

# Solos nos Biomas Brasileiros

## 2

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
(Organizadores)

A close-up photograph of a hand holding a single seed over a mound of dark soil. Several other seeds are scattered on the soil surface, and a few small green seedlings with purple stems are visible in the background. The image is set against a blurred green background, suggesting a natural, outdoor setting.

**Atena**  
Editora

Ano 2018

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
(Organizadores)

## Solos nos Biomas Brasileiros 2

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

S689 Solos nos biomas brasileiros 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Solos nos Biomas Brasileiros; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-009-4

DOI 10.22533/at.ed.094181412

1. Agricultura – Sustentabilidade. 2. Ciências agrárias. 3. Solos. 4. Reaproveitamento. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. III. Série.

CDD 631.44

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Solos nos Biomas Brasileiro*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu volume II, apresenta, em seus 17 capítulos, conhecimentos tecnológicos para Ciências do solo na área de Agronomia.

O uso adequado do solo é importante para a agricultura sustentável. Portanto, com a crescente demanda por alimentos aliada à necessidade de preservação e reaproveitamento de recursos naturais, esse campo de conhecimento está entre os mais importantes no âmbito das pesquisas científicas atuais, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

As descobertas agrícolas têm promovido o incremento da produção e a produtividade nos diversos cultivos de lavoura. Nesse sentido, as tecnologias nas Ciências do solo estão sempre sendo atualizadas e, em constantes mudanças para permitir os avanços na Ciências Agrárias. A evolução tecnológica, pode garantir a demanda crescente por alimentos em conjunto com a sustentabilidade socioambiental.

Este volume dedicado à Ciência do solo traz artigos alinhados com a produção agrícola sustentável, ao tratar de temas como o uso de práticas de manejo de adubação, inoculação de microorganismos simbióticos para a melhoria do crescimento das culturas cultivadas e da qualidade biológica, química e física do solo. Temas contemporâneos de interrelações e responsabilidade socioambientais tem especial apelo, conforme a discussão da sustentabilidade da produção agropecuária e da preservação dos recursos hídricos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências do solo, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área de Agronomia e, assim, garantir incremento quantitativos e qualitativos na produção de alimentos para as futuras gerações de forma sustentável.

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO EM FUNÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO	
<i>Fernanda Paula Sousa Fernandes</i>	
<i>Layse Barreto de Almeida</i>	
<i>Debora Oliveira Gomes</i>	
<i>Aline Noronha Costa</i>	
<i>Michel Keisuke Sato</i>	
<i>Augusto José Silva Pedroso</i>	
<i>Cleidiane Alves Rodrigues</i>	
<i>Herdjania Veras de Lima</i>	
<i>Daynara Costa Vieira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0941814121</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS RAÍZES DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA	
<i>Mary Anne Barbosa de Carvalho</i>	
<i>Helton de Souza Silva</i>	
<i>Adailson Pereira de Souza</i>	
<i>João Marques Pereira Neto</i>	
<i>Ewerton da Silva Barbosa</i>	
<i>Caique Palacio Vieira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0941814122</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS RAÍZES DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO MINERAL EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	
<i>Helton de Souza Silva</i>	
<i>Mary Anne Barbosa de Carvalho</i>	
<i>Adailson Pereira de Souza</i>	
<i>Ewerton da Silva Barbosa</i>	
<i>João Marques Pereira Neto</i>	
<i>Caique Palacio Vieira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0941814123</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>28</b>
DOSES E SISTEMA DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM CAFÉ.	
<i>Danilo Marcelo Aires dos Santos</i>	
<i>Enes Furlani Junior</i>	
<i>Michele Ribeiro Ramos</i>	
<i>Alexandre Marques da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0941814124</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>37</b>
EFEITO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLOS DE TEXTURAS DISTINTAS	
<i>Aline Noronha Costa</i>	
<i>Cleidiane Alves Rodrigues</i>	
<i>Débora Oliveira Gomes</i>	
<i>Layse Barreto de Almeida</i>	
<i>Daynara Costa Vieira</i>	

*Michel Keisuke Sato*  
*Fernanda Paula Sousa Fernandes*  
*Augusto José Silva Pedroso*  
*Herdjania Veras de Lima*

**DOI 10.22533/at.ed.0941814125**

**CAPÍTULO 6 ..... 43**

EFEITO RESIDUAL DE PASTAGENS NO FATOR COBERTURA E MANEJO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO

*Marcelo Raul Schmidt*  
*Elemar Antonino Cassol*  
*Tiago Stumpf da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.0941814126**

**CAPÍTULO 7 ..... 57**

ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE BORO EM GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO EM VÁRZEAS

*Rodrigo Ribeiro Fidelis*  
*Karen Cristina Leite Silva*  
*Ricardo de Oliveira Rocha*  
*Patrícia Sumara Moreira Fernandes*  
*Lucas Xaubet Burin*  
*Lucas Silva Tosta*  
*Natan Angelo Seraglio*  
*Geovane Macedo Soares*

**DOI 10.22533/at.ed.0941814127**

**CAPÍTULO 8 ..... 66**

EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE ANAPURUS-MA ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2015

*Késia Rodrigues Silva Vieira*  
*Yasmin Sampaio Muniz*  
*Erik George Santos Vieira*  
*Marlen Barros e Silva*  
*João Firminiano da Conceição Filho*  
*Deysiele Viana de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.0941814128**

**CAPÍTULO 9 ..... 81**

FERTILIDADE DE SOLOS COM A PRESENÇA DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL NA REABILITAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

*Maria Elisa Ferreira de Queiroz*  
*Aleksandra Gomes Jácome*  
*Jéssica Lanne Oliveira Coelho*  
*Jheny Borges da Conceição*

**DOI 10.22533/at.ed.0941814129**

**CAPÍTULO 10 ..... 86**

FRAGILIDADES E POTENCIALIDADES DOS SOLOS DE UMA FAZENDA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS/TO

*Michele Ribeiro Ramos*  
*Lucas Felipe Araújo Lima*  
*João Vitor de Medeiros Guizzo*  
*Danilo Marcelo Aires dos Santos*  
*Alexandre Uhlmann*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141210**

**CAPÍTULO 11 ..... 101**

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MAPEAMENTO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E UMIDADE GRAVIMÉTRICA EM PASTAGEM COM *Cynodon spp.*

*Crissogno Mesquita dos Santos*  
*Francisca Laila Santos Teixeira*  
*Tiago de Souza Santiago*  
*Daniel Vitor Mesquita da Costa*  
*Kessy Jhonnes Soares da Silva*  
*Nayra Beatriz de Souza Rodrigues*  
*André Luís Macedo Vieira*  
*Ângelo Augusto Ebling*  
*Daiane de Cinque Mariano*  
*Ricardo Shigueru Okumura*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141211**

**CAPÍTULO 12 ..... 115**

INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS DOS SOLOS.

*Daniel Alves de Souza Panta*  
*Michele Ribeiro Ramos*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141212**

**CAPÍTULO 13 ..... 125**

ÍNDICE DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE TERMOFOSFATOS EM SOLOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE FÓSFORO

*Juliana de Lima Moretto*  
*Leonardo Theodoro Büll*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141213**

**CAPÍTULO 14 ..... 130**

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE UM CAMBISSOLO AMARELO SOBRE O DESENVOLVIMENTO INICIAL DO FEIJÃO CAUPÍ (*VIGNA UNGUICULATA*) E DO ARROZ (*ORYZA SATIVA*)

*Elidineia Lima de Oliveira Mata*  
*Wagner Augusto da Silva Mata*  
*Vitor Barbosa da Costa*  
*Joyce da Costa Dias*  
*Elessandra Laura Nogueira lopes*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141214**

**CAPÍTULO 15 ..... 132**

INFLUÊNCIA DAS QUEIMADAS SOB OS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM ÁREAS DE CAATINGA NO SUL PIAUIENSE

*Veronica de Oliveira Costa*  
*Manoel Ribeiro Holanda Neto*  
*Maurício de Souza Júnior*

*Mireia Ferreira Alves*  
*Marco Aurélio Barbosa Alves*  
*Wesley dos Santos Souza*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141215**

**CAPÍTULO 16 ..... 137**

LEAF INDEX FOR FOLIAR DIAGNOSIS AND CRITICAL LEVELS OF NUTRIENTS FOR *Physalis peruviana*

*Enilson de Barros Silva*  
*Maria do Céu Monteiro da Cruz*  
*Ari Medeiros Braga Neto*  
*Emerson Dias Gonçalves*  
*Luiz Fernando de Oliveira da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.09418141216**

**CAPÍTULO 17 ..... 150**

MESOFAUNA EDÁFICA E QUALIDADE DE UM SOLO CONSTRUÍDO CULTIVADO COM GRAMÍNEAS PERENES

*Lizete Stumpf*  
*Eloy Antonio Pauletto*  
*Luiz Fernando Spinelli Pinto*  
*Luciano Oliveira Geissler*  
*Lucas da Silva Barbosa*  
*Mateus Fonseca Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.094181412**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 163**



## INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB DIFERENTES USOS DOS SOLOS.

**Daniel Alves de Souza Panta**

Engenheiro agrônomo autônomo

**Michele Ribeiro Ramos**

Professora, Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS), Palmas – Tocantins.

**RESUMO:** Qualidade do solo é um tema amplo, que enfatiza a capacidade do solo de realizar serviços, incluindo a produção de plantas e animais e o transporte e regulação de matéria. O manejo e uso da terra, sem prévia avaliação dos seus potenciais e limitações, tem sido o motivo da degradação de recursos naturais, como o solo e a água, fundamentais para a sobrevivência do homem. Objetivo deste trabalho foi realizar a comparação entre os indicadores de qualidade do solo em diferentes tipos de manejo e com diferentes usos. A área de estudo está situada no Complexo de Ciências Agrárias – CCA da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS. Os tratamentos correspondem a diferentes áreas: agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica. As análises físicas de densidade do solo, condutividade hidráulica e porosidade total foram realizadas segundo EMBRAPA, 2011. As médias dos parâmetros físicos dos solos entre os tratamentos foram avaliados através de ANCOVA, aplicando-se

testes post-hoc a fim de verificar a significância das diferenças par a par. Para densidade do solo a menor densidade média verificada foi no plantio de eucalipto e a maior nos solos utilizados pela agricultura convencional. A média da condutividade hidráulica em solos sob eucaliptos foram maiores que os demais, e a maior porosidade do solo também. As menores médias de porosidade foram encontradas nos solos utilizados pela agricultura convencional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Física do solo, Indicadores, Manejo, Uso e Ocupação.

**ABSTRACT:** Soil quality is a broad theme, which emphasizes the soil's ability to perform services, including the production of plants and animals and the transport and regulation of matter. The management and use of land, without prior evaluation of its potentials and limitations, has been the reason for the degradation of natural resources, such as soil and water, which are fundamental for human survival. Objective of this work is to compare soil quality indicators in different types of management and with different uses. The study area is located in the Complex of Agricultural Sciences - CCA of the State University of Tocantins - UNITINS. The treatments correspond to different areas: conventional agriculture, grazing in rotary grazing system, conventional eucalyptus plantation and organic banana planting. The

soil physical density, hydraulic conductivity and total porosity physical analyzes were performed according to EMBRAPA, 2011. The means of the physical parameters of the soils between the treatments were evaluated through ANCOVA, applying post-hoc tests in order to verify the significance of the differences at par. For soil density the lowest mean density was verified in the eucalyptus plantation and the highest in the soils used by agriculture. The average hydraulic conductivity in soils under eucalyptus plantations was higher than the others. The highest soil porosity was found under eucalyptus plantations. The lowest averages of porosity were found in soils used by agriculture.

**KEYWORDS:** Soil Physics, Indicators, Management, Use and Occupation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Qualidade do solo é um tema amplo, que enfatiza a capacidade do solo de realizar serviços, incluindo a produção de plantas e animais e o transporte e regulação de matéria. De acordo com Marchi (2008), “a qualidade do solo é a sua capacidade de funcionamento dentro de um ecossistema, sustentando a produtividade, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a sanidade animal e vegetal”.

Solos de alta qualidade promovem alta produtividade, diminuem a poluição da água por resistir à erosão, degradam e imobilizam substâncias químicas agrícolas, resíduos e outros poluentes (MARCHI, 2008). Porém o manejo pode tanto melhorar como degradar a qualidade do solo. A erosão, a compactação, a salinização, a acidificação e substâncias tóxicas, por exemplo, são exemplos de problemas que podem degradar a qualidade do solo (MARCHI, 2008). A rotação de culturas usa leguminosas, adição de matéria orgânica como esterco e resíduos de culturas, o manejo cuidadoso de fertilizantes, pesticidas e equipamentos de movimentação de terra, por sua vez, são exemplos de manejo que melhoram a qualidade do solo.

Segundo Mota, Freire & Assis (2013) que realizaram um trabalho de avaliação da qualidade do solo em dois sistemas, fruticultura e mata nativa, os indicadores de qualidade foram sensíveis às alterações provocadas pelos sistemas de manejo do solo e, portanto, podem ser utilizados como fonte para a interpretação da dinâmica de processos físicos do solo no tempo.

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, a ação antrópica promove alterações nesses atributos e, na maioria das vezes, causa impacto ambiental negativo (SILVA et al., 2007). De acordo com Bayer & Mielniczuk (2008), sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer redução acentuada no seu conteúdo, principalmente quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos. Nessa situação, pode ser estabelecido um

processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além de perda da produtividade das culturas.

O manejo e uso da terra, sem previa avaliação dos seus potenciais e limitações, tem sido o motivo da degradação de recursos naturais, como o solo e a água, fundamentais para a sobrevivência do homem. Estima-se que 40% das terras agrícolas do mundo sofrem degradação (DUMANSKI & PIERI, 2000). A utilização continuada de diferentes sistemas de manejo determina alterações em propriedades do solo, cuja intensidade depende do tempo de uso e das condições edafoclimáticas. As propriedades físicas são mais afetadas pelos sistemas de preparo, tendo respostas diferenciadas em termos de crescimento e produção de culturas. O preparo do solo constitui-se na prática de manejo que mais altera as propriedades físicas do solo e seu efeito depende do implemento utilizado, da intensidade de seu uso e da condição de umidade no momento das operações (VEIGA, 2005; SOUZA et al., 2001).

As principais alterações são 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 do solo (CAVENAGE et al., 1999). Uma das principais causas da degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo, causada pelo tráfego de máquinas, implementos agrícolas e pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária (ALBUQUERQUE et al., 2001).

O monitoramento da qualidade do solo deve ser direcionado para detectar tendências de mudanças especialmente de forma a indicar os primeiros estágios de alteração, sem que se haja degradação acentuada do solo. Esse monitoramento pode ser feito na propriedade agrícola ou em níveis mais abrangentes, como microbacia hidrográfica, região e outros. As práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando-se manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a qualidade da água (ARAÚJO et al., 2007).

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada foi no Complexo de Ciências Agrárias – CCA da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS, no Estado do Tocantins, localizado geograficamente sob as coordenadas aproximadas de 10°20'00" S e 10°27'00" S de latitude e 48°15'00" Wgr e 48°20'00" Wgr de longitude, a uma altitude de 213 metros.

Os tratamentos correspondem a diferentes usos do solo: agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) e plantio de banana (*Musa sp.*) orgânica.

Em cada área foi coletada amostras proporcionalmente ao tamanho da área escolhida, com três repetições por ponto, somente no horizonte A.

As análises físicas de densidade do solo, condutividade hidráulica e porosidade total foram realizadas segundo o Manual de Métodos de Análise de Solos da Empresa

de Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011).

As médias dos parâmetros físicos dos solos entre os tratamentos foram avaliados através de ANCOVA, aplicando-se testes *post-hoc* a fim de verificar a significância das diferenças par a par. Antes da análise, a presença de heterocedasticidade foi verificada pelo teste de Levene, aceitando  $H_0$  quando  $p > 0,05$ . Também foi averiguada a normalidade da distribuição desses dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Complementarmente, os dados foram avaliados graficamente, de modo a atestar a obediência a estas premissas, que quando não cumpridas, foram tentativamente corrigidas por meio de transformação dos dados (logarítmica, raiz quadrada, raiz cúbica e inversa), escolhendo aquele método que melhor atue no aumento da homogeneidade da variância (QUINN; KEOUGH, 2002).

Inicialmente, as médias foram testadas, desconsiderando os efeitos da dependência espacial. Posteriormente, MEMs (Moran Eigenvector Maps) foram incorporados aos modelos para isolar o efeito da dependência espacial que costuma inflar o erro tipo I (DINIZ-FILHO et al., 2003; PERES-NETO et al., 2006; PERES-NETO; LEGENDRE, 2010;). Os MEMs foram gerados através de autovetores extraídos a partir de matriz binária de conectividades entre os pontos amostrais, a qual deriva de uma triangulação Delaunay, na qual somente os vizinhos mais próximos são considerados conectados (DRAY et al., 2006). Para obtenção dos MEMs foram utilizados os pacotes *tripack*, *spdep* (BIVAND et al., 2013; BIVAND; PIRAS, 2015) e *spacemakeR* (DRAY et al., 2006) no R (R CORE TEAM, 2012). Os MEMs foram escolhidos através de seleção automática, conforme proposto por Blanchet et al. (2008) utilizando o script publicado em Eisenlohr (2014).

A partição da variância foi conduzida através do argumento *varpart* do pacote *Vegan R* (OKSANEN et al., 2015), objetivando segregar a fração da variância explicada pelos elementos individuais do modelo (tratamento e espaço), a fração partilhada entre estes dois elementos, assim como aquela fração que, em geral, permanece inexplicada na forma de resíduos (PERES-NETO et al., 2006). Se a variação exclusivamente atribuída ao tratamento for significativa, a ANOVA foi aplicada tendo os MEMs como co-variáveis a fim de atestar o efeito do tratamento independente do efeito do espaço.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### a. Densidade do Solo (Ds)

O modelo gerado através dos dados de densidade dos solos (Ds) apresentou um bom ajuste, absorvendo cerca de 85% do total original da variância original dos dados ( $R^2=0,85$ ;  $p < 10^{-6}$ ) (Tabela 1). Foi necessária a adição de sete MEMs que extraíram a dependência espacial dos dados. A verificação visual da heterocedasticidade não indicou haver desvios significativos deste parâmetro nos dados e a normalidade dos resíduos foi comprovada através do teste de Shapiro-Wilk ( $W=0,975$ ;  $p=0,377$ ). O teste

*post-hoc* comprovou a existência de diferenças estatisticamente significativa entre todos os grupos, sendo a menor densidade média verificada nos solos com plantio convencional de eucaliptos (1,19 g/cm<sup>3</sup>) e a maior nos solos utilizados pela agricultura convencional (1,51 g/cm<sup>3</sup>), passando pelos níveis intermédios dos tratamentos plantio de banana orgânica (1,26 g/cm<sup>3</sup>) e pastagem (1,38 g/cm<sup>3</sup>) (Tabela 2).

Fonte	SQ	GL	QM	F	p
MEM 1	0,021	1	0,021	6,85	0,013
MEM 2	0,008	1	0,008	2,55	0,119
MEM 7	0,112	1	0,112	37,20	<10 <sup>-6</sup>
MEM 4	0,089	1	0,089	29,58	0,3x10 <sup>-5</sup>
MEM 3	0,040	1	0,040	13,30	0,001
MEM 8	0,072	1	0,072	23,79	1,2x10 <sup>-5</sup>
MEM 28	0,032	1	0,032	10,58	0,002
Tratamento	0,086	3	0,029	9,58	7,2x10 <sup>-5</sup>
Erro	0,117	39	0,003		

Tabela 1 – Resumo dos resultados da Análise de Covariância (ANCOVA) aplicada aos dados de Densidade do Solo (Ds, em g.cm<sup>-3</sup>), tendo como variável preditora categórica os quatro tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica) e covariáveis Moran's I Eigenvector Maps (MEM). SQ – soma dos quadrados; GL – graus de liberdade; Qm – quadrado médio; F = F calculado; p = probabilidade calculada.

O acúmulo de material orgânico provida das folhas, galhos e raízes na camada superficial do solo diminui a densidade solo. As raízes em processo de decomposição no perfil do solo geram espaços porosos, esta sequência de atividades proporciona valores menores de densidade, beneficiando a melhores condições físicas. Segundo Bono; Macedo & Tormena (2013) em trabalho com vegetação nativa do cerrado durante sete anos, verificou que não houve diferença estatística na densidade do solo durante os anos. No entanto, quando comparado a áreas com agricultura convencional os resultados foram expressivos, estas atividades de manejo ao longo do tempo pulverizam e compactam as partículas aumentando a densidade total, sendo assim afetando drasticamente a estrutura do solo.

Tratamento	Média da Densidade do Solo (g.cm <sup>-3</sup> ) em cada tratamento	Grupos
Agricultura	1,51	A
Eucalipto	1,19	B
Pastagem	1,38	C
Banana orgânica	1,26	D

Tabela 2 – Resultados da aplicação do teste *post-hoc* (HSD) sobre os dados de média da densidade dos solos (g.cm<sup>-3</sup>) a fim de verificar o efeito dos tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica).

## b. Condutividade Hidráulica (Ks)

Os dados de condutividade hidráulica (Ks) dos solos resultaram no ajuste de

um modelo cujo ajuste foi menor que aquele obtido para a densidade, sendo possível capturar aproximadamente 60% da variância original dos dados ( $R^2=0,60$ ;  $p<10^{-6}$ ). Novamente, a adição de MEMs foi necessária para remover a dependência espacial dos dados, e a análise visual dos dados não apontou para a corrupção da premissa de homocedasticidade, assim como também não foi detectada a quebra da premissa de normalidade dos resíduos ( $W=0,976$ ;  $p=0,393$ ). Consideradas as médias de cada tratamento, a média da condutividade hidráulica nas amostras coletadas em solos sob plantio convencional de eucalipto foram maiores que em todos os demais tipos de uso do solo. Estes, por sua vez, não diferiram entre si.

Fonte	SQ	GL	QM	F	p
MEM 3	0,101	1	0,101	2,059	0,159
MEM 8	0,002	1	0,002	6,656	0,014
MEM 43	0,003	1	0,003	11,974	0,001
MEM 14	0,003	1	0,003	11,126	0,001
MEM 6	0,002	1	0,002	8,797	0,005
MEM 8	0,002	1	0,002	5,807	0,021
Tratamento	0,002	3	0,001	2,689	0,059
Erro	0,011	40	2,6x10 <sup>-4</sup>		

Tabela 3 – Resumo dos resultados da Análise de Covariância (ANCOVA) aplicada aos dados de Condutividade Hidráulica, tendo como variável preditora categórica os quatro tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica) e covariáveis Moran's I Eigenvector Maps (MEM). SQ – soma dos quadrados; GL – graus de liberdade; Qm – quadrado médio; F = F calculado; p = probabilidade calculada.

Florestas nativas e comerciais possuem características físicas do solo para o desenvolvimento das raízes consideradas ideais segundo parâmetros sugeridos pela EMBRAPA, (2011). As características físicas ideais permitem uma alta infiltração de água no perfil de solo, evitando o acúmulo superficial de água no solo impedindo erosões e movimentos de massa. A maior quantidade de matéria orgânica na camada superficial permite o aumento do armazenamento de água no solo, as raízes em decomposição são canais que permitem a livre passagem dos fluxos hídricos para as camadas mais profundas do perfil do solo, esta sucessão de eventos nas condições que o plantio convencional de eucalipto e a pastagem em sistema de pastejo rotativo fornecem ao solo são de suma importância para se ter uma maior condutividade hidráulica.

Tratamento	Média da Condutividade Hidráulica (cm.s <sup>-3</sup> )/tratamento	Grupos
Agricultura	0,035	A
Eucalipto	0,071	B
Pastagem	0,054	A
Banana orgânica	0,040	A

Tabela 4 – Resultados da aplicação do teste *post-hoc* (HSD) sobre os dados de média da Condutividade Hidráulica a fim de verificar o efeito dos tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica).

### c. Porosidade Total (Ps)

Os dados de porosidade total permitiram a geração de um modelo que capturou aproximadamente 68% da variância dos dados ( $R^2=0,683$ ;  $p=1 \times 10^{-6}$ ). No entanto, o ajuste exigiu que os dados fossem previamente corrigidos devido à problemas com a heterocedasticidade. Transformações foram tentadas, mas a única solução viável foi a eliminação de dados discrepantes, tendo como critério de exclusão, todos aqueles cujo valor estivesse além de dois desvios padrão para cima ou para baixo. Três unidades amostrais foram eliminadas e com isso, a variância dos dados inter-grupos, verificada graficamente, foi aproximadamente equilibrada. Os resíduos provarem ser normais ( $w=0,977$ ;  $p=0,484$ ). A este modelo foram adicionados 11 MEMs e um sumário de seus resultados é apresentado na Tabela 5.

Fonte	SQ	GL	QM	F	p
MEM 8	0,010	1	0,010	13,665	0,001
MEM 2	0,002	1	0,002	2,443	0,128
MEM 4	0,004	1	0,004	6,322	0,017
MEM 5	0,001	1	0,001	0,726	0,400
MEM 38	0,007	1	0,007	9,506	0,004
MEM 10	0,002	1	0,002	3,085	0,089
MEM 1	0,001	1	0,001	0,963	0,334
MEM 12	0,005	1	0,005	7,616	0,009
MEM 7	0,006	1	0,006	8,136	0,008
MEM 3	0,003	1	0,003	4,077	0,052
MEM 28	0,005	1	0,005	6,793	0,014
Tratamento	0,003	3	0,001	1,244	0,310
Erro	0,022	32	0,001		

Tabela 5 – Resumo dos resultados da Análise de Covariância (ANCOVA) aplicada aos dados de Porosidade Total ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ), tendo como variável preditora categórica os quatro tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica) e covariáveis Moran's I Eigenvector Maps (MEM). SQ – soma dos quadrados; GL – graus de liberdade; Qm – quadrado médio; F = F calculado; p = probabilidade calculada.

O teste *post-hoc* aplicado às médias dos tratamentos provou que a maior porosidade do solo foi encontrada sob o plantio convencional de eucalipto que não diferiram daquela média dos solos sob o plantio de banana orgânica. As menores médias de porosidade foram encontradas nos solos utilizados pela agricultura convencional que não diferiu dos valores calculados para as pastagens em sistema de pastejo rotativo que, por sua vez, não diferiu da média calculada para os solos sob o plantio de banana orgânica (Tabela 6).

Tratamento	Média da Porosidade do Solo (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ) em cada tratamento	Grupos
Agricultura	0,497	A
Eucalipto	0,565	C
Pastagem	0,525	AB
Banana orgânica	0,556	BC

Tabela 6 – Resultados da aplicação do teste *post-hoc* (HSD) sobre os dados de média da Porosidade Total (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>), a fim de verificar o efeito dos tratamentos (agricultura convencional, pastagem em sistema de pastejo rotativo, plantio convencional de eucalipto e plantio de banana orgânica).

Na tabela 6 não diferindo dos demais resultados o plantio convencional de eucalipto se manteve em destaque quando analisado a porosidade total do solo, destaque este provido através da grande quantidade de raiz advindas das plantas de eucalipto que após sua decomposição da mesma se tornam espaços porosos ocupados por água e gases. Solos porosos e com alto teor de matéria orgânica as raízes se desenvolvem com maior facilidade, aumentando o desenvolvendo da espécie cultivada.

#### d. Interação Uso/Indicadores

O manejo adotado na pastagem e de pastejo rotativo sob capim humidicola (*Brachiaria humidicola* (Rendle.) Schweickerdt), este sistema já esta implantado a mais de 10 anos. O cultivo de eucalipto se encontra sem manutenção há muitos anos, com somente uma roçagem por ano, presença de muita serapilheira e capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth) em mais de 50% da área. O cultivo de bananeira é conduzido obedecendo as premissas da agricultura orgânica. O cultivo na área de agricultura convencional e altamente intensivo, sendo feita diversas operações de aração e gradagem durante o ano.

Os dados analisados dificilmente são tratados de forma isolada, os três se completam. Ou seja, um solo que apresenta porosidade total alta, vai apresentar alta condutividade hidráulica e uma baixa densidade, no entanto, solos com alta densidade, possuem baixa condutividade hidráulica e baixo volume de poros. Estes são comprovados pelos resultados obtidos nesta pesquisa, onde na área de cultivo convencional e eucalipto a densidade estava menor e por consequência a condutividade hidráulica e a porosidade estavam maiores, contrariamente a área de agricultura convencional com altos valores de densidade apresentaram baixos valores de condutividade hidráulica e porosidade total.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das áreas de estudo avaliadas o plantio convencional de eucalipto se destacou das demais atividades agrícolas em melhor qualidade nos parâmetros físicos do avaliados. A pastagem com *Brachiaria humidicola* (Rendle.) Schweickerdt em sistema de pastejo rotativo teve valores expressivos, se destacando com uma ótima alternativa para melhor manutenção da qualidade física do solo.



O plantio de banana orgânica seguido da área de agricultura convencional obteve os piores indicadores de qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. **Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura de milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25: 717-723, 2001.
- ARAÚJO, R. GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. R. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 31: 1099-1108, 2007.
- BIVAND, R., HAUKE, J., KOSSOWSKI, T., 2013. **Computing the Jacobian in Gaussian Spatial Autoregressive Models: An Illustrated Comparison of Available Methods.** Geogr. Anal. 45, 150–179. doi:10.1111/gean.12008
- BIVAND, R., PIRAS, G., 2015. **Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics.** J. Stat. Softw. 63, 1–36. doi:10.18637/jss.v063.i18
- BONO, J.A.M., MACEDO, M.C.M., TORMENA, C. A. **Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 37:743-753, 2013.
- BLANCHET, G., LEGENDRE, P., BORCARD, D., 2008. **Forward selection of spatial explanatory variables.** Ecology 89, 2623–2632. doi:10.1890/07-0986.1
- CANARACHE, A. P. **The generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration.** Soil & Tillage Reseach, 16: 51-70, 1990.
- DUMANSKI, J., PIERI, C. **Land quality indicators: research plan.** Agriculture Ecosystems & Environment. 81:155-162, 2000.
- DINIZ-FILHO, J.A.F., BINI, L.M., HAWKINS, B.A., 2003. **Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology.** Glob. Ecol. Biogeogr. 12, 53–64. doi:10.1046/j.1466-822X.2003.00322.x
- DRAY, S., LEGENDRE, P., PERES-NETO, P.R., 2006. **Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM).** Ecol. Modell. 196, 483–493. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.02.015
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230p.
- EISENLOHR, P. V. **Persisting challenges in multiple models: a note on commonly unnoticed issues regarding collinearity and spatial structure of ecological data.** Brazilian J. Bot. 37, 365–371. doi:10.1007/s40415-014-0064-3
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. & SILVA, A. P. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água.** Revista Engenharia Agrícola, 19:45-54, 1998.
- 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 (MG).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25: 699-707, 2001.
- VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas**

**de manejo e efeito sobre culturas.** Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 110p. (Tese de Doutorado).

MOTA, J.C.A., FREIRE, A.G., ASSIS, R. N. **Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 37:1196-1206, 2013.

OKSANEN, J., BLANCHET, F., KINDT, R., LEGENDRE, P., MINCHIN, P., O'HARA, R., SIMPSON, G., SOLYMOS, P., HENRY, M., STEVENS, H., WAGNER, H., 2015. **Vegan: Community Ecology Package.** R package version 2.2-1.

PEBESMA, E.J., 2004. **Multivariable geostatistics in S: the gstat package.** Comput. Geosci. 30, 683–691.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P., 2010. **Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities.** Glob. Ecol. Biogeogr. 19, 174–184. doi:10.1111/j.1466-8238.2009.00506.

PERES-NETO, P.R., LEGENDRE, P., DRAY, S., BORCARD, D., 2006. **Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparisons of fractions.** Ecology 87, 2614–2625. doi:10.1890/0012-9658(2006)87[2614:VPOSDM]2.0.CO;2

QUINN, G.P., KEOUGH, M.J., 2002. **Experimental Design and Data Analysis for Biologists.** Press, Cambridge University, Cambridge.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**ALAN MARIO ZUFFO** Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan\_zuffo@hotmail.com

**JORGE GONZÁLEZ AGUILERA** Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-009-4



9 788572 470094