

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM
MATEMÁTICA**

ALEXANDRE WELTER

**RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2019

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM
MATEMÁTICA

ALEXANDRE WELTER

RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DE
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Matemática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Matemática.

Orientadora: Aracéli Ciotti de Marins

Coorientadora: Daniela Trentin Nava

TOLEDO

2019

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM
MATEMÁTICA

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Rendimento De Grãos De Milho Em Função De Atributos Físicos Do Solo**” foi considerado APROVADO de acordo com a ata nº __ de __/__/____.

Fizeram parte da banca examinadora os professores:

Professor(a) Orientador(a) Aracéli Ciotti de Marins

Professor(a) Suellen Ribeiro Pardo Garcia

Professor(a) Regiane Slongo Fagundes

TOLEDO

2019

RESUMO

O objetivo desse estudo foi construir modelos matemáticos que explicassem o comportamento do rendimento de grãos de milho, em função de atributos físicos, com auxílio da análise de regressão linear múltipla para determinação das variáveis que mais explicam o rendimento de grãos do milho. Os dados para o estudo foram obtidos de um experimento em uma área de 1 hectare pertencente a faculdade Assis Gurgacz em setembro de 2013. A área está localizada na cidade de Cascavel – PR, o solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico. A área era utilizada em rotação de culturas sob sistema de plantio direto por cinco anos com as culturas da soja, milho, trigo e crame. As coletas foram realizadas nas camadas de 0,1-0,2 m, considerando a profundidade intermediária da camada visada. Assim foram determinados os seguintes atributos e/ou propriedades: Densidade do solo (Ds), macroporosidade (macro), microporosidade (micro) e Porosidade total (PT).

Palavras-chave: Modelos matemáticos. Regressão linear múltipla. Gráficos em R³.

ABSTRACT

The objective of this study was to construct mathematical models that to explain the behavior of maize grain yield, as a function of physical attributes, with the support of multiple regression analysis to determine the variables that most explain the Maize grain yield. The data for the study were obtained from an experiment in an area of 1 hectare belonging to the College Assis Gurgacz in September 2013. The area is located in the city of Cascavel – PR, the soil of the area was classified as a typical dystroferric red Latosol. The area was used in crop rotation under no-tillage system for five years, with soybean, maize, wheat and crambe crops. The samples were collected in the layers of 0.1-0.2 m, considering the intermediate depth of the vised layer. Thus, the following attributes and/or properties were determined: soil density (Ds), macroporosity (macro), microporosity (micro) and total porosity (Pt).

KEY WORDS: Mathematical models. Multiple regression. Graphics in R ³.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área experimental onde foi realizada a coleta dos dados.	16
Figura 2 - Histograma dos dados analisados, (a) Ds, (b) Macro, (c) Micro, (d) PT e (e) Rendmilho.	21
Figura 3 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da porosidade total.....	23
Figura 4 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da Macroporosidade.	24
Figura 5 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da Microporosidade.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas para Densidade do Solo, Macroporosidade, Microporosidade, Porosidade Total e Rendimento do milho	19
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

CV	Coefficiente de Variação
Ds	Densidade do solo
Dp	Densidade de partículas
Macro	Macroporosidade
Micro	Microporosidade
Ms	Massa de solo seco
PIB	Produto Interno Bruto
PT	Porosidade Total
Rendmilho	Rendimento do Milho
RLM	Regressão Lineal Múltipla
V	Volume do solo

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A agricultura e o agronegócio têm grande importância para a economia brasileira, uma vez que foi responsável por aproximadamente 24% do PIB brasileiro no ano de 2017 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017). A agricultura além de importante fornecedora de alimentos para o mercado interno e externo é responsável por garantir boa parte da segurança alimentar do país.

O milho pode ser considerado um dos principais cereais cultivados em todo mundo com a região sul do Brasil, sendo uma das maiores produtoras de milho do país. O milho é cultivado em todo território nacional, destacando-se das demais culturas por ocupar a maior área de plantio e é o produto agrícola de maior volume produzido no país (Santos et al., 2006).

Dado que temos uma quantidade finita de terras à disposição para cultivo, e considerando o crescimento da população dia a dia, há necessidade do aumento da demanda por alimentos; ao mesmo tempo que o aumento da população força o crescimento demográfico das cidades, que avançam muitas vezes em áreas antes destinadas ao cultivo, assim temos uma crescente necessidade de aumento da produção em uma área com tendência a diminuir.

Tendo em vista a importância do aumento da produção de alimentos para a população em geral, assim verificar as variáveis que influenciam no seu rendimento, possibilitando que os agricultores façam melhorias nestas variáveis, é uma das principais contribuições da matemática aplicada.

Os modelos matemáticos aplicados explicam o comportamento de uma variável em função de outras. Portanto, conhecer como uma variável dependente pode ser maximizada a partir de variáveis independentes, pode auxiliar o pesquisador ou, o agricultor a determinar o manejo adequado para obter um valor maximizado do rendimento de grãos do milho.

Dentre as técnicas de avaliação de como se relacionam variáveis, uma das mais utilizadas é a regressão múltipla, que é definida por Tabachnick e Fidell (1996) como um conjunto de técnicas estatísticas que permite avaliar o relacionamento de uma variável dependente com diversas variáveis independentes.

De acordo com Abbad e Torres (2002), o resultado final de uma regressão múltipla é uma equação que representa a melhor previsão de uma variável dependente a partir de diversas variáveis independentes. Segundo os autores, esta equação representa um modelo aditivo que explica a variável dependente em função da soma das variáveis preditoras.

Outra técnica que auxilia na explicação e previsão de uma variável dependente é a

modelagem matemática, que consiste em avaliar o comportamento de uma variável, a partir de outras de mais fácil medição. Segundo VANWALLEGHEM et al. (2017), com respeito a previsões de dados, a modelagem matemática torna-se, a mais importante ferramenta disponível em alguns casos referentes à agricultura.

2 OBJETIVOS

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é construir modelos matemáticos que expliquem o comportamento do rendimento de grãos de milho, em função de atributos físicos de um Latossolo argiloso, com auxílio da análise de regressão múltipla para determinação das variáveis que mais explicam o rendimento de grãos do milho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que possamos melhorar a produtividade do milho e outras culturas, alguns atributos físicos do solo, como condutividade hidráulica do solo saturado, densidade e porosidade, podem ser usados como indicadores de sua qualidade. Por meio de uma contínua avaliação desses atributos físicos do solo podemos monitorar a eficiência dos sistemas de manejo (Secco et al., 2005).

Monitorar os atributos do solo é indispensável para verificar sua qualidade, para aumento da eficiência e aumento de competitividade do setor agrícola (Neto et al., 2006; Souza et al., 2004). A maximização da produção é alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, que é, direta ou indiretamente, influenciada pela estrutura do solo (Secco et al., 2005; Santos et al., 2006).

De maneira geral, quando temos vegetação nativa, o solo apresenta características físicas, como permeabilidade, densidade e porosidade que são adequadas ao desenvolvimento normal das plantas. Quando submetemos o solo ao uso agrícola, suas propriedades físicas sofrem alteração, que geralmente são desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas (Spera et al., 2004). Considerando a perda de suas condições desejáveis como sua degradação, pode haver uma perda de produtividade do solo devido à diminuição de quantidades de nutrientes, matéria orgânica, mudanças em atributos físicos e outras consequências adversas (Cruz et al., 2003).

O manejo do solo pode acarretar em alterações de seus atributos físicos, dependendo da intensidade de seu preparo, ocasionar degradação ou perda de sua qualidade. Dentre os atributos físicos utilizados para avaliar a qualidade física do solo a diminuição do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água no solo e aumento da resistência à penetração de raízes e densidade, têm sido priorizadas para avaliar sistemas de uso e manejo, por serem atributos diretamente relacionados ao crescimento das plantas (Cavalcante et al., 2011; Souza et al., 2004; Souza et al., 2005; Rocha Matias et al., 2009).

As principais causas da degradação da estrutura do solo têm sido o uso intensivo das terras para a produção vegetal e a utilização incorreta de máquinas e equipamentos agrícolas. A degradação afeta negativamente o desenvolvimento do vegetal causando um decréscimo na produtividade (Neto et al., 2006; Stone e Guimarães, 2005).

O preparo do solo e o uso de plantas para cobertura são utilizadas visando o aumento da rentabilidade e melhoria da qualidade de vida no meio rural, além da preservação da capacidade

produtiva do solo a longo prazo e contribuição na manutenção de sua qualidade física (Cunha et al., 2011).

O uso de máquinas e implementos agrícolas pode causar uma mudança nos componentes sólidos do solo, como compactação e diminuição da macroporosidade, devido as pressões cumulativas que esses maquinários exercem (Rossetti e Centurion, 2013). O processo de compactação gera alterações estruturais que promovem reorganização das partículas e de seus agregados, podendo gerar uma diminuição dos espaços porosos, o que acarreta em uma diminuição do volume de poros, aumento da densidade e resistência do solo à penetração (Rocha Matias et al., 2009; Souza et al., 2005; Freddi et al., 2006). Um solo mais compactado pode reduzir a produtividade de algumas culturas, segundo estudo de Albuquerque et al. (2001) a cultura do milho é considerada sensível a esse processo.

Dentre as técnicas de avaliação de como se relacionam variáveis, uma das mais utilizadas é a regressão múltipla, segundo Abbad e Torres (2002) a regressão múltipla é um conjunto de técnicas estatísticas que permite avaliar o relacionamento de uma variável dependente com diversas variáveis independentes.

As estratégias de amostragem são importantes para mapear a variabilidade espacial dos solos, pois só a partir de sua modelagem é possível gerar mapas mais consistentes e com precisão (Souza et al., 2004).

De acordo com Abbad e Torres (2002), o resultado final de uma regressão múltipla é uma equação que representa a melhor previsão de uma variável dependente a partir de diversas variáveis independentes. Segundo os autores, esta equação representa um modelo aditivo que explica a variável dependente em função da soma das variáveis predictoras.

Outra técnica que auxilia na explicação e previsão de uma variável dependente é a modelagem matemática, que consiste em avaliar o comportamento de uma variável, a partir de outras de mais fácil medição. Segundo Vanwalleghem et al. (2017), com respeito a previsões de dados, a modelagem matemática torna-se a mais importante ferramenta disponível em alguns casos referentes à agricultura.

A modelagem permite a descrição quantitativa da variabilidade dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa e com variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados (Cavalcante et al., 2011).

Neste estudo foi utilizada a modelagem matemática como ferramenta para a avaliação do rendimento de grãos de milho em função de atributos físicos do solo. Como os modelos multivariados de pesquisa envolvem análise do relacionamento de vários fatores que podem

afetar a variável dependente (Devore, 2006), para realizar a pesquisa proposta neste trabalho optou-se por utilizar o modelo de análises de Regressão Linear Múltipla (RLM).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para o trabalho foram obtidos de um experimento em uma área de 1 hectare pertencente a faculdade Assis Gurgacz em setembro de 2013. A área está localizada na cidade de Cascavel – PR, com altitude média de 760 m e precipitação e temperatura médias anuais respectivamente de, 1.620mm e 21°C. O clima local é temperado mesotérmico e super úmido. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico. A área era utilizada em rotação de culturas sob sistema de plantio direto por cinco anos, com as culturas da soja, milho, trigo e crambe. A Figura 1 apresenta a área experimental.

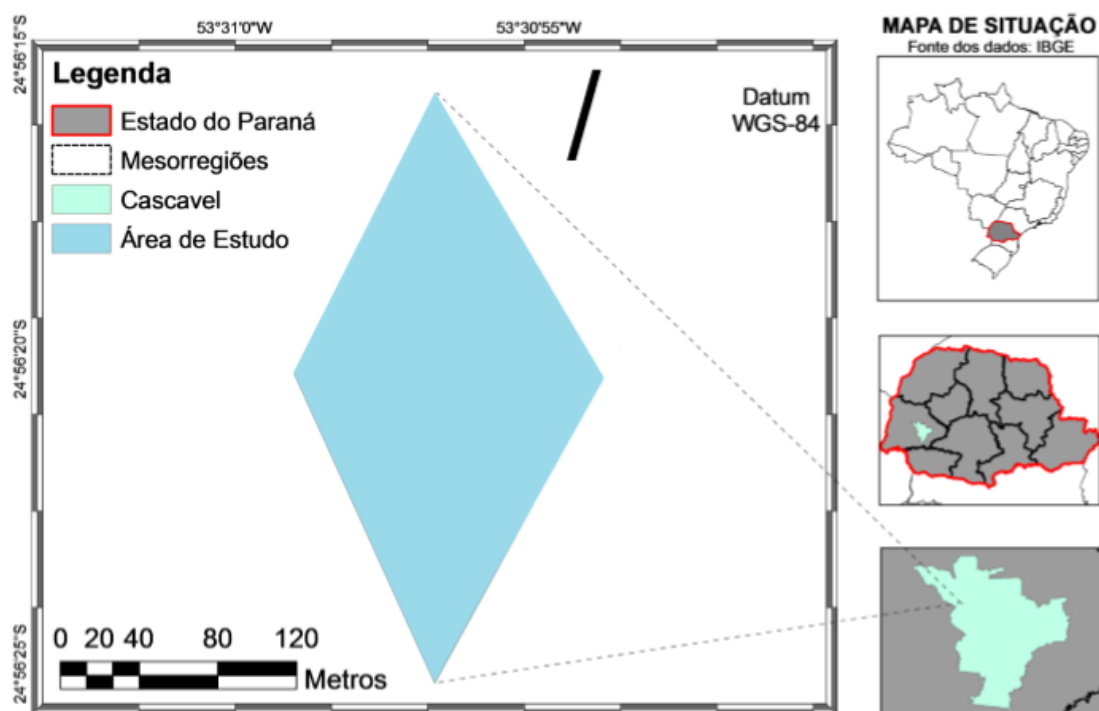


Figura 1 - Área experimental onde foi realizada a coleta dos dados.
Fonte: (Marins, 2014)

Foram coletadas amostras de solo indeformadas em duplicatas para obter amostras representativas, já que a dispersão dos atributos físicos do solo é alta, e também para prevenir a perda de amostras durante a realização dos procedimentos. Foram utilizados anéis de dimensões médias de 0,049 m de altura e 0,056 m de diâmetro e as coletas foram realizadas na camada de 0,1-0,2 m, considerando a profundidade intermediária da camada visada.

O plantio do milho foi realizado com espaçamento de 0,45m com uma população de 4 sementes por metro linear (88000 plantas por hectare), utilizando a cultivar 30 F 53 PIONNER, com adubação de base de 605 kg ha⁻¹ de MAP (mono amônio fosfato) 10-51-00 e 968 kg ha⁻¹

de ureia e de cobertura de 484 kg ha⁻¹ de KCl e 1452 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia. Foi utilizado herbicida dessecado com glifosato 14,52 l ha⁻¹.

O milho foi colhido em duas fileiras de 2 m de comprimento. Em seguida as espigas foram trilhadas e pesadas para determinar a massa de grãos. Os resultados do rendimento de grãos de milho obtidos foram expressos em Mg ha⁻¹, com umidade corrigida para 13%.

Foram utilizadas 81 observações, destas foram determinados os seguintes atributos e/ou propriedades: Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e Porosidade total (PT).

A Ds foi determinada pelo método do cilindro, descrito em EMBRAPA (1997), e calculada pela equação 1:

$$Ds = \frac{Ms}{V}, \quad (1)$$

em que Ds: densidade do solo Mg m⁻³, Ms: massa de solo seco Mg, V: volume do solo m³.

Para determinação da PT, utilizou-se a equação 2:

$$PT = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100 \quad (2)$$

em que PT: porosidade total%, Ds: densidade do solo Mg m⁻³ e Dp: densidade de partículas Mg m⁻³, que foi obtida pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997).

A microporosidade foi determinada quantificando a água retida na amostra após tensão de 0,6 m de coluna de água em uma coluna de areia, conforme metodologia proposta por Reinert e Reichert (2006). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre PT e microporosidade.

A regressão linear múltipla (RLM) é definida por um conjunto de técnicas estatísticas que possibilita a avaliação do relacionamento de uma variável dependente Y a mais de uma variável independente X (Gujarati e Porter, 2011). Ou seja, uma equação linear que representa o valor esperado de Y como uma função de X₁, ..., X_k.

Segundo Devore (2006) a equação do modelo de RLM geral é:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3)$$

em que: Y = variável dependente, β_0 = intercepto ou termo independente da variável, β_1 = inclinação de Y em relação a variável X₁, ..., β_k = inclinação de Y em relação a variável X_k e ε = erro aleatório em Y

Os coeficientes β_1 , ..., β_k são definidos como coeficientes parciais da regressão (Gujarati e Porter, 2011). Em outras palavras podemos dizer que os valores de β_k medem a variação do valor médio de Y, por unidade de variação em X_k, mantendo-se constante o valor dos outros X_n.

Para estimarmos os parâmetros do modelo de regressão, podemos utilizar o método dos mínimos quadrados ordinários, que consiste na escolha dos valores dos parâmetros

desconhecidos de forma que a soma dos quadrados dos erros seja a menor possível (Gujarati e Porter, 2011). Simbolicamente,

$$\min \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}^2 = \sum (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{1i} - \dots - \hat{\beta}_k X_{ki})^2 \quad (4)$$

Após obtermos os estimadores de MQO, podemos utilizar o R^2 para medir a qualidade do ajustamento da equação de regressão, segundo Gujarati e Porter (2011), pode ser definida como:

$$R^2 = \frac{SQE}{SQT} = 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (5)$$

Em que ele nos fornece o percentual da variação total da variável dependente Y é explicada conjuntamente pelas variáveis independentes X_1, \dots, X_k . Sendo que o valor do R^2 situa-se necessariamente entre 0 e 1. Sendo que quanto mais próximo de 1, melhor o ajustamento do modelo.

Será realizada uma análise da RLM para definição das variáveis que mais influenciam no rendimento de grãos no *software R* (R Core Team, 2016). Após a determinação das variáveis mais importantes, serão determinados os modelos matemáticos que descrevem o rendimento em função destas variáveis e construídos os gráficos em R^3 .

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conhecimento da distribuição de frequência dos dados de uma variável tem importantes consequências práticas, pois os métodos de análise a serem aplicados podem variar para diferentes distribuições. Observando a Tabela 1 podemos verificar as estatísticas descritivas dos dados densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT) e rendimento do milho (Rendmilho) que foram estudados nesse trabalho.

De acordo com Gomes (2000), a variabilidade de qualquer atributo pode ser classificada segundo a magnitude do seu coeficiente de variação (CV). Se o CV for inferior a 10%, considera-se de baixa variabilidade, de 10% a 20%, média variabilidade. O Rendmilho e a Macro são as variáveis que apresentaram os maiores CVs (Tabela 1), ambas com valor inferiores a 20%, com 15,40% e 12,26% respectivamente, o que indica uma média variabilidade dos dados. As variáveis Micro, PT e Ds apresentam um CV inferior a 10%, ou seja, baixa variabilidade dos dados, concordando com a maioria dos dados de Santos et al. (2006) e Cunha et al. (2011).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas para Densidade do Solo, Macroporosidade, Microporosidade, Porosidade Total e Rendimento do milho

	Ds	Macro	Micro	PT	Rendmilho
Mínimo	0,940	11,260	34,750	52,260	6,798
Quartil 1	1,070	16,200	39,100	57,380	8,486
Mediana	1,107	17,620	40,780	58,530	9,516
Média	1,108	17,490	40,990	58,480	9,567
Quartil 3	1,137	18,800	42,570	59,920	10,450
Máximo	1,274	23,940	49,870	64,780	15,185
Desvio Padrão	0,058	2,145	2,704	2,182	1,473
Variância	0,003	4,602	7,315	4,764	2,171
CV (%)	5,257	12,264	6,598	3,732	15,404
Assimetria	0,033	-0,022	0,419	-0,335	0,839
Curtose	3,903	3,617	3,583	3,903	4,556
p-value ¹	0,168	0,739	0,482	0,168	0,009

¹ = teste de normalidade Shapiro-Wilk

CV= Coeficiente de variação

Os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos, mostrando distribuições simétricas. Os resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk indicaram que apenas a Rendmilho não possui distribuição de frequência normal, sendo que todos os outros parâmetros possuíam distribuição de frequência normal.

O valor de assimetria de até 0,15 é um indicativo de que determinado atributo apresente distribuição simétrica, já valor entre 0,15 e 1 são considerados assimétricos moderados, que é o caso da Micro, PT e Rendmilho que apresentaram valor para assimetria de 0,419, -0,335 e 0,839 respectivamente, estes resultados corroboram com Freddi et al. (2006) que encontraram resultados parecidos para a produtividade de milho, por outro lado Santos et al. (2006) encontraram valores positivos próximos a zero para a assimetria da PT.

Pode-se verificar na Figura 2, o histograma dos dados analisados. Nele pode-se confirmar os dados da tabela 1, que mostra Ds com simetria de 0,033, que coincidem com Santos et al. (2006) que obtiveram valores parecidos para Ds, porém Cavalcante et al. (2011) encontraram valores mais elevados para a assimetria da Ds, ou seja seus dados estão agrupados mais afastados ao seu eixo de simetria. Quanto ao coeficiente de curtose, a Ds apresentou um valor de $k > 0,273$, sendo classificado como leptocurtica.

Continuando com comparação da Tabela 1 com Figura 2, o valor médio da macroporosidade obtido neste estudo foi de $17,49 \text{ Mg m}^{-3}$, que coincide com valores encontrados por Secco et al. (2005), Souza et al. (2005) e Rocha Matias et al. (2009). A Macro apresenta uma simetria de -0,022, ou seja, seus dados podem ser considerados simétricos, o sinal de negativo indica um declínio a esquerda da cauda da curva de distribuição e com uma curtose leptocurtica. Da mesma forma a PT apresenta uma simetria próxima a zero e com sinal negativo juntamente com uma curtose leptocurtica, coincidindo com resultados encontrados por Santos et al. (2006)

A Micro e a Rendmilho apresentaram os maiores níveis de assimetria, com desvio de 0,419 e 0,839 respectivamente, sendo esses níveis considerados como assimetria moderada, pois está acima de 0,15 e abaixo de 1,0. A curtose calculada dessas duas variáveis foi de $k > 0,273$, onde as duas distribuições são consideradas leptocurticas.

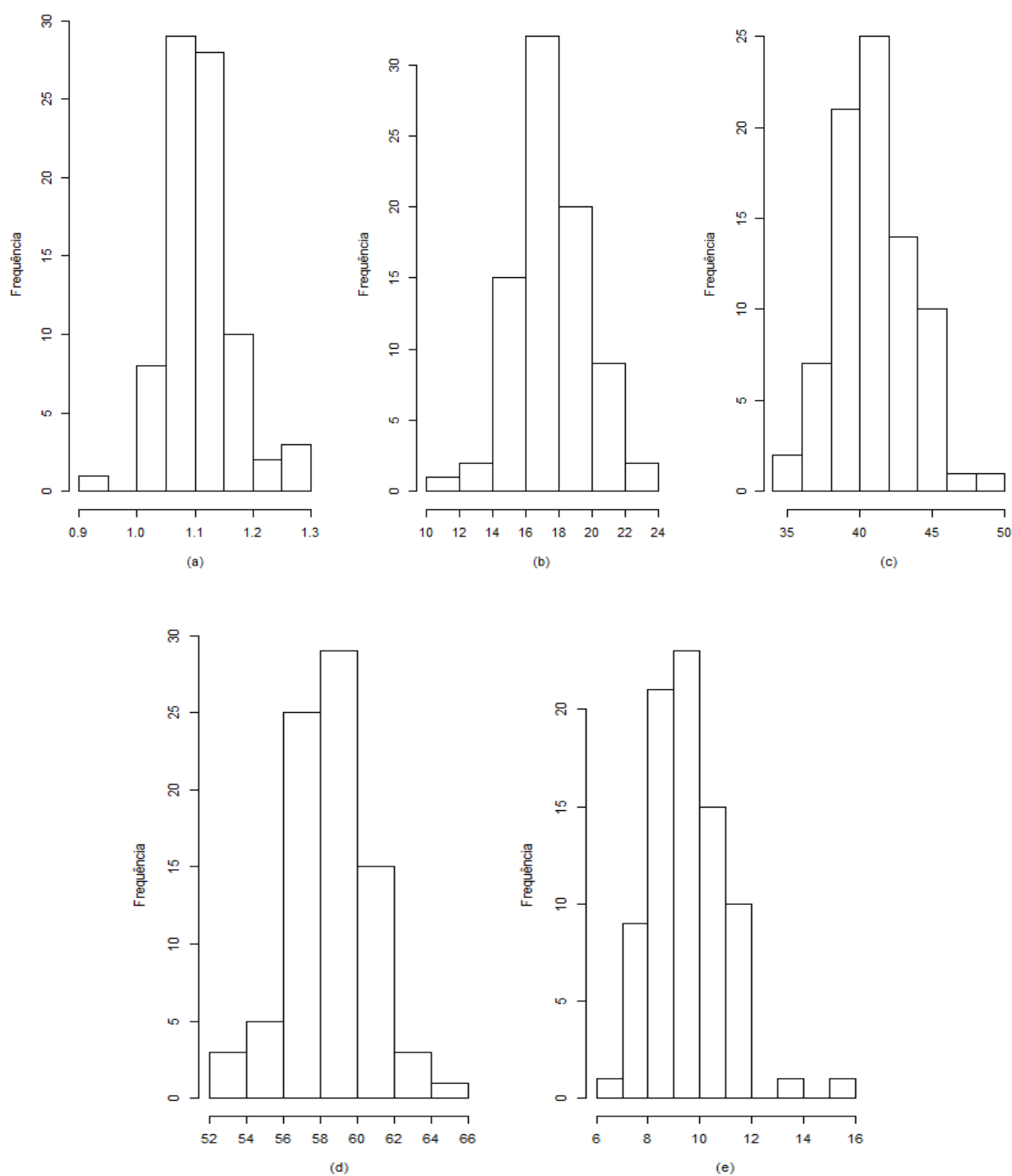


Figura 2 - Histograma dos dados analisados, (a) Ds, (b) Macro, (c) Micro, (d) PT e (e) Rendmilho.

Para a camada de 0,1-0,2 m realizou-se três diferentes regressões múltiplas para verificar a existência de correlação entre o rendimento de milho e os atributos físicos do solo, analisado dois a dois. A primeira regressão foi entre o rendimento do milho em função da Ds mais a PT; a segunda regressão foi o rendimento do milho em função Ds mais Macro e a terceira regressão foi o rendimento do milho em função Ds mais Micro. Podemos verificar o resultado dessas regressões juntamente com o R^2 de cada equação na Tabela 2. Freddi et al. (2006)

efetuaram um estudo parecido de regressão linear entre a resistência mecânica do solo à penetração e a produtividade de grãos de milho, já Rossetti e Centurion (2013) realizam uma regressão entre a resistência mecânica à penetração do Latossolo Vermelho e produtividade de milho.

Tabela 2 - Análises de regressão múltipla

Equação	R ²
$Rendmilho = -1843189 + 690340Ds + 18432PT$	0,0692
$Rendmilho = 2,73783 + 5,87661Ds + 0,01797Macro$	0.0520
$Rendmilho = 4,53483 + 5,20358Ds - 0,01797Micro$	0.0520

Podemos verificar na Tabela 2 que os coeficiente de explicação, observados para as regressões lineares entre Rendimento do milho e os atributos físicos não ultrapassaram 6,92%. Portanto, esse resultado mostrou que, no máximo, apenas 6,92% das variações do Rendimento do milho puderam ser explicadas pelas variações nos atributos físicos analisados, ficando o restante devido a outros fatores. Em seu estudo, Freddi et al. (2006) obtiveram uma equação de regressão com um coeficiente de correlação que melhor explicava a variação no rendimento do milho.

Considerando o teste Durbin-Watson rejeitou-se a hipótese H₀, a aceitou-se a hipótese alternativa, concluindo-se que há correlação positiva para as três equações encontradas.

A Figura 3 representa a equação do rendimento dos grãos de milho em função da densidade do solo e da porosidade total (Tabela 2). Observa-se no gráfico gerado que o rendimento dos grãos de milho é afetado positivamente pela densidade do solo e pela porosidade total. Assim quando aumentamos a densidade do solo juntamente com a porosidade total, temos uma elevação no rendimento dos grãos.

Isso demonstra aumento da densidade e do espaço poroso do solo não comprometeram a produtividade, e sim aumentos ocorridos nesses atributos físicos, elevaram a produtividade do milho. Porém a densidade do solo acima do limite crítico pode indicar condições danosas à produtividade do milho, diminuindo assim sua produtividade.

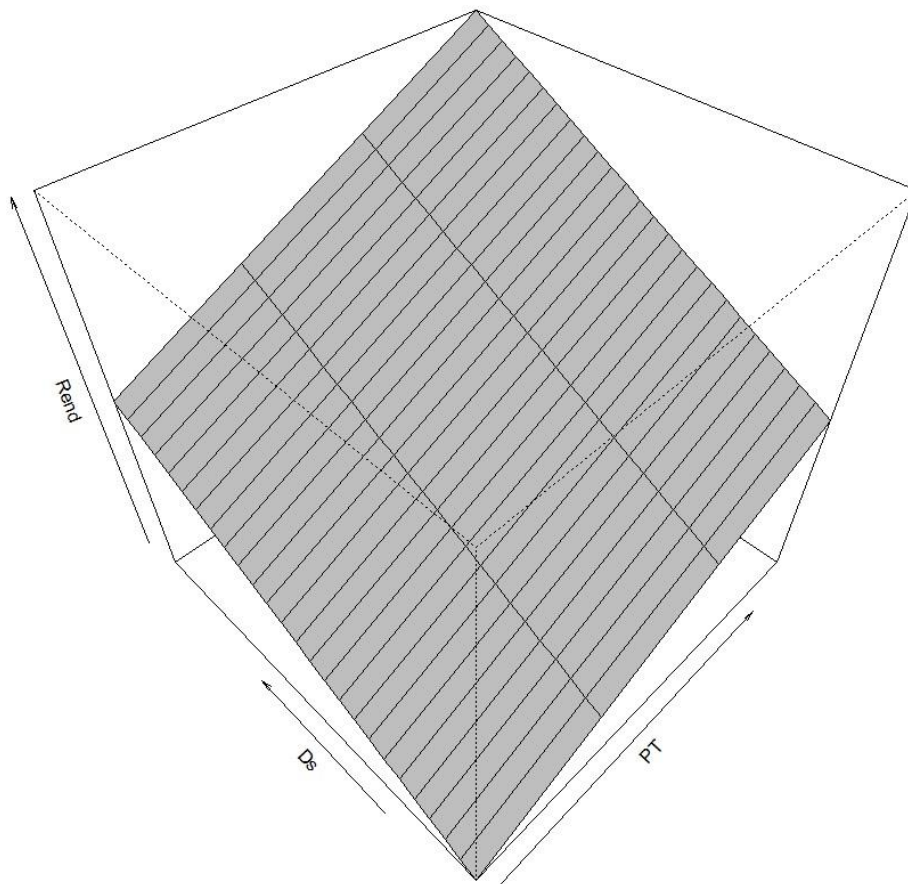


Figura 3 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da porosidade total.

A Figura 4 apresenta a equação do rendimento dos grãos de milho em função da densidade do solo e da Macroporosidade (Tabela 2). Observa-se na Figura 4 gerada que o rendimento dos grãos de milho é afetado positivamente pela densidade do solo e a macroporosidade para os dados coletados.

Com o aumento da macroporosidade (Figura 4) temos uma grande elevação do rendimento dos grãos de milho, ao mesmo tempo que a elevação da densidade do solo gera uma pequena variação no rendimento de grãos de milho. Em seu trabalho, Albuquerque et al. (2001) afirmam que a redução dos macroporos e o aumento da densidade do solo aumentam a resistência do solo à penetração. Assim, modificações nas propriedades físicas do solo, observadas no sistema plantio direto, afetaram o crescimento e a produtividade da cultura do milho. Para Cunha et al. (2011), quando a densidade do solo e a macroporosidade não atingiram os valores críticos para o desenvolvimento da planta, elas não agem como limitantes ao desenvolvimento das culturas.

Embora existam evidências de que o rendimento de grãos das culturas agrícolas é

afetado negativamente com a compactação (Secco et al., 2005), na análise das Figuras 3, 4 e 5 obtidas pelas regressões fica evidente que o aumento da densidade do solo não afetou significativamente o rendimento dos grãos de milho.

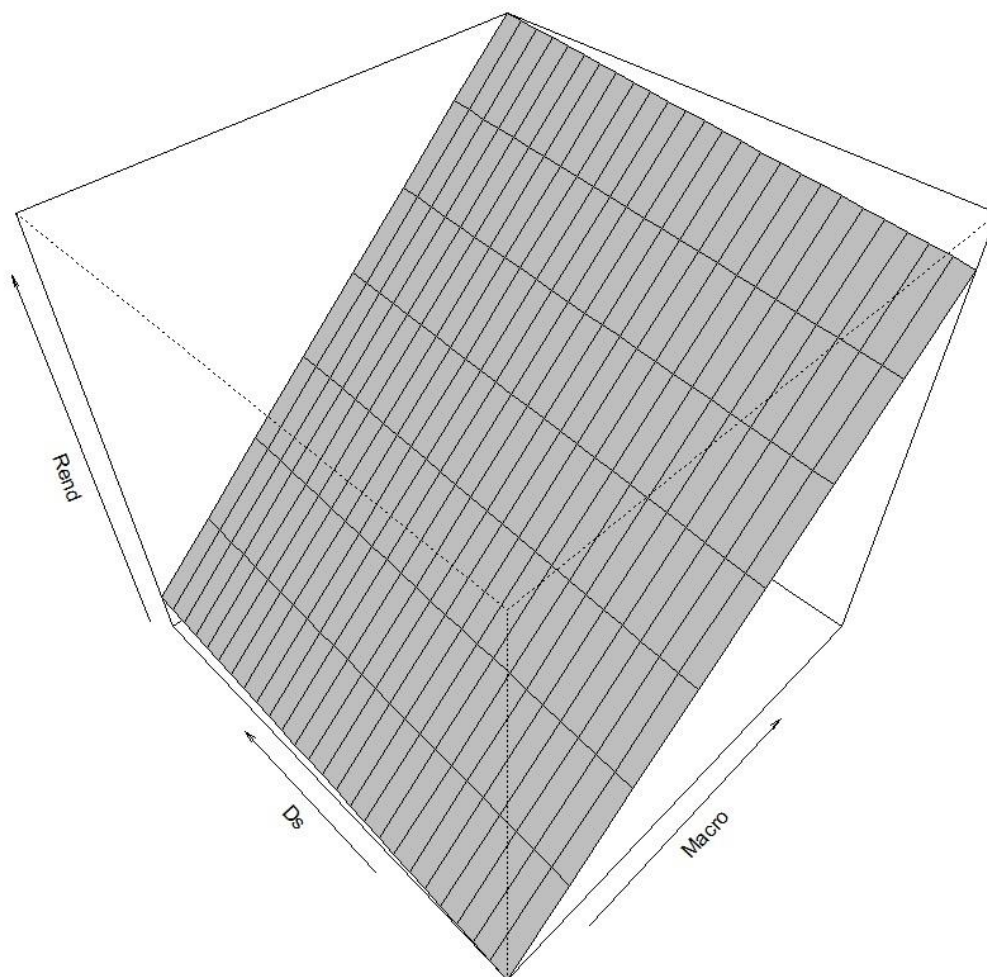


Figura 4 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da Macroporosidade.

A Figura 5 apresenta a equação do rendimento dos grãos de milho em função da densidade do solo e da microporosidade (Tabela 2). Podemos verificar no gráfico gerado que o rendimento dos grãos de milho é afetado positivamente pela microporosidade e negativamente pelo aumento da densidade do solo. Quanto maior a densidade do solo maior é o decréscimo na produção de milho, e quanto maior a microporosidade melhor será o rendimento dos grãos de milho. Secco et al. (2005) atribuíram em seu trabalho que a maior produtividade obtida é devido às melhores condições de espaço poroso do solo. Em seu trabalho, Cunha et al. (2011) verificaram que a densidade do solo apresentou correlação positiva com a microporosidade e negativa com a macroporosidade e porosidade total.

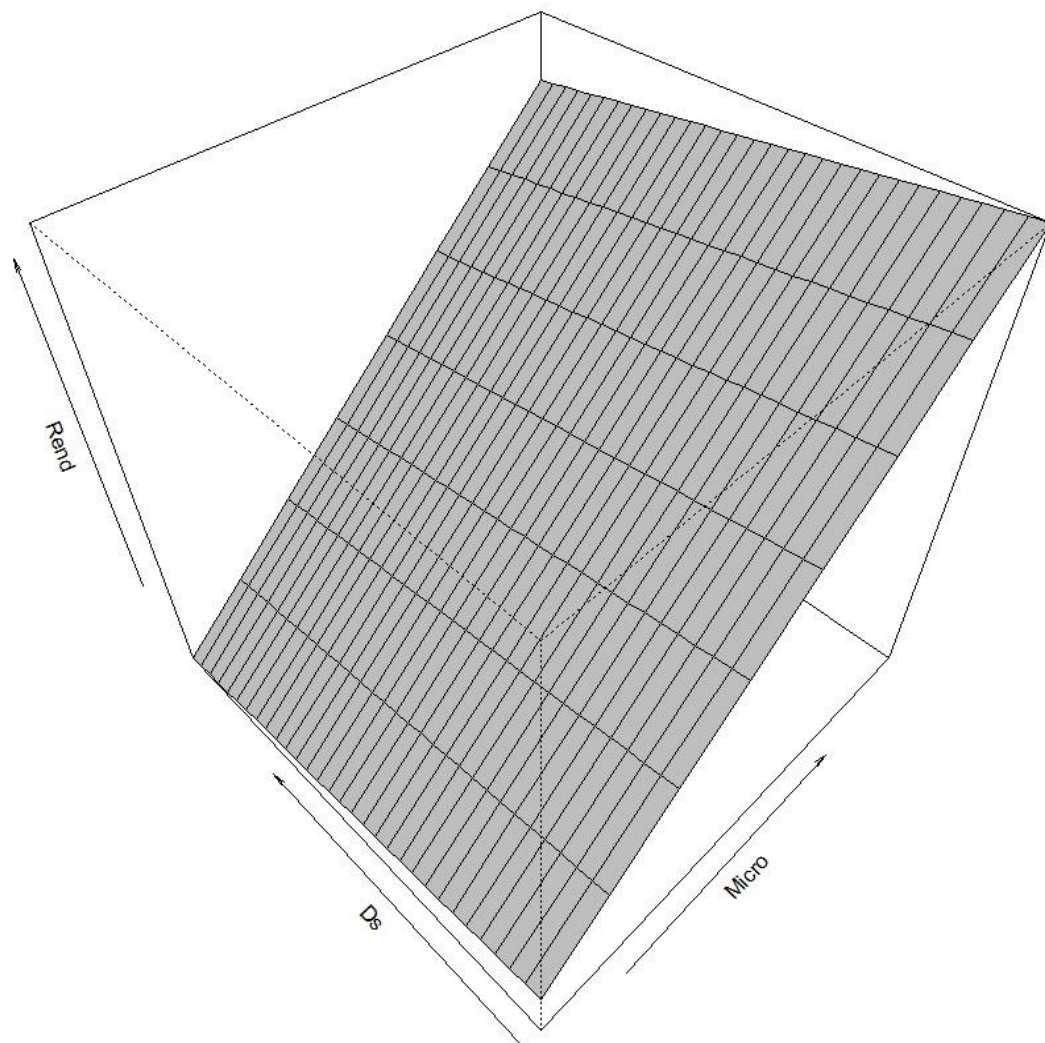


Figura 5 – Rendimento de milho em função da densidade do solo e da Microporosidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo que melhor explicou o Rendimento de milho foi em função da densidade do solo e da porosidade total.

Os gráficos em R^3 ajudaram a visualizar o comportamento do rendimento do milho em função dos atributos físicos.

REFERÊNCIAS

ABBAD, Gardênia; TORRES Cláudio Vaz. **Regressão múltipla stepwise e hierárquica em psicologia organizacional: aplicações, problemas e soluções.** Estudos de Psicologia 2002, n. 7 (Número Especial), p. 19-29.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L. e ENDER, M. **Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.25, n.3, 2001.

CAVALCANTE, Eloiza G. S; ALVES, Marlene C.; SOUZA, Zigomar M. e PEREIRA, Gener T. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.3, p.237–243, 2011.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES C. A. e SILVA J. B. **Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo** Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol.27, n.6, p.1105-1112. 2003.

CUNHA, Eurâimi De Q.; STONE, Luís F.; MOREIRA José A. A.; FERREIRA Enderson P. de B.; DIDONET Agostinho D. e LEANDRO Wilson M. **Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 589-602, mar./abr. 2011.

DEVORE. Jay L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências.** São Paulo: Pioneira Thomson Learnig, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997, 212 p.

FREDDI, Onã S.; CARVALHO, Morel P.; JÚNIOR, Valdenir V. e CARVALHO, Guilherme J. **Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional** Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

GOMES, F.P. **curso de estatística experimental.** 14.ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 478p.

GUJARATI. Damondar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica.** Porto Alegre: AMHG Editora Ltda. 5ª edição, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO **agropecuária puxa o PIB de 2017.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017> Acesso em: 28/11/2018.

MARINS, Aracéli C. de. **Rendimento de grãos e de óleo do crambe em um latossolo: análise espacial e modelos de correlação.** 2014, 161p, Tese de Doutorado, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

NETO, Américo N. da S.; SILVEIRA Pedro M. da; STONE, Luís F. e OLIVEIRA Luiz F. C. **Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo** Revista Pesquisa

Agropecuária Tropical v.36, n.1, p 29-35, 2006.

R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org>

ROCHA MATIAS, Sammy, S. BORBA José A.; TICELLI Marcelo; PANOSSO Alan R. e CAMARA Felipe T. **Atributos físicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes usos.** Revista Ciência Agrônômica. Fortaleza: Universidade Federal Ceara, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

ROSSETTI, Karina de V.; CENTURION, José F. **Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um latossolo vermelho cultivado com milho** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.17, n.5, p.472-479, 2013.

SANTOS, Marcio L.; CARVALHO, Morel de P.; RAPASSI, Rosalina M. A.; MURAISHI, Cid T., MALLER, Adriano e MATOS, Flávia A. **Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*zea mays L.*) E atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto do cerrado brasileiro.** Acta Scientiarum Agronomy Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, jul./set., 2006.

SECCO, Deonir; DA ROS, Clovis Orlando; SECCO, Jana Koefender e FIORIN, Jackson Ernani **atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo** Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol.29, n.3, pp.407-414. 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J. e PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar** Revista Brasileira de Ciência do Solo vol.28, n.6, p.937-944, 2004.

SOUZA, Edicarlo D.; CARNEIRO, Marco A. C. e PAULINO, Helder B. **Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo** Pesquisa Agropecuária Brasileira. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. e TOMM, G. O. **EFEITOS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS ENVOLVENDO PASTAGENS SOB PLANTIO DIRETO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO E NA PRODUTIVIDADE** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.28, n.3, p.533-542. 2004.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. **INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

VANWALLEGHEM, T.; GÓMEZ, J. A.; AMATE, J. Infante; MOLINA, M. G.; VANDERLINDEN, K.; GUZMÁN, G.; LAGUNA, A. e GIRÁLDEZAB, J. V. **Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the anthropocene.** Anthropocene, v. 17, p. 13-29, 2017.