

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FÍSICA

SILVANA TRAVINSKI FERREIRA

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO
SATURADO COM PARÂMETROS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO SUBMETIDO A DOIS DIFERENTES MANEJOS

PONTA GROSSA
2008

SILVANA TRAVINSKI FERREIRA

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO COM PARÂMETROS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO SUBMETIDO A DOIS DIFERENTES MANEJOS

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de Física.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Meira Cássaro

PONTA GROSSA
2008

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Processos Técnicos BICEN/UEPG

F383a Ferreira, Silvana Travinski
Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a diferentes manejos / Silvana Travinski Ferreira. Ponta Grossa, 2008.
100 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Concentração: Física), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Orientador: Prof^o. Dr^o. Fábio Augusto Meira Cássaro

1. Solo – condutividade hidráulica. 2. Solo – sistemas de manejo. 3. Solo – propriedades físicas. 4. Latossolo. 5. Permeâmetro de Guelph. I. Cássaro, Fábio Augusto Meira. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Ciências. III.T.

CDD: 631.4

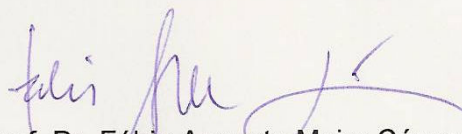
TERMO DE APROVAÇÃO

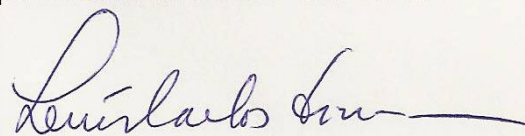
SILVANA TRAVINSKI FERREIRA

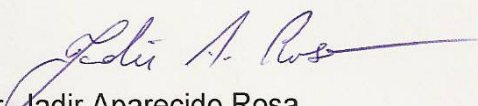
"AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO COM PARÂMETROS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO SUBMETIDO A DOIS DIFERENTES MANEJOS"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências - Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

Orientador:


Prof. Dr. Fábio Augusto Meira Cássaro
Departamento de Física - UEPG/PR.


Prof. Dr. Luis Carlos Timm
Departamento de Engenharia Rural – UFPel/RS


Dr. Jadir Aparecido Rosa
Instituto Agrônômico do Paraná - PONTA GROSSA/PR.

Ponta Grossa, 03 de Julho de 2008.

RESUMO

Algumas propriedades físicas do solo sofrem alterações devido ao manejo nele empregado. É o manejo que em grande parte produz as principais modificações na estrutura dos solos. Os sistemas de manejo do solo mais pesquisados são o plantio direto e o convencional. O plantio direto surgiu como uma alternativa ao convencional, portanto, estudos comparativos das alterações produzidas pelos dois tipos de sistemas de manejo mencionados podem fornecer subsídios importantes na análise das vantagens e desvantagens de um sistema em relação ao outro. O objetivo deste trabalho foi o de determinar a condutividade hidráulica do solo saturado de um Latossolo Vermelho distrófico submetido ao sistema de manejo em plantio direto, plantio convencional e floresta secundária (área que está em estágio de sucessão vegetacional) e, correlacionar essa condutividade hidráulica com outras propriedades físicas do solo, tais como a densidade de partículas, as frações granulométricas (areia, silte e argila), a densidade do solo, a porosidade total do solo, a microporosidade e a macroporosidade do solo. O parâmetro condutividade hidráulica do solo saturado foi obtida com o uso do permeâmetro de Guelph. Utilizou-se uma malha retangular composta de 35 pontos amostrais. As propriedades físicas investigadas foram analisadas utilizando-se a estatística clássica, a qual está baseada no cálculo de médias, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo e coeficientes de assimetria e curtose. Juntamente com essa análise foram feitos os histogramas para verificar a natureza da distribuição e a variabilidade das variáveis levantadas e gráfico boxplot para identificar pontos discrepantes. Para uma visualização do seu comportamento espacial, mapas das propriedades de cada sistema de manejo foram categorizados. Com o permeâmetro de Guelph foi possível determinar que o sistema plantio convencional apresentou valores médios maiores do que o plantio direto. A condutividade hidráulica do solo saturado não apresentou correlação com as demais propriedades do solo. Somente os valores médios da condutividade hidráulica do solo saturado, nos sistemas plantio direto e convencional apresentaram correlação com os valores médios da macroporosidade do solo.

Palavras-chave: condutividade hidráulica do solo saturado, permeâmetro de Guelph, propriedades físicas do solo, sistemas de manejo.

ABSTRACT

Some soil physical properties alter due to the management conducted on them. It is the management that largely produces the main modifications in the soil structure. Soil non harvest and conventional managements are the more investigated cultivation methods. Non harvest appeared as an alternative to the conventional, nevertheless, comparative studies of the alterations produced by those two types of management systems can supply important subsidies in the analysis of the advantages and disadvantages of a system in relation to the other. The objective of this work was to compare the saturated soil hydraulic conductivity of a Red Latossol submitted to non harvest, conventional tillage and secondary forest and, to correlate it to other physical properties of the soil, such as soil particle density, soil particle distribution (sand, silte and clay), soil bulk density, soil micro and macro porosity. The saturated soil hydraulic conductivity was obtained using a Guelph permeameter. A rectangular mesh composed of 35 measurement positions was used. The investigated physical properties were analyzed using the classical statistics, which is based on the calculation of averages, standard deviation, variation coefficient, minimum and maximum values and asymmetry and curtosis coefficients. Also, there were made histograms to verify the nature of the distribution and the variability of the measured variables and boxplot graphs to identify discrepant points. For a visualization of their variability, maps of these properties were performed. As compared to the non harvest, the conventional tillage system presented a larger saturated soil hydraulic conductivity. The soil saturated hydraulic conductivity did not present correlation with no other properties of the soil than soil macroporosity, for both investigated soil tillage management.

Keywords: hydraulic conductivity of the saturated soil, Guelph permeameter, physical properties of the soil, management systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.2.1	Esquema ilustrativo do permeâmetro de Guelph (SOIL MOISTURE, 2005)	19
Figura 2.1.1	Sistema plantio convencional (FAVORETTO, 2007).....	27
Figura 2.1.2	Sistema plantio direto (FAVORETTO, 2007).....	27
Figura 2.1.3	Floresta secundária (FAVORETTO, 2007).....	28
Figura 2.2.1	Esquema da grade amostral utilizada nas áreas com sistemas de plantio direto, plantio convencional e floresta	29
Figura 2.4.1	Exemplo de um gráfico do tipo boxplot (TRIOLA, 1999).....	38
Figura 3.1.1	Histogramas para a condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em cm/h nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL	41
Figura 3.1.2	Histogramas para o logaritmo neperiano da condutividade hidráulica do solo saturado ($\ln(K_{sat})$) em cm/h nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL.....	43
Figura 3.2.1	Histogramas para a densidade de partículas (d_{part}) em g/cm^3 nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL	46
Figura 3.3.1	Análise mecânica dos solos nos sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	48
Figura 3.3.2	Histogramas para a propriedade areia nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL.....	49
Figura 3.3.3	Histogramas para a propriedade silte nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL	50
Figura 3.3.4	Histogramas para a propriedade argila nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL.....	50
Figura 3.4.1	Histogramas para a densidade do solo (d_s) em g/cm^3 nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL ..	53
Figura 3.5.1	Porosidade total, microporosidade e macroporosidade nos sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL ...	55

Figura 3.5.2	Histogramas para a propriedade porosidade total nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL	56
Figura 3.5.3	Histogramas para a propriedade microporosidade nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL	57
Figura 3.5.4	Histogramas para a propriedade macroporosidade nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL ..	57
Figura 3.6.1.1	Mapas dos valores da K_{sat} (cm/h) nos sistemas de plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	60
Figura 3.6.2.1	Mapas dos valores da d_{part} (g/cm^3) no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	61
Figura 3.6.2.2	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm^3) para o sistema plantio direto PD	62
Figura 3.6.2.3	Mapas dos valores da d_{part} (g/cm^3) no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	63
Figura 3.6.2.4	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm^3) para o sistema plantio convencional PC	63
Figura 3.6.2.5	Mapas dos valores da d_{part} (g/cm^3) no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	64
Figura 3.6.2.6	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm^3) para o sistema floresta FL	64
Figura 3.6.2.7	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm^3) para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	65
Figura 3.6.3.1	Mapas dos valores de areia no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	66
Figura 3.6.3.2	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema plantio direto PD	66
Figura 3.6.3.3	Mapas dos valores de areia no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita).....	67
Figura 3.6.3.4	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema plantio convencional PC	67
Figura 3.6.3.5	Mapas dos valores de areia no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	68
Figura 3.6.3.6	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema floresta FL	68

Figura 3.6.3.7	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e areia para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	69
Figura 3.6.3.8	Mapas dos valores de silte no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	70
Figura 3.6.3.9	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema plantio direto PD	70
Figura 3.6.3.10	Mapas dos valores de silte no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	71
Figura 3.6.3.11	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema plantio convencional PC	71
Figura 3.6.3.12	Mapas dos valores de silte no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	72
Figura 3.6.3.13	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema FL	72
Figura 3.6.3.14	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e silte para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	73
Figura 3.6.3.15	Mapas dos valores de argila no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	74
Figura 3.6.3.16	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema plantio direto PD	74
Figura 3.6.3.17	Mapas dos valores de argila no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	75
Figura 3.6.3.18	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema plantio convencional PC	75
Figura 3.6.3.19	Mapas dos valores de argila no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	76
Figura 3.6.3.20	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema floresta FL	76
Figura 3.6.3.21	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e argila para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	77
Figura 3.6.4.1	Mapas dos valores da d_s (g/cm ³) no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	78

Figura 3.6.4.2	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm ³) para o sistema plantio direto PD	78
Figura 3.6.4.3	Mapas dos valores da d_s (g/cm ³) no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	79
Figura 3.6.4.4	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm ³) para o sistema plantio convencional PC	79
Figura 3.6.4.5	Mapas dos valores da d_s (g/cm ³) no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	80
Figura 3.6.4.6	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm ³) para o sistema floresta FL	80
Figura 3.6.4.7	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm ³) para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL	81
Figura 3.6.5.1	Mapas dos valores da porosidade total do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita) ..	82
Figura 3.6.5.2	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema plantio direto PD	82
Figura 3.6.5.3	Mapas dos valores da porosidade total do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	83
Figura 3.6.5.4	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema plantio convencional PC	83
Figura 3.6.5.5	Mapas dos valores da porosidade total do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	84
Figura 3.6.5.6	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema floresta FL	84
Figura 3.6.5.7	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL ...	85
Figura 3.6.5.8	Mapas dos valores da microporosidade do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita) ..	86
Figura 3.6.5.9	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema plantio direto PD	86
Figura 3.6.5.10	Mapas dos valores da microporosidade do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	87

Figura 3.6.5.11	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema plantio convencional PC ...	87
Figura 3.6.5.12	Mapas dos valores da microporosidade do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	88
Figura 3.6.5.13	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema floresta FL	88
Figura 3.6.5.14	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL ...	89
Figura 3.6.5.15	Mapas dos valores da macroporosidade do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita) ..	90
Figura 3.6.5.16	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema plantio direto PD	90
Figura 3.6.5.17	Mapas dos valores da macroporosidade do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	91
Figura 3.6.5.18	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema plantio convencional PC ..	91
Figura 3.6.5.19	Mapas dos valores da macroporosidade do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)	92
Figura 3.6.5.20	Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema floresta FL	92
Figura 3.6.5.21	Valores médios da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL ...	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.1	Parâmetros associados à condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em cm/h nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	39
Tabela 3.1.2	Estatísticas dos dados transformados $\ln(K_{sat})$ em cm/h, nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	42
Tabela 3.2.1	Parâmetros associados à densidade de partículas (d_{part}) em g/cm^3 , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	45
Tabela 3.3.1	Parâmetros associados as propriedades granulométricas (análise mecânica dos solos) em porcentagem, nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	47
Tabela 3.4.1	Parâmetros associados à densidade do solo (d_s) em g/cm^3 , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	52
Tabela 3.5.1	Parâmetros associados à porosidade total (poros.), microporosidade (microp.) e macroporosidade (macrop.) do solo em m^3m^{-3} , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)	54

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1 VARIABILIDADE ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	15
1.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO E PERMEÂMETRO DE GUELPH	17
1.3 POROSIDADE TOTAL, MICROPOROSIDADE, MACROPOROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO	22
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	26
2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	26
2.2 GRADE AMOSTRAL E AMOSTRAGEM	28
2.3 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DE DADOS	30
2.3.1 Densidade de partículas do solo	30
2.3.2 Porosidade total, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo	31
2.3.3 Análise mecânica do solo	33
2.3.4 Condutividade hidráulica do solo saturado	35
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	36
2.5 MAPEAMENTO DAS PROPRIEDADES DO SOLO	38
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
3.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO	39
3.2 DENSIDADE DE PARTÍCULAS	45
3.3 ANÁLISE MECÂNICA DOS SOLOS	47
3.4 DENSIDADE DO SOLO	52

3.5	POROSIDADE TOTAL, MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO	54
3.6	MAPAS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E SUAS CORRELAÇÕES COM A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO	59
3.6.1	Mapas da condutividade hidráulica do solo saturado	59
3.6.2	Mapas da densidade de partículas	61
3.6.3	Mapas das propriedades granulométricas	65
3.6.4	Mapas da densidade do solo	77
3.6.5	Mapas da porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo	81
	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS	95

INTRODUÇÃO

O solo, em condições naturais, apresenta uma característica marcante: sua heterogeneidade. Essa é imposta pela própria natureza dos fatores responsáveis pela formação do solo e, como resultado, faz com que este apresente uma ampla variação de suas propriedades físicas.

Algumas propriedades físicas do solo sofrem alterações devido ao manejo nele empregado. É o manejo que em grande parte produz as principais modificações na estrutura dos solos. Isso é verificado acompanhando-se as modificações estruturais impostas ao solo por questão de seu cultivo.

Diversos são os trabalhos que comprovam o efeito dos diferentes tipos de uso e manejo nas propriedades físicas do solo. Os sistemas de manejo do solo mais pesquisados são o plantio direto e o convencional. Os dois sistemas de plantio se diferenciam no modo como o solo é manejado. No sistema convencional ocorre o revolvimento da superfície do solo para o plantio enquanto que no direto, o revolvimento se restringe à linha de semeadura. O plantio direto surgiu como uma alternativa ao convencional, portanto, estudos comparativos das alterações produzidas pelos dois tipos de sistemas de manejo mencionados podem fornecer subsídios importantes na análise das vantagens e desvantagens de um sistema em relação ao outro.

Neste trabalho apresenta-se a utilização de um permeâmetro de Guelph para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado de um Latossolo Vermelho Distrófico em condições de campo. Utilizou-se o permeâmetro como instrumento capaz de fornecer medições dessa condutividade em um solo submetido a dois tipos de manejo: plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Tais medições também foram feitas no mesmo tipo de solo, em uma condição mais próxima à natural, utilizando-se um solo que está em estágio de sucessão vegetacional, denominada de floresta secundária (FL).

Também avaliou-se a relação entre a condutividade hidráulica e as seguintes propriedades físicas do solo: a densidade de partículas do solo, as frações granulométricas do solo (areia, silte e argila), a densidade do solo, a porosidade total do solo, a micro e a macroporosidade do solo.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado uma revisão bibliográfica de assuntos que serão abordados ao longo desta dissertação.

1.1 VARIABILIDADE ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A variabilidade espacial das propriedades físicas do solo tem despertado um grande interesse em cientistas da área de ciências de solos.

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 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, à 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).

Muitas vezes utiliza-se a estatística clássica para se avaliar e quantificar a variabilidade das propriedades físicas do solo. Os instrumentos da estatística clássica são: o cálculo de médias, desvios padrão, coeficientes de variação, coeficientes de assimetria e curtose, histogramas de frequência e o uso de distribuições estatísticas tais como a normal, a log-normal e etc. Pelo uso dessa análise é possível caracterizar a variabilidade e a dispersão de determinados conjuntos de medições.

Através do valor do coeficiente de variação é possível analisar-se a extensão da variabilidade de uma propriedade estudada.

Segundo Gomes (1984), o coeficiente de variação dá uma idéia da precisão de um experimento. Ele classifica os coeficientes de variação comumente obtidos nos experimentos de campo como baixos, se inferiores a 10%; médios, quando estão entre 10 e 20%; altos, quando ficarem entre 20 e 30% e muito altos, se forem superiores a 30%.

O coeficiente de variação (CV) pode variar entre valores menores do que 10 e maiores que 1000%, conforme a propriedade do solo investigada. Dados de densidade do solo e porosidade tendem a apresentar CVs de até 10% (baixa variação). Condutividade hidráulica do solo saturado produzem amostras cujos CVs variam de 100 a 200% (alta variação) e frações granulométricas do solo apresentam CVs entre 10 e 100% (GONÇALVES et al., 2001).

É esperado que o tamanho da área amostrada seja suficientemente grande para expor sua heterogeneidade, o que permite estudar e conhecer a variabilidade espacial das propriedades do solo o que, em princípio, fará com que ele seja melhor utilizado (SOUZA et al., 2001).

Parcelas de diferentes dimensões foram utilizadas para estudar a variabilidade espacial do solo. Por exemplo, podemos citar parcelas de: 75 m² em Carvalho et al. (2003), 450 m² em Silva et al. (2004), 900 m² em Grego & Vieira (2005) e 3500 m² em Salviano et al. (1998).

Várias propriedades físicas do solo foram utilizadas para se estudar a variabilidade espacial de uma parcela. Dentre elas se destacam: a condutividade hidráulica do solo saturado, a porosidade, as macro e microporosidade do solo, as densidades de partículas e do solo e as frações granulométricas que compõem o solo.

Eguchi et al. (2003), encontraram uma alta variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado. Queiroz (1995) citado por Eguchi et al. (2003), afirmou que a elevada variabilidade dos dados da condutividade hidráulica do solo saturado pode, dentre outros fatores, estar ligada à heterogeneidade textural e estrutural do solo, à presença de raízes de plantas em seu interior, à atividade microbiana no solo, e a rachaduras ocasionadas na estrutura do solo nas épocas de estiagem.

Carvalho et al. (2003) encontraram variabilidade muito alta para a macroporosidade, média para microporosidade e porosidade total do solo e, baixa para densidade do solo.

Segundo Libardi et al. (1986) citado por Eguchi et al. (2002), a textura e a densidade de partículas são consideradas as propriedades mais estáveis do solo.

Eguchi et al. (2002), identificando a variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas, concluíram que existe uma contrariedade na afirmação de que as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo do solo, e que esta propriedade é fixa e que sua variação é proveniente da própria formação natural do solo.

Souza et al. (2004) verificaram que os Latossolos, apesar de serem considerados homogêneos, também apresentaram variabilidade diferenciada para as propriedades granulométricas. Argila e areia dos Latossolos são propriedades estáveis, ou seja, modificam-se pouco ao longo do tempo por ação do intemperismo, portanto apresentam baixos valores de coeficiente de variação. No entanto, eles encontraram maiores valores de coeficiente de variação para a propriedade areia, o que provavelmente indica a influência do relevo, o qual modifica os processos erosionais ou deposicionais associados ao fluxo de água na superfície do solo.

Guimarães (2000) verificou que as frações granulométricas (areia, silte e argila) não apresentam diferenças estatísticas entre dois tipos de manejos, plantio direto e convencional, podendo, neste caso, considerar-se o valor médio destas propriedades com sendo representativo. Verificaram também que os sistemas de manejo induziram respostas diferenciadas na variabilidade espacial da maioria das propriedades físicas do solo.

1.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO E PERMEÂMETRO DE GUELPH

Segundo Reichardt (1996), Henry Darcy em 1856 foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitou a quantificação do movimento de água em materiais porosos saturados. A equação de Darcy, também chamada por muitos autores de lei de Darcy é expressa pela equação (1.2.1):

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L} = KA \frac{\Delta H}{L} \quad (1.2.1)$$

na qual, Q é uma determinada vazão (m^3/s); K é a condutividade hidráulica do solo (m/s); L é o comprimento da amostra de solo (m); A é a área da secção transversal dessa amostra (m^2) e $h_1 - h_2 = \Delta H$ é a diferença entre as cargas que atuam nas extremidades opostas da amostra de solo.

A condutividade hidráulica é um parâmetro físico-hídrico do solo, que se caracteriza pela capacidade do solo em deixar passar água através do seu perfil. Ela está diretamente ligada ao tamanho, volume e distribuição dos poros do solo e varia para os diferentes tipos de solo existentes (SCHERPINSKI, 2003).

A sua determinação pode ser feita utilizando-se métodos de laboratório e de campo. Os métodos de laboratório apresentam o inconveniente de usarem amostras de solo de tamanhos reduzidos. Já os métodos de campo, apesar de laboriosos, são mais precisos, tendo em vista o maior volume de solo amostrado, a não alteração da estrutura natural do solo devido aos processos de amostragem e o valor da condutividade hidráulica é determinado segundo a direção predominante do escoamento da água qual seja, a vertical (PEREIRA et al., 2001).

Um dos métodos utilizados para a determinação da condutividade hidráulica do solo em condições de campo é o que utiliza o permeâmetro de Guelph. O esquema ilustrativo deste tipo de permeâmetro é apresentado na figura 1.2.1.

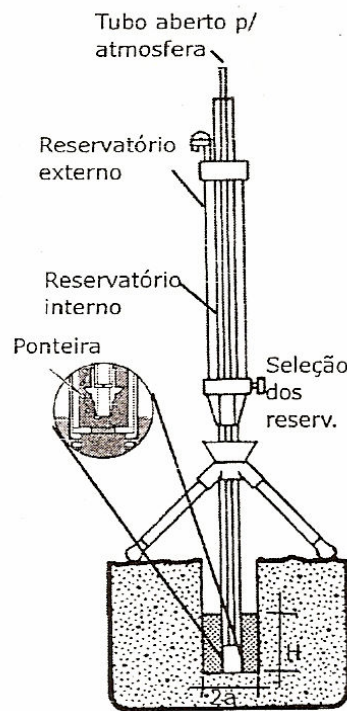


Figura 1.2.1 - Esquema ilustrativo do permeâmetro de Guelph (SOIL MOISTURE, 2005)

O permeâmetro de Guelph consiste de um dispositivo que mede a condutividade hidráulica de solo saturado em condições de cargas hidráulicas constantes. É composto de uma garrafa de Mariotte, a qual controla a carga constante de água a ser aplicada no solo; um reservatório de água; uma régua graduada que permite a determinação de fluxos de água introduzidos no solo e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares. Após algum tempo, que dependerá, dentre outros fatores, da umidade e da textura do solo verifica-se o estabelecimento de um fluxo estacionário de água no solo. A partir da determinação deste fluxo e do conhecimento de alguns parâmetros ligados ao equipamento, determina-se a condutividade hidráulica da saturação do solo em condições de campo (AGUIAR, 2001).

Os métodos utilizando permeâmetros de carga constante vem sendo bastante utilizados para a obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado " K_{sat} ". O emprego do permeâmetro de Guelph destaca-se por ser de simples implementação (facilidade de instalação e operação do equipamento), rápido (a duração de um ensaio varia normalmente entre $\frac{1}{2}$ a 2 horas) e por não perturbar demasiadamente

o local onde o ensaio é realizado (para a realização de uma medição cava-se um pequeno poço, de aproximadamente 5cm de diâmetro e 10cm de profundidade) (BAGARELLO et al., 2000).

Em relação à utilização desse equipamento, Bagarello (1997), investigou a influência da preparação do poço na medição da condutividade hidráulica em campo utilizando um solo franco arenoso. Neste artigo são relatados procedimentos para evitar-se a deterioração do poço ao longo do processo de medição.

Reynolds & Elrick (1985), que fizeram medidas da condutividade hidráulica usando o permeâmetro de Guelph, verificaram que há diferenças no valor da K_{sat} dependendo do tamanho do poço utilizado no ensaio com o permeâmetro. Porém, as diferenças não são grandes e estão muito mais associadas à heterogeneidade e à estrutura de macroporos do solo.

Coutadeur et al. (2002), analisaram a condutividade hidráulica do solo saturado e a estrutura do solo em uma área cultivada e outra não cultivada. De acordo com esses pesquisadores, na área cultivada há uma redução da condutividade hidráulica do solo pelo fato do sistema de manejo promover o rompimento da continuidade associada aos macroporos do solo. Já na área não cultivada, a maior condutividade hidráulica observada para o solo pode ser atribuída à presença de canais promovidos pela atividade de minhocas. Logo, a variação da condutividade hidráulica do solo pode ser relacionada à variação de sua estrutura interior.

Assis & Lanças (2005), utilizando o permeâmetro de Guelph ao estudarem um Nitossolo Vermelho Distrófico submetido a 12 anos de plantio direto, sob plantio convencional e sob mata nativa, encontraram valores de condutividade hidráulica do solo saturado, respectivamente, 15 e 11 vezes maiores que a do plantio convencional. Eles afirmaram que os menores valores de condutividade hidráulica em relação ao plantio direto com 12 anos de cultivo deveram-se, principalmente, à desestruturação excessiva do solo, decorrente da utilização da aração e gradagem. Essa desestruturação promove o aparecimento de uma grande quantidade de partículas finas, as quais promovem o selamento parcial dos poros do solo, o que dificulta a ocorrência de maiores taxas de infiltração.

Para Boone (1998), citado por Assis & Lanças (2005), muitos bioporos são produzidos pela ação de organismos vivos do solo sob plantio direto. Além disto, há

o aparecimento de canais deixados por raízes que apodrecem, fatores que, em conjunto, permitem uma melhor drenagem da água pelo solo.

Albuquerque et al. (2001) encontraram que a condutividade hidráulica do solo saturado de um Nitossolo Vermelho sob plantio direto foi reduzida em 38 vezes quando comparada ao mesmo solo sob mata nativa. Eles atribuíram essa diminuição à redução da macroporosidade do solo, a qual é promovida por esse sistema de plantio.

Dexter et al. (2004) avaliaram a estrutura do solo e a condutividade hidráulica da camada arável (0 – 25 cm de profundidade) e do subsolo (> 25 cm de profundidade) e encontraram um valor baixo para a condutividade hidráulica da camada arável quando comparada à do subsolo. Atribuíram isso à destruição dos bioporos, especialmente os canais de raízes, a qual é promovida pelo cultivo do solo. Osunbitam et al. (2005) e Bhattacharyya et al. (2006) verificaram que quanto menor o revolvimento produzido pelo sistema de plantio, maior a condutividade hidráulica do solo saturado.

Como a compactação diminui a quantidade de poros grandes no interior do solo, ela tem grande influência na modificação da transmissão da água pelo solo (CAMARGO & ALLEONI, 2006). Segundo estes autores, quanto maior a quantidade de macroporos do solo, maior sua condutividade hidráulica do solo saturado.

A condutividade hidráulica do solo saturado é intrinsecamente relacionada com a macroporosidade do solo, e não necessariamente relacionada à porosidade média ou à densidade global média do solo (NAKANO & MIYAZAKI, 2005). Para Seki et al. (1998), até microorganismos presentes no solo podem obstruir seus poros e, conseqüentemente, diminuir sua condutividade hidráulica.

Osunbitam et al. (2005), verificaram que a condutividade hidráulica e a porosidade total do solo apresentam uma fraca relação entre si, considerando-se os tratamentos investigados. Concluíram que o principal fator que influencia a condutividade hidráulica do solo saturado dos solos estudados é a perturbação da estrutura e continuidade dos macroporos que é produzida pelas técnicas de cultivo convencionais.

Regalado & Muñoz-Carpena (2004), ao investigarem a condutividade hidráulica do solo saturado, relataram que a porosidade do solo pode ser considerada como um parâmetro que determina a distribuição da condutividade hidráulica do solo saturado. No entanto, segundo eles, há muitos outros fatores que

influenciam essa condutividade tais como, por exemplo, o conteúdo de argila do solo e seu grau de compactação.

Guimarães (2000) verificou que a condutividade hidráulica do solo saturado não apresentou correlação com a macroporosidade do solo. Também, não encontraram correlação com: a densidade do solo, o conteúdo de matéria orgânica, a microporosidade, o volume total de poros e frações granulométricas. Desta forma, um modelo de previsão da condutividade hidráulica do solo, baseado nestas propriedades físicas, fica bastante dificultado.

1.3 POROSIDADE TOTAL, MICROPOROSIDADE, MACROPOROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo é um índice de seu grau de compactação. Quanto maior a densidade do solo, menor sua porosidade (REICHARDT & TIMM, 2004).

Os poros do solo podem ser classificados de acordo com o seu diâmetro e forma e podem ser divididos empiricamente em três grupos (LIBARDI, 2005):

macroporos: poros com diâmetro maior que 100 μm . Sua principal função é de aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração.

mesoporos: poros com diâmetro entre 30 e 100 μm . Sua principal função é a condução da água durante o processo de redistribuição.

microporos: poros com diâmetro menor que 30 μm . São também chamados poros capilares e atuam no armazenamento da água pelo solo. Nestes poros, a água também se move, no entanto, de uma forma muito lenta.

A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico do solo. O estudo da porosidade é, portanto, uma das maneiras de caracterizar e quantificar esse comportamento (GUERIF, 1987 apud KLEIN & LIBARDI, 2002).

No entanto, de acordo com Anjos et al. (1994) citado por Schaefer et al. (2001), a densidade e a porosidade do solo, e uma série de outras propriedades, são afetadas principalmente pelo preparo do solo. Este preparo é o que promove a modificação da estrutura natural do solo.

O sistema de plantio convencional consiste no revolvimento da camada superficial do solo como forma de preparo para o plantio. Segundo Nolla (1982) citado por Scherpinski (2003), esse sistema de preparo promove a compactação do solo e sua exposição excessiva ao sol, fatores que produzem a sua degradação, especialmente pela erosão.

No sistema de plantio direto, a movimentação do solo é restrita à linha de semeadura. O plantio direto é uma técnica eficiente no controle das perdas de solo e água, razão por que, juntamente com outras vantagens que o sistema oferece, tem sido adotado por um número cada vez maior de agricultores (TORMENA et al., 1998).

Entretanto, segundo Tormena et al. (1998), apesar das inúmeras vantagens, alguns fatores têm causado frustrações com a adoção dessa tecnologia, motivando o retorno ao sistema convencional de preparo do solo. Dentre eles, destaca-se a excessiva compactação do solo em superfície, decorrente da ausência de revolvimento do solo e da ocorrência sistemática do tráfego de máquinas e implementos.

A compactação afeta a qualidade do solo, e a sua avaliação é baseada na comparação com sua condição natural ou sem restrições ao crescimento e produtividade das culturas (SILVA et al., 2004). Acarreta a redução do espaço poroso do solo, principalmente de seus macroporos, o que afeta suas propriedades físico-hídricas (KLEIN & LIBARDI, 2002).

Tormena et al. (1998) e Cavenage et al. (1999) estudaram as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob plantio direto, e verificaram que o tráfego de máquinas agrícolas foi o principal fator na alteração das propriedades deste tipo de solo.

Já Guimarães (2000) verificou que a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada do solo, foram diferentemente influenciadas pelos sistemas de plantio direto e convencional. Com exceção da densidade do solo o mesmo resultado foi verificado por Scherpinski (2003).

Klein & Libardi (2002), os quais estudaram as alterações das propriedades físicas em um Latossolo Vermelho, concluíram que o manejo influenciou na densidade do solo até à profundidade de 0,4 m e, em consequência dessas alterações, foram afetadas a distribuição do diâmetro dos poros do solo.

Lipiec et al. (2006) relataram que foram observadas maiores modificações em poros de dimensões grandes no sistema convencional quando em comparação ao cultivo reduzido. Verificaram também que as principais diferenças entre os tratamentos foram constatadas nos primeiros 10 cm do perfil do solo.

Segundo Albuquerque et al. (2001), houve degradação da estrutura de um Nitossolo Vermelho submetido aos sistemas de preparo convencional e direto. Também relataram que isso foi devido à pressão exercida pelo trânsito de máquinas agrícolas sobre a superfície do solo. Eles observaram também que a quantidade de microporos do solo não diferiu entre os sistemas de cultivo. Contudo, a quantidade de macroporos do solo decresceu quando em comparação com o mesmo solo em condições de mata nativa. Desta forma, concluíram que isto é um indicativo de que os macroporos do solo são os que estão mais sujeitos as mudanças impostas pelo tipo de manejo empregado no cultivo do solo.

Araujo et al. (2004) concluíram que os diferentes sistemas de manejo são responsáveis pelo aumento da densidade do solo e redução de suas porosidade total e macroporosidade.

Dam et al. (2005) encontraram diminuições em torno de 10 % na densidade do solo sob cultivo convencional quando comparados ao solo de mata nativa. Isso ocorreu, particularmente, na camada superficial do solo, primeiros 10 cm de profundidade. Logo, eles concluíram que a densidade do solo é afetada pelas práticas de lavoura.

Fernandes et al. (1983) e Goedert et al. (2002), verificaram não haver diferença de densidade do solo entre plantio direto e manejo convencional.

Silva et al. (2004) concluíram que em lavoura sob plantio direto, o tráfego de máquinas provoca distintos estados de compactação. O maior estado de compactação ocorreu na região dita “cabeceira” da lavoura, onde as máquinas realizam suas manobras, e o menor estado de compactação encontro-se no centro da lavoura.

Por outro lado, Schaefer et al. (2001) ao avaliarem as características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo, verificaram que o sistema de plantio direto preserva em grande parte a conectividade entre os macroporos do solo. Isto foi verificado desde a superfície até as camadas mais inferiores do solo. Nos tratamentos preparados com grade pesada, eles perceberam um aspecto de amassamento do solo na

subsuperfície. Este amassamento caracteriza-se por um empacotamento do solo em torrões grandes, formando zonas compactas, separadas umas das outras, com poucos poros interligados.

Goedert et al. (2002) revelaram também que não foi observada compactação do solo na área experimental cultivada pelo sistema de plantio direto após um longo período. Isto mostra que o manejo adequado do solo pode minimizar ou mesmo eliminar os efeitos de compactação do solo, advindos do tráfego de máquinas e implementos agrícolas empregadas para a lavoura.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo descrevem-se os materiais e métodos utilizados para a investigação dos solos submetidos aos diferentes tipos de manejo.

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na Unidade Regional de Pesquisa do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Ponta Grossa.

As coordenadas geográficas da área experimental são: latitude 25° 13' S, longitude 50° 01' W e altitude de 875 m.

O clima da área em estudo, segundo a classificação de Köeppen é o Cfb-subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos, sem estação seca e com geadas severas. A temperatura média do mês mais frio é menor que 18°C e a do mês mais quente é maior que 22°C. A precipitação total anual situa-se entre 1300 a 1800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

O solo do local do experimento é um Latossolo Vermelho Distrófico e a área apresenta uma declividade média de 8%.

Foram selecionadas três áreas experimentais, uma sob plantio convencional, outra sob plantio direto, e outra sob floresta secundária.

No plantio convencional (figura 2.1.1), o solo foi preparado com uso de arado de disco, hidráulico e reversível, da marca LAVRALE, seguido de duas gradagens leves, com grade hidráulica de 24 discos, feitas com a finalidade de criar condições favoráveis para o estabelecimento da cultura. Esse sistema tem como característica principal um revolvimento do solo de toda área a ser cultivada, onde o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo.



Figura 2.1.1 - Sistema plantio convencional (FAVORETTO, 2007)

No plantio direto (figura 2.1.2), entre os anos de 1981-1988 utilizou-se uma alternância de preparo com uso da aração e gradagem e plantio direto em três ocasiões. A partir de 1989 esta parcela passou a ser cultivada sempre em plantio direto. Os preparos do solo e plantio foram realizados sempre em nível e a colheita realizada com colhedora automotriz. Este sistema de plantio tem como princípio o não revolvimento do solo, deixando a maior quantidade de resíduos na superfície do solo.



Figura 2.1.2 - Sistema plantio direto (FAVORETTO, 2007)

A área onde se encontra a floresta, é uma área que está em estágio de sucessão vegetacional, sendo por isso denominada como floresta secundária.



Figura 2.1.3 – Floresta secundária (FAVORETTO, 2007)

2.2 GRADE AMOSTRAL E AMOSTRAGEM

Para cada área experimental, foi realizada a amostragem das propriedades físico-hídricas do solo em uma parcela de 18x20 m. O esquema da grade amostral é apresentado na figura 2.2.1. Na direção x os pontos eram espaçados de 3 em 3 m e na direção y de 5 em 5 m. Cada parcela totalizou 35 pontos de coleta.

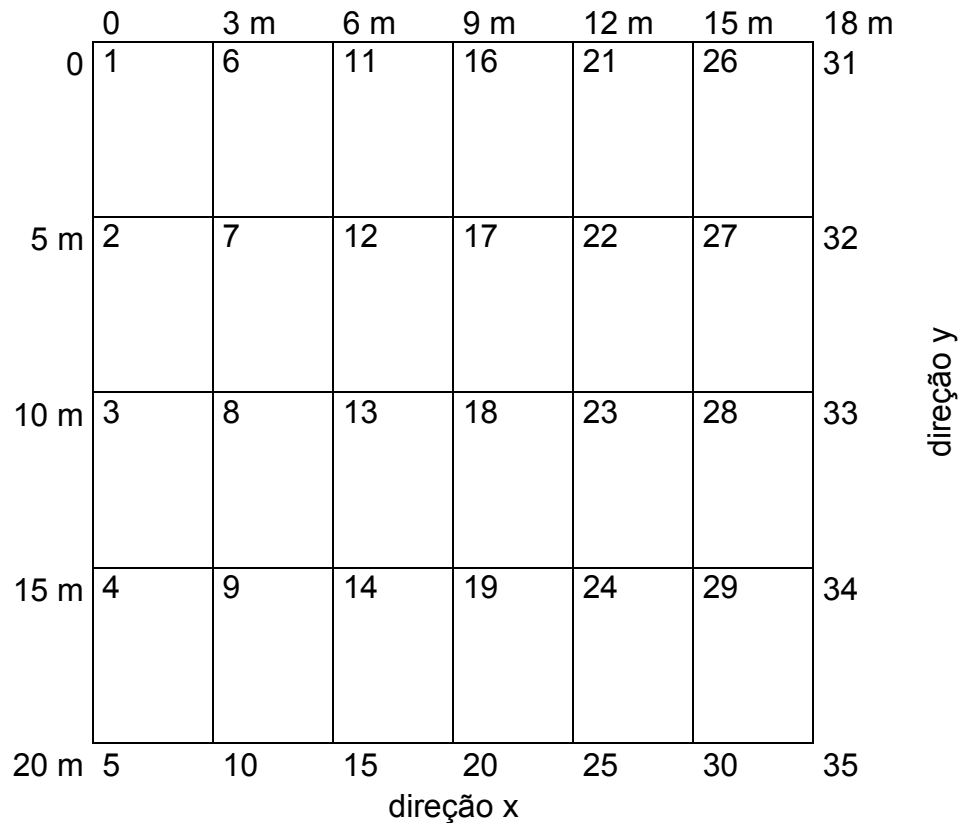


Figura 2.2.1 - Esquema da grade amostral utilizada nas áreas com sistemas de plantio direto, plantio convencional e floresta

As medidas da condutividade hidráulica do solo saturado em cada ponto experimental, foram realizadas utilizando-se um permeâmetro de Guelph na condição em que se obteve fluxo estacionário. Os resultados apresentados para a porosidade total, microporosidade, macroporosidade, densidade do solo e densidade de partículas, é o resultado da média de três amostragens. Tais amostragens foram coletadas ao redor do ponto utilizado para a determinação da condutividade hidráulica saturada do solo (pontos de 1 a 35 na figura 2.2.1), utilizando cilindros do tipo Uhland (diâmetro e altura de 5 cm). A amostragem ocorreu na camada superficial do solo, entre 5 e 10 cm de profundidade. Para a análise mecânica do solo foi coletada uma amostra de solo de aproximadamente 300 g em cada ponto da grade amostral.

2.3 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

2.3.1 Densidade de partículas do solo

As medidas de densidade de partículas do solo foram feitas pelo método do balão volumétrico. Tal método consiste na determinação do volume de álcool necessário para se completar a capacidade de um balão volumétrico (de 50 ml de volume, conhecido com precisão) contendo uma alíquota de solo seco em estufa (aproximadamente 20 g).

O método é descrito a seguir (EMBRAPA, 1979):

- coloca-se 20 g de amostra de solo seco em um balão volumétrico de 50 ml;
- adiciona-se álcool etílico até completar o volume do balão, agitando levemente o balão e, em seguida, colocá-lo em um câmara de vácuo para extrair o ar aprisionado na amostra.

A densidade de partículas, então, é determinada de acordo com a equação (2.3.1.1):

$$d_{part} = \frac{m_s}{50 - V_{alc}} \quad (2.3.1.1)$$

onde d_{part} é a densidade de partículas do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); m_s é a massa de solo seco em estufa a 105°C por 24h (g) e V_{alc} é o volume de álcool utilizado para preencher o balão com o solo (cm^3).

Para calcular o volume de álcool utilizado (V_{alc}), inicialmente encontra-se a massa do balão volumétrico juntamente com a do solo seco ($m_{bal\tilde{a}o+solo}$). Depois de se ter feito o procedimento de completar o balão com o álcool, novamente procede-se a determinação da massa, obtendo agora a massa do conjunto: balão, solo e álcool ($m_{bal\tilde{a}o+solo+\tilde{a}lcool}$). Realizando a subtração dos valores dessas duas massas, é possível obter a massa do álcool ($m_{\tilde{a}lcool}$). Com esse valor e com o valor da densidade do

álcool ($d_{\text{álcool}}=0,81 \text{ g.cm}^{-3}$), é possível calcular o volume do álcool de acordo com a equação (2.3.1.2):

$$V_{\text{álcool}} = \frac{m_{\text{álcool}}}{d_{\text{álcool}}} \quad (2.3.1.2)$$

2.3.2 Porosidade total, microporosidade, macroporosidade e densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo, utilizou-se o método da “mesa de tensão” (Embrapa, 1979).

As amostras coletadas com os cilindros foram saturadas seguindo o processo descrito em Reichardt & Timm (2004) e Libardi (2005). Este processo consiste basicamente em saturar gradativamente a amostra pelo processo de capilaridade.

Depois de saturadas, as amostras foram pesadas e a massa denominada “ m_{sat} ” foi determinada. Essas amostras foram então levadas a uma mesa de tensão, onde foram submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna de água por 24 horas. Esta tensão foi escolhida por ser a necessária para a drenagem da água retida nos macroporos da matriz do solo (poros com diâmetro médio maior que 100 μm). Para que não houvesse perda de solo das amostras submetidas a essa tensão, uma tela tipo “silk screen” foi presa no fundo de cada cilindro.

Passadas as 24 horas na mesa de tensão, as amostras foram novamente pesadas e a massa denominada “ $m_{60\text{cm}}$ ” foi obtida. Na seqüência, as amostras foram secas em estufa a 105°C, por 24 horas. Após a retirada da estufa, a massa seca “ m_s ” de cada amostra foi determinada.

A porosidade total do solo é igual à percentagem de saturação em volume de solo e foi determinada de acordo com a equação (2.3.2.1):

$$P_t = \left(\frac{m_{\text{sat}} - m_s}{V_t} \right) \times 100\% \quad (2.3.2.1)$$

na qual P_t é a porosidade total do solo; m_{sat} é a massa da amostra após a saturação (g); m_s é a massa de solo seco em estufa (g) e V_t é o volume da amostra de solo (cm^3).

A microporosidade é considerada como sendo o conteúdo volumétrico de água retida a uma tensão superior a 60 cm de coluna de água, e foi calculada de acordo com a equação (2.3.2.2):

$$Micro = \frac{m_{60cm} - m_s}{V_t} \quad (2.3.2.2)$$

na qual $Micro$ é a microporosidade do solo; m_{60cm} é a massa da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g); m_s é a massa de solo seco (g) e V_t é o volume do solo (cm^3).

A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, ou seja, conforme a equação (2.3.2.3):

$$Macro = P_t - Micro \quad (2.3.2.3)$$

A densidade do solo foi determinada da forma usual, de acordo com a equação (2.3.2.4):

$$d_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (2.3.2.4)$$

na qual d_s é a densidade do solo (g.cm^{-3}); m_s é a massa de solo seco (g) e V_t é o volume do solo (cm^3).

2.3.3 Análise mecânica do solo

A análise mecânica ou granulométrica do solo foi realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1979). O método é descrito a seguir:

- coloca-se 25 g de solo peneirado a 2 mm em uma solução formada por 50 ml de água destilada e 12,5 ml de NaOH a 1N (40 g de NaOH em 1 L de água destilada);
- agita-se bem essa mistura (cerca de 1 minuto) com bastão de vidro;
- depois de agitada a mistura é deixada em repouso por no mínimo 12h;
- em seguida, acrescenta-se água destilada a essa mistura, até que se complete um volume de 300 ml;
- coloca-se a mistura resultante em um agitador por ultra-som durante 30 minutos;
- despeja-se, a mistura em uma proveta de 1 L;
- completa-se a proveta com água destilada até 1 L;
- calcula-se a concentração total “ C_o ” da suspensão com o auxílio de um densímetro;
- após esta primeira medição da densidade, a solução é novamente agitada por 20 segundos;
- espera-se o tempo de sedimentação relativo à queda da areia pelos primeiros 8 cm da solução, tempo que é determinado pela Lei de Stokes (equação 2.3.3.1):

$$t = \frac{18h\eta}{d^2g(\rho_g - \rho_f)} \quad (2.3.3.1)$$

na qual t (s) é o tempo necessário para uma partícula de diâmetro d (cm) percorrer em queda uma altura h (cm); η é a viscosidade do fluido (g/cm.s); g é a aceleração da gravidade (cm.s⁻²); ρ_g é a densidade da partícula (g.cm⁻³) e ρ_f é a densidade do fluido (g.cm⁻³);

- em seguida, retira-se, por meio de uma pipeta, os primeiros 8 cm da solução, a qual, depois de se ter esperado o tempo de decantação da areia, contém apenas partículas de tamanho relativos a silte e argila;
- esta alíquota é colocada em uma outra proveta de 250 ml para que sua densidade seja medida. Deste valor de densidade, calcula-se a concentração “ $C_{\text{silte+argila}}$ ”;

- retorna-se essa solução à proveta de 1 L, e promove-se uma outra agitação de 20 s desta solução;
- agora, espera-se o tempo necessário à sedimentação do silte dos primeiros 8cm de solução (tempo também determinado pela lei de Stokes) ;
- colhe-se os primeiros 8 cm de solução, a qual está livre das frações areia e silte;
- determina-se a concentração desta solução e, utilizando-se o mesmo procedimento descrito para a areia, mede-se agora a concentração de argila “ C_{argila} ”.

Com este procedimento, foi possível determinar as porcentagens de areia, silte e argila que compõem o solo analisado, conforme as equações (2.3.3.2), (2.3.3.3) e (2.3.3.4):

$$areia = \left(\frac{C_0 - C_{silte+argila}}{C_0} \right) \times 100\% \quad (2.3.3.2)$$

$$silte = \left(\frac{C_{silte+argila} - C_{argila}}{C_0} \right) \times 100\% \quad (2.3.3.3)$$

$$argila = \left(\frac{C_{argila}}{C_0} \right) \times 100\% \quad (2.3.3.4)$$

na qual C_0 é a concentração total da solução de solo; $C_{silte+argila}$ é a concentração de silte e argila presentes no solo e C_{argila} é a concentração de argila presente no solo.

As concentrações são calculadas da seguinte forma:

$$C_o = d_t - d_o \quad (2.3.3.5)$$

$$C_{silte+argila} = d_{silte+argila} - d_o \quad (2.3.3.6)$$

$$C_{argila} = d_{argila} - d_o \quad (2.3.3.7)$$

na qual d_t é a densidade total (solo + solução) (g.cm^{-3}); d_o é a densidade da solução (g.cm^{-3}) e $d_{\text{silte+argila}}$: é a densidade de silte + argila (g.cm^{-3}).

A densidade da solução (d_o) foi considerada como sendo a densidade da água, 1 g.cm^{-3} .

2.3.4 Condutividade hidráulica do solo saturado

As medidas de condutividade hidráulica do solo saturado foram realizadas utilizando-se um permeâmetro de fluxo constante (Permeâmetro de Guelph), de acordo com os procedimentos descritos no manual de instruções operacionais do próprio permeâmetro. Tais procedimentos são descritos a seguir:

- em cada ponto da grade amostral, utilizando-se um trado apropriado, foi feito um poço para instalação do permeâmetro. Tal poço possuía aproximadamente 6 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade;
- as medidas das taxas de infiltração foram realizadas em cargas constantes de 5 cm (R_1) e 10 cm (R_2) de água em intervalos de tempo de aproximadamente 1 minuto.

Por meio das equações (2.3.4.1) ou (2.3.4.2), dependendo de se ter utilizado a opção de reservatório combinado ou interno, foi possível calcular a condutividade hidráulica do solo saturado.

Reservatórios combinados:

$$K_{sat} = (0,0041)(X)(R_2) - (0,0054)(X)(R_1) \quad (2.3.4.1)$$

Reservatório interno:

$$K_{sat} = (0,0041)(Y)(R_2) - (0,0054)(Y)(R_1) \quad (2.3.4.2)$$

na qual K_{sat} é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm/h); R_1 é a taxa de infiltração de água, determinada pelo permeâmetro, para uma carga constante de 5 cm de água (cm/h); R_2 é a taxa de infiltração de água, determinada pelo permeâmetro, para uma carga constante de 10 cm de água (cm/h) e X e Y são constantes fornecidas pelo fabricante do permeâmetro.

No caso do permeâmetro utilizado, as constantes X e Y são, respectivamente: 35,22 e 2,15.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

As propriedades físicas investigadas em campo foram analisadas utilizando-se a estatística clássica (TRIOLA, 1999; ORTIZ, 2006), a qual está baseada no cálculo de médias, desvios padrão, coeficientes de variação e coeficientes de assimetria e curtose.

- Média (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.4.1)$$

em que: \bar{X} é a média de um conjunto de valores amostrais; x_i é o valor da i -ésima observação; n representa o número de valores de uma amostra.

- Desvio padrão (s)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.4.2)$$

- Coeficiente de variação (CV)

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (2.4.3)$$

- Coeficiente de assimetria (C_s)

$$C_s = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} \quad (2.4.4)$$

em que:

$$m_t = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^t}{n} \quad \text{com } t = 1, 2, 3, \dots \quad (2.4.5)$$

-Coeficiente de curtose (C_c)

$$C_c = \frac{m_4}{m_2^2} \quad (2.4.6)$$

A assimetria é o grau de desvio ou afastamento na simetria de uma distribuição, ou seja, se ela está estendendo-se mais para um lado que para o outro. Uma distribuição de dados é simétrica quando a metade esquerda de seu histograma é aproximadamente a imagem-espelho da metade direita. A curtose é uma medida do grau de achatamento da curva de uma distribuição, ou seja, se as distribuições tem picos relativamente altos ou tem topos achatados.

Os coeficientes de assimetria e curtose são utilizados para avaliar se os dados seguem uma distribuição normal. Para dados que seguem perfeitamente a curva de distribuição normal os valores do coeficiente de simetria e curtose, devem ser zero.

Os valores mínimos e máximos dos dados também foram obtidos para cada variável, assim como foram feitos histogramas para verificar a natureza da distribuição.

Para identificar pontos discrepantes, foram construídos gráficos do tipo “boxplot”, utilizando-se o programa STATDISK (TRIOLA, 1999).

Um gráfico do tipo boxplot é apresentado na figura 2.4.1.

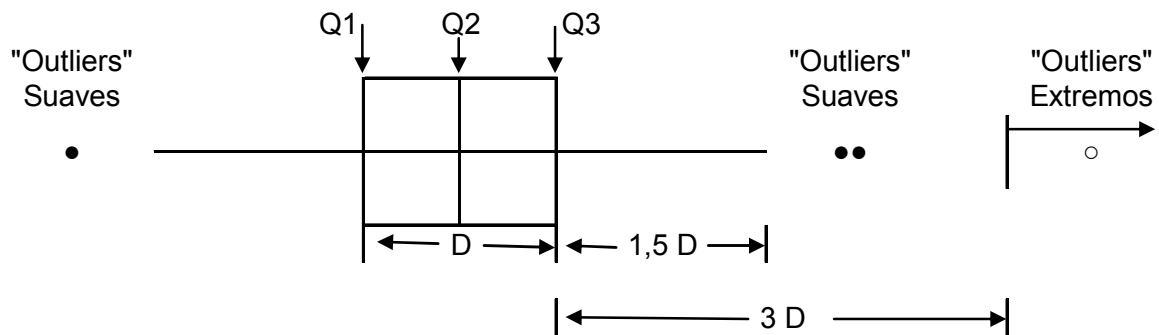


Figura 2.4.1. Exemplo de um gráfico do tipo boxplot (TRIOLA, 1999)

Assim como a mediana divide os dados em duas partes iguais, os três quartis, denotados por Q_1 , Q_2 e Q_3 , dividem as observações ordenadas (dispostas em ordem crescente) em quatro partes iguais. Q_1 separa os 25% dos valores ordenados inferiores dos 75% superiores; Q_2 é a mediana (é o valor do meio de um conjunto); e Q_3 separa os 25% dos dados ordenados superiores dos 75% dos dados inferiores.

Os pontos discrepantes, ou também chamados “outliers”, são valores que estão muito afastados da maioria dos dados. Há dois tipos de “outliers”, os suaves e os extremos. Os “outliers” suaves são os valores que superam Q_3 de $1,5 D$ a $3 D$, ou estão $1,5 D$ a $3 D$ abaixo de Q_1 . Os “outliers” extremos são os valores que excedem Q_3 em mais de $3 D$ ou estão a mais de $3 D$ abaixo de Q_1 . D é uma amplitude de variação e é definida com base nos valores de Q_1 e Q_3 (figura 2.4.1). Nesse estudo, foram somente desconsiderados os “outliers” extremos.

2.5 MAPEAMENTO DAS PROPRIEDADES DO SOLO

Para a construção dos mapas das propriedades físicas estudadas, utilizou-se um programa computacional para esta finalidade. Os mapas das variáveis de cada sistema de manejo, foram categorizados para uma visualização do seu comportamento espacial.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos diversos parâmetros mensurados assim como sua análise estatística. Salienta-se que esses resultados estão livres de “outliers”, os quais foram identificados pela análise dos gráficos “boxplot”.

3.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO

Na tabela 3.1.1, são apresentados os valores da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) e parâmetros estatísticos associados à variabilidade espacial de sua determinação em campo.

Tabela 3.1.1 - Parâmetros associados à condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em cm/h nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Sistema	\bar{K}_{sat}	s	CV (%)	Min.	Max.	Assim	Curt
PD	7,25	4,12	56,82	2,06	21,19	1,44	2,52
PC	26,20	19,67	75,08	2,98	98,67	1,85	5,00
FL	1,89	2,27	120,11	0,02	8,15	1,45	1,42

\bar{K}_{sat} - média dos valores da condutividade hidráulica do solo saturado; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Verifica-se, que o valor médio da K_{sat} é maior no PC do que nos outros dois sistemas, PD e FL. Uma comparação entre os valores obtidos mostra que o valor

médio da K_{sat} do PC é 3,6 vezes maior que o do PD, e aproximadamente 13,8 vezes maior que o da FL. Já o valor médio da K_{sat} do PD é aproximadamente 3,8 vezes maior que o da FL.

Em relação aos sistemas PD e PC, resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2003) e Albuquerque et al. (2001).

Estimativas da condutividade hidráulica do solo saturado superiores para o plantio convencional em relação ao sistema de plantio direto, pode estar relacionado ao próprio tipo de manejo empregado. No PC, de acordo com Guimarães (2000), devido ao próprio tipo de manejo empregado, ocorre o revolvimento do solo na camada superficial. Esse revolvimento, segundo ele, determina o aparecimento de macroporos, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. Esses poros com diâmetros maiores permitem maiores valores da condutividade hidráulica do solo saturado (MESQUITA & MORAES, 2004). Já no sistema PD, de acordo com Tormena et al. (1998), a ausência de revolvimento do solo, aliado ao tráfego de máquinas empregadas neste manejo, promove a compactação da superfície do solo.

Verificou-se também que os valores da K_{sat} no sistema PD é mais próximo da K_{sat} da FL. É de se esperar que isso aconteça, pois segundo Guimarães (2000), no plantio direto as condições gerais das propriedades do solo estão mais próximos das condições naturais que no plantio convencional.

Segundo Gomes (1984), CV (coeficientes de variação) acima de 30% caracterizam amostras de variabilidade muito alta. Desta forma, para os tipos de manejo investigados a variabilidade dos valores da K_{sat} é muito alta, de acordo com a tabela 3.1.1.

Segundo Eguchi et al. (2003), a elevada variabilidade dos dados da K_{sat} pode ser explicada pela heterogeneidade textural e estrutural do solo em estudo, como também pela presença de raízes de plantas, atividade microbiana, rachaduras localizadas ocasionadas pelas épocas de estiagens, entre outros fatores. Para Hurtado (2004), várias propriedades físicas do solo são responsáveis pela variabilidade da condutividade hidráulica, uma vez que esta é influenciada por todas as propriedades que afetam a distribuição, o tamanho e a forma dos poros da matriz do solo, tais como densidade, textura, estrutura e porosidade.

De acordo com Mesquita & Moraes (2004), a K_{sat} depende, em grande parte da forma e continuidade dos poros que formam a matriz do solo. A mesma é altamente anisotrópica o que a leva a variar fortemente de um local a outro do

campo. Há menção por parte desses autores que os valores da condutividade hidráulica do solo podem diferir entre si, de várias ordens de grandeza, mesmo em posições tomadas muito próximas. Sendo assim, solos de mesma textura podem ter suas estruturas alteradas devido ao tipo de manejo nele conduzido, o que influencia diretamente o valor da K_{sat} .

Os coeficientes de assimetria e curtose juntamente com os histogramas de distribuição da K_{sat} para os diferentes manejos (apresentados, respectivamente, na tabela 3.1.1 e figura 3.1.1) revelam, uma distribuição não normal para essa propriedade.

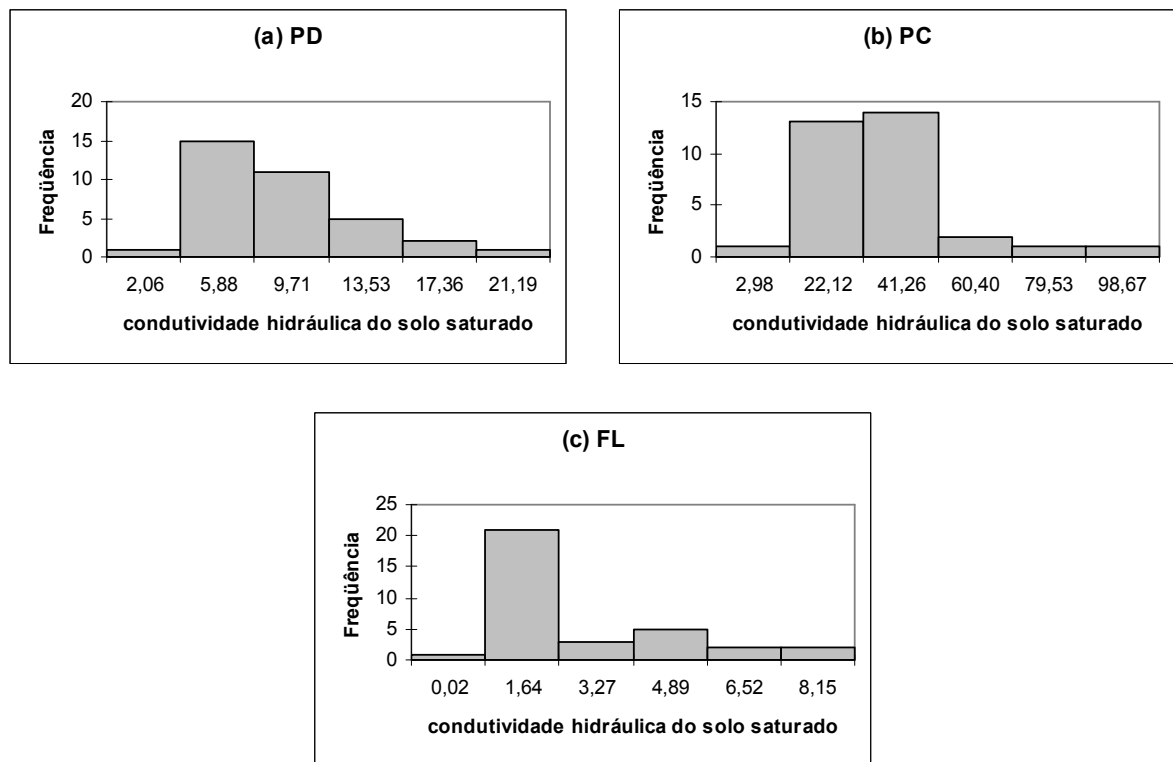


Figura 3.1.1 - Histogramas para a condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em cm/h nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Mesquita et al. (2002), ao fazerem um estudo sobre as distribuições de probabilidade mais adequadas para representar a K_{sat} do solo, verificaram que essa propriedade apresentou alta variabilidade e não normalidade na distribuição. Indicaram também a função densidade de probabilidade lognormal como a mais

adequada para descrever os dados dessa propriedade. De acordo com Vieira (1997), a distribuição lognormal é um indicativo da existência de grande variabilidade dos dados, com a presença de valores extremos (tanto altos como baixos) em grandes quantidades.

Para a verificação da adequação de dados a uma distribuição lognormal, utiliza-se um processo de transformação de variáveis. Nesse processo, faz-se um histograma dos valores do logaritmo da variável original e, valores de assimetria e curtose, para esta nova distribuição, mais próximos do que se é esperado para a distribuição normal, são um indicativo da “lognormalidade” da distribuição.

As estatísticas dos dados transformados para a condutividade hidráulica do solo saturado, são mostradas na tabela 3.1.2.

Tabela 3.1.2 - Estatísticas dos dados transformados $\ln(K_{sat})$ em cm/h, nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Sistema	$\overline{\ln(K_{sat})}$	s	CV (%)	Min.	Max.	Assim	Curt
PD	1,84	0,53	28,80	0,72	3,05	0,10	-0,17
PC	2,99	0,82	27,42	1,09	4,59	-0,68	0,46
FL	-0,22	1,47	-668,18	-4,02	2,10	-0,25	-0,38

$\overline{\ln(K_{sat})}$ - média dos valores do logaritmo neperiano da K_{sat} ; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Os coeficientes de assimetria e curtose e os histogramas, tabela 3.1.2 e figura 3.1.2, mostram uma tendência à normalidade dos dados transformados.

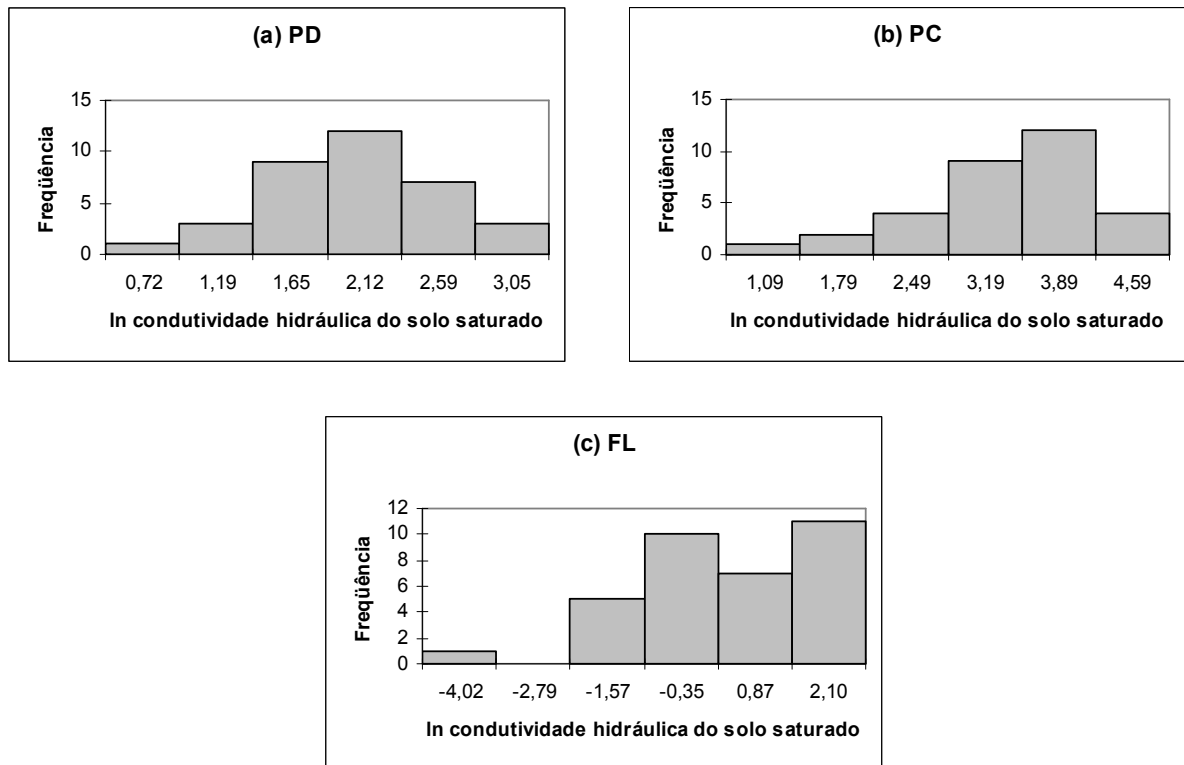


Figura 3.1.2 - Histogramas para o logaritmo neperiano da condutividade hidráulica do solo saturado ($\ln(K_{sat})$) em cm/h nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Os valores de CV, na tabela 3.1.2, tiveram uma redução significativa, exceto para FL.

A alta variabilidade e a não normalidade nos dados da K_{sat} são comumente encontrados em estudos de campo. Tal fato é relatado em Eguchi et al. (2003), Assis & Lanças (2005), Guimarães (2000), Scherpinski (2003), Abreu et al. (2003). Segundo Guimarães (2000), a distribuição não normal da K_{sat} e sua alta variabilidade (revelada pelo alto coeficiente de variação das determinações) podem induzir a inferências que não condizem com a realidade, e que carecem de precisão.

Um fato observado na realização das medidas da condutividade hidráulica do solo saturado na floresta foi a dificuldade do solo em absorver a água, como se estivesse repelindo a água. Para Pérez et al. (1998), alguns solos apresentam a propriedade de repelir a água, não se molhando facilmente pela água da chuva ou irrigação, sendo chamados então de solos hidrofóbicos. Segundo estes autores, a repelência do solo à água seria causada pelo recobrimento das partículas do solo por substâncias orgânicas hidrofóbicas. Várias podem ser as origens das

substâncias orgânicas responsáveis pela repelência. A vegetação local, em função da sua decomposição química, pode contribuir com compostos orgânicos hidrofóbicos, via decomposição que, recobrando as partículas do solo, criam o caráter de repelência à água.

Porém, esse fato não foi levado em conta neste estudo para verificar se afeta, de algum modo, o valor da condutividade hidráulica do solo saturado na floresta.

3.2 DENSIDADE DE PARTÍCULAS

Na tabela 3.2.1 são apresentados valores da densidade de partículas (d_{part}) e parâmetros estatísticos associados à sua distribuição.

Tabela 3.2.1 - Parâmetros associados à densidade de partículas (d_{part}) em g/cm^3 , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Sistema	\bar{d}_{part}	s	CV (%)	Min.	Max.	Assim	Curt
PD	2,19	0,02	0,91	2,16	2,23	-0,39	0,23
PC	2,49	0,01	0,40	2,47	2,52	-0,15	-0,68
FL	2,35	0,06	2,55	2,17	2,44	-0,88	1,38

\bar{d}_{part} - valor médio da densidade de partículas; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Verifica-se, que o valor médio da d_{part} no PC é maior que os do sistema PD e FL, porém, não apresentando uma diferença muito grande entre os três valores.

Segundo Gomes (1984), a variabilidade desta propriedade, fornecida pelo coeficiente de variação CV, é considerada baixa para todos os sistemas de manejo. Eguchi et al. (2002) também obtiveram uma variabilidade baixa para esta propriedade.

Os coeficientes de assimetria e curtose juntamente com os histogramas destas distribuições, respectivamente apresentados, na tabela 3.2.1 e figura 3.2.1, revelam uma distribuição tendendo à normal para PD, PC e FL.

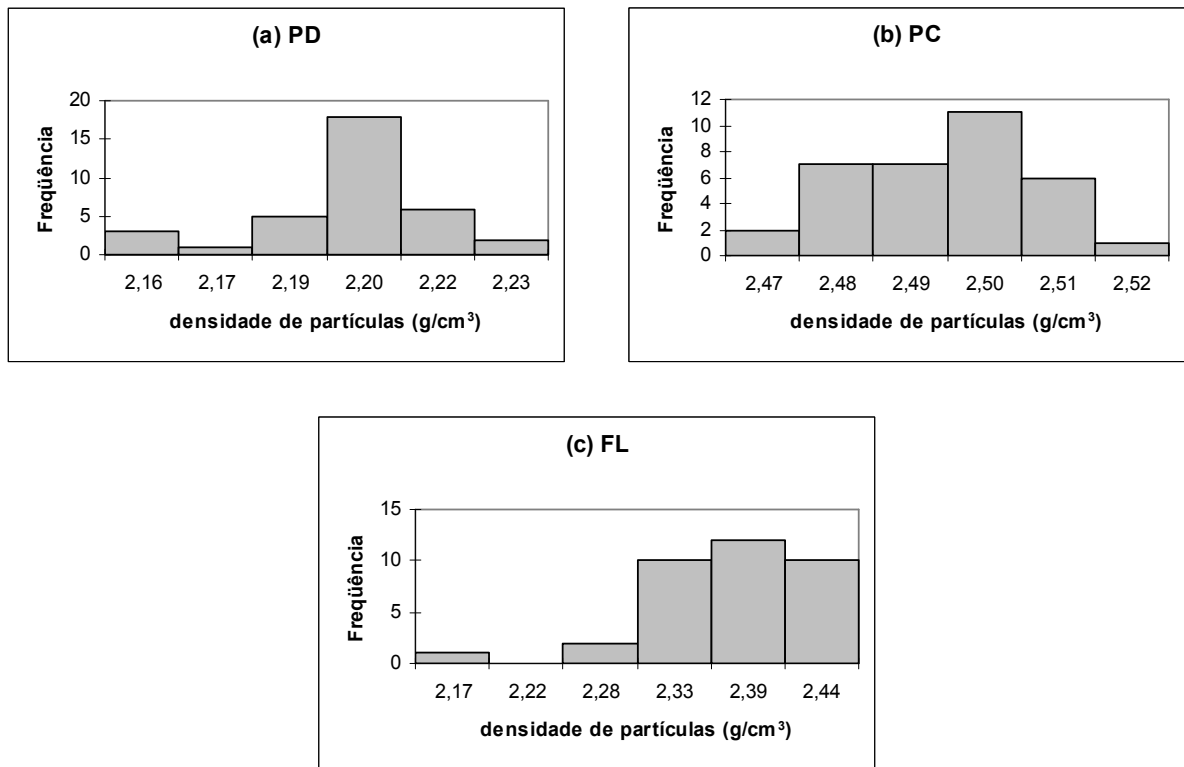


Figura 3.2.1 - Histogramas para a densidade de partículas (d_{part}) em g/cm^3 nos sistemas: (a) plantio direto PD, (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Segundo Reichardt (1996), a densidade de partículas do solo depende da constituição do solo e, como esta varia relativamente pouco de solo para solo, ela não varia muito entre os diferentes tipos de solos.

3.3 ANÁLISE MECÂNICA DOS SOLOS

Na tabela 3.3.1 são apresentadas as análises mecânicas dos solos investigados assim como os parâmetros estatísticos associados às suas variabilidades.

Tabela 3.3.1 - Parâmetros associados as propriedades granulométricas (análise mecânica dos solos) em porcentagem, nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Propriedade	\bar{x}	s	CV (%)	Min.	Max.	Assim	Curt
areia - PD	9,50	0,59	6,20	9,09	11,76	1,81	5,03
areia - PC	9,23	0,28	3,03	9,09	10,00	1,94	2,68
areia - FL	12,94	3,96	30,60	6,59	23,08	0,67	-0,05
silte - PD	28,70	3,19	11,12	21,90	36,36	0,99	1,42
silte - PC	27,70	5,21	18,81	13,64	40,00	0,13	1,48
silte - FL	34,25	7,94	23,18	21,05	51,00	0,26	-0,38
argila - PD	61,80	3,24	5,25	54,55	68,57	-0,61	0,38
argila - PC	63,07	5,34	8,47	50,00	77,27	-0,23	1,60
argila - FL	52,81	9,92	18,78	30,00	66,67	-0,83	-0,06

\bar{x} - valor médio da propriedade; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Na figura 3.3.1 são apresentados gráficos com as propriedades granulométricas dos solos dos diferentes tipos de manejo.

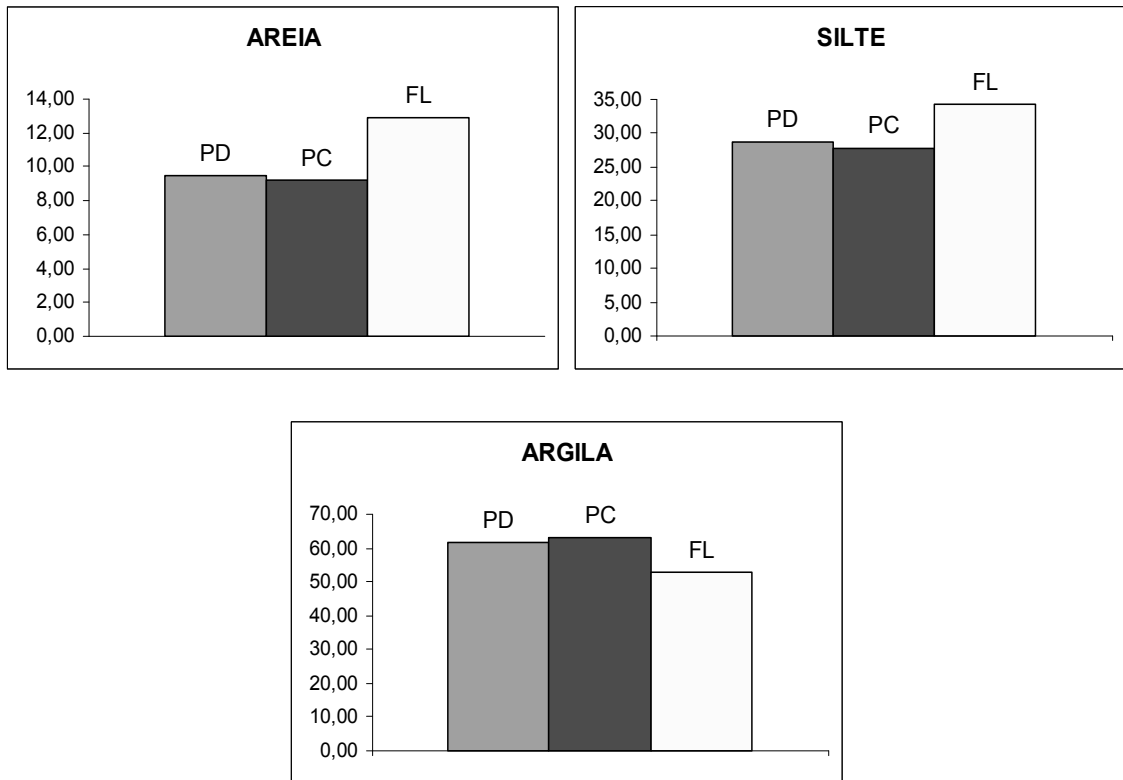


Figura 3.3.1 - Análise mecânica dos solos nos sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Verifica-se, que , em média, o solo da FL apresentou maiores quantidades de areia e silte em relação aos solos dos sistemas PD e PC. Já em relação à argila, o solo que a apresentou em maior quantidade foi o do sistema PC. Observando a tabela 3.3.1, é possível verificar que os sistemas PD e PC apresentam valores próximos. Segundo Guimarães (2000), as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo a que o solo é submetido. Essas propriedades são propriedades fixas provenientes da formação natural do solo e que, portanto, seriam modificadas em uma longa escala de tempo.

Segundo Gomes (1984), para a propriedade areia, a variabilidade, medida pelo coeficiente de variação CV, é considerada baixa para PD e PC e muito alta para FL. Para a propriedade silte, a variabilidade é considerada média para os sistemas PD e PC e alta para FL. Para a propriedade argila, a variabilidade é considerada baixa para os sistemas PC e PD e média para FL.

Nesse trabalho, os coeficientes de variação das propriedades areia e argila dos sistemas PD e PC apresentaram variabilidade relativamente baixa, enquanto

que o silte apresentou valores relativamente altos. O mesmo fato foi constatado por Guimarães (2000), o qual afirma que valores relativamente altos na determinação do silte, podem estar associados à própria metodologia de determinação das frações granulométricas que compõe o solo e à possível formação de pseudo-partículas, devido a uma dispersão ineficiente da solução de solo utilizada para a análise mecânica do solo.

Os coeficientes de assimetria e curtose juntamente com os histogramas, apresentados, respectivamente, na tabela 3.3.1 e figuras 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4 revelaram que somente para a propriedade areia do PC e PD apresentaram uma distribuição diferente da normal. O restante apresentou uma tendência a normalidade.

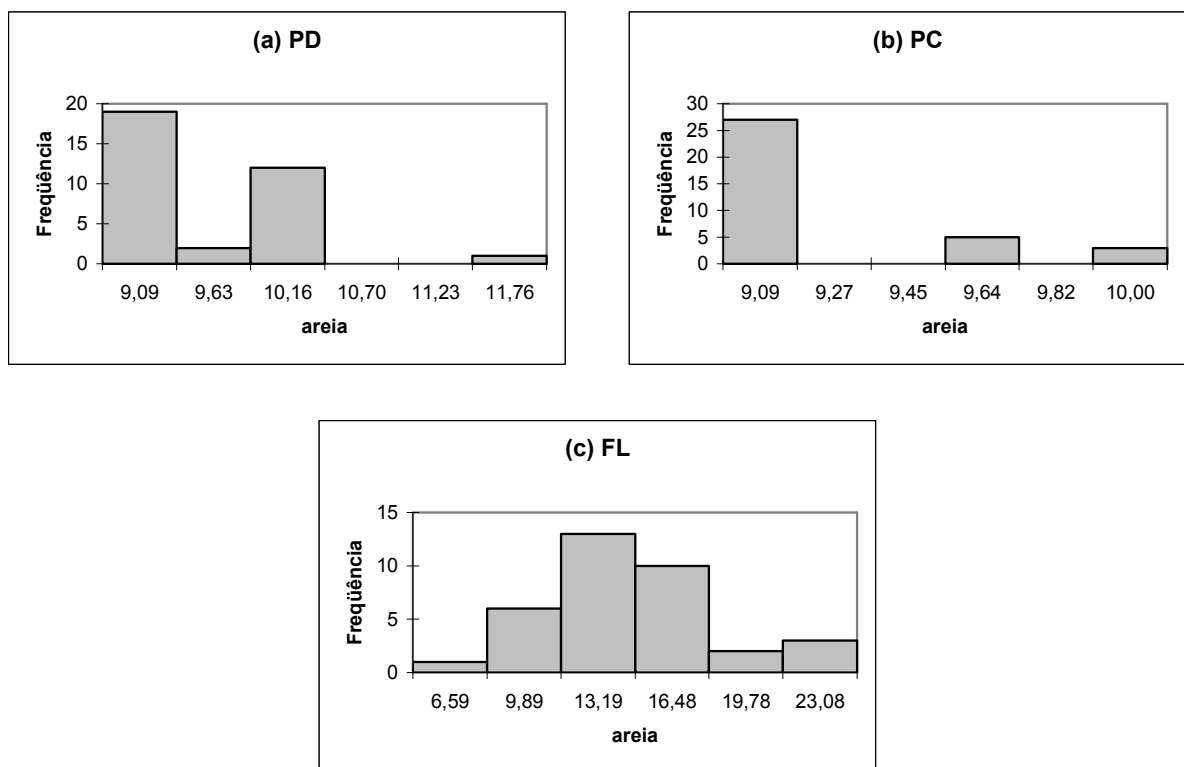


Figura 3.3.2 - Histogramas para a propriedade areia nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

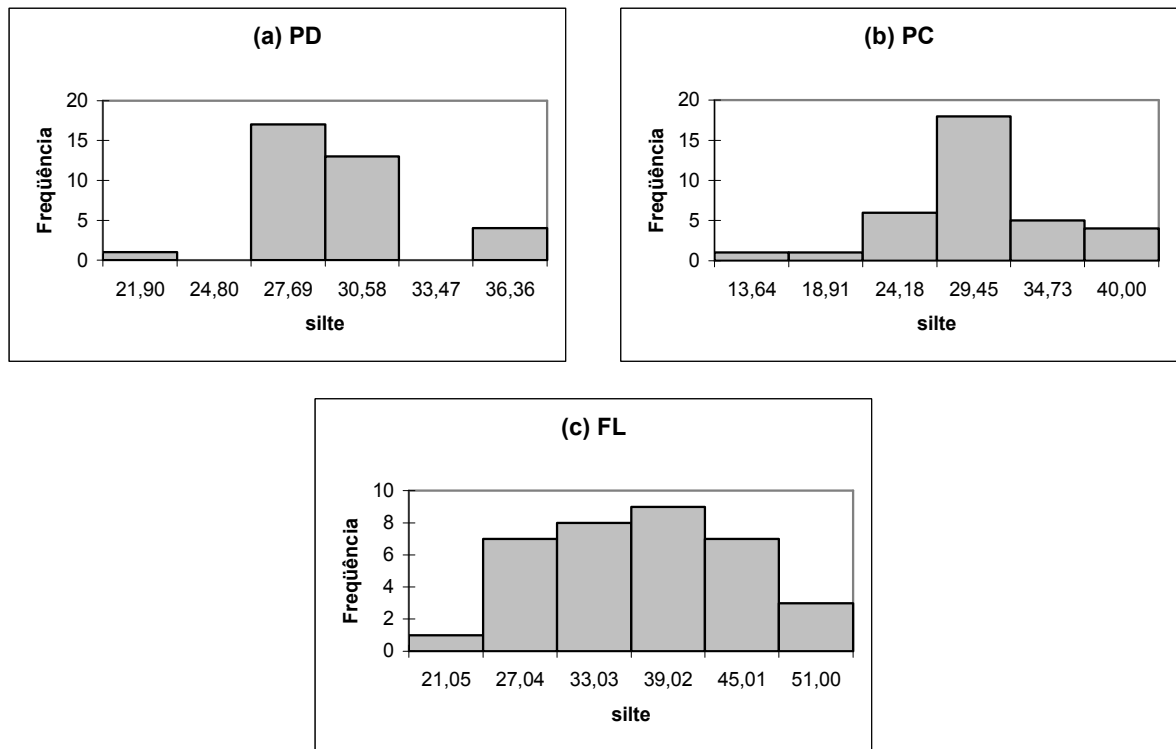


Figura 3.3.3 - Histogramas para a propriedade silte nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

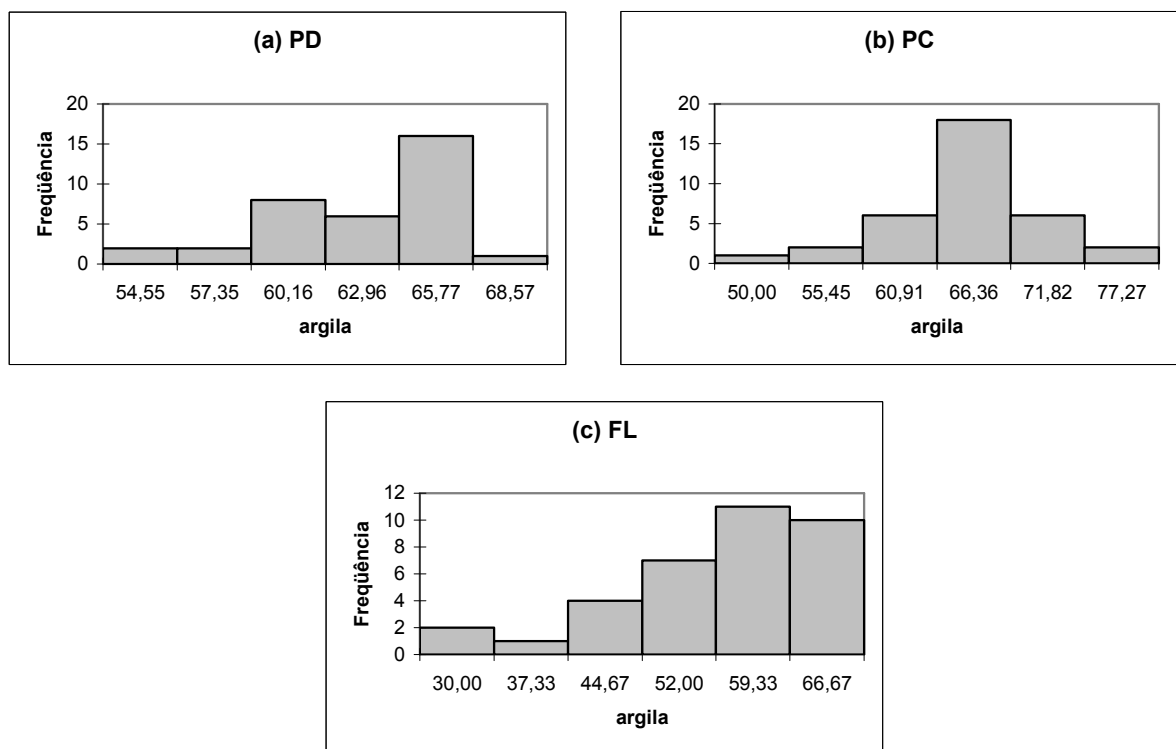


Figura 3.3.4 - Histogramas para a propriedade argila nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Vieira (1997) encontrou para o sistema PC, que as propriedades argila e silte apresentaram distribuição normal. Salviano et al. (1998) também obtiveram para as frações granulométricas valores de assimetria e de curtose mais próximos aos de uma distribuição normal. Já Eguchi et al. (2002) encontraram distribuições não normais para a areia, silte e argila. Souza et al. (2004) encontraram distribuições não normais para a areia e silte e distribuição normal para a argila e Guimarães (2000), encontrou, principalmente no sistema de manejo PC, que a fração areia tende a destoar da distribuição normal.

3.4 DENSIDADE DO SOLO

Na tabela 3.4.1 são apresentados valores da densidade do solo (d_s) e os parâmetros estatísticos associados à sua variabilidade.

Tabela 3.4.1 - Parâmetros associados à densidade do solo (d_s) em g/cm^3 , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Sistema	\bar{d}_s	s	CV (%)	Min.	Max.	Assim	Curt
PD	1,07	0,07	6,54	0,88	1,17	-0,63	0,06
PC	1,04	0,04	3,85	0,95	1,15	0,07	0,62
FL	0,82	0,07	8,54	0,69	1,01	0,96	2,09

\bar{d}_s - valor médio da densidade do solo; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Observa-se que a propriedade densidade do solo apresenta média bastante próxima para os dois sistemas de manejo, PD e PC. Porém, o pequeno aumento da d_s na superfície no sistema PD pode ser explicado pelo fato que no sistema PC ocorre o revolvimento do solo, o que produz uma descompactação das camadas mais superficiais do solo.

O resultado mostra também, que houve um aumento na densidade do solo, tanto no sistema PC quanto no PD quando comparados ao solo sob FL. Isso demonstra que o uso do solo para fins agrícolas, independentemente do sistema de manejo utilizado, promove alterações na densidade do solo (COSTA et al., 2003).

Segundo Gomes (1984), a variabilidade das determinações da densidade do solo, medida pelo coeficiente de variação CV, é considerada baixa para todos os sistemas de manejo.

Os coeficientes de assimetria e curtose juntamente com os histogramas apresentados, respectivamente, na tabela 3.4.1 e figura 3.4.1, revelam uma

distribuição tendendo a normal para essa variável para todos os sistemas, PD, PC e FL.

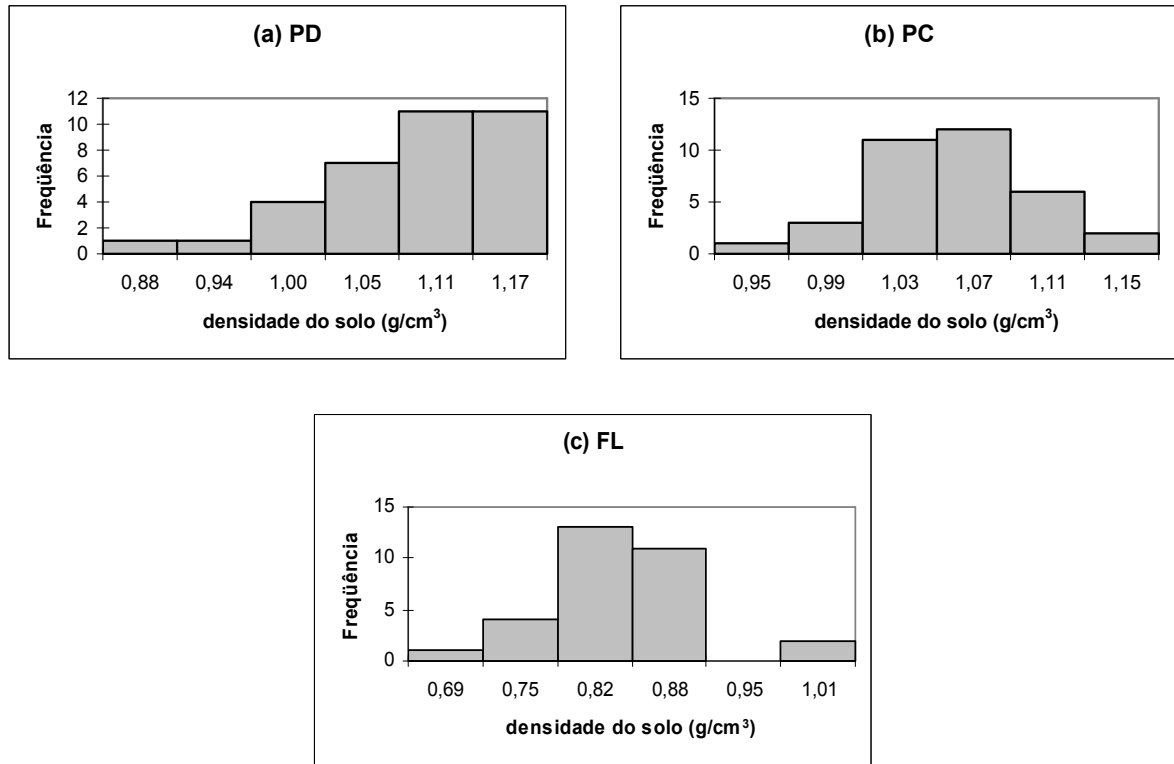


Figura 3.4.1 - Histogramas para a densidade do solo (d_s) em g/cm^3 nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Grego & Vieira (2005) encontraram em sistema de plantio convencional PC uma distribuição também normal para a densidade do solo. Souza et al. (2001), em um sistema PD além de encontrar a densidade do solo distribuída normalmente, encontrou um baixo CV associado a esta propriedade do solo. Goedert et al. (2002), Scherpinski (2003), Carvalho et al. (2003) e Guimarães (2000) obtiveram o mesmo resultado. Afirmam também que a variabilidade dessa propriedade é altamente influenciada pelo manejo agrícola, pelo tipo de solo e também pela profundidade de amostragem.

3.5 POROSIDADE TOTAL, MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO

Na tabela 3.5.1 são apresentados valores da porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo, e parâmetros estatísticos associados à sua variabilidade.

Tabela 3.5.1 - Parâmetros associados à porosidade total (poros.), microporosidade (microp.) e macroporosidade (macrop.) do solo em m^3m^{-3} , nos sistemas plantio direto (PD), plantio convencional (PC) e floresta (FL)

Propriedade	\bar{x}	s	CV(%)	Min.	Max.	Assim	Curt
poros. - PD	0,59	0,02	3,39	0,55	0,65	0,45	0,21
poros. - PC	0,60	0,01	1,67	0,57	0,62	-0,05	-0,96
poros. - FL	0,61	0,08	13,11	0,40	0,69	-1,59	1,49
microp. - PD	0,50	0,02	4,00	0,45	0,52	-0,76	0,67
microp. - PC	0,40	0,01	2,50	0,38	0,42	0,63	-0,01
microp. - FL	0,47	0,05	10,64	0,36	0,54	-0,73	0,10
macrop. - PD	0,09	0,03	33,33	0,04	0,17	0,73	0,03
macrop. - PC	0,20	0,03	15,00	0,15	0,26	0,16	-0,52
macrop. - FL	0,14	0,05	35,71	0,04	0,23	-0,58	0,26

\bar{x} - valor médio da propriedade; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Assim – coeficiente de assimetria; Curt – coeficiente de curtose

Na figura 3.5.1 são apresentados gráficos das propriedades porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo.

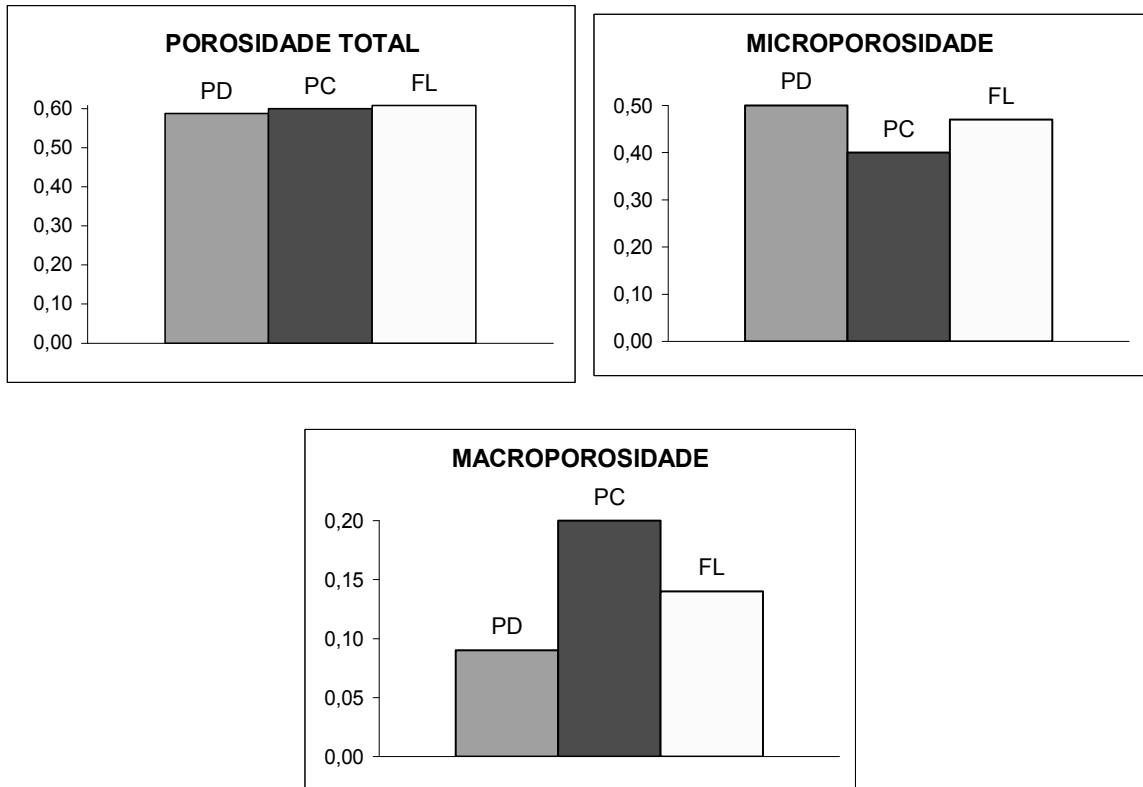


Figura 3.5.1 - Porosidade total, microporosidade e macroporosidade nos sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Observa-se que a propriedade porosidade total apresenta média bastante próxima para os sistemas PD, PC e FL, não sendo influenciada pelo tipo de manejo adotado na prática agrícola, principalmente na camada arável.

O valor médio da propriedade microporosidade no PD é maior que os do sistema PC e FL.

Scherpinski (2003) também encontrou um valor superior da microporosidade para o solo do sistema sob plantio direto PD. Segundo Guimarães (2000), isto se deve ao fato de que neste sistema de plantio, o solo encontra-se mais compactado.

O valor médio da propriedade macroporosidade do solo no PC é maior que os dos sistemas PD e FL.

Scherpinski (2003) também encontrou um valor superior de macroporosidade para o solo sob PC. Segundo ela, isto é devido ao fato de que a camada superficial do solo neste sistema de manejo é revolvida, o que ocasiona o aparecimento de um volume maior de macroporos no solo.

Segundo Gomes (1984), para a propriedade porosidade total e a microporosidade, a variabilidade, medida pelo coeficiente de variação CV, é considerada baixa para os sistemas PD e PC e pode ser considerada média para o solo da FL. Para a propriedade macroporosidade do solo, a variabilidade é considerada média para o sistema PC e muito alta para os sistemas PD e FL.

Os coeficientes de assimetria e curtose juntamente com os histogramas (figuras 3.5.2, 3.5.3 e 3.5.4), revelaram distribuição normal para a porosidade total no sistema PD e PC, para a microporosidade no sistema PC e macroporosidade do solo nos sistemas PD, PC e FL. A microporosidade dos sistemas PD e FL revelou uma distribuição tendendo a normal e a porosidade total do solo do sistema FL não apresentou uma distribuição normal.

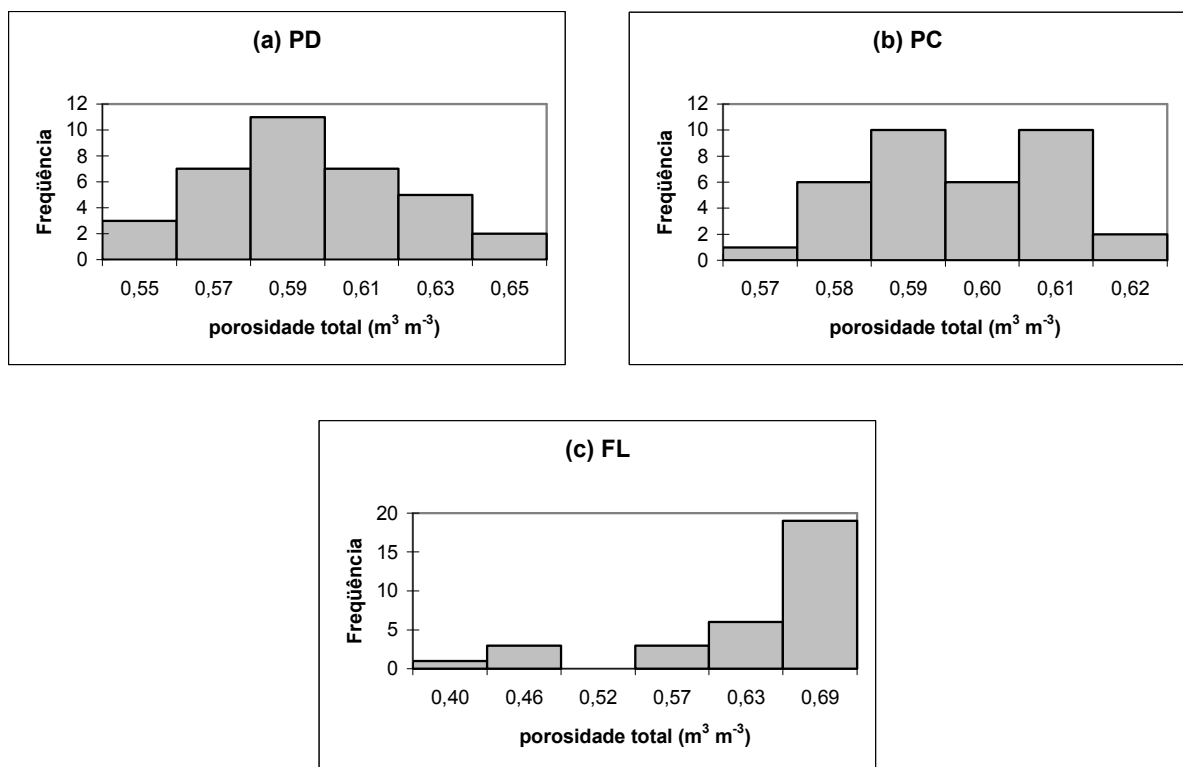


Figura 3.5.2 - Histogramas para a propriedade porosidade total nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

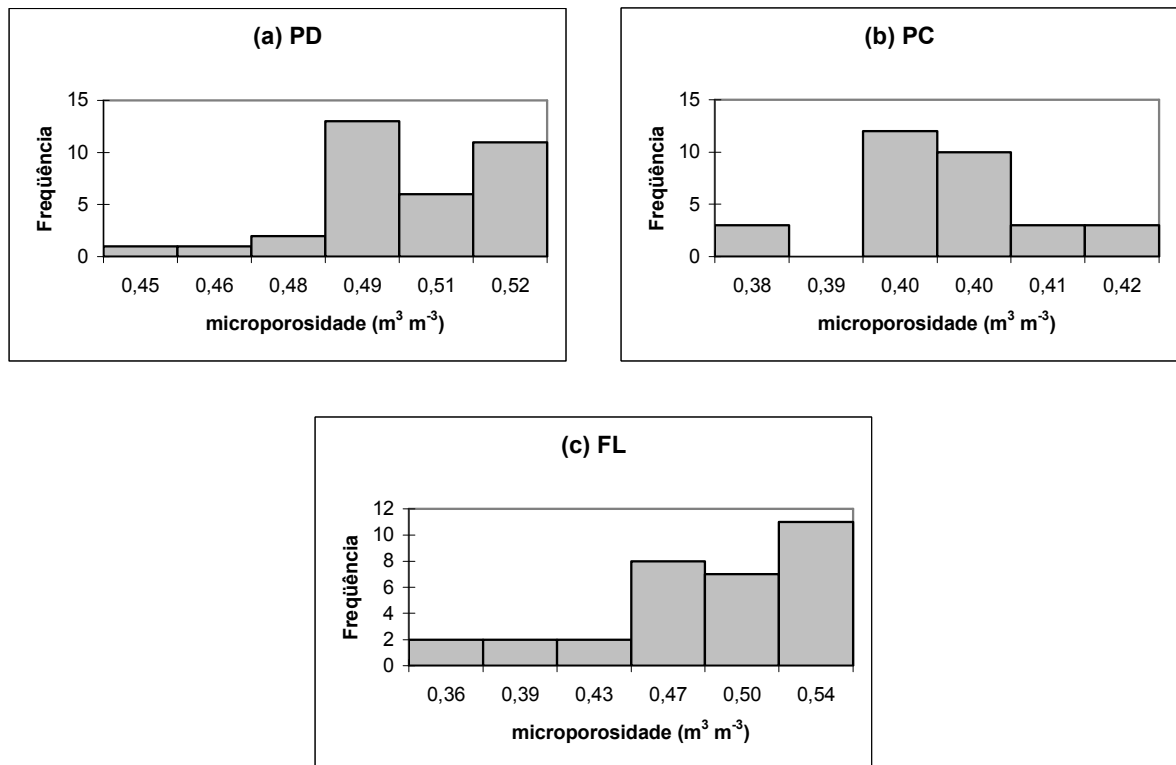


Figura 3.5.3 - Histogramas para a propriedade microporosidade nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

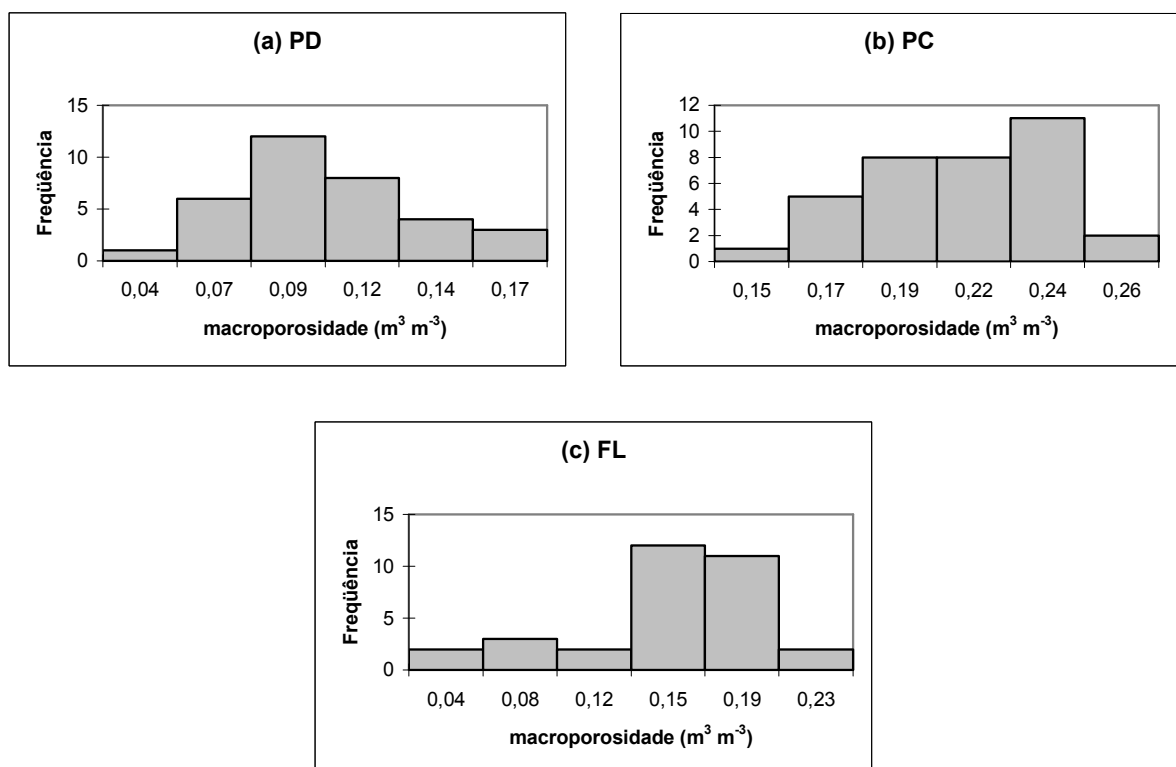


Figura 3.5.4 - Histogramas para a propriedade macroporosidade nos sistemas: (a) plantio direto PD; (b) plantio convencional PC e (c) floresta FL

Souza et al. (2001) verificaram que a porosidade total e a microporosidade do solo submetidos ao sistema PD apresentaram distribuição normal e CV baixo. Para Carvalho et al. (2003), em relação às distribuições das propriedades mencionadas anteriormente, os resultados são semelhantes aos de Souza et al. (2001). Entretanto, os CV encontrados foram diferentes. A variabilidade para a microporosidade e para a porosidade total foram consideradas médias e muito alta para a macroporosidade.

Guimarães (2000) encontrou para os sistemas PD e PC, distribuição normal para as três propriedades. Quanto à variabilidade, foram consideradas baixas para a porosidade total e microporosidade, e relativamente alta para a macroporosidade do solo. Scherpinski (2003) obteve uma distribuição normal para a macro e a microporosidade do solo em ambos os sistemas PD e PC. Obteve variabilidade baixa para a microporosidade no PD e macroporosidade no PC, e variabilidade média para a microporosidade no PC e macroporosidade no PD.

3.6 MAPAS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E SUAS CORRELAÇÕES COM A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO

Nesta seção são apresentados os mapas das propriedades físicas do solo e suas correlações com a condutividade hidráulica do solo saturado. Primeiramente, uma breve análise será feita somente com os mapas da condutividade hidráulica do solo saturado. Após, para cada propriedade que será apresentada, o respectivo mapa dos valores da K_{sat} também será apresentado ao lado, a fim de verificar se há alguma correlação entre eles.

Os mapas em cores serão colocados para fornecer uma identificação visual da correlação entre as várias propriedades investigadas e a K_{sat} . Também serão apresentados os diagramas de dispersão entre cada uma das propriedades e a K_{sat} , onde será analisado os coeficientes de correlação.

3.6.1 Mapas da condutividade hidráulica do solo saturado

A figura 3.6.1.1 mostra a distribuição dos valores da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) em cm/h, na área experimental, nos sistemas PD, PC e FL.

A escala dos mapas (18x20m) é a mesma das parcelas das áreas experimentais (figura 2.2.1).

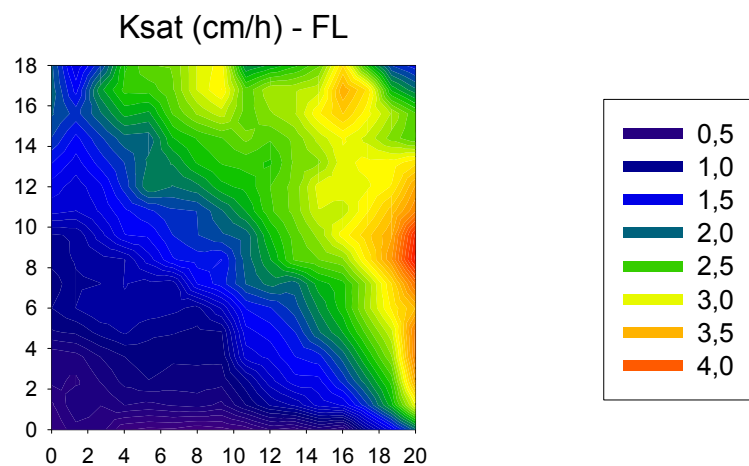
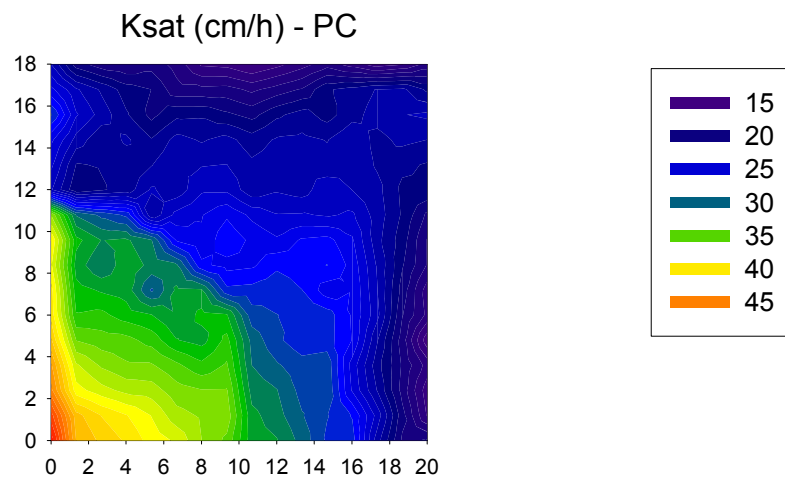
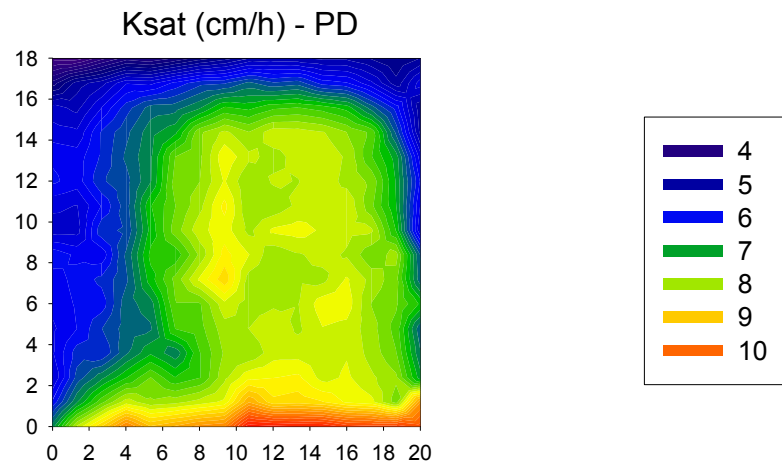


Figura 3.6.1.1 - Mapas dos valores da K_{sat} (cm/h) nos sistemas de plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Pela figura 3.6.1.1, pode-se perceber que a K_{sat} apresenta uma distribuição bastante variável, para todos os sistemas analisados: PD, PC e FL.

3.6.2 Mapas da densidade de partículas

As figuras 3.6.2.1 a 3.6.2.7 mostram a distribuição de valores de d_{part} em g/cm^3 nos sistemas PD, PC e FL.

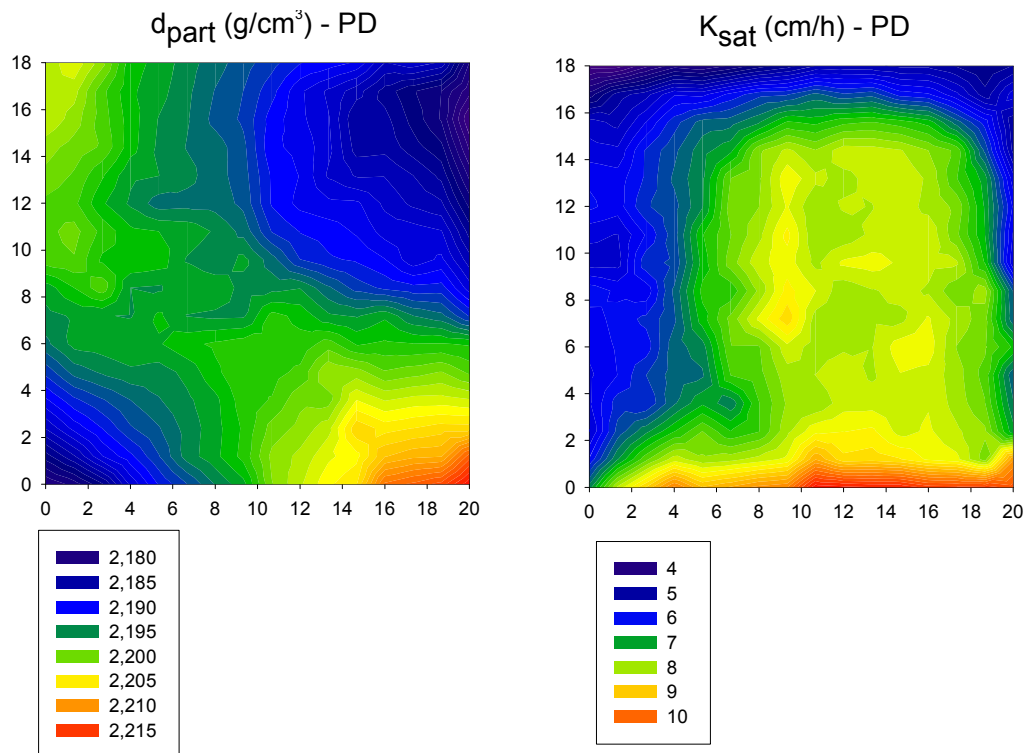
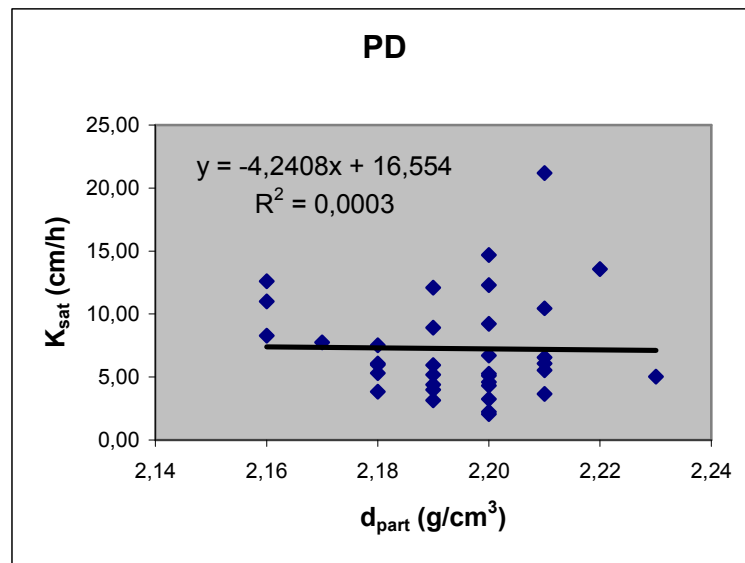


Figura 3.6.2.1 - Mapa dos valores da d_{part} (g/cm^3) no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

Qualitativamente, pela análise da figura 3.6.2.1 observa-se que as propriedades d_{part} e K_{sat} não estão correlacionadas no sistema PD. A figura 3.6.2.2 apresenta o diagrama de dispersão entre estas propriedades.



3.6.2.2 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm³) para o sistema plantio direto PD

O coeficiente de correlação obtido, apresentado na figura 3.6.2.2, também mostra que não há uma correlação entre K_{sat} e d_{part} .

O mesmo tipo de conclusão se pode tirar entre a correlação da K_{sat} e d_{part} para o sistema PC e FL. Com base nas figuras 3.6.2.3 e 3.6.2.4 para o sistema PC e nas figuras 3.6.2.5 e 3.6.2.6 para o sistema FL, podemos ver também que não há correlação.

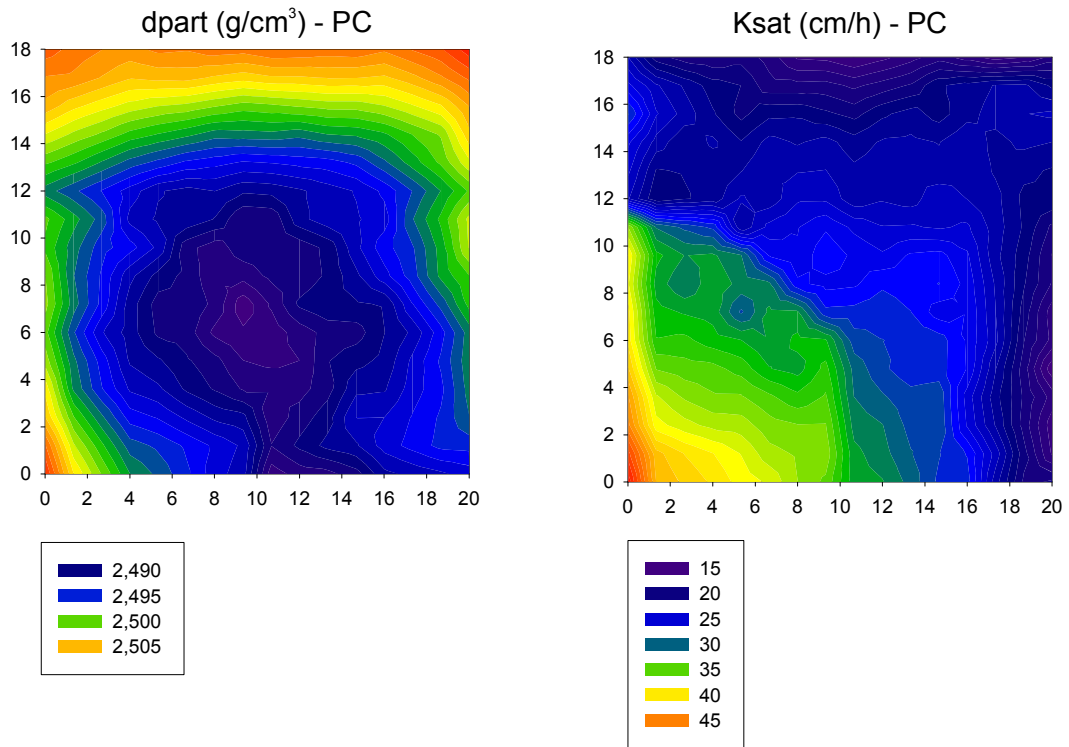


Figura 3.6.2.3 - Mapa dos valores da d_{part} (g/cm³) no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

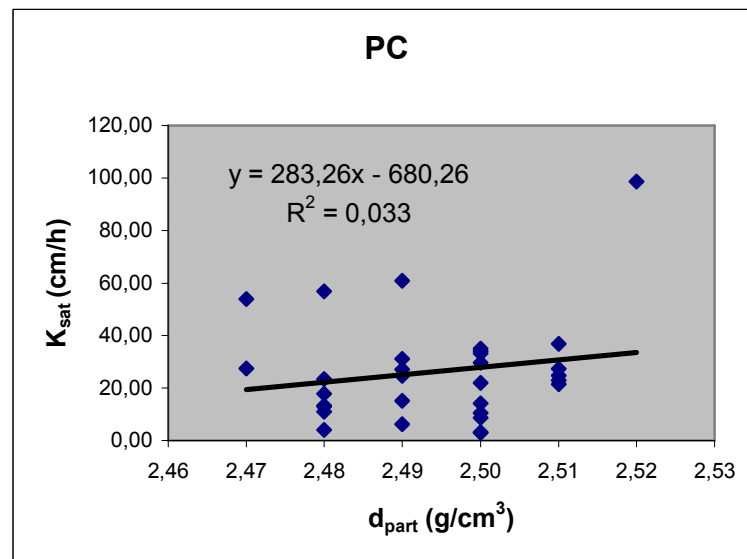


Figura 3.6.2.4 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm³) para o sistema plantio convencional PC

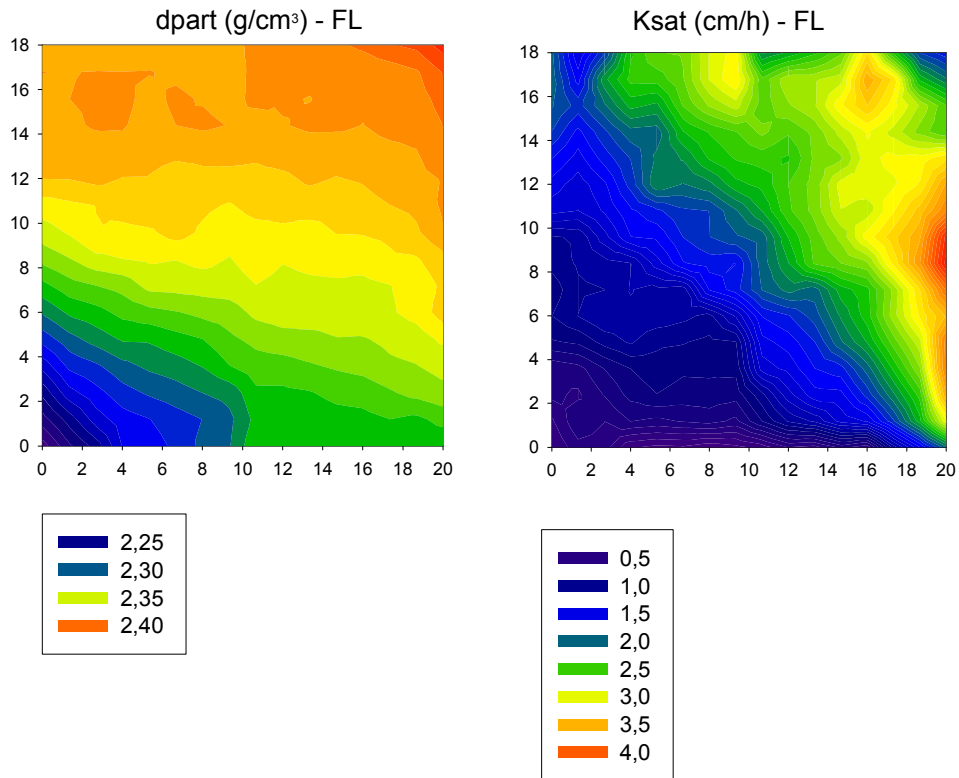


Figura 3.6.2.5 - Mapa dos valores da d_{part} (g/cm³) no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

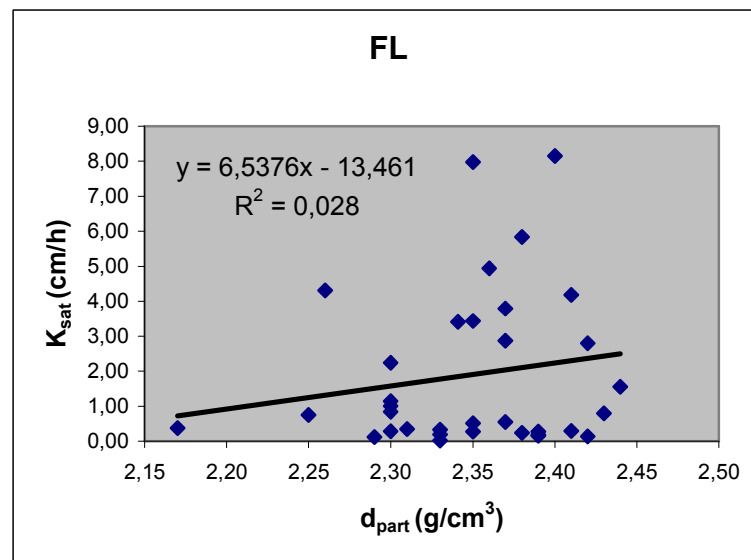


Figura 3.6.2.6 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g.cm³) para o sistema floresta FL

Na figura 3.6.2.7, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e d_{part} para os sistemas PD, PC e FL.

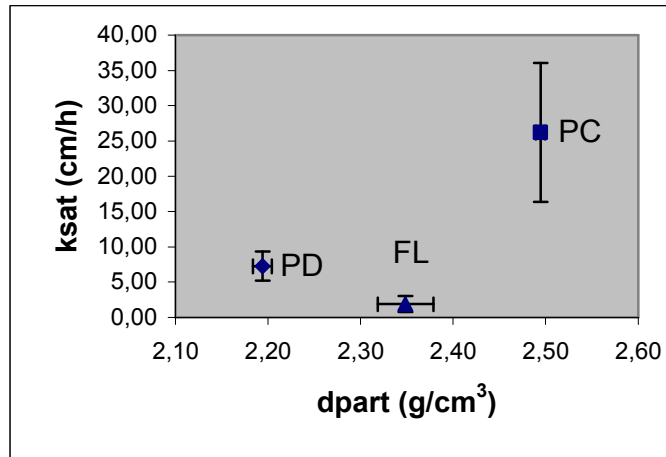


Figura 3.6.2.7 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e d_{part} (g/cm³) para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Pela análise do gráfico da figura 3.6.2.7 vemos que o PC foi o que apresentou, ao mesmo tempo, o maior valor médio tanto para a densidade de partículas quanto para a K_{sat} . O valor médio da d_{part} da FL apresentou um valor intermediário entre os sistemas PD e PC e o menor valor da K_{sat} .

3.6.3 Mapas das propriedades granulométricas

As figuras 3.6.3.1 a 3.6.3.21 mostram as distribuições de valores das propriedades granulométricas, areia, silte e argila, na área experimental, nos sistemas PD, PC e FL.

Qualitativamente, pela análise da figura 3.6.3.1, não verificamos uma correlação entre a quantidade de areia do solo e a sua K_{sat} no PD. Essa informação é corroborada pelo baixo valor do coeficiente de correlação ($r^2=0,141$) obtido entre essas propriedades. (figura 3.6.3.2).

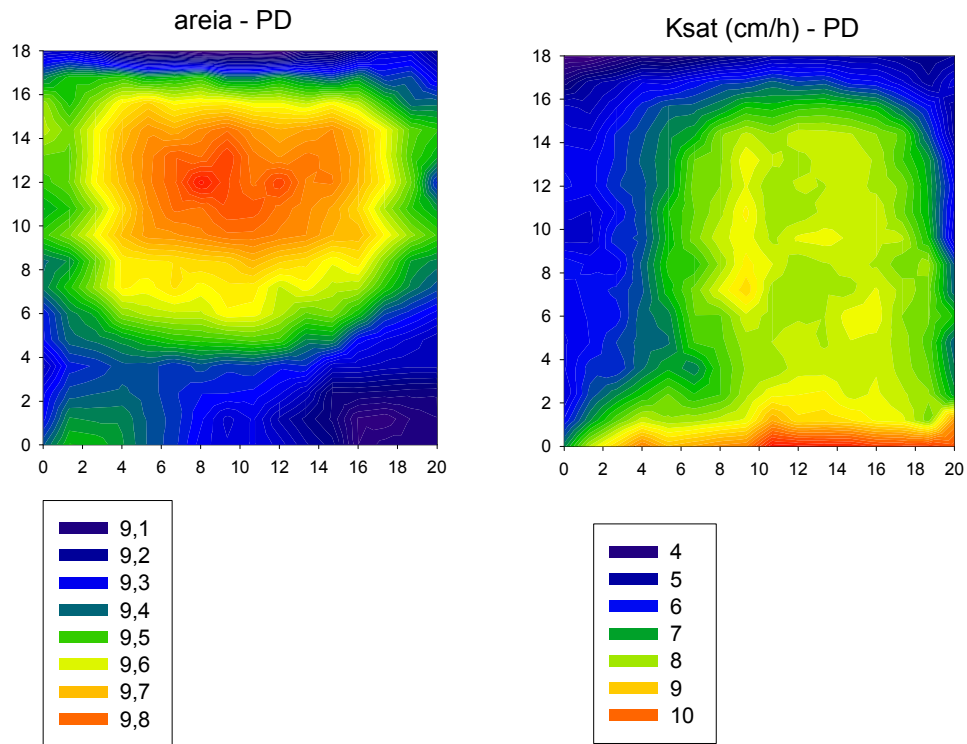


Figura 3.6.3.1 - Mapa dos valores de areia no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

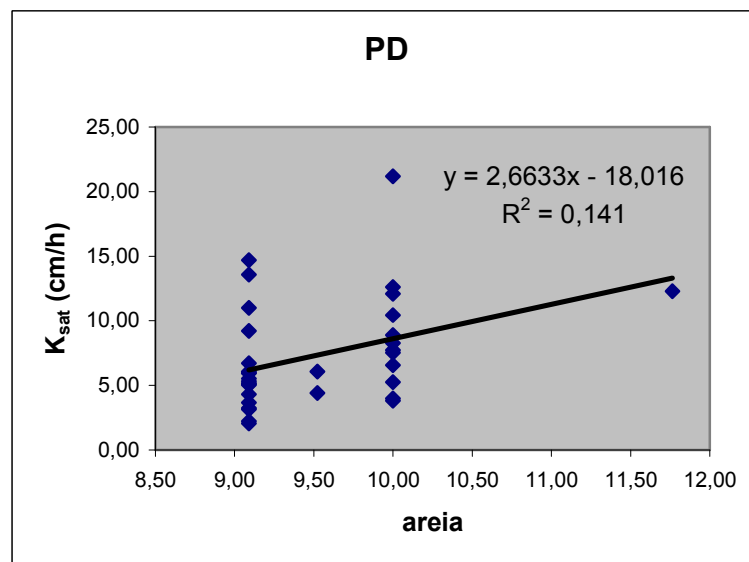


Figura 3.6.3.2 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema plantio direto PD

Pela análise das figuras 3.6.3.3 a 3.6.3.6, a conclusão de que não há uma correlação entre a quantidade de areia e a K_{sat} do solo pode ser estendida aos sistemas PC e FL.

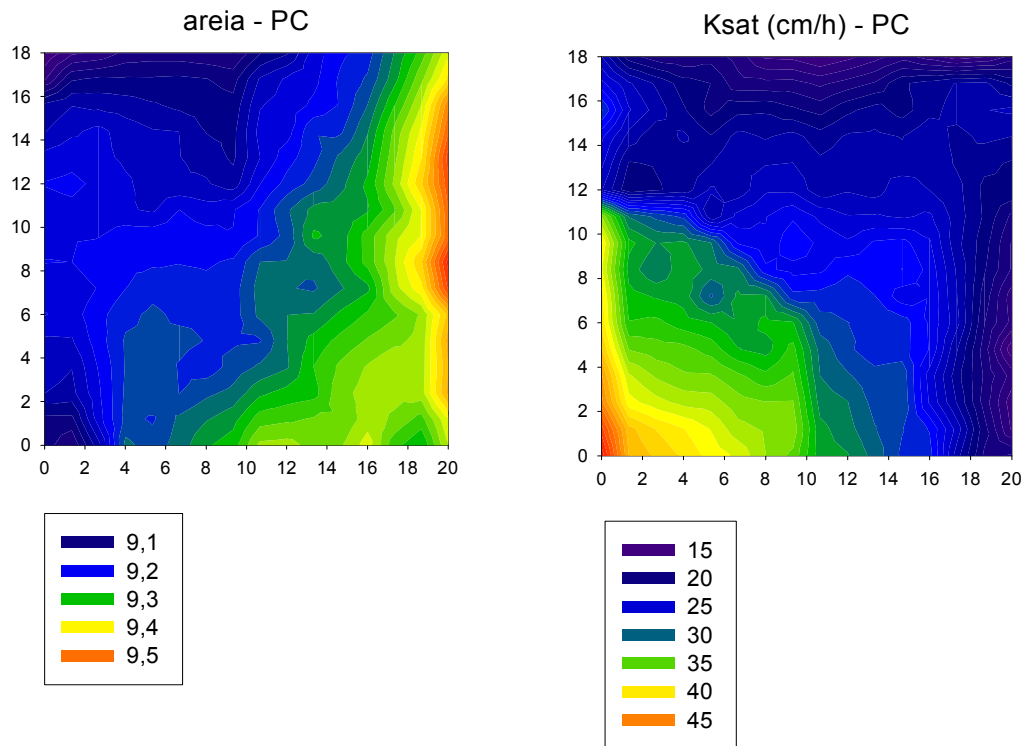


Figura 3.6.3.3 - Mapa dos valores de areia no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

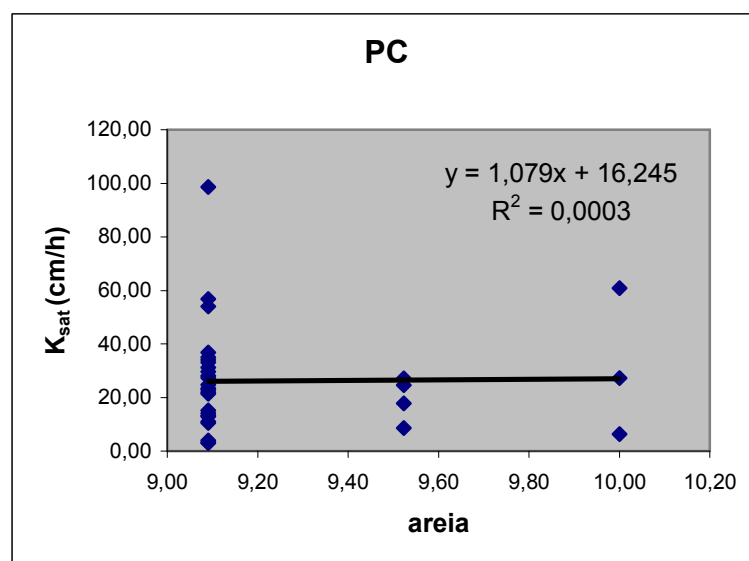


Figura 3.6.3.4 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema plantio convencional PC

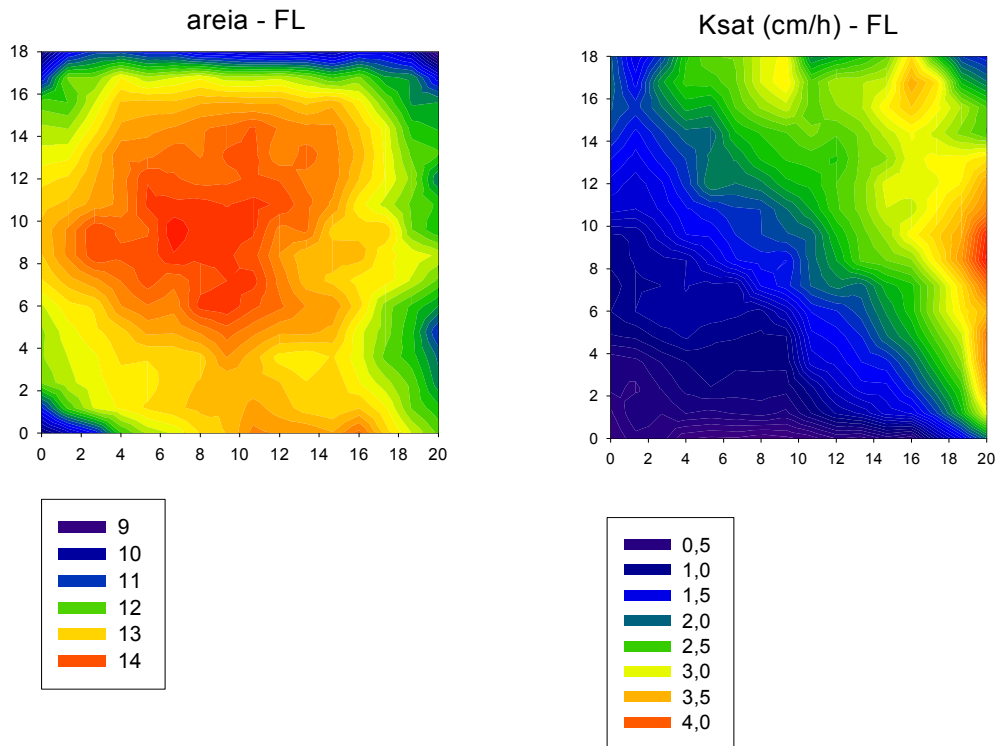


Figura 3.6.3.5 - Mapa dos valores de areia no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

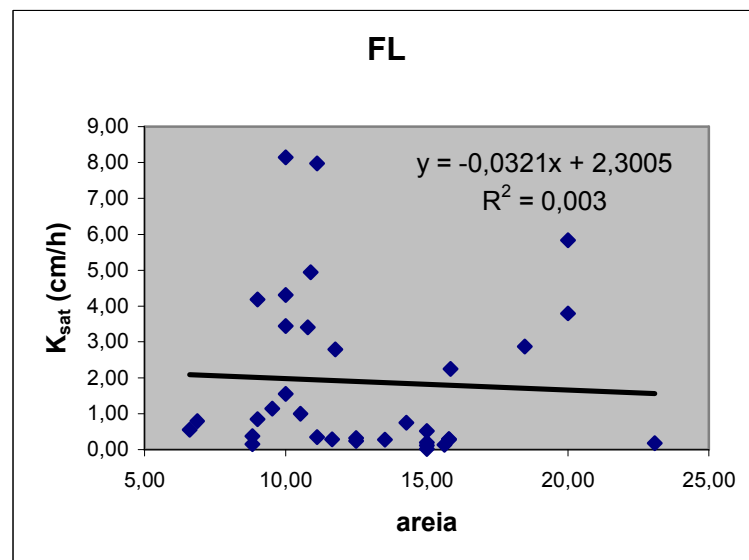


Figura 3.6.3.6 – Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e areia para o sistema floresta FL

Na figura 3.6.3.7, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e areia para os sistemas PD, PC e FL.

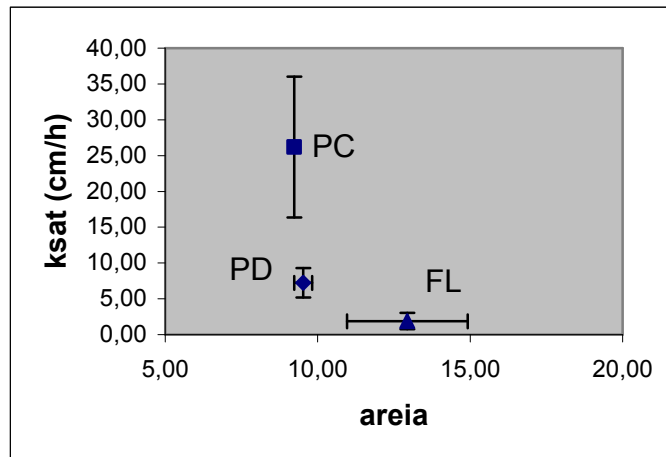


Figura 3.6.3.7 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e areia para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Observa-se na figura 3.6.3.7, que os sistemas PD e PC possuem quantidades médias de areia muito próximas e valores da K_{sat} diferentes. Já a FL apresentou a maior quantidade de areia, porém o menor valor da K_{sat} . No entanto, não há uma correlação entre esses valores médios.

A seguir, das figuras 3.6.3.8 a 3.6.3.13, apresentam-se as correlações entre a quantidade de silte e a K_{sat} do solo, para os três sistemas de manejo investigados.

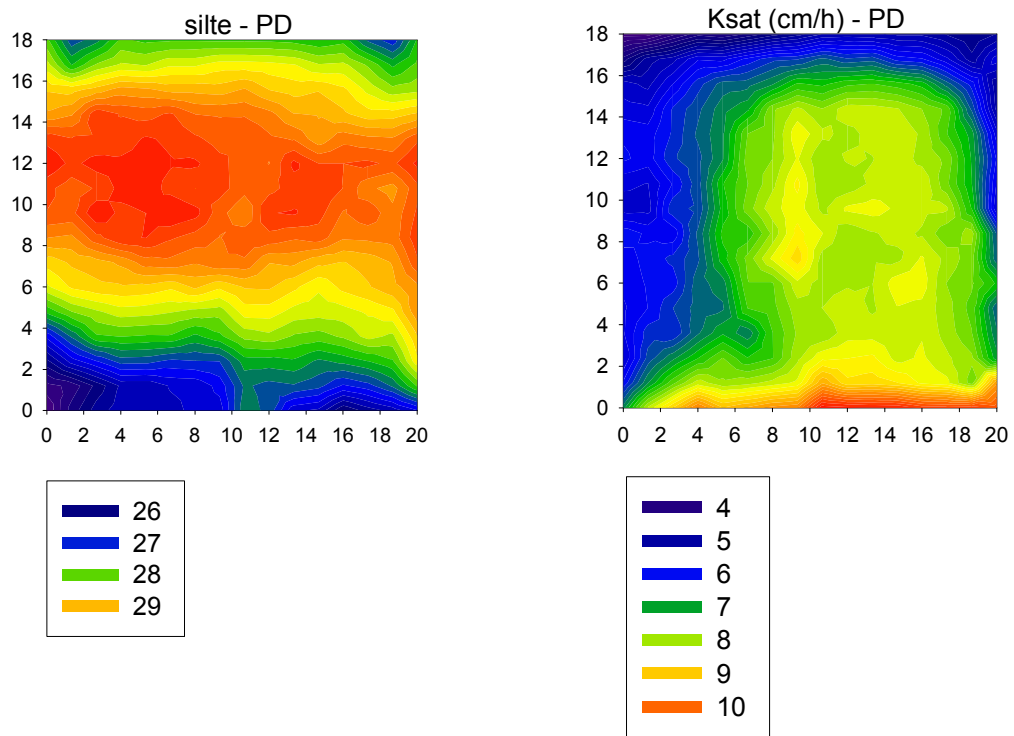


Figura 3.6.3.8 - Mapa dos valores de silte no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

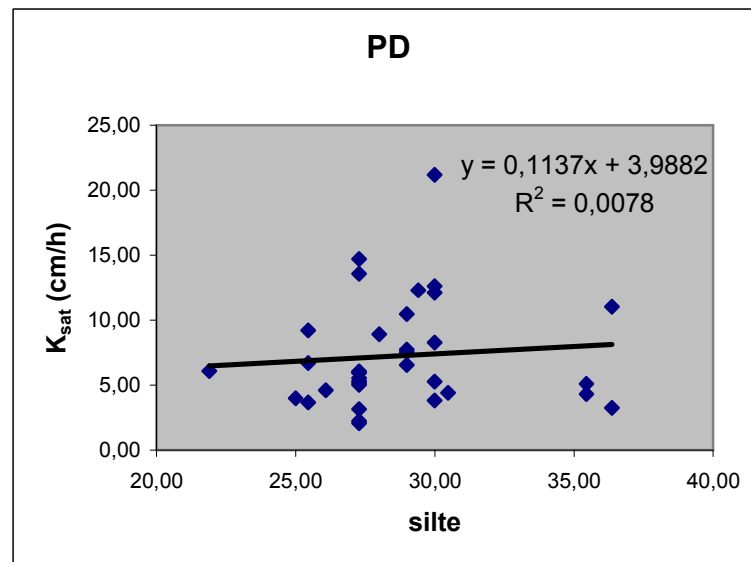


Figura 3.6.3.9 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema plantio direto PD

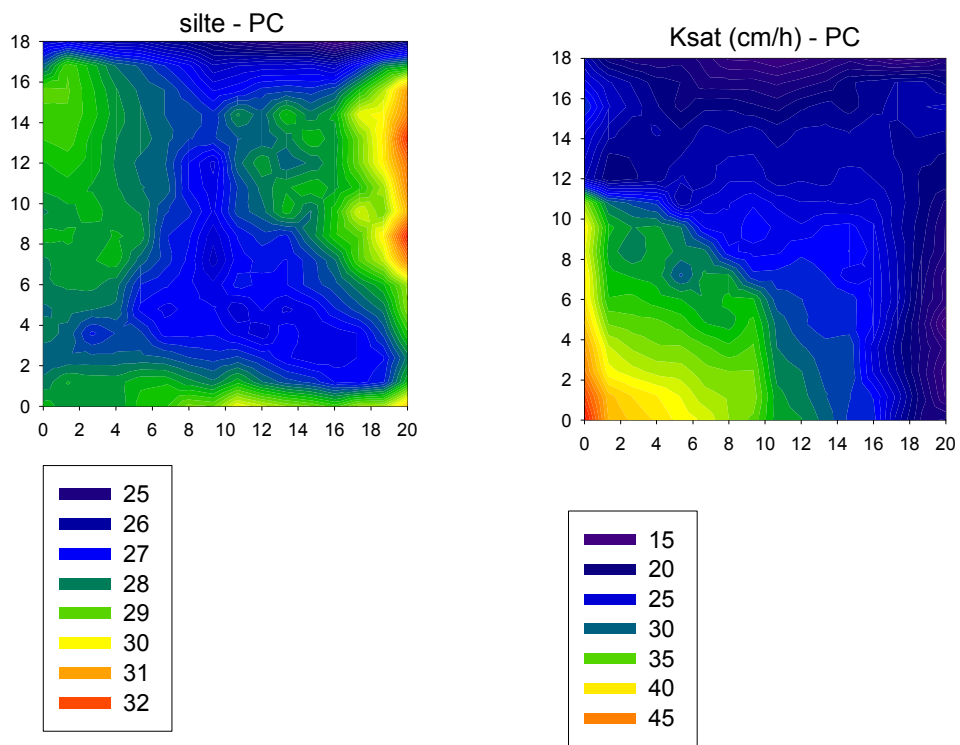


Figura 3.6.3.10 - Mapa dos valores de silte no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

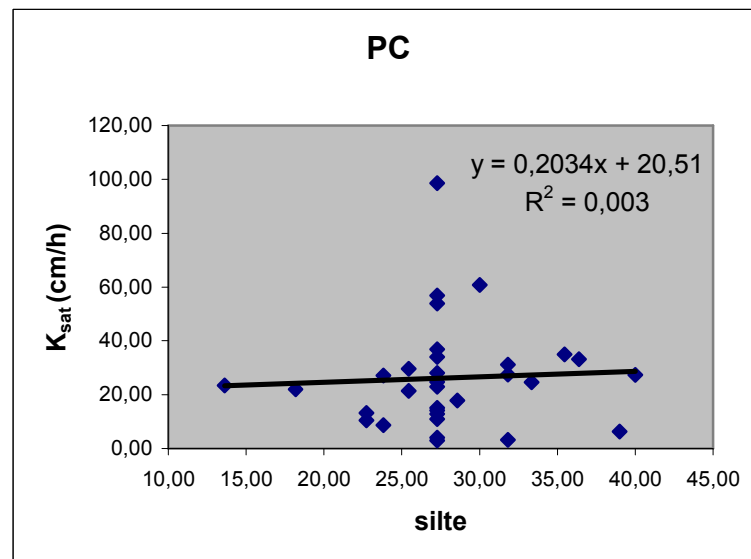


Figura 3.6.3.11 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema plantio convencional PC

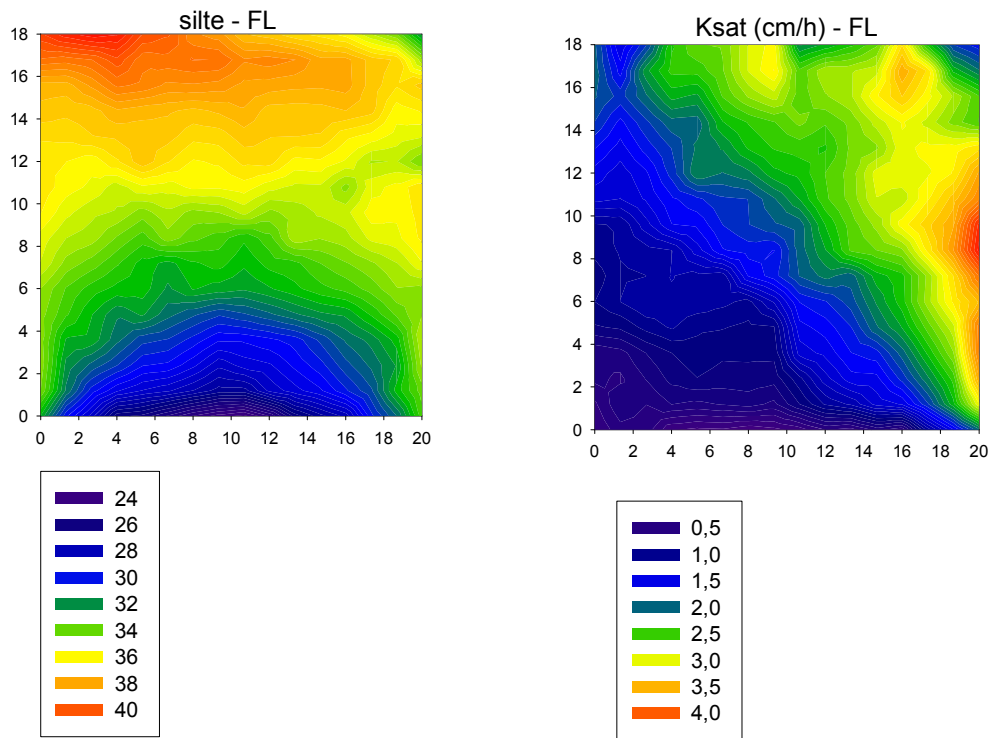


Figura 3.6.3.12 - Mapa dos valores de silte no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (direita)

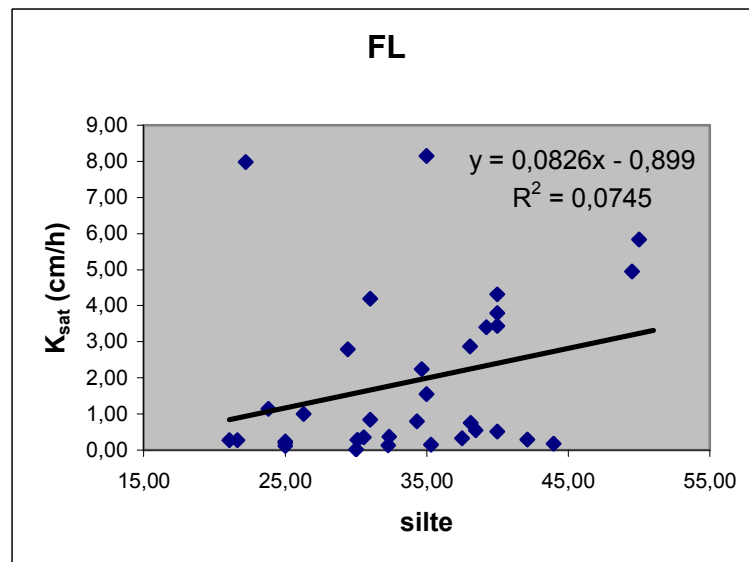


Figura 3.6.3.13 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e silte para o sistema floresta FL

De forma geral, os baixos coeficientes de correlação, obtidos nos gráficos que relacionam a quantidade de silte e a K_{sat} do solo, mostram que estas propriedades não estão correlacionadas, considerando todos os sistemas de plantio investigados.

Na figura 3.6.3.14, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e silte para os sistemas PD, PC e FL.

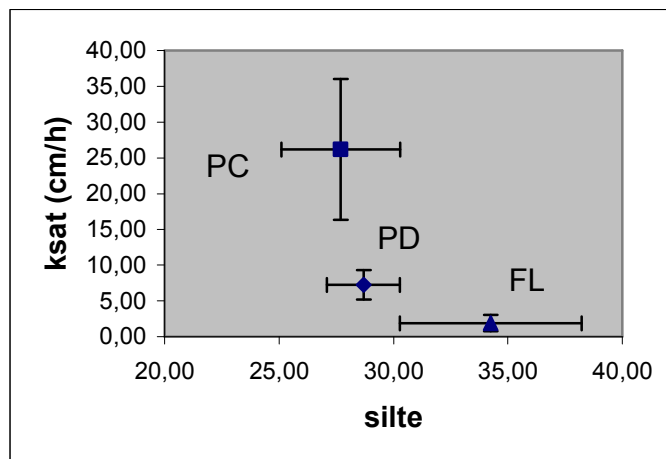


Figura 3.6.3.14 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e silte para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Observa-se, novamente, valores muito próximos da quantidade média de silte nos sistemas PD e PC com valores da K_{sat} diferentes e um valor médio maior na FL com o menor valor da K_{sat} . Porém, novamente isto não se manifesta de forma muito clara, não apresentando nenhuma correlação entre esses valores médios.

A seguir, das figuras 3.6.3.15 a 3.6.3.20, são mostradas as correlações entre a K_{sat} e a quantidade de argila presente no solo dos diferentes tipos de plantio investigados.

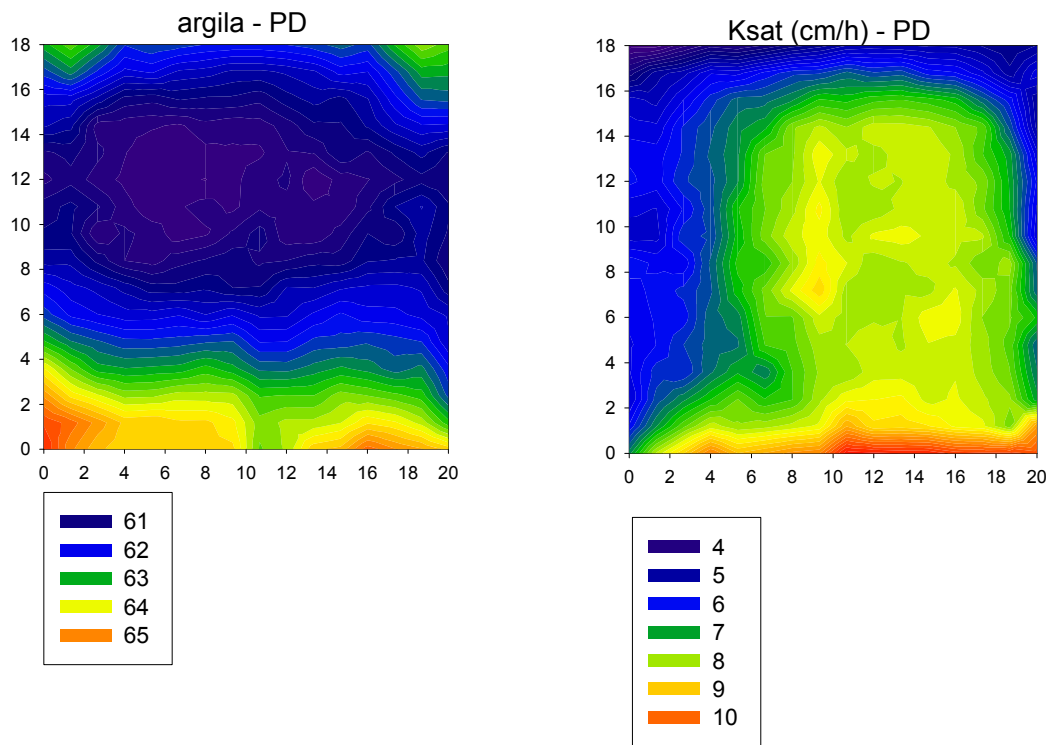


Figura 3.6.3.15 - Mapa dos valores de argila no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (direita)

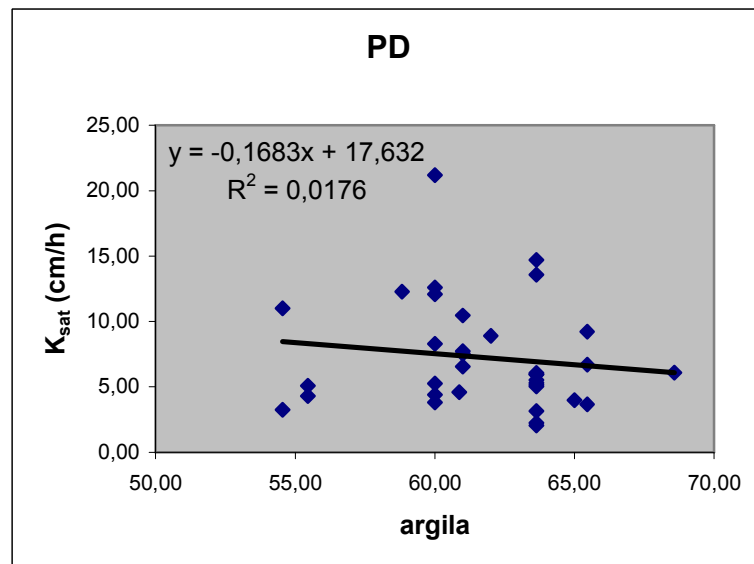


Figura 3.6.3.16 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema plantio direto PD

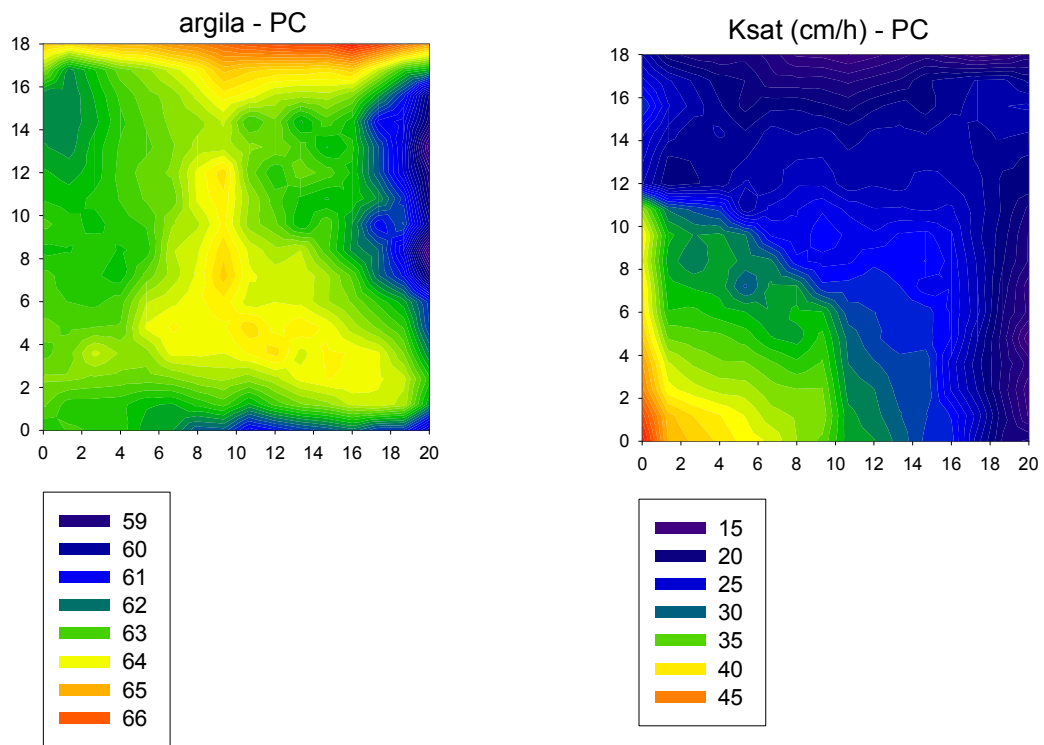


Figura 3.6.3.17 - Mapa dos valores de argila no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

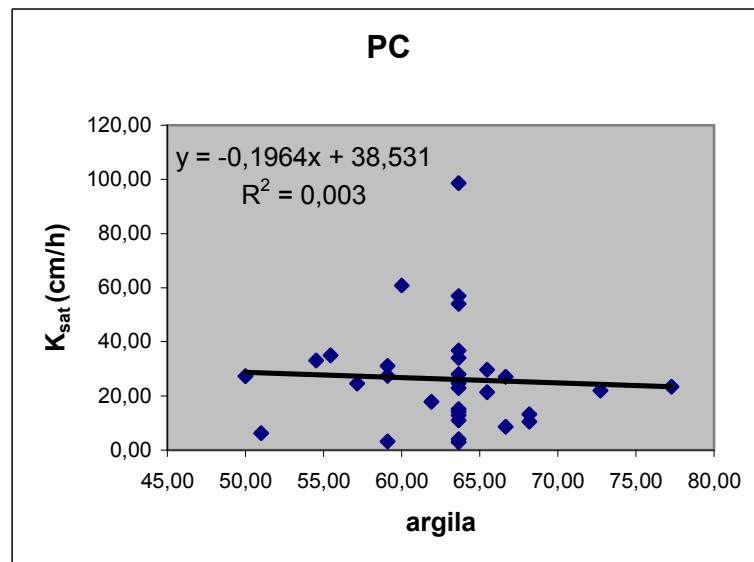


Figura 3.6.3.18 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema plantio convencional PC

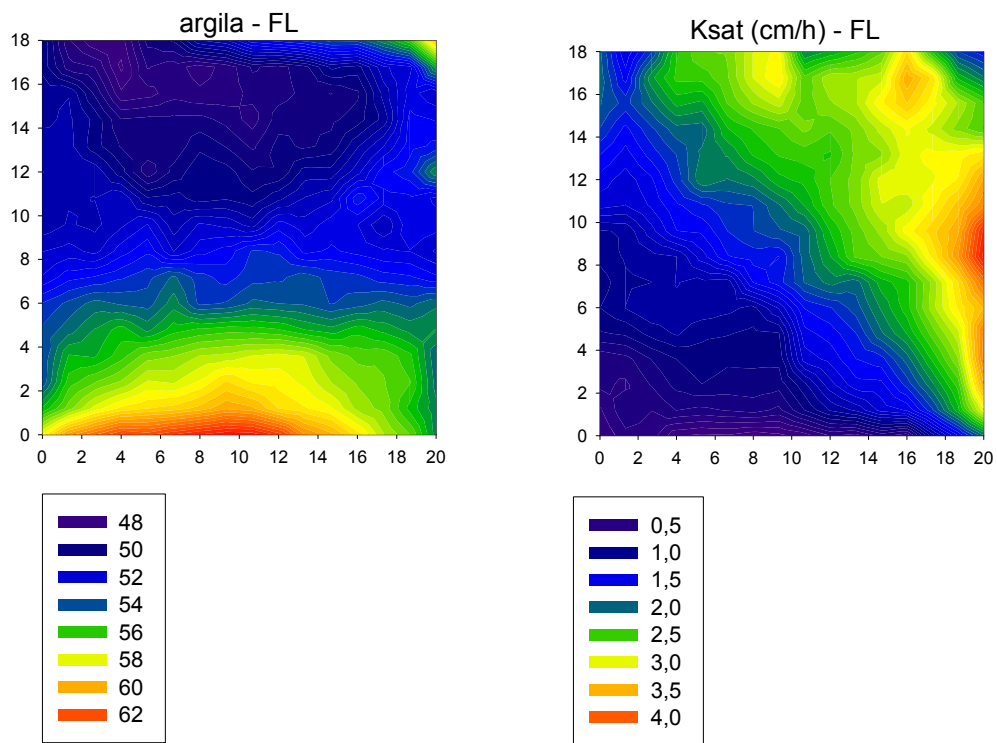


Figura 3.6.3.19 - Mapa dos valores de argila no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

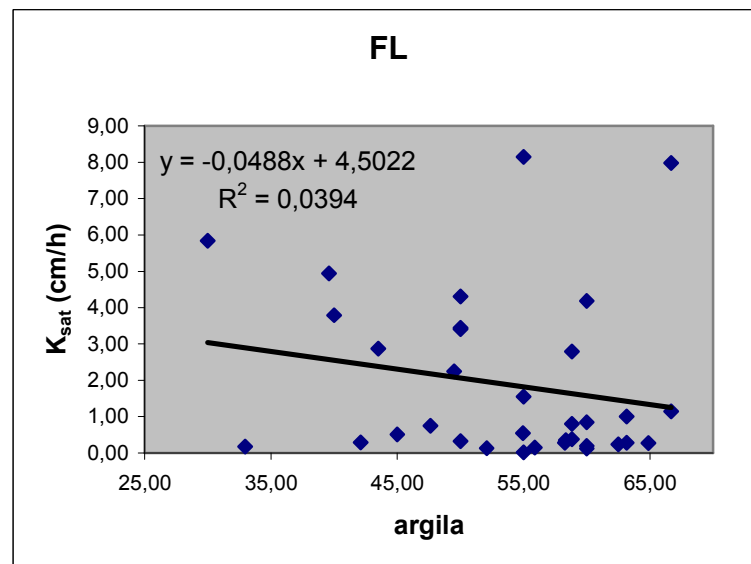


Figura 3.6.3.20 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e argila para o sistema floresta FL

Também, não foi verificada correlação entre a quantidade de argila presente no solo e sua K_{sat} . Isto pode ser observado qualitativamente pela análise dos gráficos em cores e quantitativamente pelo baixo coeficiente de correlação obtido na relação entre a K_{sat} e a quantidade de argila do solo, para todos os sistemas investigados.

Na figura 3.6.3.21, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e da quantidade de argila no solo dos diferentes tipos de manejo, PD, PC e FL.

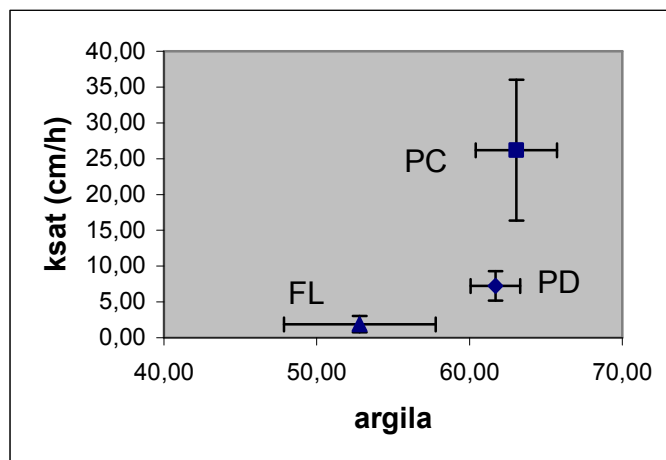


Figura 3.6.3.21 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e argila para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Em média, verifica-se quantidades médias de argila muito próximas para os sistemas PD e PC. Já a FL apresentou o valor médio de argila menor que os outros sistemas. Porém, também não há nenhuma correlação entre esses valores médios.

3.6.4 Mapas da densidade do solo

As figuras 3.6.4.1 a 3.6.4.7 mostram as distribuições de valores da d_s ($g.cm^{-3}$), na área experimental, nos sistemas PD, PC e FL.

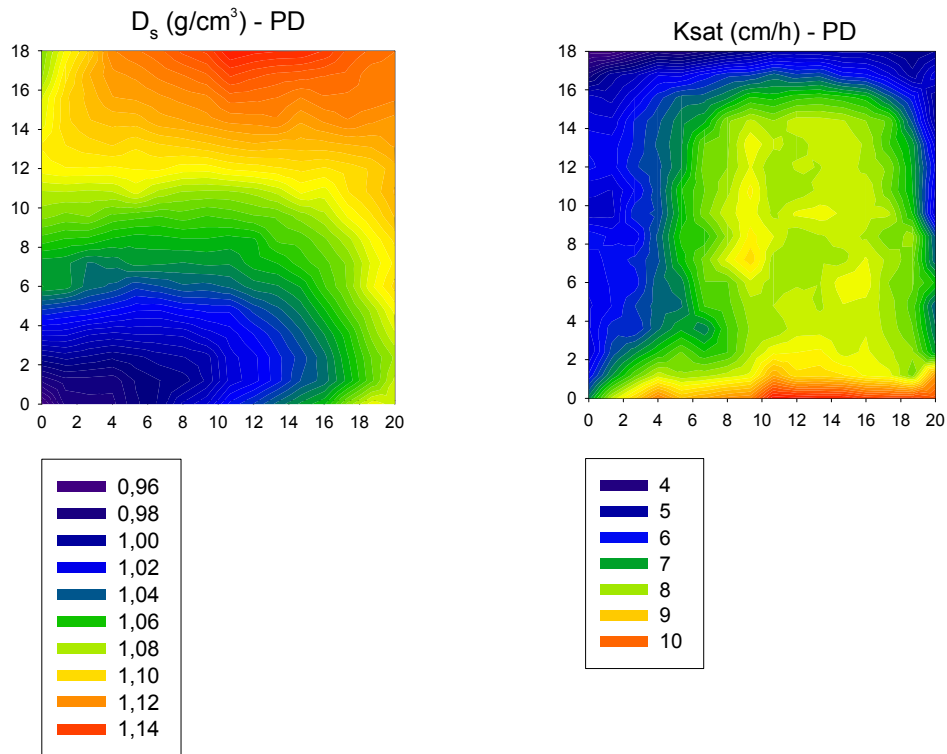


Figura 3.6.4.1 - Mapa dos valores da d_s (g/cm³) no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

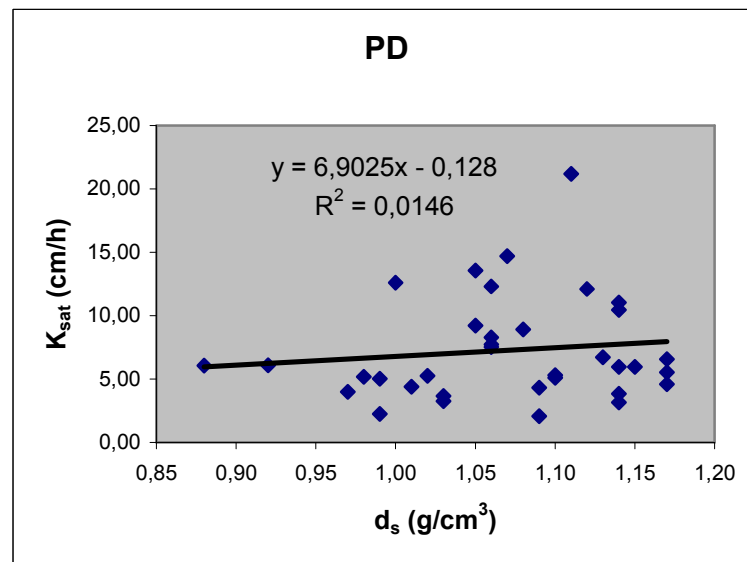


Figura 3.6.4.2 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm³) para o sistema plantio direto PD

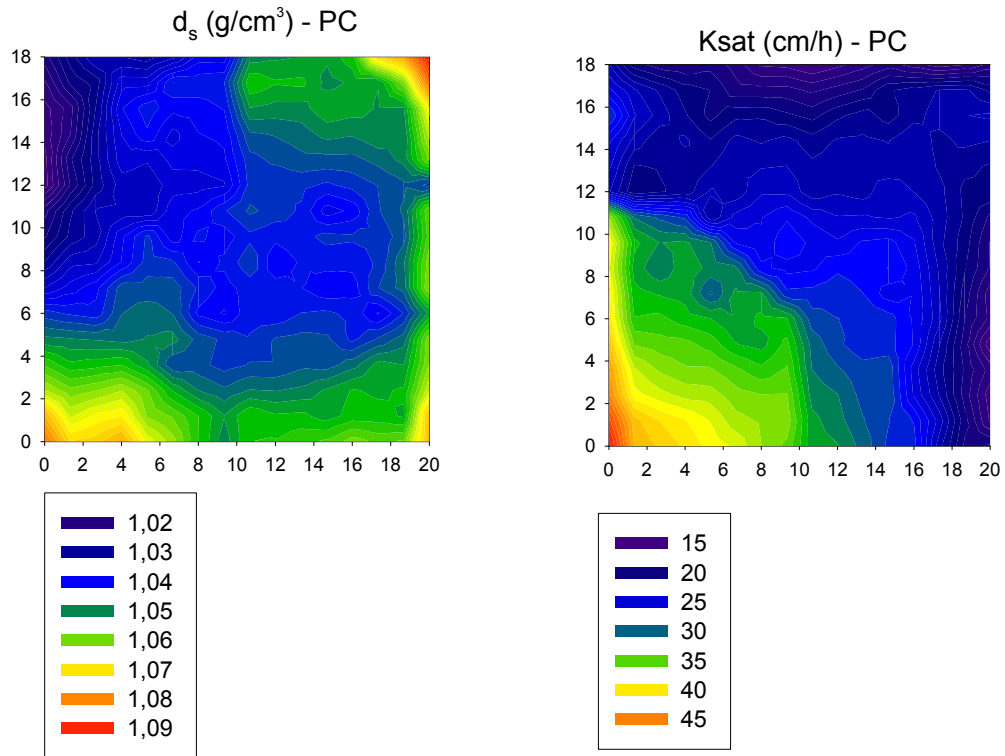


Figura 3.6.4.3 - Mapa dos valores da d_s (g/cm³) no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

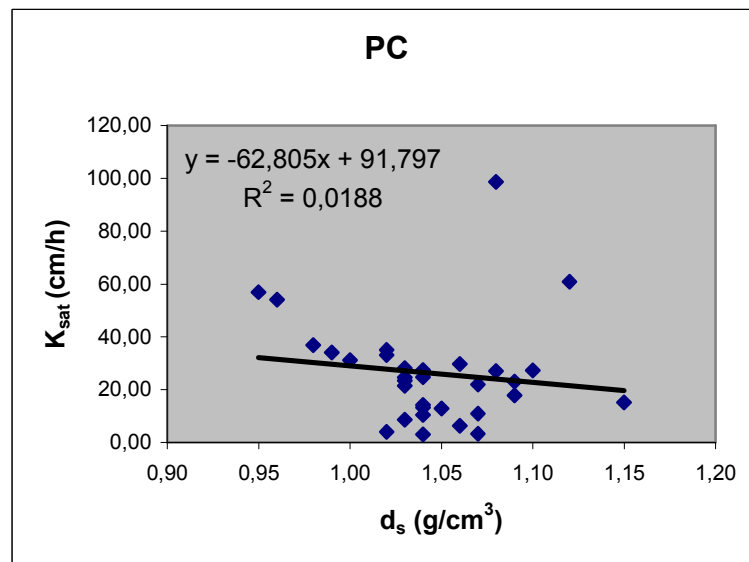


Figura 3.6.4.4 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm³) para o sistema plantio convencional PC

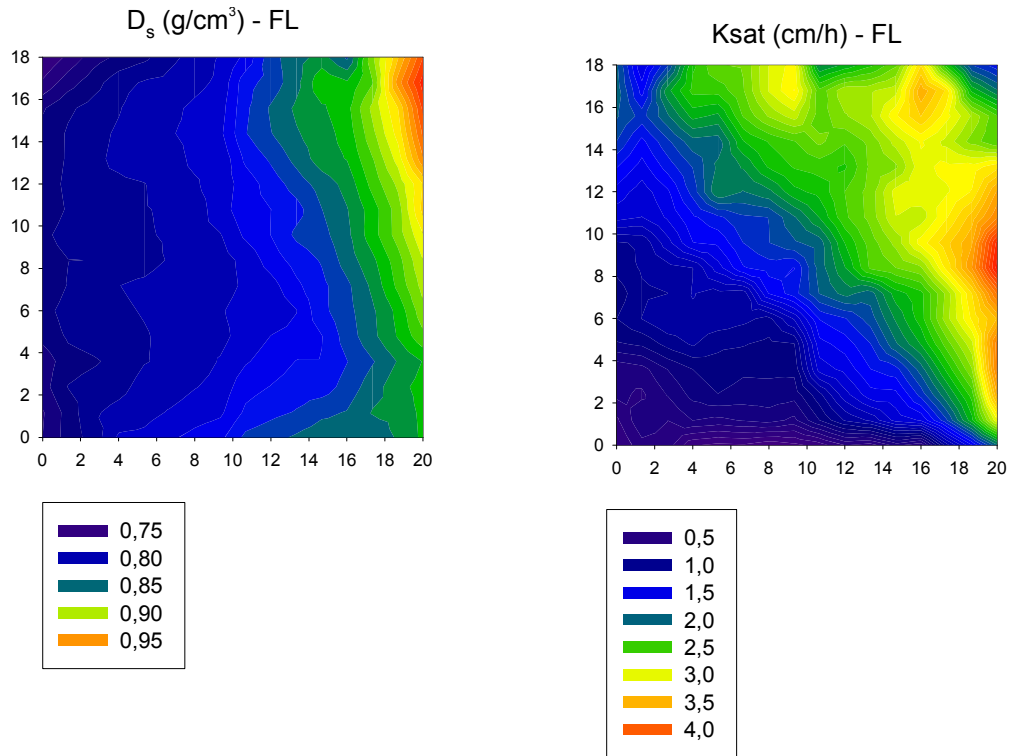


Figura 3.6.4.5 - Mapa dos valores da d_s (g/cm^3) no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

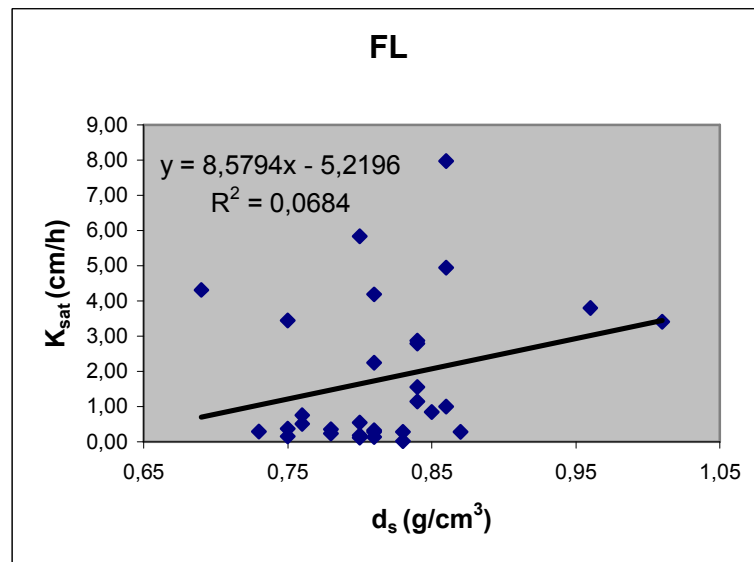


Figura 3.6.4.6 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm^3) para o sistema floresta FL

De forma geral, os baixos coeficientes de correlação, obtidos nos gráficos que relacionam a d_s e a K_{sat} do solo, mostram que estas propriedades não estão correlacionadas, considerando todos os sistemas de plantio investigados.

Na figura 3.6.4.7 é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e d_s para os sistemas PD, PC e FL.

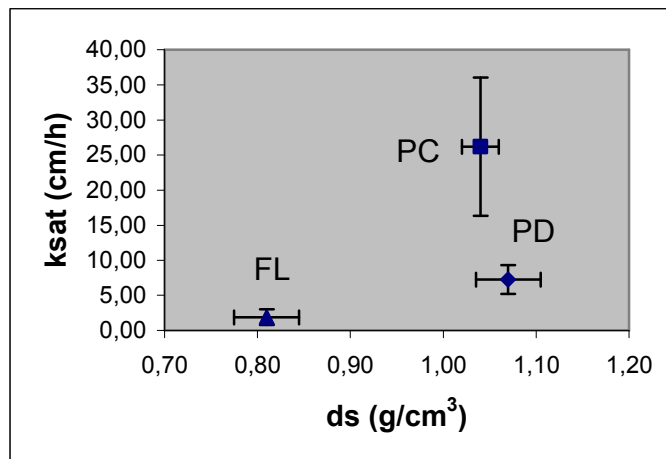


Figura 3.6.4.7 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e d_s (g/cm³) para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Da mesma maneira que com as outras propriedades analisadas anteriormente, não há correlação entre os valores médios, pois uma grande diferença dos valores da K_{sat} é observada, entre os sistemas PC e PD, mesmo estes sistemas exibindo valores médios da d_s muito semelhantes entre si. Já a FL apresenta o valor médio da d_s menor que os outros dois sistemas e uma K_{sat} também menor.

3.6.5 Mapas da porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo

Nas figuras 3.6.5.1 a 3.6.5.7 são apresentadas as distribuições de valores da porosidade total do solo e dos valores da K_{sat} na área experimental sob os sistemas PD, PC e FL.

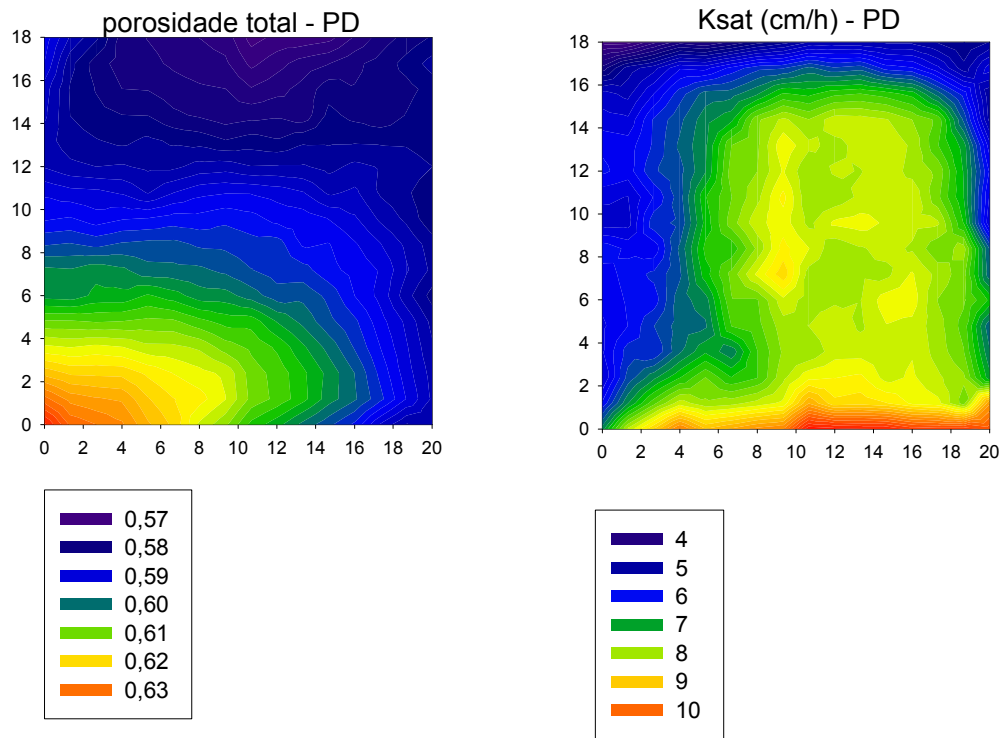


Figura 3.6.5.1 - Mapa dos valores da porosidade total do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita) do solo

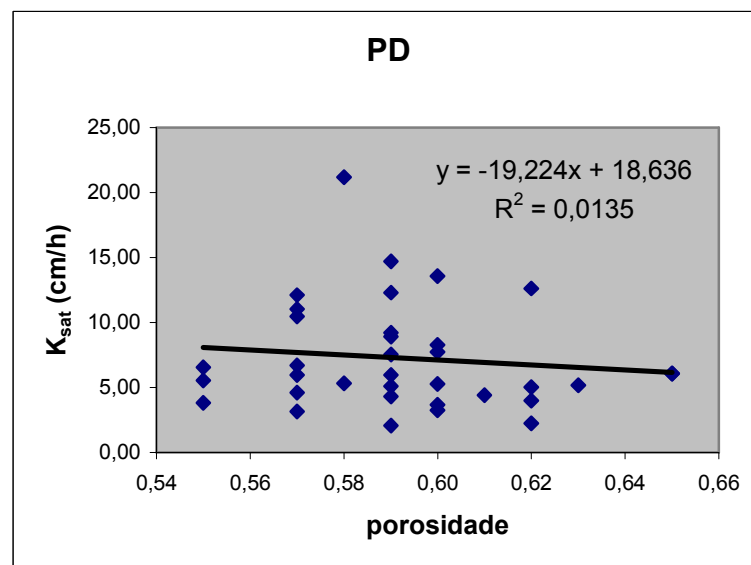


Figura 3.6.5.2 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema plantio direto PD

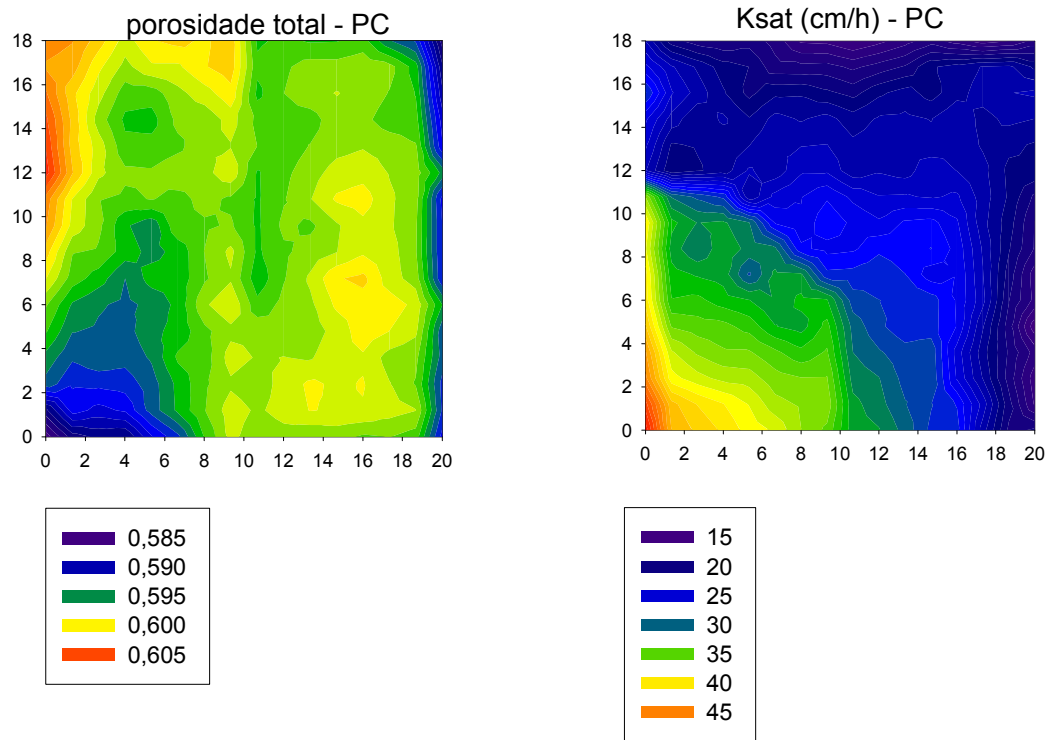


Figura 3.6.5.3 - Mapa dos valores da porosidade total do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

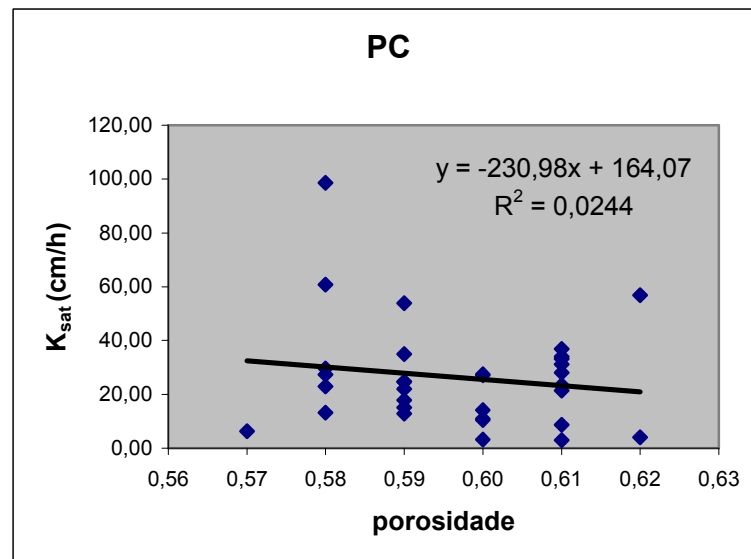


Figura 3.6.5.4 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema plantio convencional PC

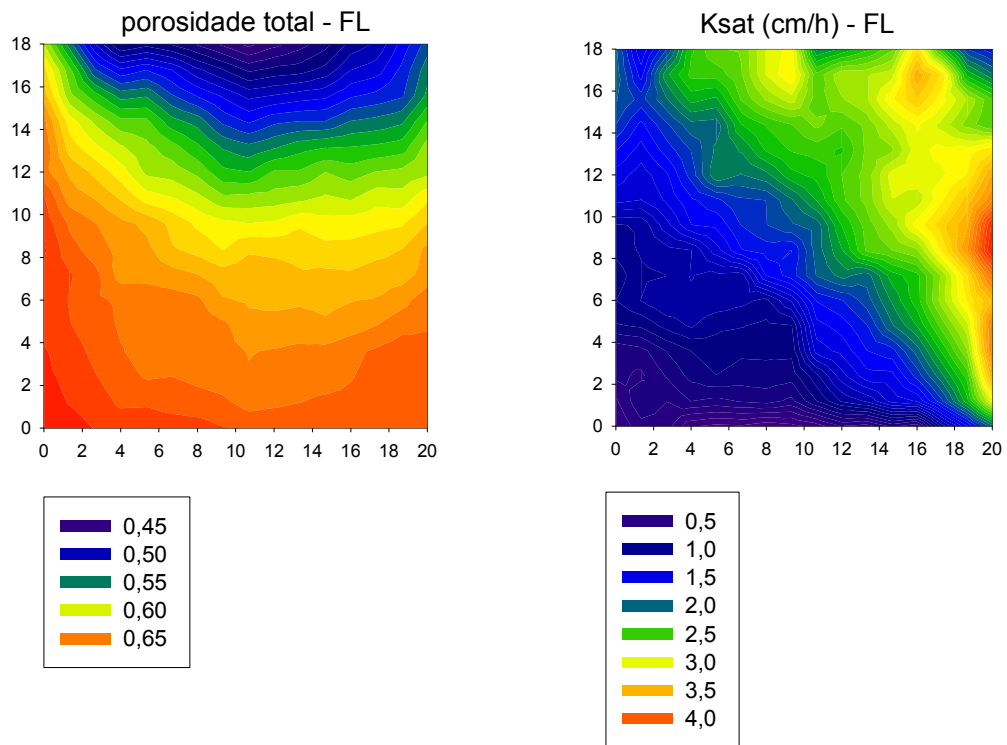


Figura 3.6.5.5 - Mapa dos valores da porosidade total do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

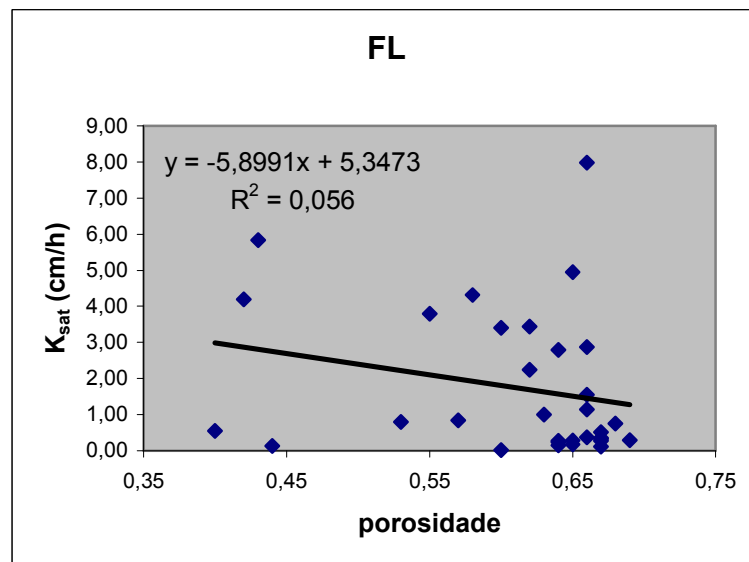


Figura 3.6.5.6 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para o sistema floresta FL

Na figura 3.6.5.7, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e porosidade total do solo para os sistemas PD, PC e FL.

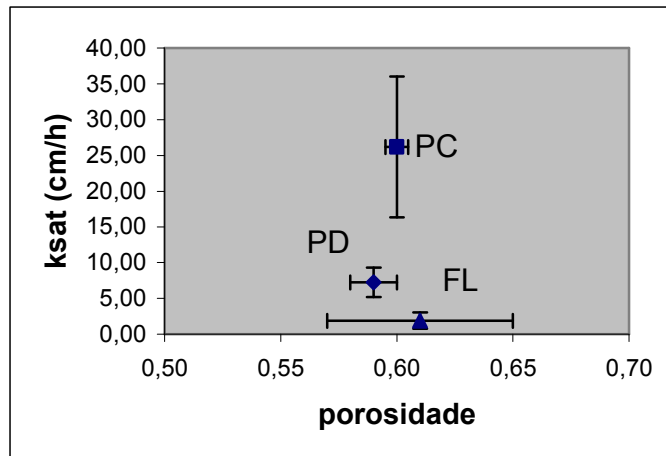


Figura 3.6.5.7 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e porosidade total do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Pela análise das figuras apresentadas anteriormente nesta seção, pode-se ver, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, que não há correlação entre a porosidade do solo e sua K_{sat} , para todos os tratamentos investigados. Com relação aos valores médios dos sistemas PD, PC e FL, nenhuma correlação é encontrada pois os valores médios da porosidade são próximos e os valores médios da K_{sat} são muito diferentes.

Das figuras 3.6.5.8 a 3.6.5.14 são apresentadas as distribuições de valores da microporosidade do solo e dos valores da K_{sat} na área experimental sob os sistemas PD, PC e FL.

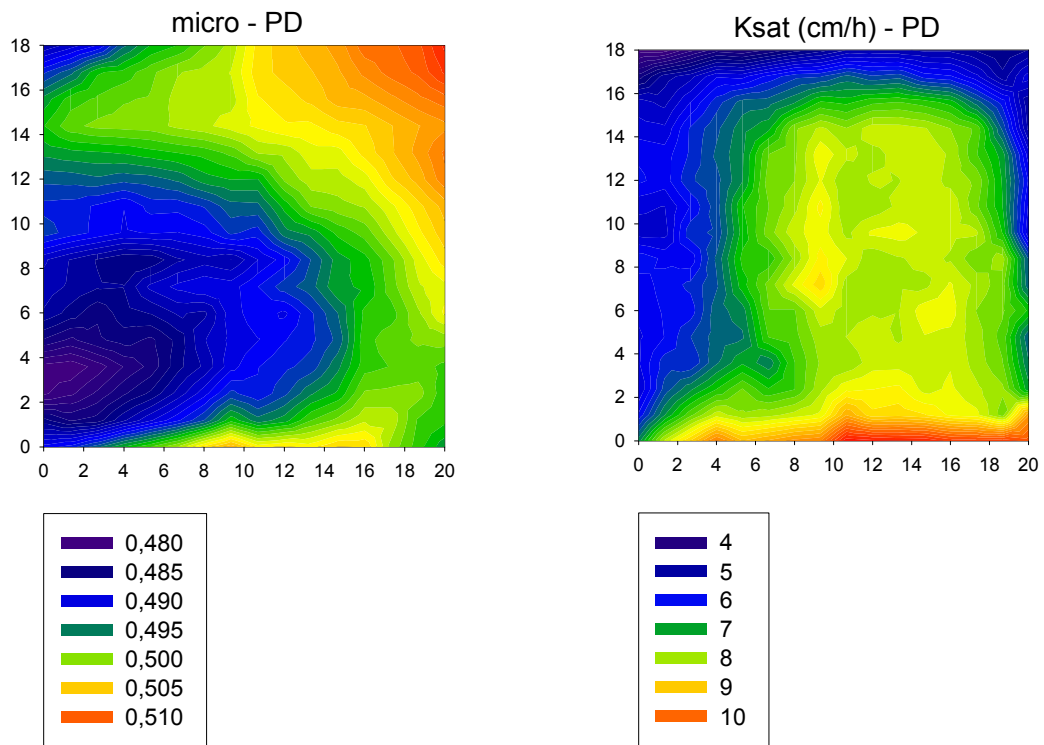


Figura 3.6.5.8 - Mapa dos valores da microporosidade do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

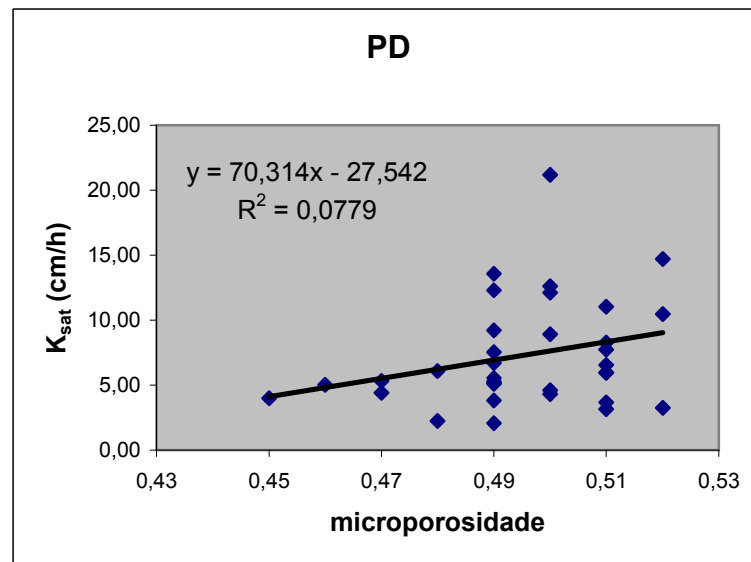


Figura 3.6.5.9 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema plantio direto PD

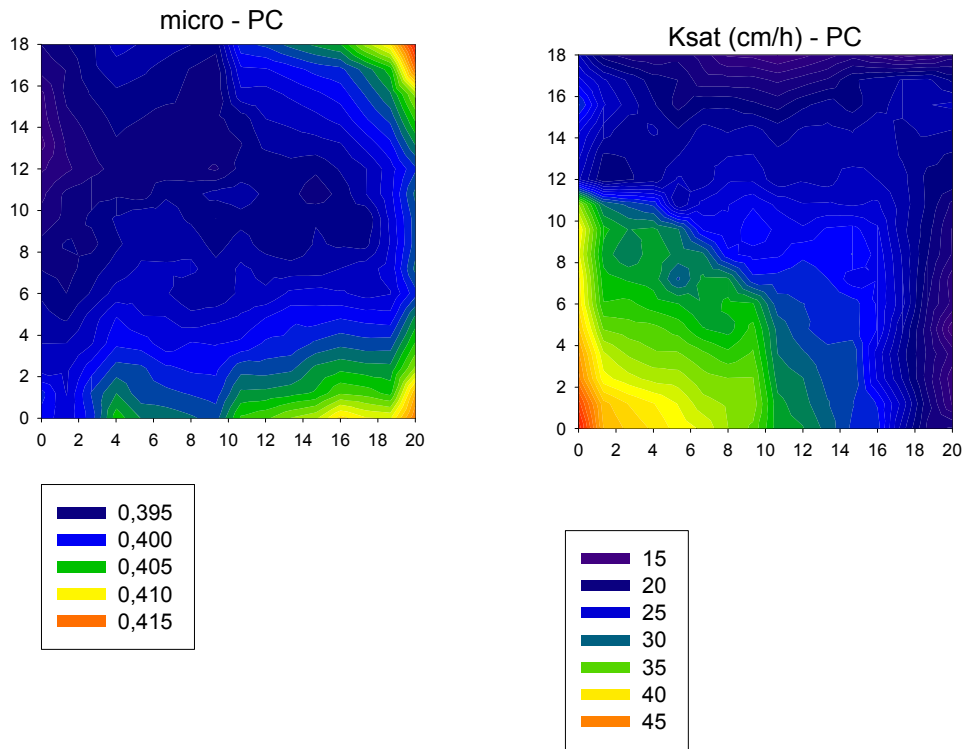


Figura 3.6.5.10 - Mapa dos valores da microporosidade do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

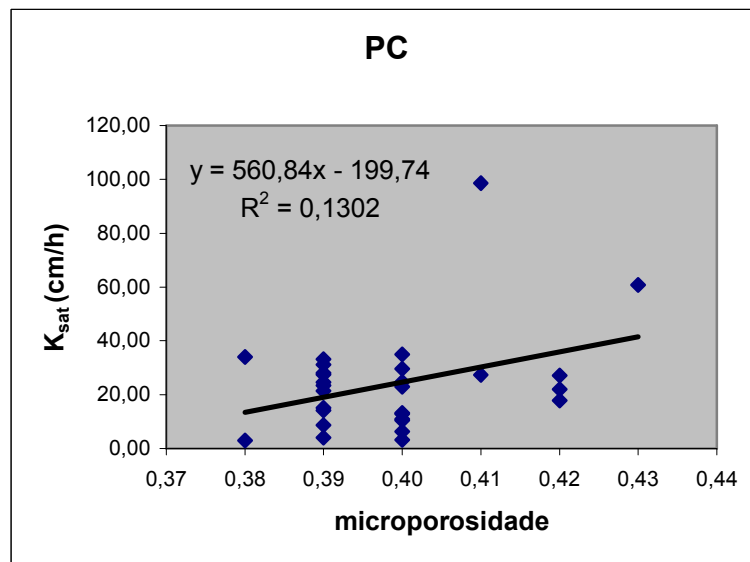


Figura 3.6.5.11 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema plantio convencional PC

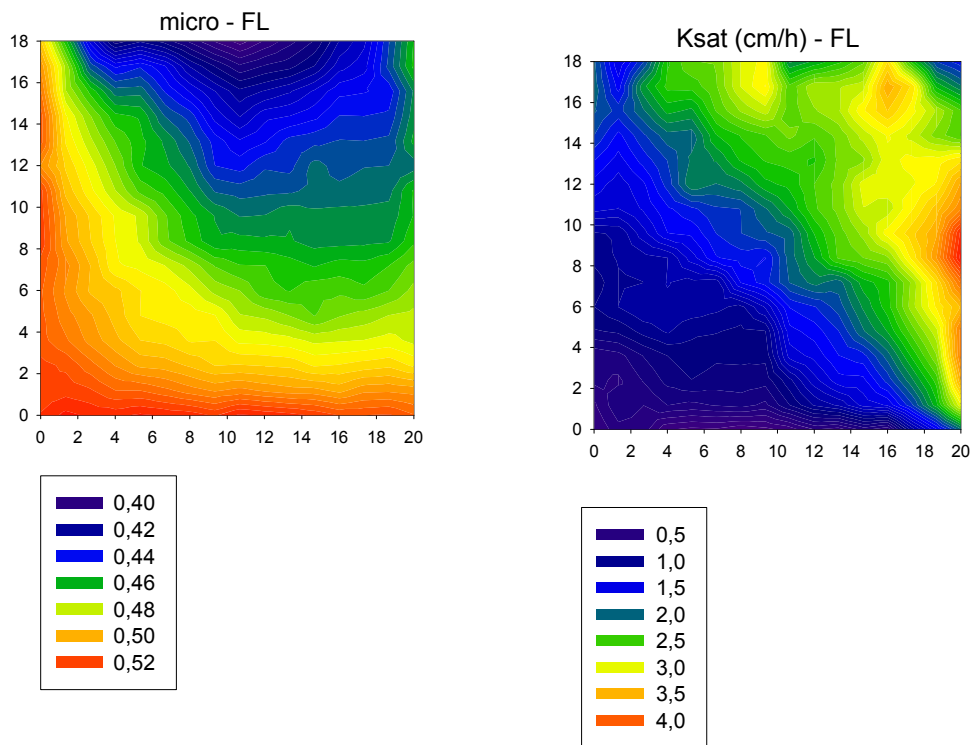


Figura 3.6.5.12 - Mapa dos valores da microporosidade do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

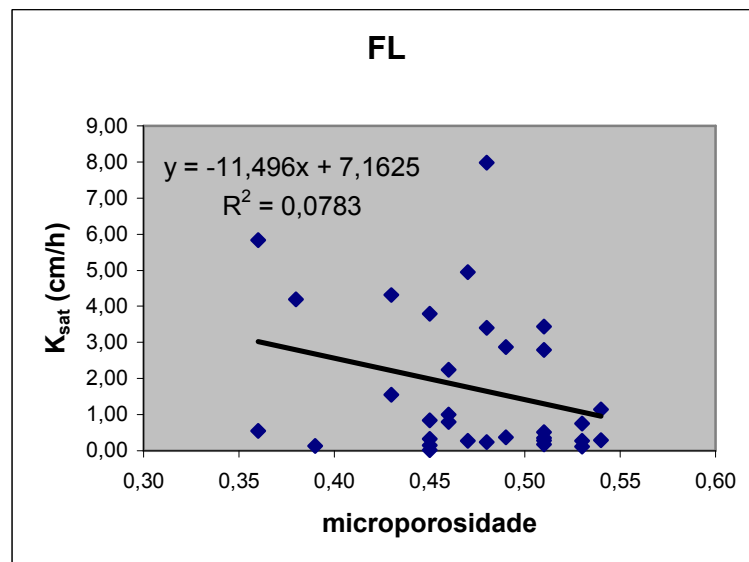


Figura 3.6.5.13 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para o sistema floresta FL

Na figura 3.6.5.14, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e microporosidade para os sistemas PD, PC e FL.

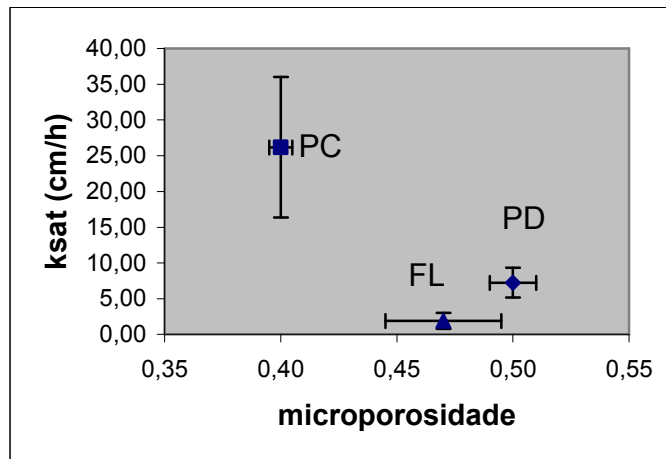


Figura 3.6.5.14 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e microporosidade do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Tanto qualitativamente quanto quantitativamente pôde-se observar que a microporosidade e a K_{sat} do solo não são correlacionadas (figura 3.6.5.8 até a 3.6.5.13). Analisando-se os valores médios dessas propriedades nos sistemas de plantio investigados, nos sistemas PC e PD, aumentou a microporosidade com a diminuição da K_{sat} . A FL apresentou um valor médio de microporosidade intermediário aos sistemas PD e PC, porém apresentou um valor médio da K_{sat} menor.

Finalmente, das figuras 3.6.5.15 a 3.6.5.19 são apresentadas as distribuições de valores da macroporosidade do solo e dos valores da K_{sat} na área experimental sob os sistemas PD, PC e FL.

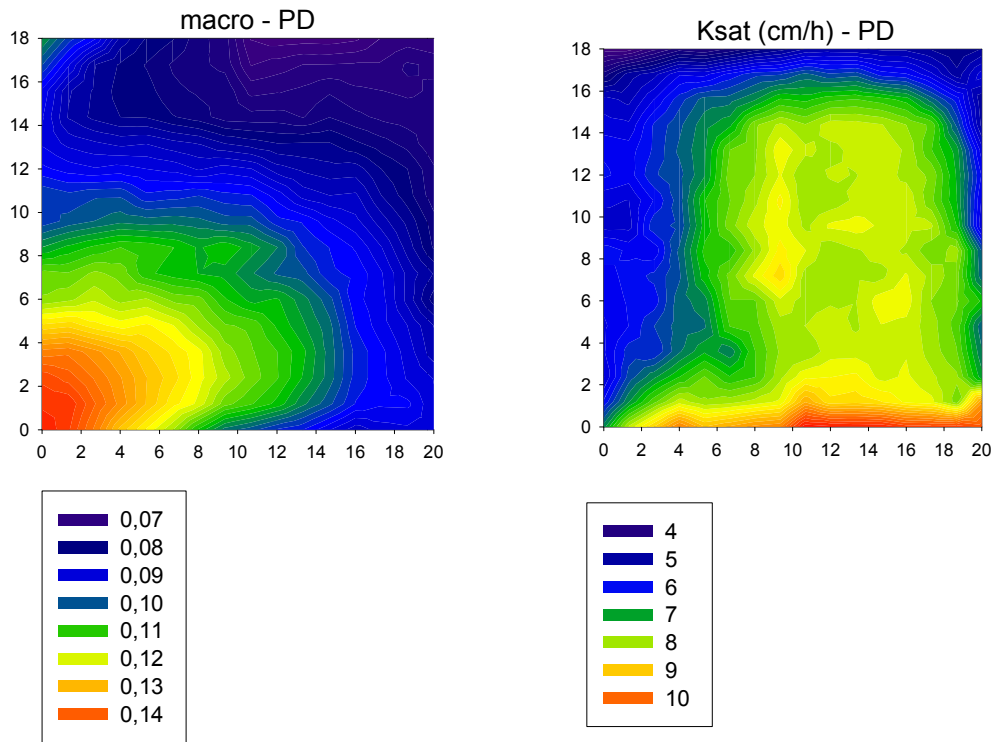


Figura 3.6.5.15 - Mapa dos valores da macroporosidade do solo no sistema plantio direto PD (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

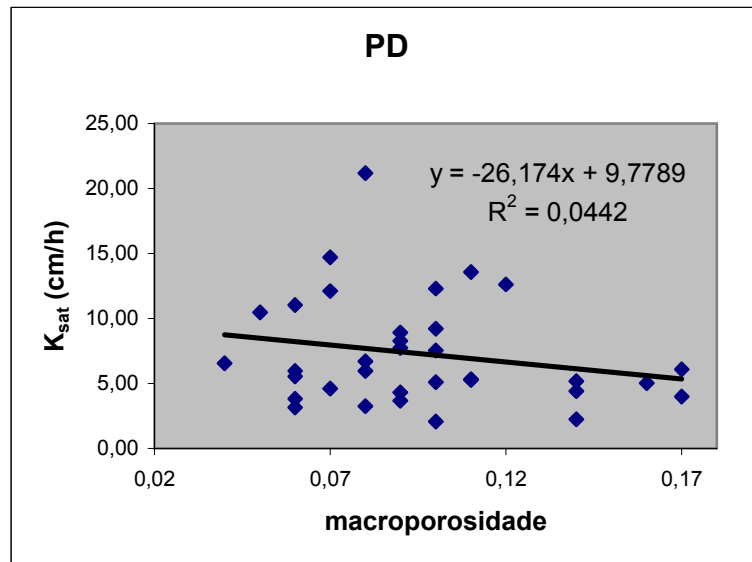


Figura 3.6.5.16 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema plantio direto PD

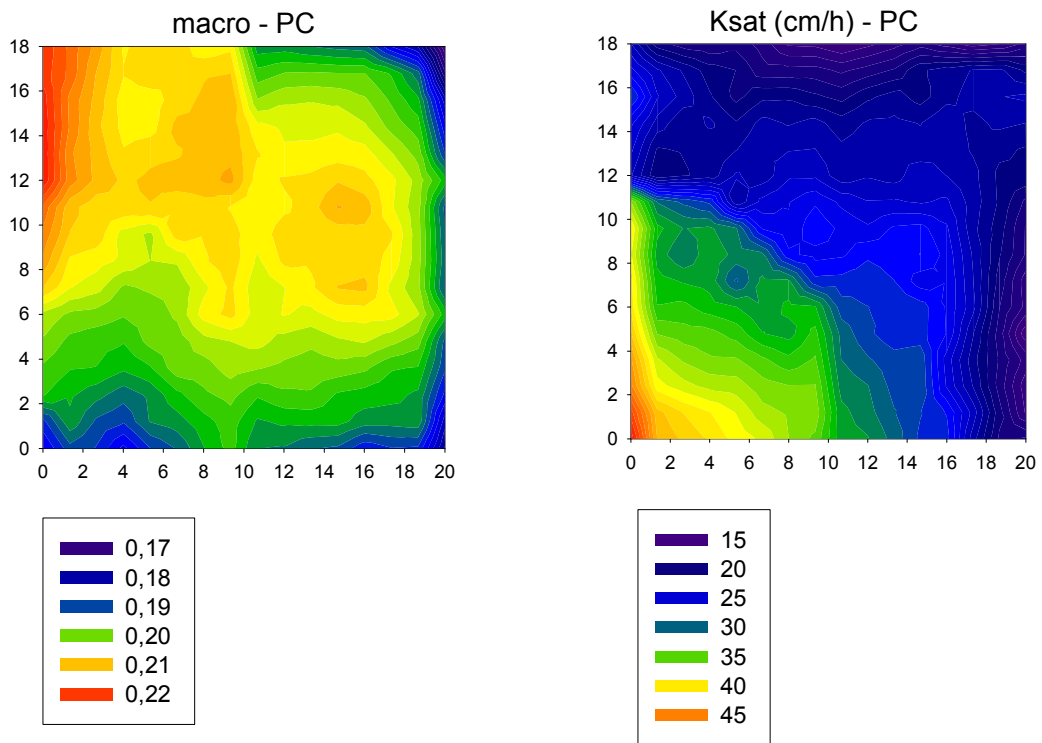


Figura 3.6.5.17 - Mapa dos valores da macroporosidade do solo no sistema plantio convencional PC (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

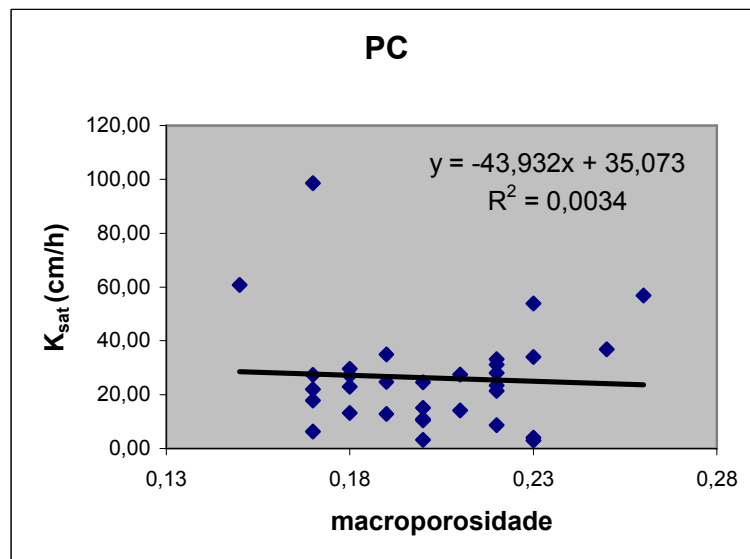


Figura 3.6.5.18 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema plantio convencional PC

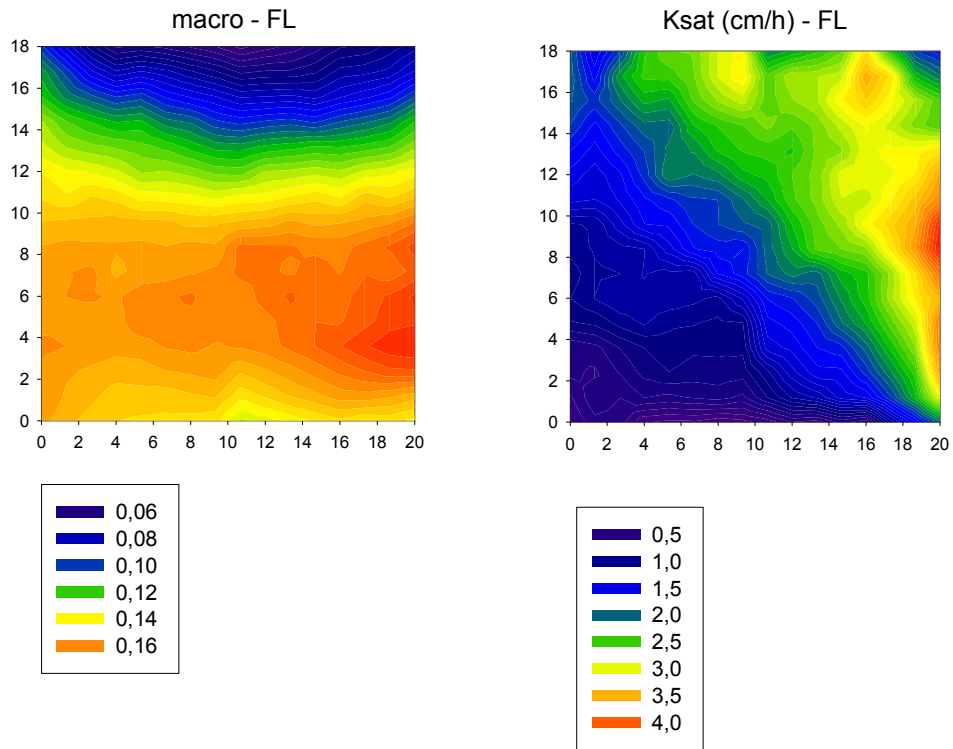


Figura 3.6.5.19 - Mapa dos valores da macroporosidade do solo no sistema floresta FL (esquerda) e o mapa dos valores da K_{sat} (cm/h) (direita)

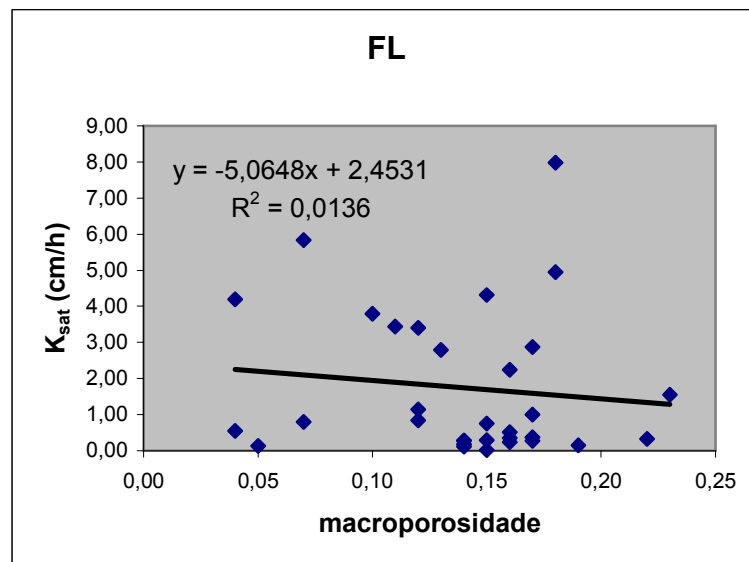


Figura 3.6.5.20 - Diagrama de dispersão entre os valores da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para o sistema floresta FL

Na figura 3.6.5.21, é apresentado o gráfico dos valores médios da K_{sat} e da macroporosidade do solo para os sistemas PD, PC e FL.

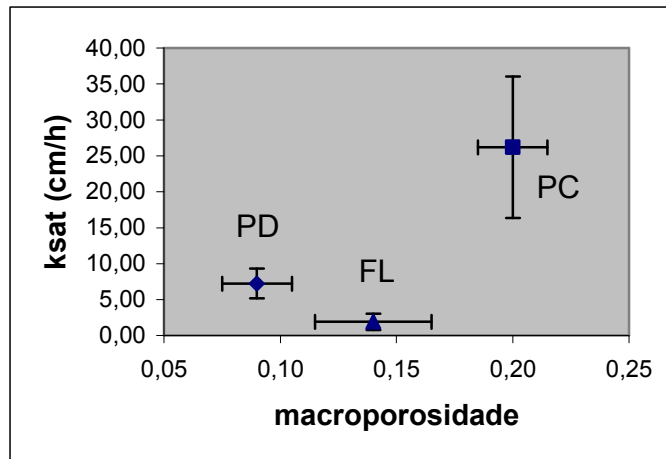


Figura 3.6.5.21 - Valores médios da K_{sat} (cm/h) e macroporosidade do solo para os sistemas plantio direto PD, plantio convencional PC e floresta FL

Observa-se de forma qualitativa e quantitativa que a K_{sat} e a macroporosidade do solo não estão correlacionadas, para os sistemas de plantio investigados. Ao analisar-se os valores médios dessas propriedades nos sistemas investigados, novamente os sistemas PD e PC apresentam uma correlação. Houve um aumento da K_{sat} com o aumento da macroporosidade. A FL novamente apresentou um valor médio intermediário de macroporosidade e um menor valor médio da K_{sat} .

CONCLUSÕES

Diante do que se propôs para a realização deste trabalho, ou seja, determinar a condutividade hidráulica saturada em um Latossolo Vermelho Distrófico em condições de campo, submetido a dois diferentes manejos, plantio direto PD e plantio convencional PC, e em um solo de floresta FL, utilizando-se um permeâmetro de Guelph, e tentar correlacioná-la com outras propriedades do solo, foram obtidas as seguintes conclusões:

-A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou valores médios maiores para o sistema plantio convencional (PC) em relação ao sistema plantio direto (PD) e floresta (FL). Isso se deve provavelmente ao próprio tipo de manejo empregado, o PC, no qual ocorre o revolvimento do solo na camada superficial, determinando o aparecimento de macroporos nesta camada, o que pode aumentar a condutividade hidráulica do solo saturado.

- A condutividade hidráulica do solo saturado não apresentou ou apresentou uma baixa correlação com as demais propriedades do solo (densidade de partículas, frações granulométricas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo). Isso foi verificado pela realização de mapas e gráficos de dispersão, onde em todos os gráficos foram obtidos baixos valores de coeficiente de correlação (r^2). A ausência de correlação está associada à alta variabilidade da condutividade e à baixa amplitude de variação das demais propriedades do solo.

- Os valores médios da condutividade hidráulica do solo saturado, nos sistemas PD e PC apresentaram correlação apenas com os valores médios da macroporosidade do solo.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, J. D.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigos em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, mar. / apr. 2003.

AGUIAR, A. B. **O emprego do permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camada de lixo e sua cobertura**. 2001, 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 717 – 723, 2001.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337 - 345, 2004.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distrófico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 515 - 522, jul. / ago. 2005.

BAGARELLO, V. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph Permeameter. **Geoderma**, v. 80, p. 169 - 180, 1997.

BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; TUSA, G. Factors affecting measurement of the near-saturated soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 4, p. 1203 - 1210, jul / aug. 2000.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; GUPTA, H. S. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p. 129 – 140, 2006.

CAMARGO, O. A. ; ALLEONI, L. R. **Efeitos da compactação de atributos do solo**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/compSolo/C4/C4.html>. Acesso em: 05 set. 2006.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, jul. / ago. 2003.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 997 – 1003, 1999.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527 – 535, 2003.

COUTADEUR, C.; COQUET, Y.; ROGER-ESTRADE, J. Variation of hydraulic conductivity in a tilled soil. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 619 – 628, dec. 2002.

DAM, R. F.; MEHDI, B. B.; BURGESS, M. S. E.; MADRAMOOTOO, C. A.; MEHUYS, G. R.; CALLUM, I. R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 41 – 53, 2005.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. Soil structure and the saturated hydraulic conductivity of subsoils. **Soil & Tillage Research**, v. 79, p. 185 – 189, 2004.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas “in situ”. **Ciênc. Agrotec.** Lavras, edição especial, p. 1607 – 1613, dez. 2003.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

FAVORETTO, C. M. **Caracterização da matéria orgânica humificada de um latossolo vermelho distrófico através da espectroscopia de fluorescência induzida por laser**. 2007, 96 f. Dissertação (Mestrado na área de Química aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2007.

FERNANDES, M. R. **Alterações na estrutura de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola.** 1993, 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223 – 227, fev. 2002.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149 - 1157, 2001.

GOMES, F. P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária.** Piracicaba, POTAFOS – Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169 – 177, may / apr. 2005.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** 2000, 89 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HURTADO, A. L. B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial.** 2004, 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857 – 867, 2002.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo.** São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIPIEC, J.; KUS, J.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; NOSALEWICZ, A. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil & Tillage Research**, v. 89, p. 210 – 220, 2006.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963 – 969, maio / jun, 2004.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 4, p. 789 – 793, out. / dez. 2002.

NAKANO, K.; MIYAZAKI, T. Predicting the saturated hydraulic conductivity of compacted subsoils using the non – similar media concept. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 145 – 153, 2005.

ORTIZ, J. L. **Geoestatística**. Disponível em: <http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Geoestat.html> . Acesso em: 03 ago. 2006.

OSUNBITAN, J. A.; OYEDELE, D. J.; ADEKALU, K. O. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v. 82, p. 57 – 64, 2005.

PEREIRA, F. A. C.; FONSECA, A. A. O.; ALMEIDA, E. C.; MOREIRA, C. S.; MACEDO, D. J. B.; CRUZ, J. D. Comparação entre condutividade hidráulica saturada determinada em campo e laboratório. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 13, n. 1, jan. / jun. 2001.

PÉREZ, D. V.; SIMÃO, S. M., SALATINO, A. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 197 – 207, 1998.

REGALADO, C. M. ; MUNÓZ-CARPENA, R. Estimating the saturated hydraulic conductivity in a spatially variable soil with different permeameters: a stochastic Kozeny – Carman relation. **Soil & Tillage Research**, v. 77, p. 189 – 202, 2004.

REICHARDT, K. **Dinâmica da Matéria e da Energia em Ecossistemas**. 2. ed. São Paulo: USP / ESALQ, 1996. 505 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v. 140, n. 4, p. 292 – 302, oct. 1985.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 115 – 122, 1998.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS M., F. J.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho – Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 765 – 769, 2001.

SCHERPINSKI, N. I. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos e do rendimento de grãos de soja em um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto e convencional**. 2003, 108 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

SEKI, K.; MIYAZAKI, T.; NAKANO M. Effects of microorganisms on hydraulic conductivity decrease in infiltration. **European Journal of Soil Science**, v. 49, p. 231 – 236, June 1998.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, mar. / apr. 2004.

SOIL MOISTURE. **Model 2800KI Guelph Permeameter: operating instructions**. July, 2005. Disponível em: <http://www.soilmoisture.com/pdf/2800KI.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2006.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 699 – 707, 2001.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, may / aug. 2004.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301 – 309, 1998.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 410 p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, 1997.