidade, o que influencia diretamente na capacidade de infiltração e retenção de água no solo, bem como do crescimento e desenvolvimento radicular das culturas.

A aplicação de novas tecnologias, utilizadas para se atingir um aumento da produção agrícola, certamente deverá levar em conta a variabilidade da estrutura, composição e propriedades físicas do solo. O conhecimento dessa variabilidade, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso de áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005).

A caracterização e a espacialização dos atributos físicos do solo em áreas comerciais têm sido pouco empregadas, devido às dificuldades inerentes ao processo de coleta e análise de grande quantidade de amostras. (Amado et al., 2009). A espacialização da compactação em áreas comerciais é importante, pois ocorre de forma descontínua, adaptando-se ao manejo localizado (SILVA et al., 2004).

A variabilidade espacial do solo pode ocorrer em diferentes níveis e pode estar relacionada a vários fatores, tais como: a variação do material de origem do solo, o clima ao qual ele está sujeito, o seu relevo, a organismos vivos presentes em

seu interior, a forma de manejo e uso ao qual foi submetido e também a escala de tempo transcorrida desde sua formação. Ou seja, de processos genéticos de formação do solo e/ou efeitos de técnicas de manejo dos solos decorrentes de seus usos agrícolas (REICHARDT & TIMM, 2004).

No entanto, quando se trata do conhecimento da qualidade física do solo a grande maioria das propriedades brasileiras não tem essa informação, ou as mesmas não existem, dificultando o conhecimento sobre essa questão em saber sobre essa questão tão influente sobre a produtividade das culturas agrícolas. Uma das grandes estratégias de manejo da AP é definir delimitar a gleba em zona de manejo. Define-se zona de manejo como parte de uma gleba que expressa um arranjo homogêneo dos fatores limitantes da produção pelos quais uma determinada taxa de insumo específica é apropriada (DOERGE, 2000).

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar quais dos fatores, compactação de solo e condutividade elétrica do solo, tem maior influência na produtividade da soja sob manejo de irrigação.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a correlação entre compactação de solo e condutividade elétrica do solo;
- Analisar a correlação entre mapas de produtividade e condutividade elétrica do solo;
- Avaliar a compactação do solo em diferentes camadas de perfil de solo e sua influência na produtividade da soja;
- Avaliar a correlação entre textura do solo e condutividade elétrica;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agricultura De Precisão

Estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação FAO e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE mostram que a população brasileira poderá crescer 40% nos próximos 10 anos, a população mundial poderá chegar a 8, 3bilhões de habitantes em 2030. Se considerarmos a área disponível para produção de alimentos e o número de habitantes percebemos que cada vez mais a área agricultável/habitante vai diminuir. Esse panorama nos mostra que o aumento da produtividade será fundamental para atender a demanda mundial por alimentos (MAPA, 2011).

Sabe-se que a produção de alimentos perpassa pela necessidade de aumento de produtividade e de cuidados específicos na manutenção das lavouras. A utilização de tecnologias atreladas ao processo denominado de Agricultura de Precisão (AP), permite, que a lavoura seja produtiva se for administrada de acordo com os princípios da AP.

Na definição de AP, pode-se entender o processo como um conjunto de tecnologias da informação aplicadas ao sistema de manejo existente, considerando as variações espaciais e temporais do solo e das culturas, onde se faz uso de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), além de sensores que vão permitir desde a coleta, o tratamento e a análise dos dados obtidos a campo. (GIOTTO, 2011).

Réquia (2013) comenta que o SIG nos proporciona a organização dos dados, e a comparação destes ano a ano, resultando em um histórico de dados que à medida que forem acumulados e analisados ao longo do tempo, servirão como uma base de tomada de decisões ao administrador do sistema de produção, gerando o aumento da lucratividade e precisão nas tomadas de decisões.

Para Inamasu (2011), atualmente existem resultados práticos e de pesquisa mostrando que a aplicação de insumos a taxa variável, comparada com a aplicação pela maneira tradicional (uniformemente na área) ocorre uma otimização dos volumes necessários utilizando a agricultura de precisão, portanto significativa

redução de custos e de desperdícios, com ganhos econômicos e ambientais

Para Amado (2013), o principal conceito de AP consiste em aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, na fonte correta tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

Antuniassi, Baio & Sharp (2007) comentam que a AP baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como mapeamento de fatores de produção, ferramentas de suporte a decisão e aplicação localizada de insumos. Destacam também que em termos econômicos, a utilização dessa tecnologia possibilita maior retorno econômico. Do ponto de vista ambiental, a racionalização e a redução do uso de insumos trazem benefícios diretos pelo uso da agricultura de precisão.

Em se tratando de análise econômica, diversos autores concordam em dizer que a aplicação em taxa variável possibilita a racionalização da utilização de fertilizantes e corretivos, de modo a minimizar os efeitos da sub e super aplicações dos insumos em determinadas sub-regiões da lavoura, e assim, conseqüentemente aumentando o rendimento das culturas, qualidade da água e o lucro líquido da propriedade (AMADO et al., 2006).

Sendo assim, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos de solo e da cultura apresenta-se como ferramenta vantajosa para analisar a variabilidade de rendimento verificada e aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas por meio de um gerenciamento agrícola que leve em consideração informações pontuais de solo e das culturas (AMADO et al., 2009).

Sendo a AP uma ferramenta de gerenciamento na agricultura, pesquisadores são unânimes em comentar que a definição dos atributos do solo que melhor se relacionam com o potencial produtivo das lavouras constituem fatores importantes, pois possibilitam identificar limitações ao rendimento e traçar estratégias para contorná-los. (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998, *apud* KRAMER, 2012).

3.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG

Para Antuniassi, Baio & Sharp (2007), trabalhos realizados visando o desenvolvimento de técnicas de amostragem de solo, principalmente em função do alto custo envolvido nessa atividade, permitiram entender questões ligadas a fertilidade, além de outros fatores estudados dentro do conceito da variabilidade espacial tais como condutividade elétrica do solo, temperatura, compactação, profundidade efetiva do solo, incluindo-se o desenvolvimento de sensores para avaliar parâmetros do solo como os de resistência, compactação, nutrientes, matéria orgânica, teor de águasensores de plantas daninhas e doenças.

O desenvolvimento de novas tecnologias tais como: sensoriamento remoto; sistema de informações geográficas (SIG) e sistema de posicionamento global (GPS), classificadas como geotecnologias, permitiram localizar com precisão as variações no espaço de parâmetros relevantes para o gerenciamento da produção agrícola, dentre estes podemos citar os mapas de produtividade, além de permitir aplicações de insumos a taxas variadas.

Os primeiros mapas de rendimento derivados a partir de informações coletadas por sensores instalados em colheitadeiras surgiram na Europa, em 1984, e nos Estados Unidos ao final da década de 1980. No Brasil, os primeiros mapas foram obtidos entre 1995 e 1997 (MANOSO & GARCIA, 2006).

Molin (2008), por sua vez, define um SIG como uma família de programas que permitem armazenar, manipular e mostrar espacialmente os resultados colhidos em campo, destacando ainda que a grande virtude desses programas é poderem lidar com várias informações para um mesmo ponto ao mesmo tempo, as quais podem ser mostradas em camadas como um mapa em cima do outro.

Réquia (2013) comenta que o SIG nos proporciona a organização dos dados, e a comparação desses ano a ano, resultando em um histórico de dados que a medida que forem acumulados e analisados ao longo do tempo, servirão como uma base de tomada de decisões ao administrador do sistema de produção, gerando o aumento da lucratividade e precisão nas tomadas de decisões .

3.3 Sistema de Posicionamento Global – GPS

Ferramenta de uso importantíssimo na AP, o GPS (Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global) consiste em um sistema espacial de posicionamento, desenvolvido pelo Departamento de Defesa (DoD) dos EUA, que determina a posição, em relação a um sistema de referência, de um ponto qualquer sobre ou próximo à superfície da Terra. Assim sendo, o sistema teoricamente permite uma visão de cinco a oito satélites constantemente, em qualquer lugar do globo (STABILE & BALASTREIRE, 2006).

Para Monico (2007 apud REQUIA2013), NAVSTAR-GPS ou apenas GPS (Global Positioning System - Sistema Global de Posicionamento) consiste em um sistema de radio navegação cuja concepção, permite que o usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a ela, tenha sempre à sua disposição no mínimo quatro satélites artificiais, para que consiga realizar o posicionamento em tempo real.

Além do sistema americano de satélites, existe o sistema russo (GLONASS) e o anúncio de outros sistemas como o Galileo (União Européia) e Compass (China), dão origem à sigla GNSS ou Sistemas de Navegação Global por Satélites. (REQUIA,2013).

3.4 Aplicativo CR Campeiro

O Projeto de Ciência Rural CR Campeiro, é um projeto de extensão rural do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria e possui dentre seus vários objetivos, desenvolver a pesquisa em geotecnologias e técnicas de gestão da propriedade rural.

O Sistema de Agricultura de Precisão do CR Campeiro, é um aplicativo para a gestão de procedimentos que envolvem o uso de geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS) aplicados no manejo de culturas agrícolas, sejam em mapeamentos de fertilidade do solo, produtividade agrícola e aplicação localizada de insumos (GIOTTO, 2014).

As rotinas existentes no programa, executam procedimentos de estruturação de malhas de amostragem de solo e planta, interface com GPS, de geração de modelos matemáticos de fertilidade e de produtividade por métodos geoestatísticos sendo que permitem ainda análises e interpretação destes modelos em um processo de gestão integrada que são expressos em mapas, relatórios e gráficos (GIOTTO et al. 2013).

A utilização da tecnologia na agricultura de precisão está diretamente relacionada ao manejo da variabilidade espacial e temporal de diversas variáveis de solo, planta e clima que influenciam na produtividade de uma cultura, bem como os processos envolvidos na implantação, condução e colheita (GIOTTO, 2014).

3.5 Geoestatística

A geoestatística vem apresentando aplicação crescente na ciência do solo, tornando-se ferramenta adicional no estudo de seus atributos espacialmente correlacionados, exatamente porque incorpora em si a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura dessa variabilidade, além de poder também quantificar o seu tamanho (CAVALCANTE *et al.* 2007).

A Geoestatística define um conjunto de procedimentos matemáticos que permite que se reconheça e descreva relacionamentos espaciais existentes. Neste processo, admite-se que a posição de uma amostra é tão importante quanto o valor medido (Genú, 2002). É um conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar um atributo de um fenômeno que tem distribuição contínua sobre uma área geográfica. Um problema comum em ciências é obter estimativas de um atributo para toda uma área ou um volume, usando a informação de uma amostra espacial.

Trata-se de uma ferramenta importante para a análise de dados no âmbito da Agricultura de Precisão. Pode ser usada no planejamento e o desenho de amostragens do solo e planta, na análise da continuidade espacial de atributos do solo e planta e na obtenção de grades interpoladas através da krigagem (VALENCIA, MEIRELLES & BETTINI, 2004).

3.5.1 Interpolação

Os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinheiro mais Próximo, Vizinheiro Natural, Triangulação Linear, Triangulação de Delaunay, Polígonos de Voronoi, Inverso do Quadrado da Distância, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial e Krigagem.

O processo de utilização de pontos com valores conhecidos para estimar valores de outros pontos, portanto, diz respeito a um conjunto de técnicas que visam a criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais. A maioria dos procedimentos de interpolação assume que existe um gradiente contínuo e regular entre os pontos de amostragem. Entre os vários tipos de interpoladores espaciais, a Krigagem se caracteriza em usar a continuidade espacial do atributo (VALENCIA, MEIRELLES & BEITTINI, 2004).

O procedimento de interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância, é um dos métodos mais antigos de interpolação espacial e também um dos mais utilizados, tem as características de ser um método de fácil entendimento, seguro e relativamente preciso, desde que haja uma definição correta do raio de pesquisa e realiza a interpolação a partir de um único ponto próximo. Sua aplicação é recomendada, quando o “*grid* de amostragem” for de formato retangular uniforme, com boa densidade de pontos e a variabilidade espacial do atributo pesquisado não for significativa.

Entre as vantagens do método, está o pouco tempo de processamento computacional, em comparação com a Krigagem, e não estima valores fora da amplitude de variação dos dados amostrais, definida pelo Z máximo e Z mínimo. Quando a distribuição espacial dos dados amostrais não for regular, isto é, os dados estão agrupados ou com falhas ou ainda, com distribuição esparsa na área, não captando a tendência da variável, seu uso não é recomendado.

Krigagem é o método geoestatístico, que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas. Nas variáveis regionalizadas, deve existir uma certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para

parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido (TAMAGI, 2012).

Dentre as vantagens, Landin (2000), cita que o método evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados; permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade; permite o estabelecimento de limites de confiança, indicados se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada – precisão; contornos suaves, artefatos indesejáveis raros, a não ser nas bordas do mapa; interpolador exato: os valores estimados para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição; estima além dos limites máximos e mínimos dos valores dos pontos amostrados; modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais.

Dentre as desvantagens, citadas por Giotto (2011), estão: o usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto, os resultados são sempre obtidos; é necessário tempo para preparo das variograma e entendimento de geoestatística pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido a natureza da variação espacial da variável analisada; requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos; necessidade de software capacitado.

3.6 Condutividades elétricas do solo

Os recentes avanços tecnológicos em sensores portáteis, para as medições das características de solo em escala de campo e em tempo real, têm atraído a atenção da pesquisa, na busca pela implementação bem sucedida da agricultura de precisão. A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem em conduzir corrente elétrica. É uma propriedade intrínseca do material, assim como outras propriedades como densidade ou porosidade.

O mapeamento da condutividade elétrica (CE) com auxílio de GPS - Sistema de Posicionamento Global é uma ferramenta relativamente simples, que tem sido utilizada para estimar a textura do solo, além de outras propriedades. Alguns equipamentos móveis para medição da CE no campo têm sido utilizados na

agricultura, dentre os quais se destacam o sensor de contato VERIS e o sensor por indução EM38 cuja unidade é miliSiemens/m² (mS/m²) (MACHADO et al, 2006).

No entanto, a determinação da CE do solo obtida com equipamentos móveis de campo, também denominada de condutividade elétrica aparente, é diferente da determinação da CE do solo obtida em laboratório com a pasta de saturação ou com extratos aquosos de solo. A medição com equipamentos móveis é obtida *in situ*, em condições reais de campo e representa a CE da massa e não apenas da solução do solo. Por sua vez, CE medida em laboratório difere da determinada *in situ*, pois permite a padronização da relação solo-água (Machado et al, 2006). Entretanto, ambas as determinações integram os efeitos da argila (tipo e quantidade) e teor de sais (cátions e ânions solúveis) resultando, assim, em significativa correlação (CASTRO; MOLIN, 2004).

A CE tem se destacado como um método bem sucedido de avaliar com rapidez alta resolução e baixo custo, a condição geral de fertilidade do solo.

Ela resulta de uma complexa influência mútua de atributos do solo e está associada a suas propriedades físico-químicas. Em razão de sua correlação com atributos determinantes da produtividade, a CE tem sido utilizada para estratificar o campo em zonas homogêneas para o manejo diferenciado (COSTA, 2011).

Sendo a CE um indicativo da qualidade do solo, essa informação pode ser utilizada para planejamento da amostragem e delimitação de zonas para manejo diferenciado. Porém, devido a quantidade de variáveis que influenciam simultaneamente a CE, interpretar os dados pode não ser uma tarefa fácil. Corwin et al. (2003) *apud* Costa (2011) relataram que os atributos de maior influência devem ser identificados em cada campo de produção. Partículas de solo e de rocha, são na maioria das vezes isolantes elétricos, mas são capazes de conduzir a eletricidade através dos poros retentores de umidade e de camadas eletricamente carregadas na superfície das partículas do solo. Assim, a porosidade do solo, o formato e o tamanho dos poros, a quantidade de água nesses, assim como a distribuição dos poros no solo afeta a condutividade elétrica desse (CASTRO, 2004).

Em trabalho conduzido pelo mesmo autor, ele verificou uma menor influência do teor de água do solo nos valores da CE proporcionou uma melhor correlação entre a CE e os atributos do solo. Nesse caso, a CE amostrada com o teor de água mais elevado, correlacionou-se com um maior número de atributos do solo e apresentou maiores valores do coeficiente de correlação com o pH (Potencial

Hidrogeniônico) e com a saturação por bases. Sendo estes atributos de grande importância no manejo das culturas. Castro (2004) afirma ainda que a análise da correlação entre a CE e o teor de água no solo, representa um bom critério para avaliar se a CE amostrada representa a variabilidade dos atributos do solo, ou representa principalmente a variabilidade do teor de água. Pelo estudo do autor, a CE foi mais correlacionada com atributos do solo, quando sua correlação com o teor de água foi menor.

Equipamentos desenvolvidos usam de sensores que utilizam contato direto com o solo para medição da CE através um sistema de discos metálicos lisos que transmitem uma corrente elétrica no solo e utiliza diferentes espaçamentos entre discos, para gerar medições da CE do solo a profundidades de 0,30 m e 0,90 m, simultaneamente. O equipamento grava as medidas de condutividade elétrica. A CE do solo depende de vários fatores, e dentre eles podem-se listar: teor de água, porcentagem de argila, material de origem do solo, composição química da solução do solo e dos íons trocáveis, interação entre os íons não trocáveis e os trocáveis, porosidade, formato e tamanho dos poros, concentração dos eletrólitos na água dos poros, temperatura do solo, quantidade e composição dos colóides, densidade, conteúdo de matéria orgânica.

Molin (2006) demonstra que, enquanto a magnitude de medições temporais da CE varia com a temperatura e a umidade do solo, o seu padrão espacial permanece constante. Essa constatação é essencial para a utilização do método de mapeamento da condutividade elétrica do solo como base para identificar unidades de amostragem e gerenciamento deste. A condutividade elétrica do solo depende em larga escala da solução eletrolítica existente no solo. Geralmente, solos secos têm resistência muito alta. Minerais do solo aparecem como isolantes, apesar de que em alguns solos pode existir uma pequena corrente sendo conduzida através da superfície das partículas. Portanto, o nível da condutividade elétrica de um solo é principalmente devido ao seu teor de água e de sais dissolvidos. Como a salinidade não é relevante em solos de regiões com suficiente pluviosidade, o que se sobressai na mensuração é a água, que, por sua vez, é magnificada pela textura, a qual interessa enormemente no diagnóstico para a definição de unidades de gerenciamento, por exemplo. (MOLIN, 2006)

Os países mais desenvolvidos em técnicas de amostragem em grande número vêm utilizando CE como um indicador no monitoramento de características

do solo. A CE do solo tornou-se uma das mais freqüentes medições utilizadas para caracterizar variabilidade do campo para aplicação em agricultura de precisão (Corwin e Lesch, 2005). O conhecimento dessa variabilidade permite um planejamento eficiente da aplicação de insumos (SUDDUTH et al., 2005; KUMHÁLOVÁ et al., 2011).

Estudos com uso de CE têm apontado seu potencial para a mensuração de conteúdo de argila. Conteúdo de água, CTC (capacidade de troca catiônica), profundidade da camada de impedimento, teor de matéria orgânica e teor de sais da solução. Vários sistemas comerciais de mapeamento da CE têm sido utilizados na AP. Isso tem ocorrido, pois a disponibilidade de sensores de campo para este fim vem se tornando cada vez maior. Nesse sentido, o uso dessa ferramenta vem se tornando uma ferramenta muito eficaz para determinar as zonas de manejo (AMADO, 2013).

Machado et al (2006), utilizando o equipamento Veris, encontrou correlação positiva entre mapa de produtividade e zonas de manejo delimitadas por textura de solo. O custo de análise, de uma grande quantidade de amostras em laboratório apresenta-se muito onerosa, por isso, na prática, se realiza uma amostragem insuficiente para captar, com nível de precisão, o modelo da variabilidade espacial do solo.

Um dos fatores que influencia na definição das zonas de manejo é a textura do solo. Sendo que a quantidade de argila presente no solo é responsável pela retenção de água, dinâmica de nutrientes, condutividade elétrica e expressa também maior ou menor potencial desse solo sofrer as conseqüências da compactação de solo, quando mal manejado.

3.7 Mapas produtividade

A prática de medidas de gerenciamento das lavouras considerando a sua variabilidade intrínseca compõe um ciclo de tarefas. Porém, todo o processo deve ter um ponto de partida. Muitos pesquisadores e mesmo usuários estabelecem que o mapa de produtividade de um talhão é a informação mais completa para a visualização da variabilidade espacial da lavoura.

As informações obtidas por meio do mapeamento da produtividade podem ser utilizadas para uma série de análises e interferências na área. Através de uma coleção de mapas de produtividade é possível identificar como a variabilidade ocorre em termos de distribuição espacial, temporal e em termos quantitativos. Deste modo um dos usos deste tipo de informação é o de realizar o fornecimento de nutrientes de acordo com a exportação pelas culturas (GIMENEZ & MOLIN, 2004).

As tecnologias e práticas emergentes da AP desafiam o uso da média como valor representativo de uma situação. O manejo da variabilidade é o principal foco de sua atenção. Duas formas principais de variabilidade são imediatamente detectadas: espacial e temporal. A variação espacial é a variação vista no campo, afetada pelos diferentes fatores que a compõem. A variação temporal é a variação que ocorre quando se comparam mapas de produtividade de um ano para outro, podendo alterar os mapas de produtividade, as variações espaciais e temporais são também causas de sua alteração (CARVALHO, VIEIRA, MORAN, 2001).

Os mesmos autores ainda concluem que devido à influência das variações espaciais e temporais, torna-se temeroso o uso indiscriminado de mapas de produtividade sem que haja um modelo de produtividade definido. Este modelo seria construído ao se produzir os mapas de produtividade em uma mesma área por um número de anos e as possíveis variações caracterizadas. Para a obtenção dos mapas de produtividade deve-se tomar conhecimento de uma série de fatores e equipamentos que compõem o sistema e o papel que cada um desempenha, a fim de evitar erros na hora da coleta e análise dos dados.

Dentre os principais erros podemos destacar: tempo de atraso ou de transporte de grãos dentro do mecanismo de debulha, determinação errada da largura da plataforma durante a colheita, erro natural do GPS, sobra de grãos através do mecanismo de transporte, perda de grãos pelo conjunto, acurácia e calibração do sensor de fluxo. Existem também erros como umidade muito alta ou baixa dos grãos, pontos discrepantes coletados, que podem facilmente serem corrigidos com auxílio de um programa computacional.

3.7.1 Sensores que Integram o Sistema

Shiratsuchi (2004) descreve os componentes e funções que cada um desempenha no conjunto para a obtenção dos mapas de produtividade, conforme podemos visualizar na Figura 1:

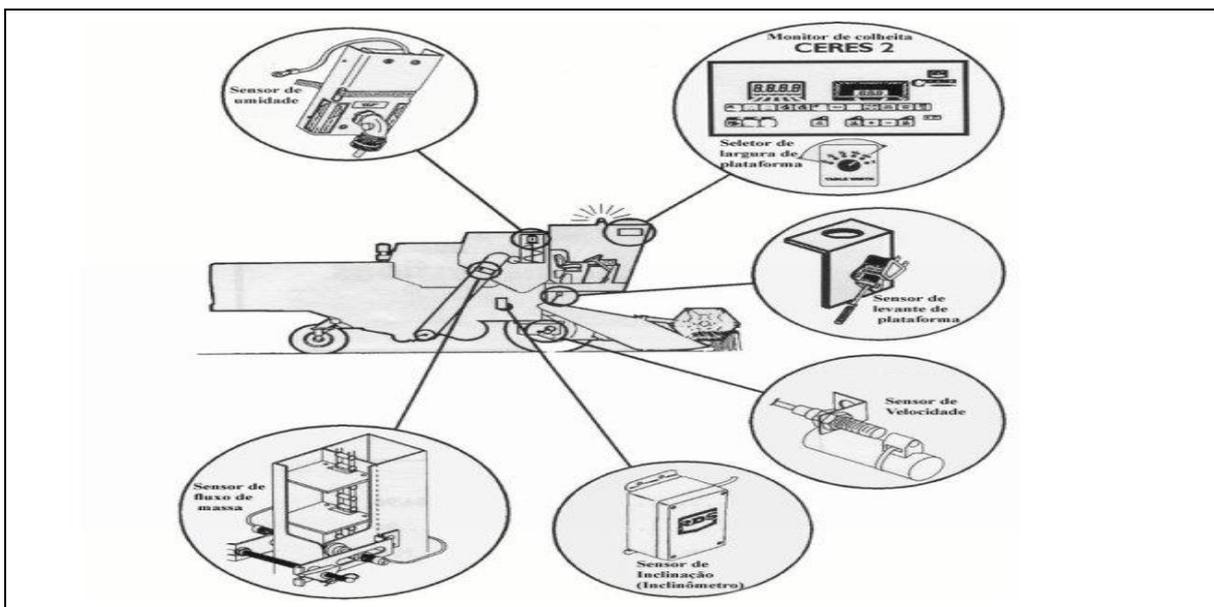


Figura 1- Visualização dos componentes e localização detalhada na colhedora.
Fonte: Molin, 2002.

3.7.1.1 Sensores de Produtividade

Esses sensores são responsáveis pela mensuração da quantidade de material colhido pela máquina. Normalmente ficam instalados no elevador de grãos limpos da máquina, e podem ser do tipo volumétrico, radiométrico ou de placa de impacto.

O sensor utilizado nas máquinas para a coleta de dados foi do tipo volumétrico. Esse tipo de sensor é composto por emissor e do receptor de raios infravermelho instalados no elevador de grãos. A radiação de energia é captada pelo fotossensor e convertida em sinais elétricos. Medidas feitas pelo fotossensor servem para estimar a taxa de fluxo de volume de grãos do elevador de canecas.

3.7.1.2 Sensores de Umidade

Mede a umidade da massa de grãos para que seja feita a correção para a umidade padrão de venda dos grãos. É instalado na saída do caracol no tanque graneleiro, ou no elevador de grãos limpos. O sensor de capacitância é o mais comumente usado para medir a umidade de grãos. Quanto maior o teor de água do grão maior é a constante dielétrica. A mediação da umidade pontual ocorre durante o deslocamento da máquina na colheita, sendo que os dados são registrados e georreferenciados dentro de um intervalo de tempo definido. Compensa os efeitos da temperatura através de sensor de temperatura integrado.

3.7.1.3 Sensor de Velocidade

Sensor magnético localizado no eixo da roda motriz. Registram o giro do eixo da roda que está diretamente localizado com a velocidade.

3.7.1.4 Interruptor de coleta de dados ou sensor de plataforma

Interrompe a coleta de dados quando a plataforma é levantada, impedindo que áreas de manobra e percursos da colhedora sejam somados a área de produção.

3.7.1.5 Monitor e coletor de dados

Aparelho que recebe os sinais de todos os sensores associados ao sinal de localização fornecido pelo GPS, gravando-os para posterior utilização.

A interpretação de um mapa de produtividade, com a finalidade de gerenciamento da lavoura, deve considerar principalmente as causas consistentes de variabilidade. As dificuldades consistem na identificação e na separação de cada uma das classes de variabilidade e na investigação de suas causas. Estas causas só podem ser compreendidas acompanhando e analisando os possíveis fatores que influenciam a variabilidade durante safras seguintes (CAMARGO et al., 2004 apud DURIGON, 2007).

Deste modo, Molin (2002) utilizou mapas seqüenciais de produtividade para determinação de unidades de gerenciamento. Após a eliminação de dados irreais, para o estudo da variabilidade espacial e temporal, três classes de produtividade foram consideradas. Os pontos com valores iguais ou superiores a 105% da média geral de produtividade da lavoura constituíram a classe de alta produtividade, os pontos com 95% a 105% da média constituíram a classe de média produtividade e os pontos com 95% ou menos que a média da lavoura, a classe de baixa produtividade.

Para o autor, esse critério pode auxiliar na delimitação de unidades de produtividade distintas, permitindo o zoneamento espacial das concentrações de pontos pertencentes à mesma classe. Se a variabilidade não apresenta estrutura espacial, ou seja, se ela não ocorre concentrada em áreas possíveis de ser manejada, a melhor estimativa de qualquer parâmetro obtido nessa área é o valor médio ou a mediana, e a melhor maneira de se manejá-la é usando os conceitos da agricultura convencional, por meio de manejo uniforme. No entanto, se há comprovação dessas repetibilidade estrutural na área e a variabilidade espacial e temporal remetem à definição de unidades pela sua abrangência e espacialização, então, o mapa de produtividade ganha sua devida importância nesse cenário contextual de busca incessante pelo conhecimento gerencial das unidades de produção agrícola e instrumentação das máquinas para a colheita georreferenciada (SANTI, 2007p. 41).

Molin (2002), comenta que devem ser considerados no mínimo três eventos de produtividade para a definição de zonas potenciais de produtividade. Mulla & Schepers (1997) apud Santi (2007), comentam que as melhores correlações de mapas são obtidos com anos de regime hídrico normal ou com condições climáticas semelhantes e com culturas de mesma família botânica. Desse modo recomendam que, para a tomada de decisão da estratégia de manejo, deve-se ter um acúmulo de mapas da mesma área.

3.8 Estrutura Física do Solo e Sua Relação Com a Produtividade

A necessidade de intensificar a produção de maneira competitiva – o que nem sempre acontece de maneira sustentável – tem resultado na utilização de máquinas cada vez maiores e mais potentes, muitas vezes desconsiderando as características de cada solo ou mesmo o teor de água adequado para o preparo, agravando os problemas de compactação, reduzindo a qualidade do solo.

A compactação do solo, devido ao seu manejo inadequado, é um problema mundial. Embora o seu impacto econômico seja difícil de ser medida, pelo envolvimento de um grande número de fatores, a redução de produtividade é relatada como sendo entre 10% e 50% (STONE, SILVEIRA & MOREIRA, 2006).

O sistema plantio direto tem sido adotado pelos agricultores como forma de proteger o ambiente e dar sustentabilidade à exploração agrícola. Apesar dos seus benefícios e de sua ampla difusão, há relatos que indicam um aumento do estado de compactação dos solos submetidos a esse sistema. A qualidade do solo se baseia em três princípios: química, biológica e física. A qualidade química do solo diz respeito à ciclagem de nutrientes e ausência de elementos tóxicos; a qualidade biológica refere-se à matéria orgânica do solo e a atividade e diversidade da biota do solo; e a qualidade física ou qualidade estrutural do solo considera à forma – densidade, porosidade, infiltração e aeração e estabilidade – resistência de agregados (REINERT & REICHERT, 2006 apud SILVA, 2009).

Em sistemas de sequeiro, camadas compactadas aumentam a susceptibilidade das culturas a veranicos, resultando em menor produtividade, ao passo que em sistemas irrigados, a compactação de solo aumenta a necessidade de água para as culturas. Isso requer maior consumo de água e de energia, que acarretará num aumento do custo de produção bem como um maior impacto ambiental. A água é fundamental para o crescimento vegetal. No entanto, mais importante que o seu conteúdo é o seu potencial no solo, ou seja, a energia com que o solo retém a água e que, conseqüentemente, será a energia necessária para que a planta remova essa água do solo através das raízes. (SÁ & SANTOS JÚNIOR, 2005).

Solos de textura mais fina ou argilosa, retém mais água quando comparados com solos arenosos. Tal condição é prevista pelo fato de possuírem maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e maior superfície adsortiva que os solos de textura mais arenosa (Carlesso,1998).A retenção de água pelo solo em condições de altas tensões ou baixo potencial matricial é uma decorrência mais da adsorção e, portanto, está mais relacionada a textura do que a estrutura do solo (URACH, 2007).

Compactação é o processo pelo qual as partículas de solo e agregados são rearranjados, tendo esses últimos suas formas e tamanhos alterados. Esse rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade.A compactação altera uma série de fatores que afeta o crescimento radicular, como aeração, re-tenção de água, resistência de penetração a raízes, podendo, inclusive, aumentar a susceptibilidade do solo à erosão (SÁ E SANTOS JÚNIOR,2005).

A compactação do solo é um processo inerente ao Sistema Plantio Direto (SPD) e, portanto, sempre será observada com maior ou menor intensidade. Entretanto, esse sistema possui características que podem ser maximizadas com vistas a reduzir o processo de compactação e suas conseqüências. Dentre essas, destaca-se a contínua adição superficial de resíduos vegetais, que formam uma cobertura morta e enriquecem as camadas superficiais com matéria orgânica. A matéria orgânica tem grande influência sobre o comportamento físico do solo, quando submetido a tráfego; ela diminui a densidade e o grau de compactação; por outro lado, aumenta a porosidade e, em algum grau, o espaço aéreo do solo, quando o mesmo é submetido à compactação pelo trânsito de máquinas. Como conseqüência, para um mesmo nível de tráfego, a produtividade é maior nos solos

com maiores teores de matéria orgânica (STONE, SILVEIRA & MOREIRA, 2006)

Em condições de lavoura, poucos são os trabalhos que integram o estado de agregação do solo e os demais parâmetros físicos, densidade, porosidade e resistência a penetração (RP) com a produtividade das culturas. Reinert et al., (2001 apud SANTI, 2007), encontraram uma relação entre densidade radicular e RP medida pelo penetrômetro, na ordem de $r^2 = 0,65$. Em revisão realizada por esses mesmos autores, uma RP de 2,8 a 3,2 Mega Pascal (MPa) retarda a elongação das raízes, e acima de 4,0 MPa, paralisa o crescimento das mesmas.

Em estudos da variabilidade espacial dos atributos do solo e da produtividade em uma área piloto sob plantio convencional e de manejo localizado, observou por meio de mapas que dentre os atributos físicos estudados, a RP na camada de 0-10 cm de profundidade foi a variável que melhor correlacionou-se com a produtividade (DURIGON, 2007).

Sá & Santos Júnior (2005), citando um trabalho realizado em Minas Gerais, levaram a conclusão de que o efeito do grau de compactação na produtividade das culturas depende da textura e da classe do solo, sendo que, em alguns solos, a produtividade pode aumentar com o incremento do grau de compactação até certo nível, quando começa a decrescer, enquanto que, em outros solos o aumento do grau de compactação reduz a produtividade linearmente. Alves et al. (2003), observaram que em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa, a produtividade de matéria seca do feijoeiro apresentou comportamento quadrático, aumentando até um grau de compactação de 70%, e diminuindo a partir desse valor, enquanto, em um Latossolo Vermelho Distroférico, a produtividade de matéria seca apresentou redução linear, em função do aumento do grau de compactação.

No entanto, as avaliações de penetrometria sofrem a influência de fatores como densidade e umidade do solo. Quando for optar por avaliações diretas de compactação de solo, sugere-se que elas sejam feitas depois de um período chuvoso, com o solo próximo a capacidade de campo (SÁ & SANTOS JÚNIOR, 2005).

Por se tratar de uma variável influenciada por vários fatores (textura, umidade, teor de matéria orgânica, adoção ou não de rotação de culturas, etc) é possível que haja variabilidade entre leituras mesmo quando realizadas próximas na área. A estratégia de adotar repetições para minimizar possíveis e eventuais erros vem sendo adotada com sucesso nas avaliações de campo (SANTI & DELLA

FLORA,2006).

Em um trabalho conduzido por Cherubin et al. (2011) ao definir o tamanho da malha amostral para avaliar a RP,utilizaram malhas de 50X50m, 73X73m, 100X100m e 141X141m, e verificaram que a medida que se aumenta a dimensão da malha amostral, reduz a qualidade da informação, ou seja, os resultados tornam-se menos acurados, podendo dificultar a interpretação e/ou definição de zonas compactadas. Esta informação é relevante, pois indica que para o monitoramento de propriedades físicas do solo, com a RP, é necessária a intensificação amostral, podendo inviabilizar avaliações em área total, quando as lavouras apresentaram grandes extensões.

Segundo Barber (1994), a produtividade de soja decresceu a partir da RP do solo de 2,0 a 3,0 MPa, apresentando menores valores para anos com maior precipitação pluvial, em consequência de deficiência de aeração no solo compactado, além de menor drenagem interna. Sendo que a cultura da soja é sensível à compactação do solo pelo tráfego de máquinas.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido na Agropecuária Nossa Senhora de Fátima, localizada no município de Pejuçara, RS, totalizando 47 ha em área irrigada. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2006), Unidade de Mapeamento Cruz Alta, com relevo ondulado e manejado sob SPD consolidado. As culturas predominantes na propriedade durante o inverno são aveia branca, aveia preta e trigo. Durante o verão destaca-se o milho comercial e milho semente, com predominância da cultura da soja.

O clima da região segundo a classificação de Koeppen é do tipo Cfa – temperado chuvoso úmido de máximas superiores a 36°C e inferiores a 3°C. A temperatura média anual é de 17°C e 20°C, mas já atingiram -8,5°C. As geadas se estendem até o mês de agosto com previsões também no mês de outubro. A precipitação anual é de 1.773mm, somando um total de 80 a 110 dias de chuva, apresentando esporadicamente estiagens no verão. A Figura 2 mostra a área do trabalho.



Figura 2 Área de estudo. Agropecuária Nossa Senhora de Fátima, Pejuçara, RS.

Fonte: Google Maps

A coleta de solo foi realizada no ano de 2012, pela equipe da Universidade Federal de Santa Maria, responsável pela parte técnica de análises e recomendação sobre fertilidade do projeto do Clube da Irrigação, a qual a propriedade faz parte. As análises de solo mostram valores altamente satisfatórios para os principais elementos que influenciam na produtividade. Teores de Fósforo em que o mínimo amostrado foi de 10.3 mg dm⁻³ e chegando a 48 mg dm⁻³, sendo que 7% do teor de fósforo encontra-se na faixa e 9-18 mg dm⁻³ e 93% na faixa de 18 a 45 mg dm⁻³. Do mesmo modo o Potássio com valores mínimos de e130 e máximos de 330 mg dm⁻³, sendo que 9% dos valores encontram-se entre 90 e 180 mg dm⁻³ e 91% na faixa e 180 e 330 mg dm⁻³. Valores esses considerados pela Rede Oficial de Laboratório de Análises de Solo do Rio Grande do Sul como muito altos.

Saturação de bases da área com valores bastante elevados também, onde 6% dos valores estão da faixa de 50-70% de saturação na CTC e 94% dos valores entre 70-89% na CTC. Sendo que os demais elementos encontram-se corrigidos não sendo assim impedimento para a produtividade das culturas. Os mapas de produtividade foram originados com monitores e sensores de produtividade da empresa Stara, os quais foram instalados em duas colheitadeiras, uma SLC 7700 e outra New Holland 5050. Vale ressaltar que o processo de calibração é um fator muito importante na geração de mapas e que o mesmo foi feito várias vezes durante o dia, em virtude principalmente da variação da umidade de grãos, fator que afeta diretamente o peso da massa colhida.

Após, os mapas foram devidamente unidos e analisados com a utilização do sistema CR Campeiro 7 onde foram corrigidas as discrepâncias de produtividade (eliminados pontos com valores muito baixos e altos de produtividade do talhão); esse processo visa corrigir principalmente valores mais baixos, que são erroneamente originados, normalmente no processo de manobra em cabeceiras, e quando do esquecimento por parte do operador em erguer a plataforma de colheita quando do término da colheita de determinada faixa.

Para a obtenção da CE, foi utilizado o equipamento Veris 3100, o qual foi cedido pela empresa Stara em trabalho conjunto. Para a caracterização da CE foram monitoradas as profundidades de 0-30 e 30-90 cm, sendo que todo o processo foi feito em um mesmo dia para evitar alguma interferência de umidade nos valores obtidos. Do mesmo modo, para a interpolação dos mapas da CE foi utilizado o sistema CR Campeiro 7 e o interpolador utilizado foi o Inverso do Quadrado da

Distância. O equipamento Veris 3100 pode ser visualizado em atividade na Figura 3.



Figura3– Medindo a CE com o equipamento Veris 3100.
Fonte: Arquivos do autor

O funcionamento do equipamento consiste na emissão de uma corrente elétrica pelos dois discos intermediários, enquanto os dois discos internos e dois discos externos detectam a diferença de potencial, que ocorre no campo eletromagnético gerado no solo resultante da corrente elétrica aplicada. O par de discos internos integra a resistência entre as profundidades de 0 e 30 cm, enquanto o par de discos externos integra a resistência entre 0 e 90 cm.

Para a avaliação da compactação do solo, foi utilizado o equipamento PenetroLog (Figura 4) da empresa FALKER, cedido para a realização do projeto. A avaliação foi realizada em condições de solo friável. Seguiu-se a metodologia proposta por Santi (2011), utilizando-se uma malha de amostragem de 0,25 ha originada pelo Sistema CR Campeiro 7, onde foram coletadas 20 sub amostras por ponto num total de 190 pontos e 3800 coletas.



Figura 4 – PenetroLog.
Fonte: FALKER, 2009.

A operação do equipamento é feita através das teclase do visor LCD, onde são mostrados valores medidos e também avisos e informações ao usuário como, por exemplo, o estado da carga das pilhas. Ao ligar o equipamento, após uma tela de inicialização, apresenta-se a tela principal. Nesta tela existe indicação dos níveis de pilha, memória livre, indicação de conexão com GPS e indicação da hora (somente com GPS conectado), na parte superior esquerda da tela. Os diferentes níveis de pilha são mostrados a seguir: à esquerda pilha sem carga, à direita pilha cheia (FALKER, 2009).

Para efetuar a medição deve-se posicionar a base refletora no solo. Ela serve como referência para a medição de profundidade. A base pode ser colocada sobre a palha, mas a altura da mesma será considerada na profundidade medida. Deve-se então pressionar o menu “Aquisição” para realizar medições. Em um primeiro momento, aparecerá a tela com o registro: Posicione: 0mm e Medição: 1, onde o número na linha inferior indica qual a medição que está sendo realizada. Neste momento, a posição do equipamento deve ser mantida estável, com o cone apenas encostado no solo, através do furo central da base refletora. No canto superior direito, é mostrada a profundidade que se está medindo. A medição inicia-se automaticamente quando a profundidade é mantida estável por alguns segundos, com no mínimo 1mm e no máximo 45 mm. O início da medição é indicado por um alerta sonoro. Na tela de posicionamento, o equipamento não poderá ser apoiado na base refletora, conforme a Figura 5.



Figura 5 – Avaliação da compactação do solo com o equipamento PenetroLog.
Fonte: Arquivos do autor

Após coletados os dados, os mesmos foram descarregados para o computador com auxílio do software específico da FALKER. Então, os mesmos foram extraídos e agrupados em uma planilha Excel, de modo que foram originadas as médias em profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. A partir das médias obtidas, foram estruturados os modelos digitais e gerados os mapas temáticos utilizando o método geostatístico de interpolação krigagem. A Figura 6 mostra o mapa da malha gerada pelo CR Campeiro 7 para a coleta de dados com o penetrômetro.

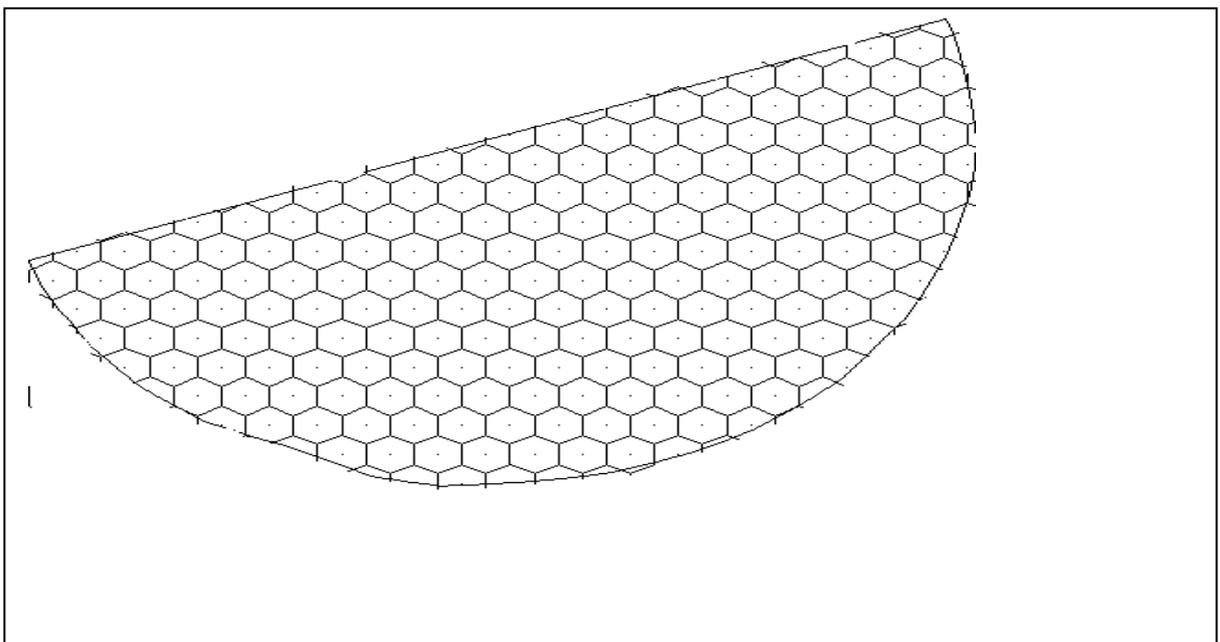


Figura 6 Malha gerada pelo CR Campeiro 7 para a coleta de dados com o penetrômetro, 190 pontos em 47 ha. Fonte: Arquivos do autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após coletados os dados e gerados os mapas temáticos a partir dos modelos digitais estruturados pelo sistema CR Campeiro 7, buscou-se avaliar a correlação entre os fatores que poderiam estar interferindo para a baixa produtividade do talhão em estudo, que por se tratar de uma área irrigada, espera-se um desempenho maior de produção. Nas figuras abaixo, observa-se os mapas temáticos gerados e as distribuições das classes detalhadas no talhão.

A Figura 7 mostra o mapa de produtividade da soja. Nota-se que por se tratar de área irrigada a produtividade é relativamente baixa, com média de 3360 kg de soja (56 sacas) na área colhida de 47 ha. Importante ressaltar que o manejo da cultura é realizado de forma que nem plantas daninhas, insetos pragas e doenças interfiram negativamente na produção. Mesmo com o surgimento da lagarta *Helicoverpa armigera*, a qual causou perdas consideráveis nas lavouras da região, na propriedade a mesma foi muito bem controlada.

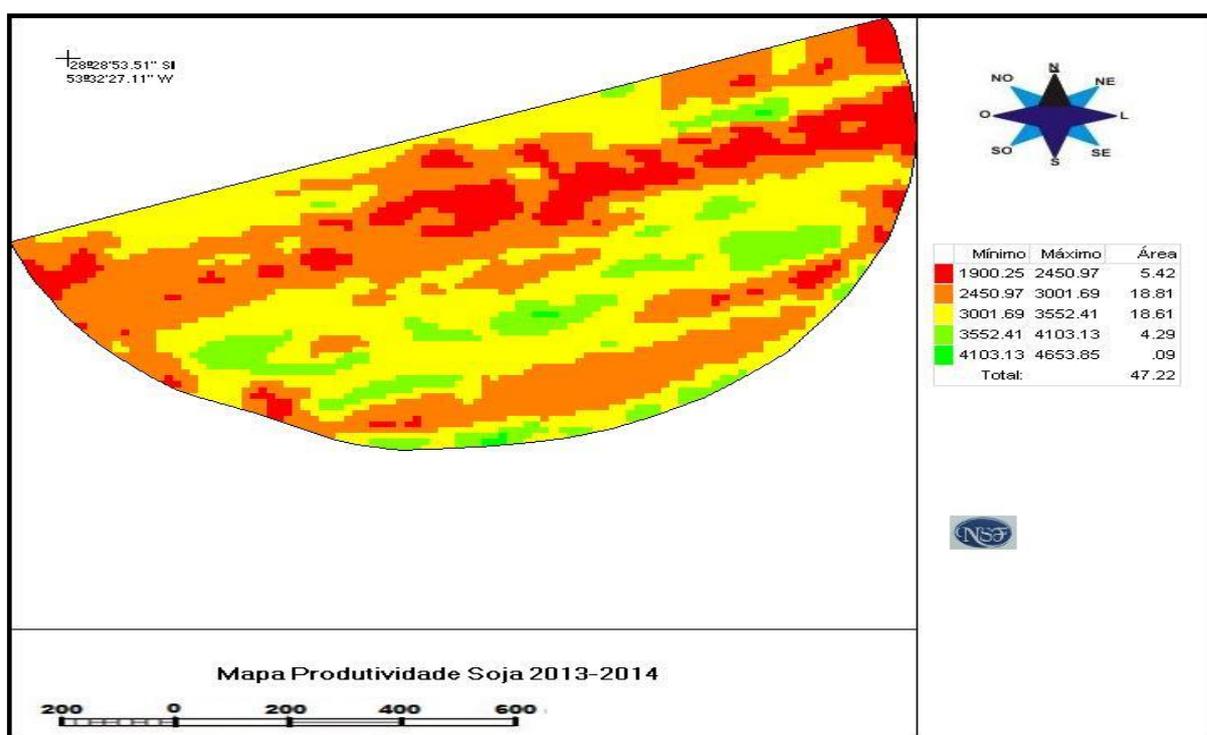


Figura 7 – Mapa de produtividade da cultura da soja, safra 2013-2014.
Fonte: Arquivos do autor

As figuras 8,9 e 10 mostram os mapas de compactação de solo, com as profundidades avaliadas de 0-10,10-20 e 20-30 cm respectivamente. Percebe-se pelos mapas que a maior parte da área encontra-se compactada, nas três camadas de perfil de solo avaliadas, fator responsável pelo desempenho relativamente baixo da área em relação à produtividade, uma vez que os fatores químicos também não são limitantes a boa produção.

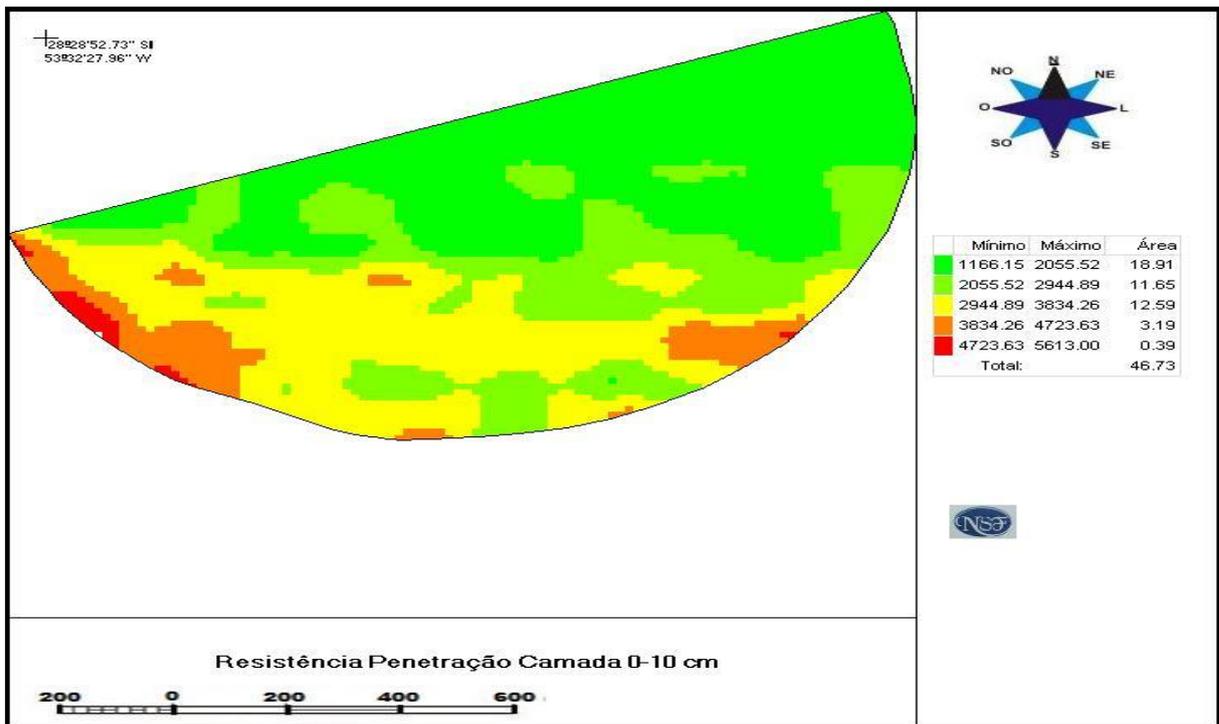


Figura 8 – Mapa da Resistencia a Penetração na camada 0-10cm.
 Fonte: Arquivos do autor

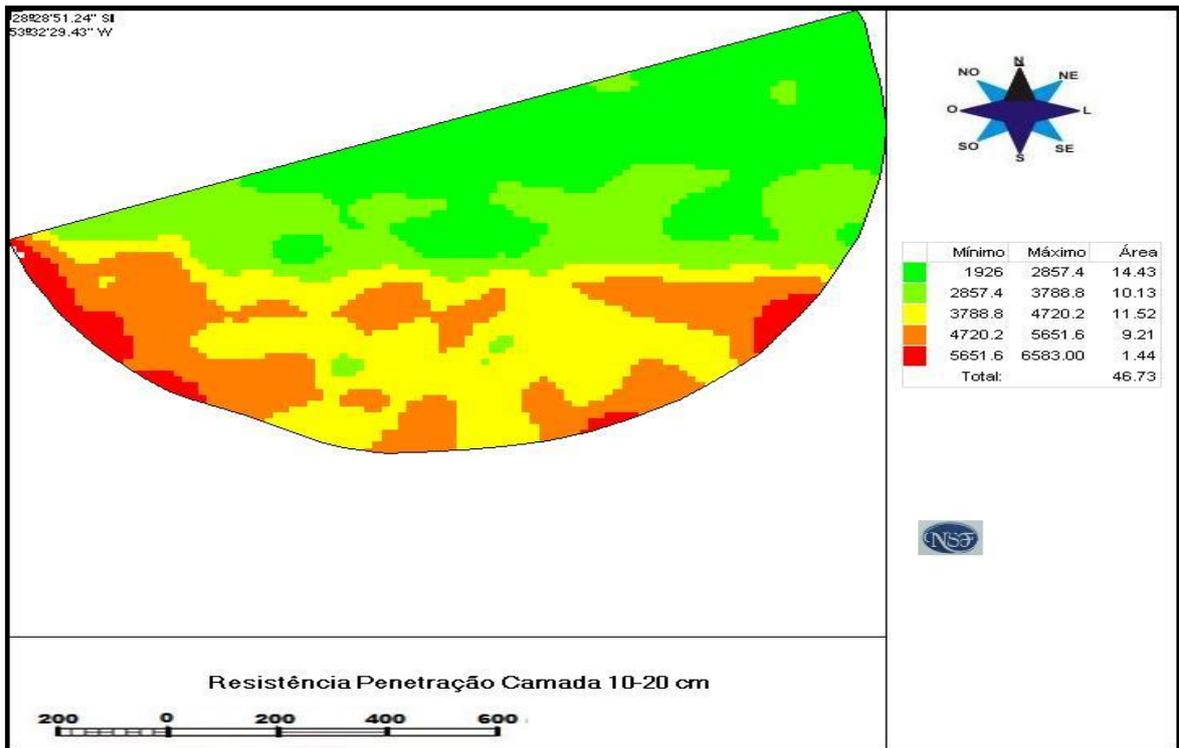


Figura 9 – Mapa da Resistência a Penetração camada 10-20 cm.
Fonte: Arquivos do autor.

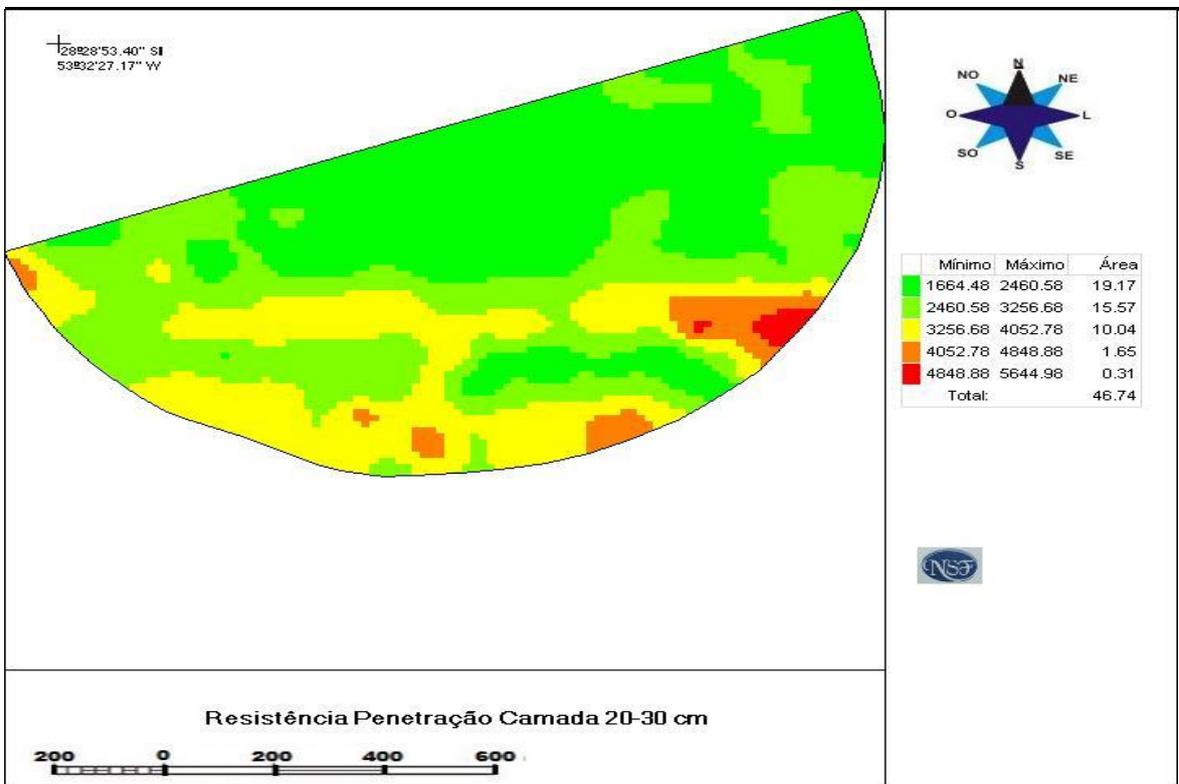


Figura 10 – Mapa da Resistência a Penetração camada 20-30 cm.
Fonte: Arquivos do autor.

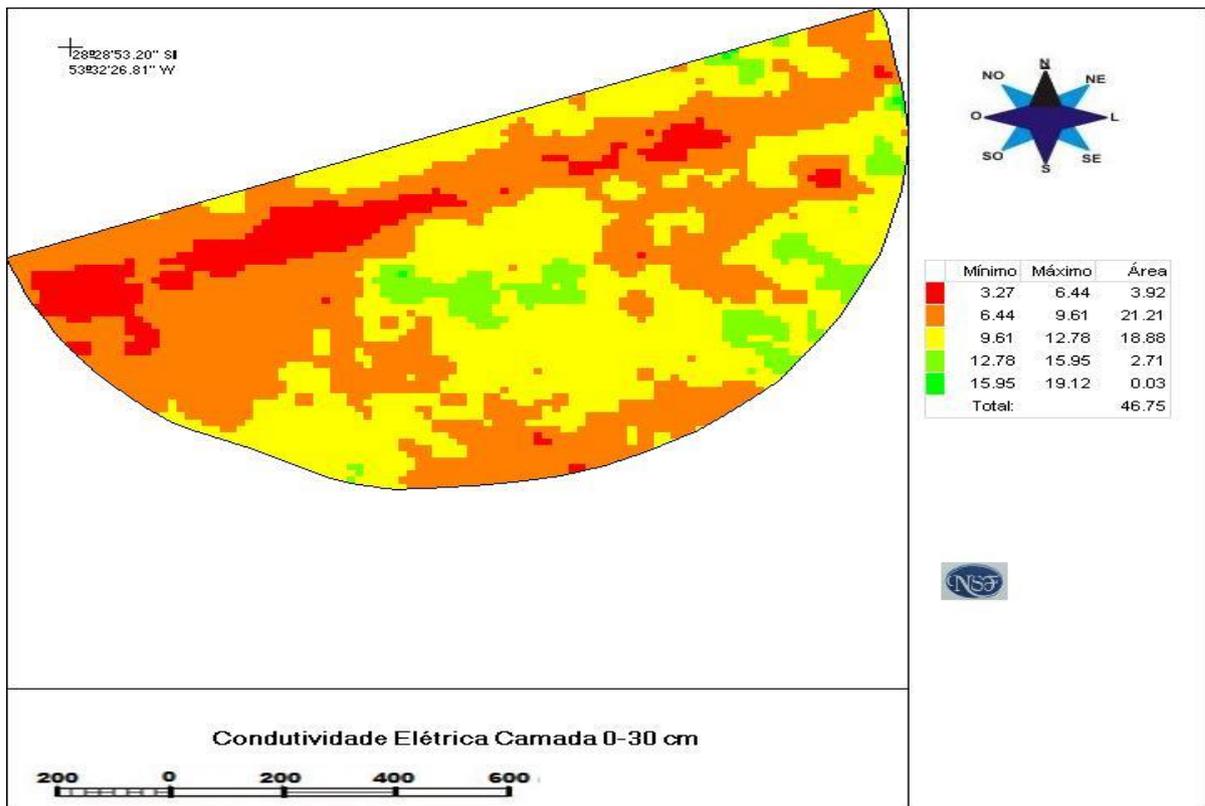


Figura 11 – Mapa da Condutividade Elétrica na camada 0-30 cm.
Fonte: Arquivos do autor.

Conforme as Figuras 11 e 12, podemos visualizar os mapas gerados para a Ce do solo. A condutividade tem ganhado importância para definir potenciais zonas de manejo, pois conforme a literatura, tem se correlacionado bem com o teor de argila do solo (Figura 13), fator importante para que possamos ter um desempenho, senão produtivo, mas econômico melhor da área. No fechamento dos custos de produção da gleba, verificou-se que a mesma teve uma rentabilidade menor que algumas áreas de sequeiro da propriedade. Isso em virtude do consumo de energia pelo pivô de irrigação e também pelo emprego de tecnologia que é maior para as áreas irrigadas.

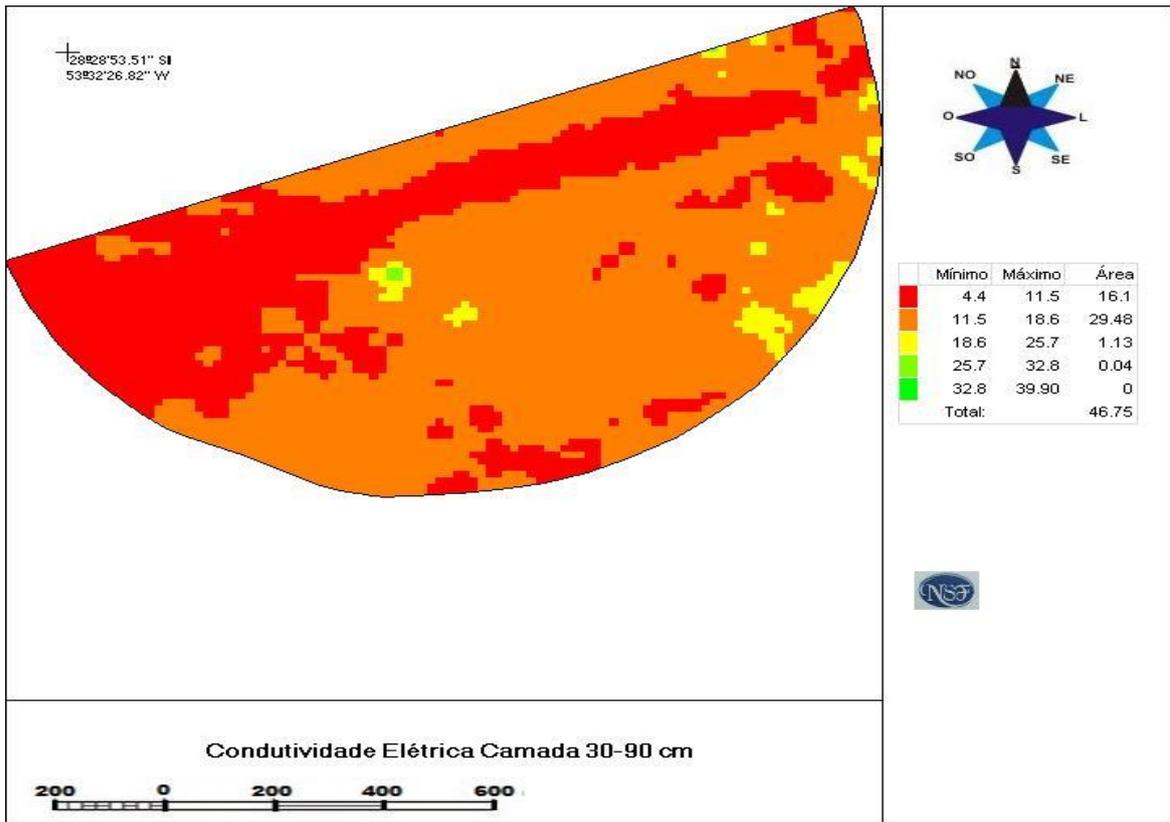


Figura 12 – Mapa de Condutividade Elétrica camada 30-90 cm.
Fonte: Arquivos do autor

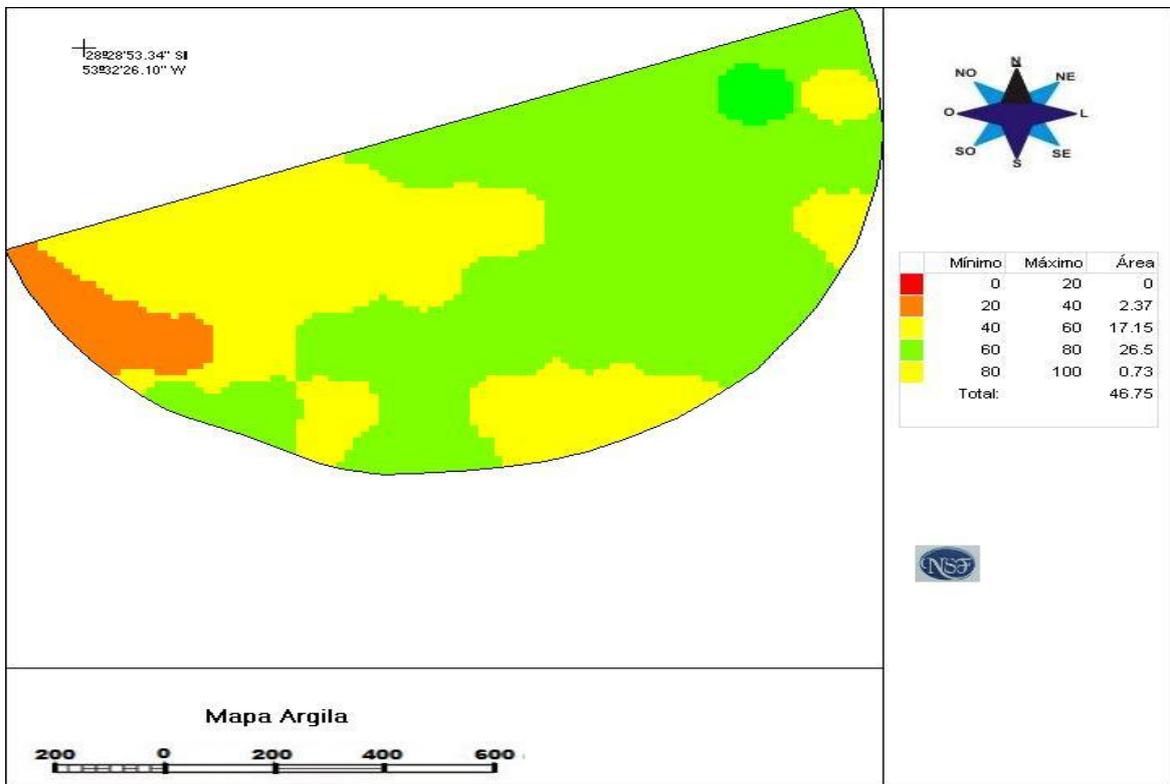


Figura 13 – Mapa de Argila.
Fonte: Arquivos do autor

Como pode-se observar no Anexo 1, fez-se a correlação entre todas as variáveis estudadas, e no que se refere a produtividade, nenhuma destas, RP (camadas 0-10cm, 10-20cm e 20-30cm), condutividade elétrica do solo (camadas 0-30cm e 30-90cm) tiveram correlação significativa com a produção no talhão.

Apenas os valores de argila tiveram uma correlação moderada com a condutividade elétrica do solo, o que era esperado e citado na literatura.

Os gráficos abaixo permitem uma melhor interpretação das correlações entre as classes de cada correlação feita. Os valores absolutos e relativos de cada análise encontram-se anexos ao trabalho. Pelas Figuras 14, 15 e 16, onde são analisados os dados das correlações entre mapas de produtividade e RP, percebe-se que a variação da produção ocorreu de modo que 25% da produtividade classificada como baixa a média foi obtida em áreas de baixa compactação de solo. Nota-se também que na medida em que aumenta a compactação nessa camada, os valores de produtividade também aumentam. Interessante também o fato de que quase não se percebe índices de alta produtividade em áreas de baixa compactação.

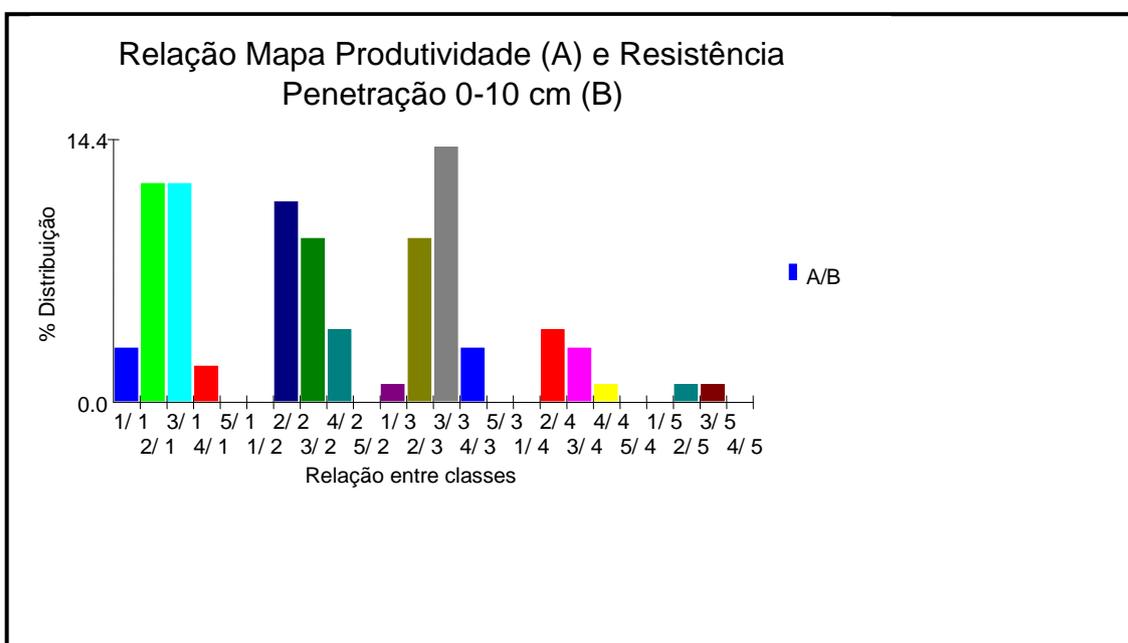


Figura 14 –Relação entre mapa de produtividade e RP camada 0-10 cm.
Fonte: arquivo do autor

Quando se observa o gráfico da RP na camada de 10-20cm (Figura 15), identifica-se que aproximadamente 45% da classe média produtividade, encontra-se em áreas de alta compactação de solo (classes 2/3; 3/3; 2/4; 3/4), e baixas produtividades em áreas de menor compactação (classes 1/1 e 2/1). Importante salientar que quase a totalidade do talhão nessa camada de solo avaliada encontra-se compactada (valores acima de 2 MPA), onde desses, 30 dos 47 ha, estão acima dos 3 MPA. Provavelmente isso seja herança do sistema convencional de plantio, o chamado “pé de arado”.

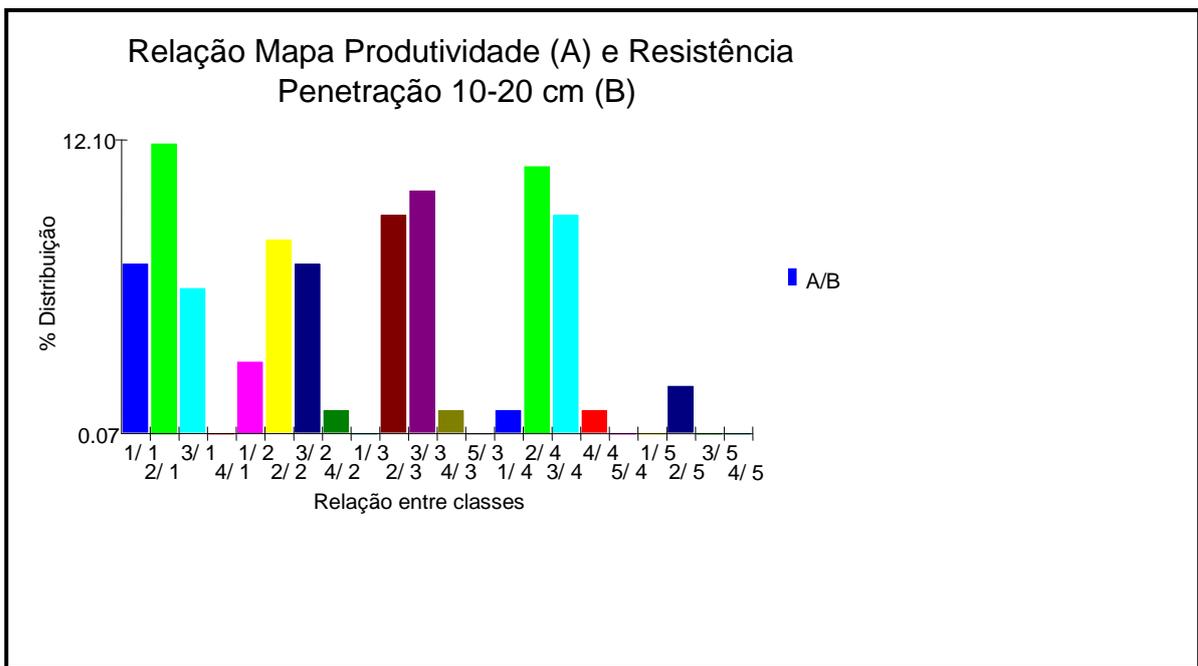


Figura 15 –Relação entre mapa de produtividade e RP camada 0-20 cm.
Fonte: arquivo do autor

Na relação entre classes de produtividade e RP de 20-30cm (Figura 16), ocorrem variações muito parecidas com as anteriores. Produtividades mais baixas em áreas de menor compactação (classes 1/1 e 2/1) e valores médios de produção em áreas de compactação média a alta (classes 3/2 e 3/3). Sendo que 42 ha do talhão nessa camada também se encontram compactados.

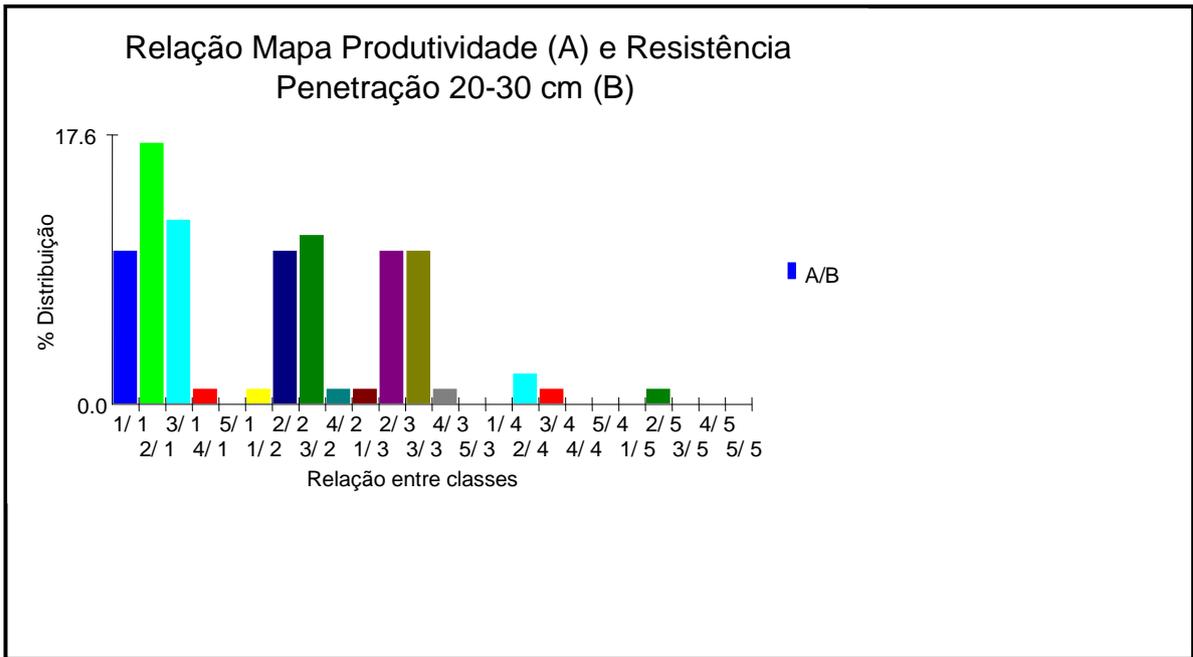


Figura 16 –Relação entre mapa de produtividade e RP camada 20-30 cm

Fonte: arquivo do autor

As Figuras 17 e 18,mostram a correlação entre mapas de produtividade e CE do solo. Na Figura 16 observou-se que a classe de produtividade média obteve maior porcentagem de ocorrência na classe de condutividade baixa a média (classes 2/1; 1/2; 2/2 e 3/2), e outra área considerável de baixa produtividade com condutividade média (classe 2/3). Pode-se identificar na Figura 17, produtividades médias em classes de Ce mais baixas (classes 2/1 e 3/1), do mesmo modo que produtividades maiores em classes de Ce mais baixas (classe 4/2). Ou seja, novamente não observou-se um padrão definido e claro na distribuição da produtividade entre as classes de Ce como as comparadas com a RP.

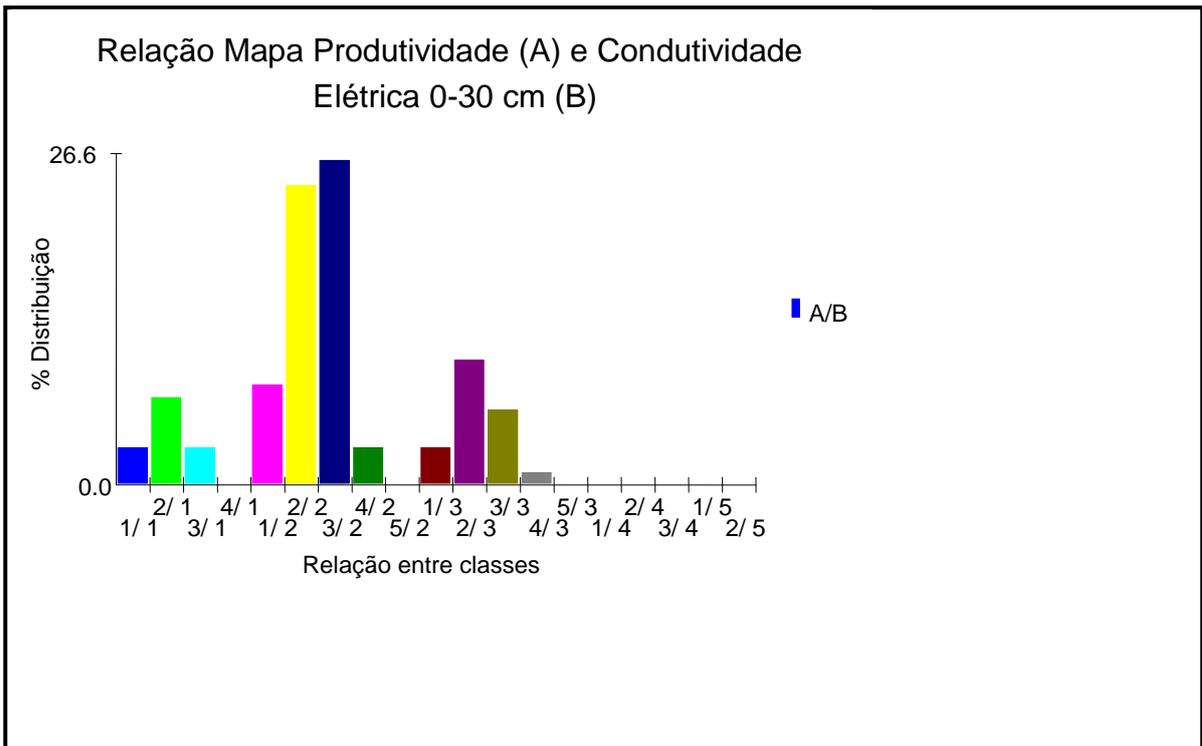


Figura 17 – Relação entre mapas de produtividade e Ce 0-30 cm.
 Fonte: arquivo do autor

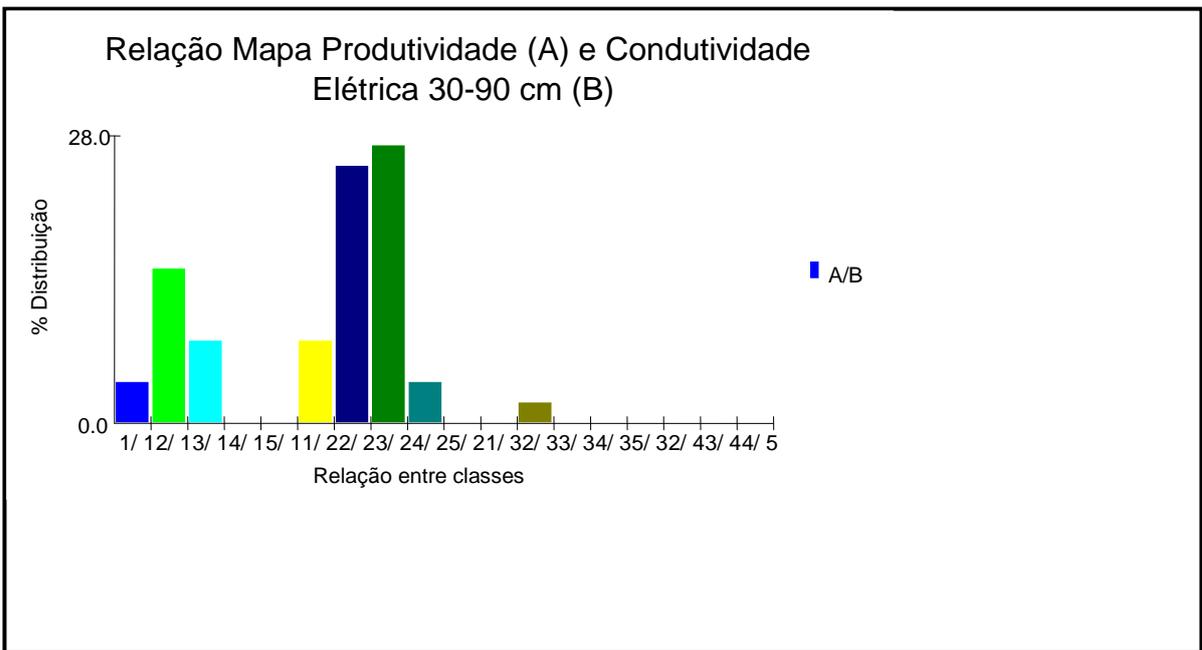


Figura 18 – Relação entre mapas de produtividade e Ce 30-90 cm.
 Fonte: arquivo do autor

Quando comparou-se os dados das diferentes camadas de RP com os valores da Ce (Figuras 19 a 24), pode-se inferir que existem três faixas de compactação em uma mesma faixa de Ce, nas duas camadas de condutividade avaliadas. Esses dados nos mostram que também não há uma relação definida

entre compactação e Ce do solo, contrariando o que diz a literatura, a qual faz referência à interação entre porosidade e Ce.

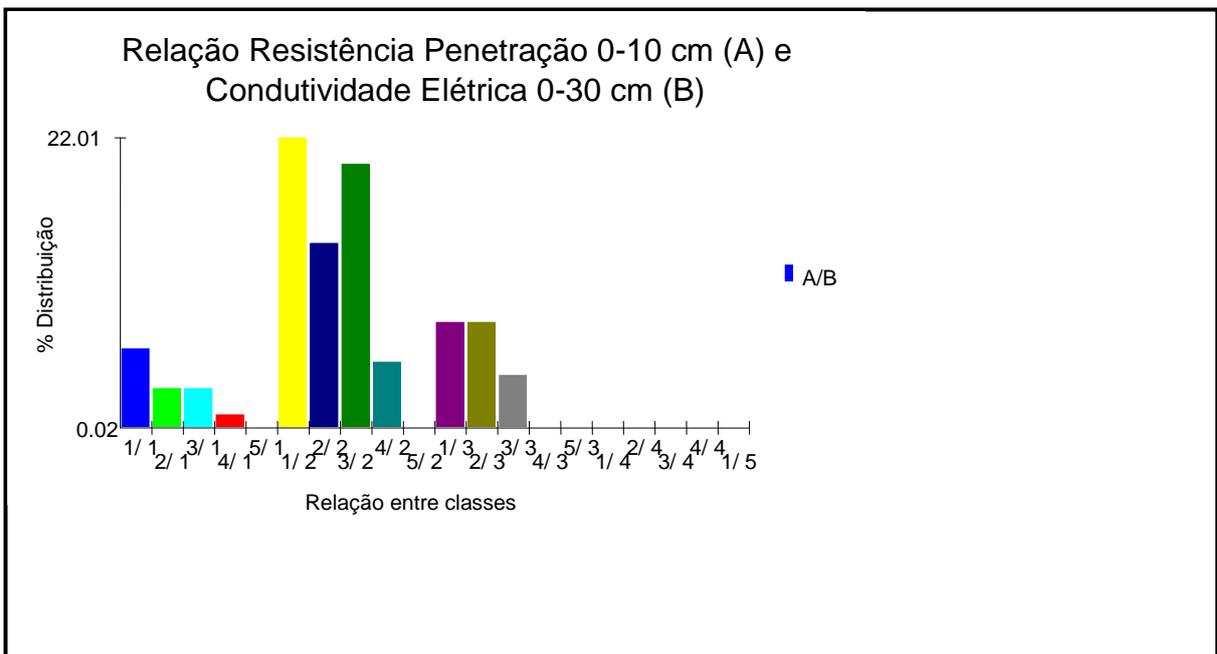


Figura 19 – Relação entre RP camada 0-10 cm e Ce camada 0-30cm
 Fonte: arquivo do autor

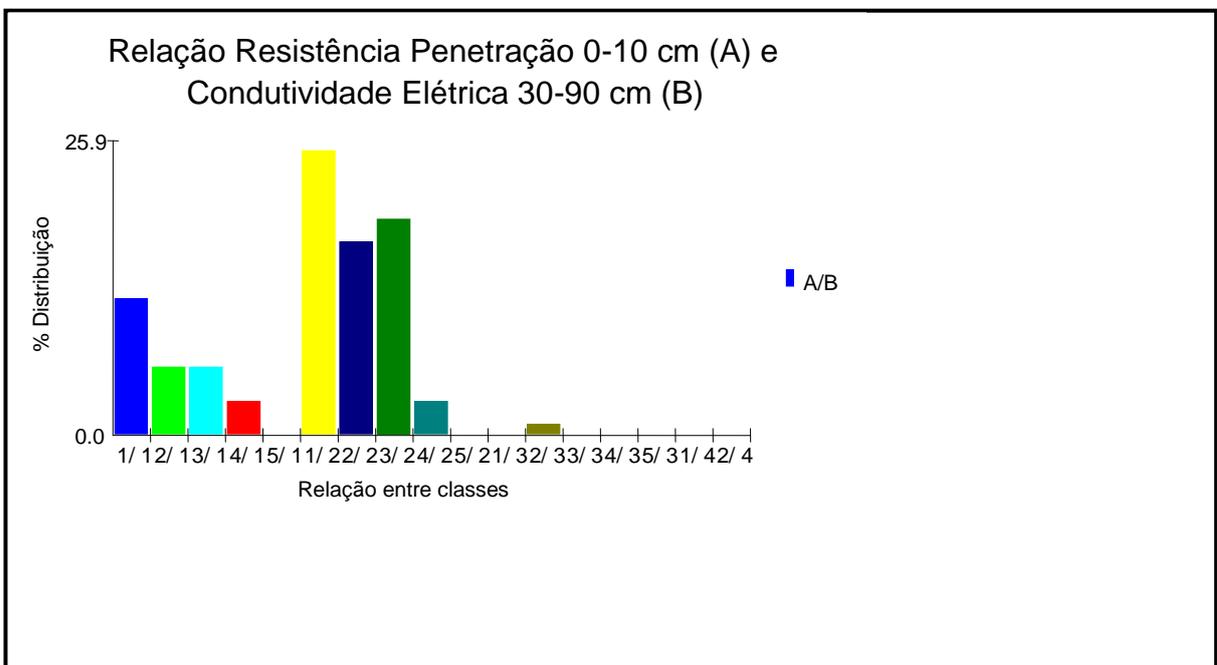


Figura 20 – Relação entre RP camada 0-10 cm e Ce camada 30-90 cm
 Fonte:arquivo do autor

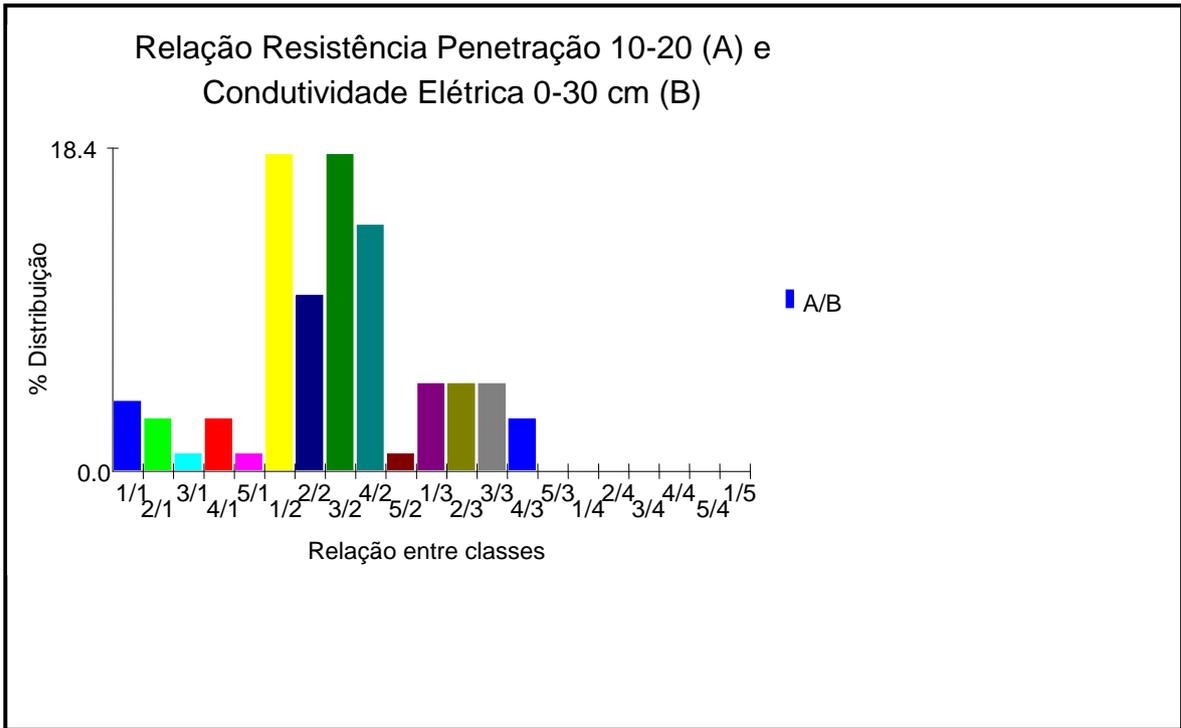


Figura 21 – Relação entre RP camada 10-20 cm e Ce 0-30 cm.
 Fonte: arquivo do autor

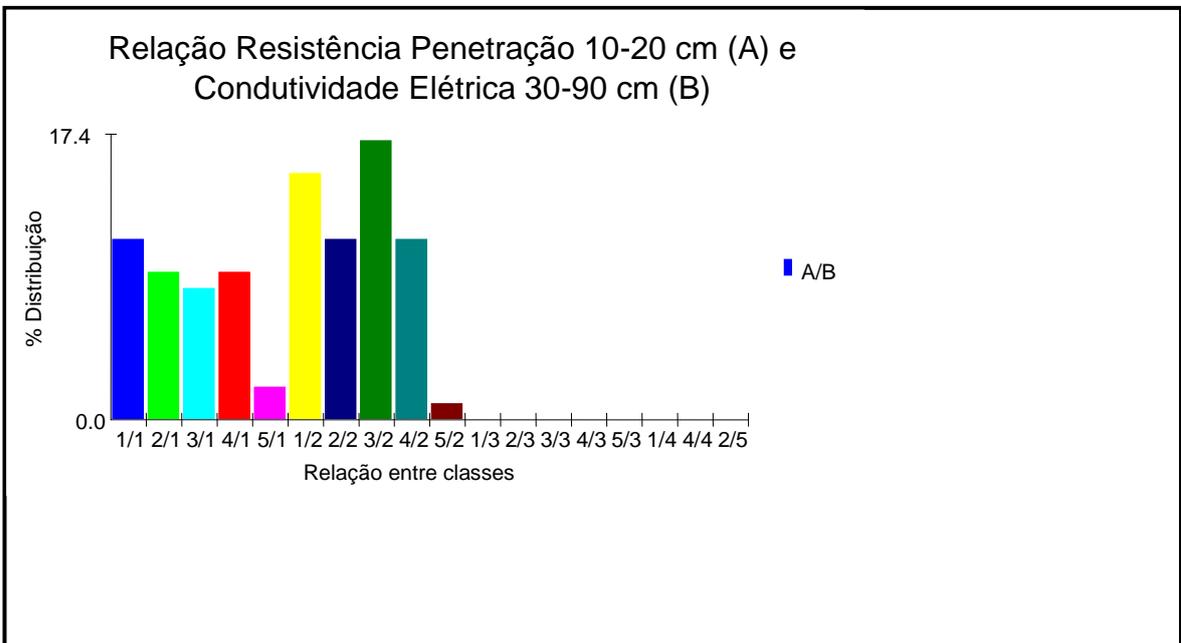


Figura 22 – Relação entre RP camada 10-20 cm e Ce 30-90 cm.
 Fonte: arquivo do autor

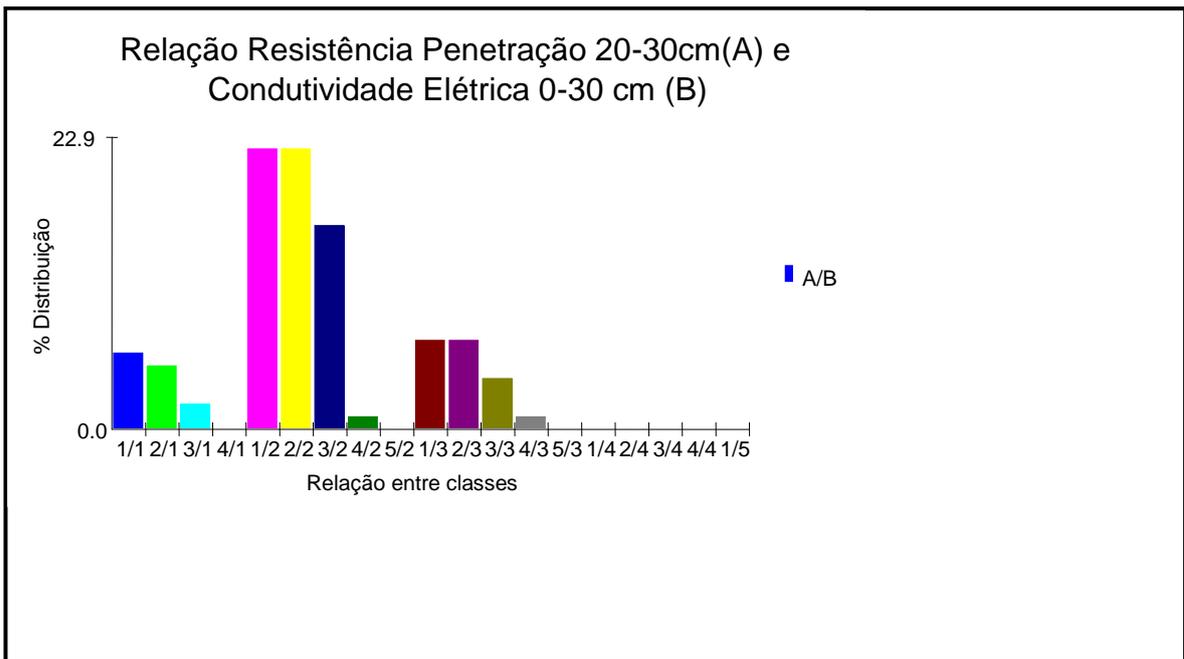


Figura 23 - Relação entre RP camada 20-30 cm e Ce camada 0-30 cm.
 Fonte: arquivo do autor

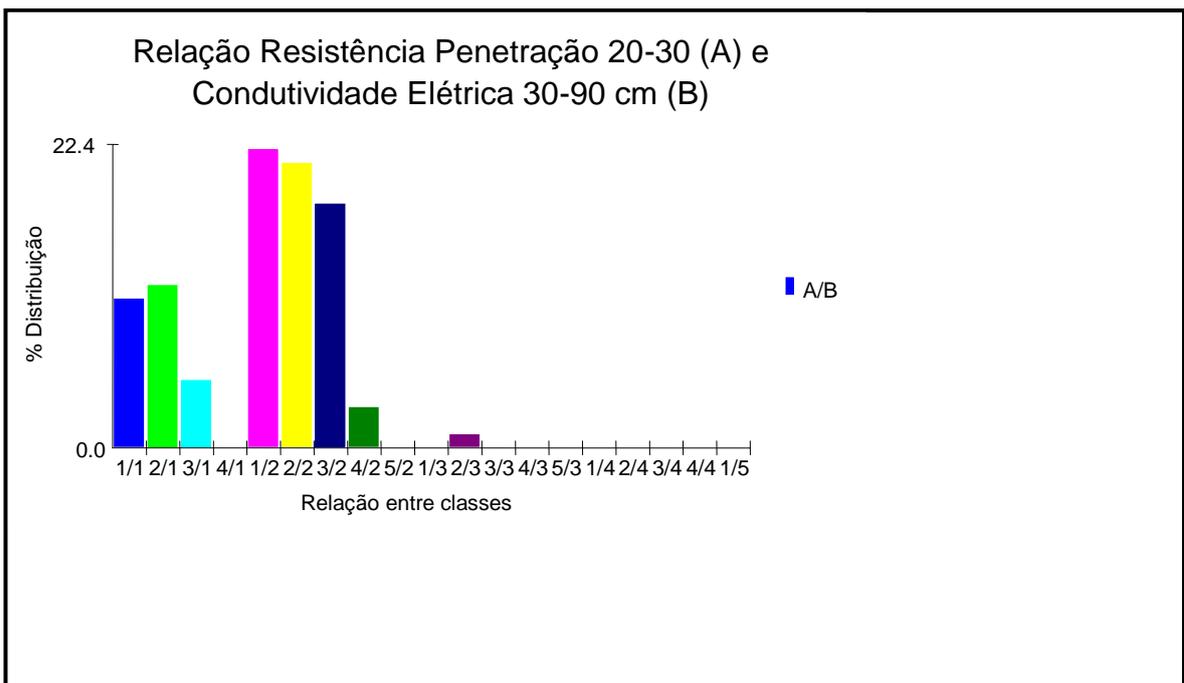


Figura 24 - Relação entre RP camada 20-30 cm e Ce camada 30-90 cm.
 Fonte: arquivo do autor

Ao analisarmos os dados de correlação entre as classes de argila com as classes de Ce (Figuras 25 e 26), observou-se que apresentaram uma correlação moderada, sendo o fator de maior correlação do estudo desse trabalho, resultado esse que concorda com a revisão bibliográfica realizada. Sendo assim deve-se dar

maior atenção a esse fator, uma vez que ele pode nos direcionar para a tomada de decisão na identificação e delimitação de zonas de manejo na área.

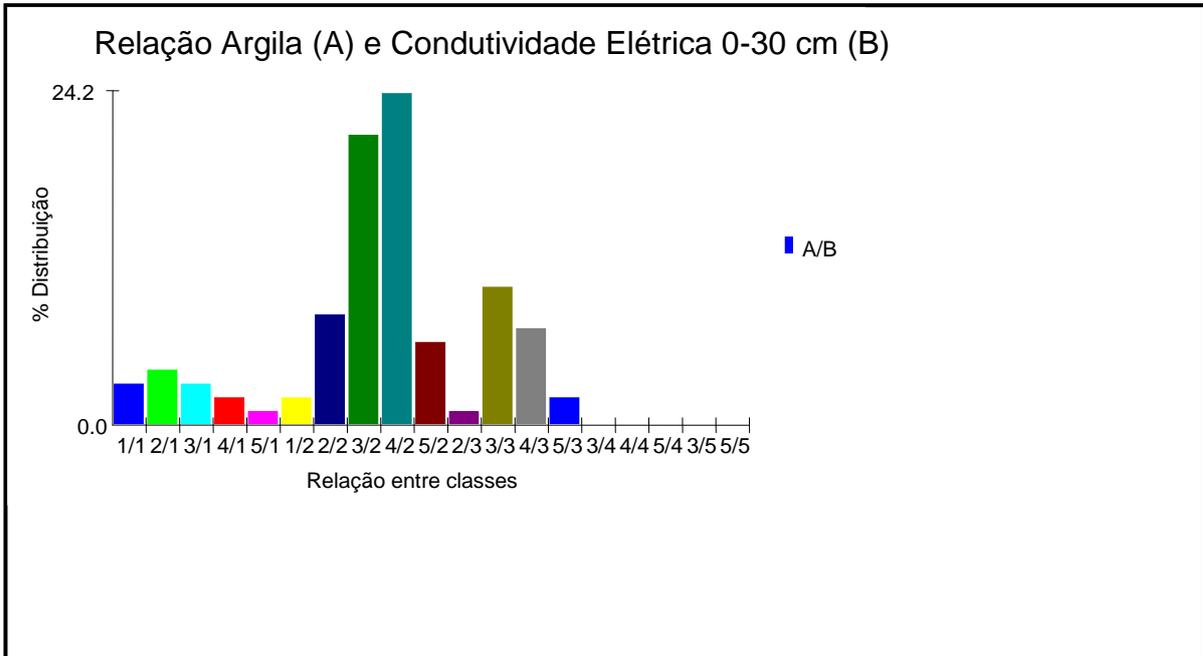


Figura 25 – Relação entre argila e Ce camada 0-30 cm
 Fonte: arquivo do autor

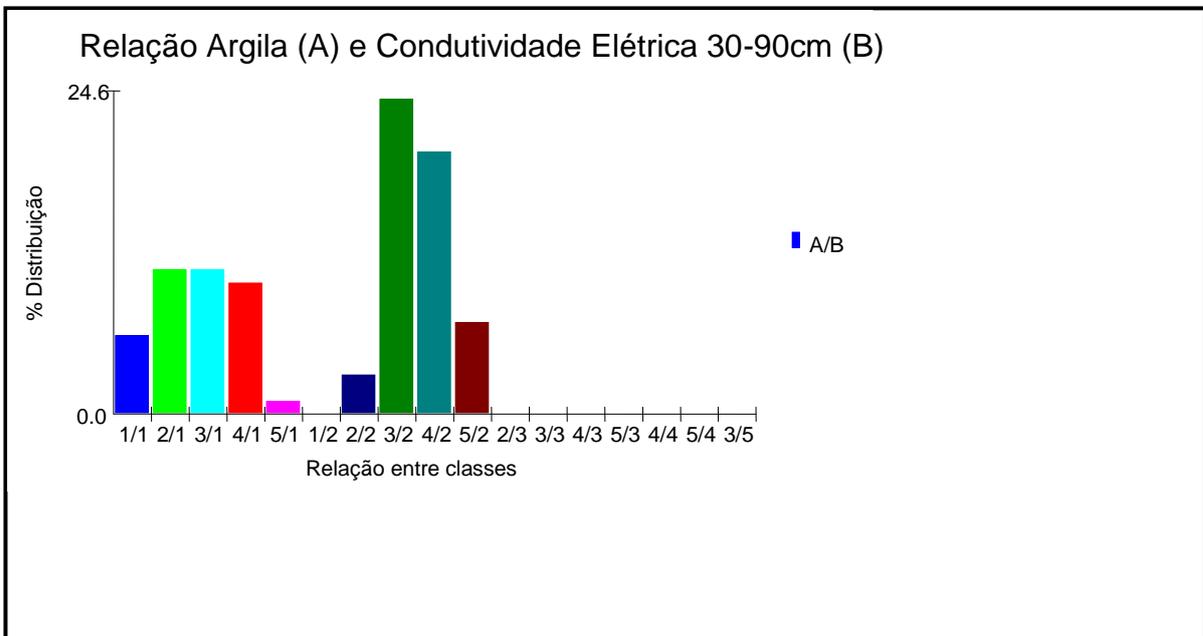


Figura 26 – Relação entre argila e Ce camada 30-90 cm
 Fonte: arquivo do autor

Pelos gráficos da Figura 27 foi possível analisar que o teor de argila mesmo tendo uma correlação fraca com a compactação apresentou valores como aqueles esperados e citados na literatura, onde zonas com maior teor de argila apresentaram maiores classes de RP do solo. Um dado que merece atenção é o da Figura 27, com relação a camada RP 10-20cm (camada de solo mais compactada do talhão), em que grande extensão da gleba apresenta teores de argila elevados e teores de compactação mais baixos (classes 3/1; 4/1;5/1).

Os resultados encontrados nesse trabalho, embora restritos a duas áreas, indicaram que para o sistema plantio direto em área irrigada, os valores de resistência a penetração são superiores ao tido como restritivo ao crescimento radicular (2,0 MPa) Santi (2007) e difere de Hauschild (2013), que em seu trabalho conseguiu identificar e correlacionar zonas de baixa produção, com teores mais baixos de compactação que o do presente trabalho.

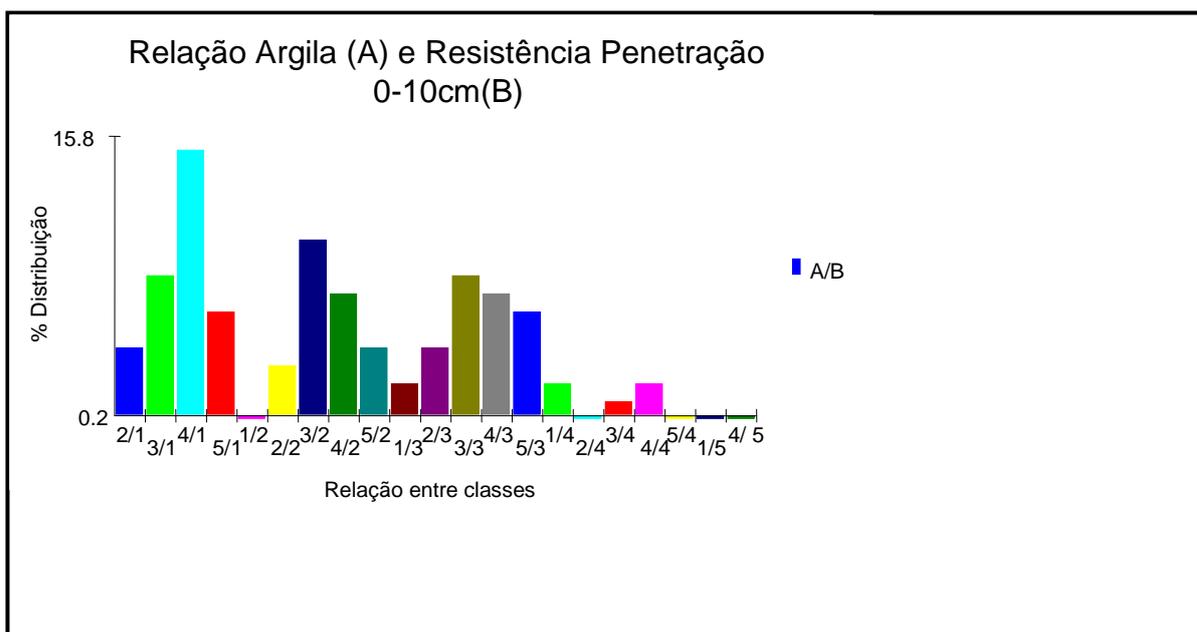


Figura 27 – Relação entre argila e RP camada 0-10 cm

Fonte: arquivo do autor

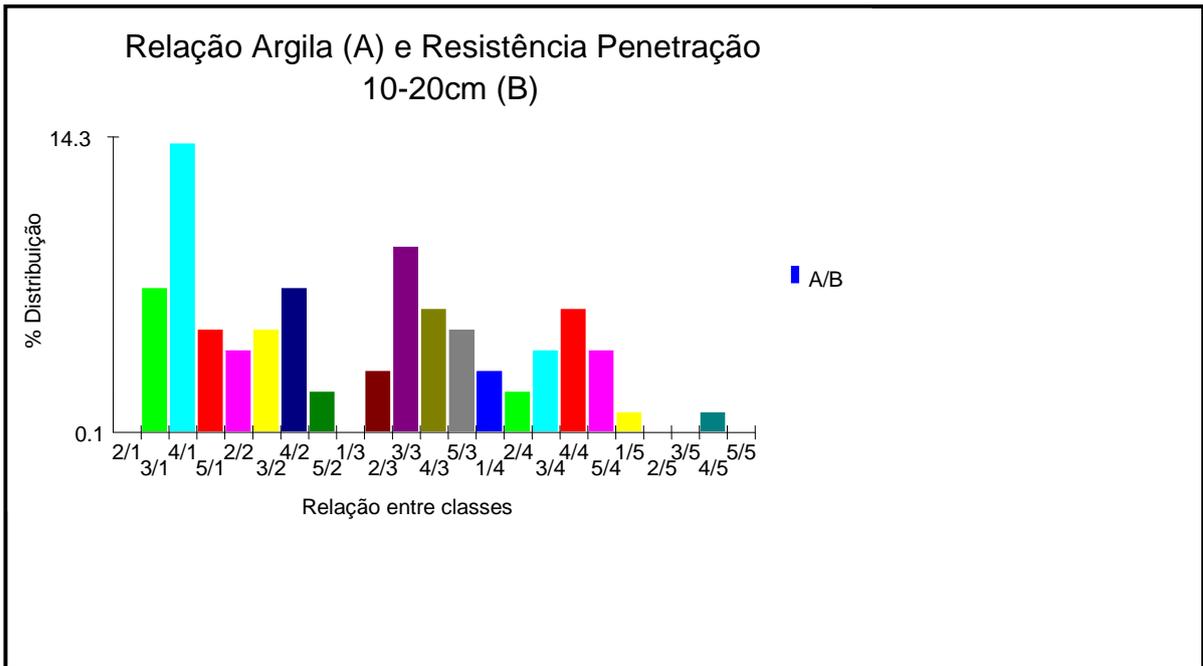


Figura 28 – Relação entre argila e RP camada 10-20 cm

Fonte: arquivo do autor

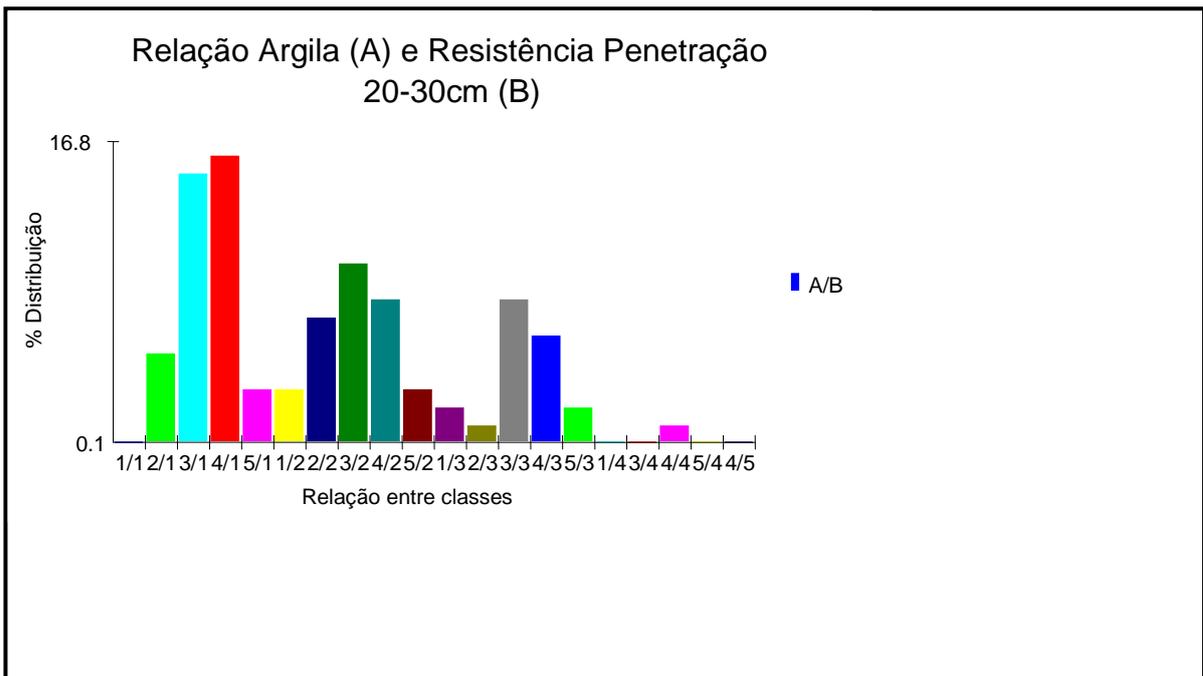


Figura 29– Relação entre argila e RP camada 20-30 cm

Fonte: arquivo do autor

Quando analisamos a Figura 29, observou-se que a mesma apresentou a menor correlação dentre as relações de argila e RP analisadas. Observamos que os dados apresentaram-se dentro de uma normalidade esperada para uma camada menos compactada, ou seja, os teores de argila mais altos apresentam camadas menos compactadas.

6 CONCLUSÕES

Nas condições de trabalho realizadas, não conseguiu-se identificar as causas da baixa produtividade do talhão, e nem mesmo as causas da variabilidade do mesmo, uma vez que não houve correlação entre nenhum fator.

Ressalta-se que por se tratar de uma área irrigada esperava-se um desempenho de produtividade mais satisfatório, e há um histórico de desempenho semelhante nos anos passados. Assim, esperava-se que, após a identificação da compactação de solo, fosse esse o fator que mais explicaria as causas dessa variabilidade, não ocorrendo, portanto. Fato esse que nos leva a concluir que em área irrigada a compactação de solo não é capaz de afetar, com tanta severidade, até os níveis detectados, o desenvolvimento da cultura. Mesmo porque, tendo disponibilidade de água sempre que preciso, esse fator acaba sendo pouco limitante. No entanto, ressalta-se sempre a busca por um manejo de solo, que vise o melhoramento de perfil de solo e que possibilite um melhor desenvolvimento radicular, e conseqüentemente uma melhor absorção de nutrientes pelas culturas.

Um fato que merece ser mais bem explorado é referente à relação da condutividade elétrica do solo e sua relação com a argila, para a determinação de unidades de manejo diferenciado na gleba. Outro ponto importante, é o cruzamento de maior número de mapas de produtividade para a determinação dessas zonas, sendo que o mapa gerado nesse trabalho foi apenas o primeiro da área, e que pode explicar também a baixa correlação entre as variáveis estudadas. Entretanto, para esse estudo, os objetivos embora não tendo sido plenamente alcançados, permitem que futuramente novas análises sejam desenvolvidas sobre o tema em questão.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, G. R. et al. **Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto.** Revista Agrotecnologia. Anápolis – GO, v. 3, n. 2, p. 62 - 72, 2012.

ALVES, V. G.; ANDRADE, M.J.B.; CORRÊA, J.B.D.; MORAES, A.R.; SILVA, M.V. **Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em função da compactação e classes de solo.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 27, n. 1, p. 44-53, 2003.

AMADO, T. J. C. et al. **Projeto Aquarius - Cotrijal: pólo de agricultura de precisão.** Revista Plantio Direto, v. 91, n. 1, p. 39- 47, Passo Fundo, jan./fev, 2006.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. **Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com rendimentos de feijão e milho irrigados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 33, p. 831-843, 2009.

.AMADO, T. J. C. **Notas de aula.** Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão. Santa Maria: UFSM, 2013

ANTUNIASSI, U. R., BAIO, F. H. R., & SHARP, T. C. **Agricultura de precisão.** 2007. Disponível

em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/1622_000fkl0f2ta02wyiv80sq98yqf7fpgf0.pdf> Acesso em: 06 jul 2014.

CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. **A importância da modelagem da anisotropia na distribuição espacial de variáveis ambientais utilizando procedimentos geoestatísticos.** Anais X SBSR, INPE. P. 395-402. Foz do Iguaçu, 21-26 abril, 2001

CARLESSO, R. **Plantio Direto em Solos Arenosos: Alternativas de Manejo Para a Sustentabilidade Agropecuária.** Editora Palloti, p 21-47, Santa Maria, 1998.

CARVALHO FILHO, I. **Agricultura de Precisão - Boletim técnico**. 2ª Ed., Brasília, 2011.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. **Como Avaliar Similaridades entre Mapas de Produtividade**. Relatório Técnico 10. EMBRAPA, 1ª Ed., p. 9, Campinas, 2001.

CASTRO, C. N.; MOLIN, J. P. **Definição de unidades de gerenciamento do solo através da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas utilizando classificação**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, Piracicaba, Anais, 2004.

CAVALCANTE, E.G.S. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejo**. Revista Brasileira do Solo, p. 1329-1339, 2007.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. **Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2011. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1069>. Acesso em: 13/03/2014.

COSTA, M. M. **Condutividade elétrica aparente do solo como ferramenta para a agricultura de precisão em uma área sob cerrado**. Dissertação (Engenharia Agrícola) Universidade de Viçosa, MG, 2011. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/13/TDE-2011-12-08T105834Z-3388/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 23 jun 2014.

DURIGON, R. **Aplicação de Técnicas de Manejo Localizado na Cultura do Arroz Irrigado (*Oriza sativa L.*)**. Tese (Doutorado), p. 20, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2007.

FALKER, **Manual Medidor Eletrônico – PenetroLog**. 2009

GENÚ, A. M. **Apostila disciplina de análise multivariada**. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”. Departamento de Ciências Exatas. Piracicaba, Julho de 2004. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/tadeu/aline.pdf>>. Acesso em: 03 jul 2014.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. **Mapeamento da Produtividade**. Livro Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. Cap. 4, p. 88, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2004.

GIOTTO, E. **Modelos digitais – Estruturação sistema**. CR Campeiro 7. Santa Maria: UFSM / Laboratório de Geomática. 2011

GIOTTO, E; CARDOSO, C.D.V; SEBEM, E. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7 – Volume I**. Santa Maria: UFSM / Laboratório de Geomática, 2013

GIOTTO, E. **Caderno CR Campeiro Nº 1 : Estruturação de Mapas de Produtividade**. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/read/0011028064e2bc7693dfb>>. Acessado em : 17 julho 2014

GIOTTO, E. **Projeto CR Campeiro**. Disponível em: <<http://www.crcampeiro.net/novo/Pages/apresentacao> >. Acesso em: 07 Agosto 2014.

HAUSHILD, F. E. G. **Técnicas de agricultura de precisão para definição de zonas de manejo de solo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KRAMER, L. F. M. **Atributos químicos e físicos de um Latossolosob plantio direto em zonas de manejo com diferentes produtividades**. Dissertação (Mestrado) Disponível em: <http://unicentroagronomia.com/destino_arquivo/dissertacao_luiz_fernando_kramer.pdf>. Acesso em: 23/10/12.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.** UNESP/Rio Claro, Lab. Geomática, texto didático 02, p. 20, 2000. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 09 set 2014

MACHADO, P. L. O. A. et al. **Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolosob plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, n.6, p.1023-1031, jun. 2006.

MANOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Análise econômica da agricultura de precisão.** 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, São Pedro - SP, 2006.

MAPA. **Agricultura de precisão - Boletim técnico.** 2ª Ed., Brasília – DF, 2011.

MAPA. **Agricultura de precisão - Boletim técnico.** 3ª Ed., Brasília – DF, p. 9-10. 2013.

MAZZA et al. **O manejo racional dos solos e a sustentabilidade na cafeicultura irrigada.** Encarte Técnico. (2001). Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/76AB6C6DE8D9F53A83257AA300682CD1/\\$FILE/Encarte%2094.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/76AB6C6DE8D9F53A83257AA300682CD1/$FILE/Encarte%2094.pdf)>. Acesso em: 12 mar 2014.

MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.22, n.1, p.83-92, janeiro, 2002.

MOLIN, J. P. et al. **Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.25, n.2, p.420-426, maio/ago. 2005.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – O gerenciamento da variabilidade.** 3ª Ed., p. 86, Piracicaba, 2008.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. **Aliada potencial**. Brasília - DF, 2006. Disponível em:<<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Molin/leb447/Arquivos/CE/CE2006.pdf>>. Acesso em 12 mar 2014.

OLIVEIRA, P. R. et al. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação**. Revista Brasileira da Ciência do Solo. vol.36 no.2 Viçosa, MG. Mar./Apr. 2012.

RÉQUIA, Gustavo Heydt **Desenvolvimento de aplicativos CR Campeiro MóBILE. Caso de teste: Sistema Operacional Android** 70p.; Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SÁ,M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.**Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Documentos 136, EMBRAPA, 1ª Ed., p.10, Planaltina – DF, 2005.

SANTI, A. L.; DELLA FLORA, L. P. **Monitoramento da compactação do solo em áreas de lavoura através do mapeamento da resistência à penetração**. Revista Plantio Direto, edição 96, novembro/dezembro de 2006. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade de solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), p. 41,48, 125, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SHIRATSUCHI, L. S. **Conceitos e considerações práticas do sistema de geração de mapas de produtividade na cultura de grãos**. Documentos 126, EMBRAPA, 1ª Ed.,p. 11 – 14, Planaltina - DF (2004).

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Variabilidade espacial da resistência a penetração em plantio direto**. Ciência Rural, p. 399-406, 2004.

SILVA, V. L. **Qualidade estrutural de um Latossolosob sistemas de culturas em plantio direto de longo prazo.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná.Curitiba. 2009. Disponível em: <http://www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/dissertacao/2009_08_28_silva.pdf>. Acesso em 24 abr 2014.

STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L. A.**Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão.** Engenharia Agrícola, v.26, n. 1, p. 215-223, Jaboticabal, jan./abr, 2006.

STONE,L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.**Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto.** Documento 19, EMBRAPA, 1ª Ed., p. 11, Santo Antônio de Goiás – GO, 2006.

URACH, F. L.**Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação.**Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e solo.) p. 16, Santa Maria – RS, 2007. Disponível em <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Felipe_Urach_Dissertacao.pdf>. Acesso em: 12 jun 2014.

VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BEITTINI, C. **Geoestatística aplicada à agricultura de precisão.** p. 37-56, Rio de Janeiro – RJ, 2004.

TAMAGI, J.T. **Variabilidade espacial da uniformidade da lâmina de água aplicada por sistemas fixos de irrigação por aspersão.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná. P. 28. Cascavel – PR, 2012. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede//tde_arquivos/1/TDE-2013-01-28T140327Z-898/Publico/Jorge.pdf>. Acessado em: 25 set 2014.

APÊNDICE 1 – Análise de correlações



Matriz de Correlação

Matriz de Correlação

Variáveis de:

| | MP_UNIDO | RPen_0_10 | RPen_10_20 | RPen_20_30 | ce_0_30 | ce_30_90 | argila |
|------------|----------|-----------|------------|------------|---------|----------|--------|
| MP_UNIDO | 1.000 | .096 | .184 | .187 | .063 | .080 | .139 |
| RPen_0_10 | .096 | 1.000 | .877 | .594 | -.071 | -.059 | -.320 |
| RPen_10_20 | .184 | .877 | 1.000 | .855 | -.002 | -.012 | -.283 |
| RPen_20_30 | .187 | .594 | .855 | 1.000 | .130 | .164 | -.058 |
| Ce_0_30 | .063 | -.071 | -.002 | .130 | 1.000 | .714 | .370 |
| ce_30_90 | .080 | -.059 | -.012 | .164 | .714 | 1.000 | .426 |
| argila | .139 | -.320 | -.283 | -.058 | .370 | .426 | 1.000 |