

# 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 small green seedlings 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 interações 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**

## DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO EM FUNÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO

### **Fernanda Paula Sousa Fernandes**

Instituto Federal do Pará – IFPA  
Castanhal – Pará

### **Layse Barreto de Almeida**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Debora Oliveira Gomes**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Aline Noronha Costa**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Michel Keisuke Sato**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Augusto José Silva Pedroso**

Instituto Federal do Pará – IFPA  
Castanhal – Pará

### **Cleidiane Alves Rodrigues**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Herdjania Veras de Lima**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

### **Daynara Costa Vieira**

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
Belém – Pará

a organização das partículas em uma conformação mais densa e menos porosa, alterando a capacidade de armazenamento de água. Nesse contexto, objetivou-se estudar o comportamento da disponibilidade de água de dois solos com texturas distintas submetidos a variações no grau de compactação. Coletaram-se amostras de dois solos com texturas distintas (Franco arenosa e Muito argilosa). A caracterização dos mesmos foi feita por meio de análise do teor de argila, matéria orgânica, densidade de partículas e curva de compactação do solo. As curvas de compactação foram determinadas pelo ensaio de Proctor normal (560 kPa). Para avaliar o efeito da variação no grau de compactação (GC), determinou-se as umidades na capacidade de campo ( $U_{cc}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $U_{pmp}$ ) para posterior cálculo da água disponível (AD). Os resultados foram submetidos à análise de regressão entre a variável GC e as variáveis  $U_{cc}$ ,  $U_{pmp}$  e AD. A variação em GC exerceu influência diretamente proporcional nas variáveis  $U_{cc}$  e  $U_{pmp}$  nos dois tipos de solo, ou seja, quanto maior GC, maiores foram os valores de  $U_{cc}$  e  $U_{pmp}$ . Para a variável AD, houve relação inversamente proporcional entre esta e o grau de compactação apenas para os solos arenosos ( $p < 0,05$  e  $R^2 = 0,87$ ), ou seja, a elevação do grau de compactação conduziu a uma redução da água disponível. Nos solos

**RESUMO:** A compactação do solo modifica

argilosos, entretanto, não houve relação entre AD e GC ( $p>0,05$ ). A compactação reduz a disponibilidade de água em solos arenosos, entretanto, para solos argilosos, esse efeito não é significativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** capacidade de campo; ponto de murcha permanente; textura do solo; Proctor normal; densidade máxima.

**ABSTRACT:** Soil compaction modifies the organization of the particles in an dense, less porous conformation, altering the water storage capacity. In this context, the objective was to study the behavior of water availability of two soils with different textures submitted to variations in the degree of compaction. Samples were collected from two soils with distinct textures (Sandy loam and Very clayey). Their characterization was done through analysis of the clay content, organic matter, particle density and compaction curve. The compaction curves were determined by the normal Proctor assay (560 kPa). In order to evaluate the effect of the variation in the degree of compaction (GC), it was determined the moisture in the field capacity (Ucc) and in the permanent wilting point (Upmp) for calculation of available water (AD). The results were submitted to regression analysis between the variable GC and the variables Ucc, Upmp and AD. The variation in GC exercised directly proportional influence on the Ucc and Upmp variables in the two soil types, that is, the higher the GC, the higher the Ucc and the Upmp values. For the variable AD, there was inversely proportional relation between this and the degree of compaction only for the sandy soils ( $p<0.05$  and  $R^2=0.87$ ), that is, the elevation of the degree of compaction led to a reduction of water available. In the clay soils, however, there was no relationship between AD and GC ( $p>0.05$ ). Compaction reduces the availability of water in sandy soils, however, for clay soils, this effect is not significant.

**KEYWORDS:** field capacity; permanent wilting point; soil texture; Proctor normal; maximum density.

## 1 | INTRODUÇÃO

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (LIMA, 2004). Para a Pedologia, a compactação do solo é definida como uma alteração no arranjo de suas partículas constituintes do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Segundo Camargo & Alleoni (2006), as alterações de importância agronômica que ocorrem em solos compactados estão relacionadas com o aumento da resistência à penetração das raízes, diminuição da aeração do solo, modificações no fluxo de água e calor e do conteúdo de água disponível e nutrientes. Fatores esses que podem inibir o desenvolvimento das plantas, dependendo do tipo de solo, do clima, da espécie e da fase de desenvolvimento da planta.

Em solo compactado, o número de macroporos é reduzido e a densidade é

maior, o que, em solo seco, resulta em maior resistência física ao crescimento das raízes e decréscimo no potencial de água, e, em solo úmido, gera falta de oxigênio e, principalmente, elevadas concentrações de etileno na zona radicular, devidas à menor aeração (MARSCHNER, 1995). Figueiredo et al. (2009) afirma que a diminuição dessa macroporosidade pode promover modificações na capacidade de retenção de água do solo.

A susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica, porém, a textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade do solo determinarão a magnitude e o tipo de efeito (BRAIDA et al., 2010).

Uma das técnicas laboratoriais utilizadas para avaliar a suscetibilidade do solo à compactação é o ensaio de Proctor Normal, empregado para determinar a curva de compactação do solo. Este ensaio se fundamenta no princípio de que a densidade no qual um solo é compactado, sob determinada energia de compactação, é dependente da umidade do solo no momento da compactação (PROCTOR, 1933). Através deste ensaio determina-se o ponto ótimo para compactação do solo, ou seja, a umidade crítica em que não devemos tráfegar com máquinas agrícolas ou realizar pastoreio na lavoura (MENTGES et al, 2007).

De acordo Dias Júnior & Miranda (2000), alguns estudos a respeito do processo de compactação do solo têm evidenciado que diferentes tipos de solos apresentam comportamentos distintos quando são submetidos ao processo de compactação. Isso ocorre devido a uma série de fatores como, por exemplo, textura do solo, matéria orgânica, energia de compactação, umidade e história de tensão. Logo, torna-se de suma importância a compreensão do comportamento dos solos quando são submetidos à compactação, tendo em vista o seu manejo correto.

Nesse contexto, objetivou-se estudar o comportamento da disponibilidade de água de dois solos com texturas distintas submetidas a variações no grau de compactação do solo.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento se deu na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Belém. Para a realização das análises, foram coletadas amostras de dois solos com texturas distintas (Franco Arenosa-19% de argila e Muito argilosa-75% de argila), os quais foram secados ao ar e peneirados em peneira de 4 mm.

A caracterização dos solos foi feita por meio de análise do teor de argila, matéria orgânica e densidade de partículas. Em seguida foram determinadas as curvas de compactação do solo por meio do ensaio de Proctor normal (560 kPa), padronizado pela ABNT (NBR 7182/86), sem reutilização do material.

Posteriormente foram determinadas a densidade do solo máxima ( $D_{smax}$ )

e seu respectivo conteúdo de água que corresponde à umidade do solo crítica de compactação ( $\theta_c$ ). Com base nos valores de  $D_{smax}$  foram definidos os valores de densidade do solo ( $D_s$ ) correspondentes a 70, 80, 90 e 100% da  $D_{smax}$  de acordo com cada tipo de solo.

Os solos foram corrigidos quanto à umidade e então umedecidos até a  $\theta_c$ . Após isso, porções desses solos foram adicionadas em cilindros de volume conhecido e compactadas com auxílio de uma prensa hidráulica. A quantidade de solo adicionada referente a cada grau de compactação (GC) foi determinada com base no volume do cilindro e na  $D_s$  desejada.

Para avaliar o efeito dos diferentes graus de compactação do solo, foram determinados os valores de umidade na capacidade de campo ( $U_{cc}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $U_{pmp}$ ) para posterior cálculo do teor de água disponível (AD). O comportamento das variáveis foi avaliado por análise de regressão, utilizando-se o programa Origin versão 6.0.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação no grau de compactação do solo exerceu influência diretamente proporcional nas variáveis  $U_{cc}$  e  $U_{pmp}$  nos dois tipos de solo avaliados, ou seja, quanto maior o grau de compactação, maiores foram os valores de  $U_{cc}$  e  $U_{pmp}$  (Figura 1). Os valores de F ( $p < 0,05$ ), assim como os elevados valores dos coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,8$ ), comprovam que os ajustes ao modelo linear foram significativos.

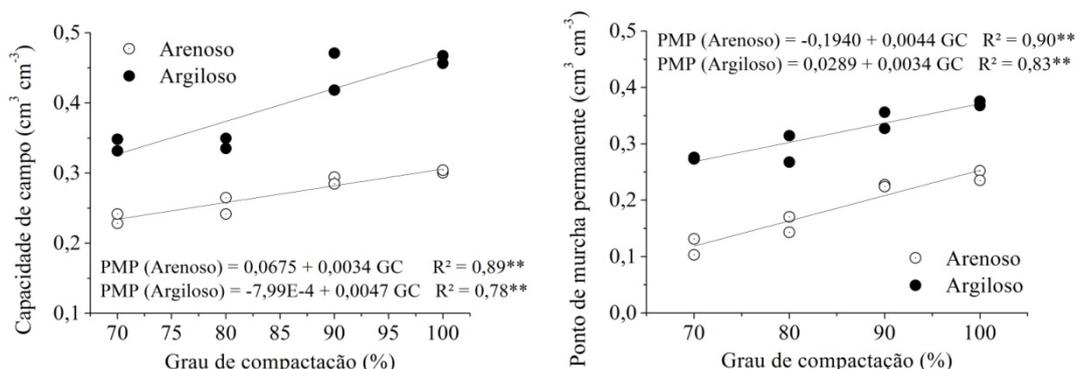


Figura 1. Capacidade de campo e ponto de murcha permanente em função do grau de compactação para dois solos de texturas distintas.

Este aumento da umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente pode estar associado à capacidade do solo em reter mais água pela elevação da quantidade de microporos, responsáveis pela retenção de água, à medida que se eleva o grau de compactação. Segundo Secco et al. (2004), a compactação causada pela utilização agrícola normalmente acarreta uma grande diminuição da quantidade de macroporos podendo haver, em muitos casos, maior volume de

microporos, o que aumentaria a capacidade de armazenamento de água.

De acordo com Schreiner et al. (2011), com a diminuição da macroporosidade devido à deformação do solo pela aplicação de uma carga elevada, ocorre a redução da permeabilidade ao ar. As modificações no espaço poroso do solo e o rearranjo das partículas podem causar alterações na proporção entre água e ar nesse espaço. Consequentemente há um aumento do teor de água retido em grandes tensões nos microporos que surgem a partir da deformação física, associado à redução da permeabilidade ao ar.

De certa forma, o aumento da retenção de água no solo é benéfico e desejado, mas o aumento da retenção de água em elevadas tensões não implica em maior disponibilidade de água para as plantas, além de apresentar efeitos deletérios na qualidade do espaço ocupado por ar no solo. Porém, isso vem acompanhado do aumento na densidade do solo, que pode refletir em maior resistência à penetração das raízes, característica muito importante para solos arenosos (SECCO et al., 2004). A água retida em grandes tensões nos microporos torna-se indisponível às plantas, uma vez que a força com que ela se encontra retida no microporo é maior que a capacidade da planta de absorvê-la.

Para a variável AD, houve relação inversamente proporcional entre esta e o grau de compactação apenas para os solos arenosos ( $p < 0,05$  e  $R^2 = 0,87$ ), ou seja, a elevação do grau de compactação conduziu a uma redução no teor de água disponível no solo (Figura 2). Nos solos argilosos, entretanto, não houve uma relação entre a variável AD e GC. ( $p > 0,05$ ).

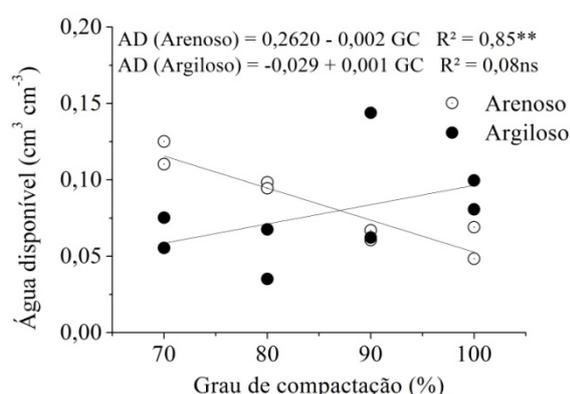


Figura 2. Teor de água disponível em função do grau de compactação para dois solos de texturas distintas.

De acordo com Sanchez (1981), a compactação, de um modo geral, causa elevação do conteúdo de água disponível para as plantas (aproximadamente entre 0,01 e 0,1 MPa). Todavia, há casos em que isso não ocorre.

Dias Junior & Estanislau (1999) em estudo com três tipos de solo sob três diferentes tipos de manejo avaliaram a curva de compactação do solo e o efeito do grau de compactação na curva característica de água do solo, verificando que com o aumento do grau de compactação, houve diminuição da água disponível às plantas

em ambos os tipos de solo e para todas as condições de manejo utilizadas.

Stone et al. (1994) avaliaram a alteração de alguns atributos físico-hídricos de um solo, após sete cultivos sucessivos, sob pivô central com arroz e feijão, verificando que a água disponível na camada de 0-0,20 m diminuiu de 10,6 para 8,0 mm, enquanto que na camada de 0,20-0,40 m, diminuiu de 9,0 para 7,2 mm. A interpretação da disponibilidade, contudo, não é simples, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo podem dificultá-la (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

## 4 | CONCLUSÕES

O aumento do grau de compactação do solo elevou as umidades na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente nos dois tipos de solo avaliados.

A compactação do solo reduz a disponibilidade de água em solos arenosos, no entanto, para solos argilosos, esse efeito não é significativo.

## REFERÊNCIAS

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. Artigo em Hypertexto. 2006. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>. Acesso em: 21/08/2018.

DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 1999, vol.23, n.1, pp.45-51.

DIAS JUNIOR, M.S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.146-151, 2009.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004. 70p. (Tese de Doutorado)

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London, Academic Press, 1995. p.508-536.

MENTGES, M.I.; FONTANELA, E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & SUZUKI, L.E.A.S. Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. **Resumos...** Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 2007.

p. 96-97.

PROCTOR, R. R. Fundamental principles of soil compaction. **Engineering News Record**, ago/set 1933.

SANCHEZ, P.A. **Suelos dei trópico: características y manejo**. San José, Inst. Interam. Coop. Agric. 1981. 633p.

SCHREINER, D.T.; BRAGA, F.V.A; VOGELMANN, E.S.; RODRIGUES, M.F.; OLIVEIRA, A.E.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J.M. Efeito da compactação do solo na retenção de água em uma toposeqüência argissolos - gleissolos no RS. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Disponível em: <[http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao\\_Resumos/XXXIII\\_5.pdf](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Resumos/XXXIII_5.pdf)>. Acesso em: 20/08/18.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C.O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.797-804, 2004.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. & ZIMMERMANN, F.J.P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 18:533-539,1994.

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS RAÍZES DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA

### **Mary Anne Barbosa de Carvalho**

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo. CCA/UFPB.

Areia - PB

### **Helton de Souza Silva**

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo. CCA/UFPB.

Areia - PB

### **Adailson Pereira de Souza**

Professor Associado, Depto. Solos e Eng. Rural,  
CCA/UFPB.

Areia – PB

### **João Marques Pereira Neto**

Graduando de Agronomia. CCA/UFPB

Areia – PB

### **Ewerton da Silva Barbosa**

Graduando de Agronomia. CCA/UFPB

Areia – PB

### **Caique Palacio Vieira**

Engenheiro Agrônomo

Jucás – CE

**RESUMO:** O sistema radicular da cana-de-açúcar pode explorar elevado volume de solo, desde que haja condições físicas e químicas favoráveis. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação mineral (N e K) na distribuição das raízes de cana-planta no perfil do solo. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Chã de Jardim pertencente ao

CCA/UFPB. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizado, com 11 tratamentos e quatro repetições. Para estimativa da biomassa de raízes foi utilizada uma sonda amostradora de raízes, a cada 20 cm de profundidade. Foram coletadas em cada parcela experimental quatro amostras, sendo duas do lado direito e mais duas do lado esquerdo da linha de plantio, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. A cana-de-açúcar manteve, em média, aproximadamente 2,0 t ha<sup>-1</sup> de raízes no solo até 1,0 m de profundidade. A camada até 40 cm concentrou 65 % do total de raízes, mas, nas camadas mais profundas (40-60, 60-80 e 80-100 cm) foram observados uma redução de 15, 11 e 9 % de raízes, respectivamente. Os tratamentos 5, 6 e 8, apresentaram produção de biomassa radicular discrepante entre os demais tratamentos, com acúmulos de 2594,21, 2784,88 e 2471,72 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Os resultados encontrados evidenciam a importância da adubação sobre o desenvolvimento das raízes e por consequência direta, na maior produtividade da cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa de Raiz, Nitrogênio, Potássio.

**ABSTRACT:** The root system of sugarcane can be uncovered as a volume of soil, and its possibilities are favorable. This study aimed at the effect of mineral fertilization (N and K) on the

distribution of cane-plant roots in the soil profile. The experiment was installed at the Chã de Jardim Experimental Farm, belonging to the CCA / UFPB. The experimental design was a randomized block design, with 11 treatments and four replications. For biomass of plants a probe of a series of roots was used, every 20 cm of depth. Four samples were collected in each experimental plot, two on the right side and two on the left side of the planting line, at depths of 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The cane of dessert kept, on average, approximately 2.0 t ha<sup>-1</sup> of non-soil roots up to 1.0 m depth. A layer up to 40 cm concentrated 65% of the total roots, but at the deepest depths (40-60, 60-80 and 80-100 cm) were observed with a reduction of 15, 11 and 9% of roots, respectively. The treatments 5, 6 and 8, the production of root biomass are discrepant among the other treatments, with accumulations of 2594.21, 2784.88 and 2471.72 kg ha<sup>-1</sup>. The results obtained evidenced an importance of the fertilization on the development of the roots and the direct direct, in the greater productivity of the culture.

**KEYWORDS:** Root Biomass, Nitrogen, Potassium.

## 1 | INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Sacharam spp* L.), é uma das mais importantes culturas do agronegócio brasileiro (CRISPIM et al., 2014), típica de climas tropicais e semitropicais, é a principal matéria-prima para a fabricação de açúcar e álcool (etanol) (KAJIHARA, 2012), sendo importante fonte de renda, geração de empregos e desenvolvimento (CAMARGO et al., 2010; KIRUBAKARAN et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Por muito tempo, a cultura da cana-de-açúcar teve sua imagem como causadora de grandes impactos no meio ambiente. Atualmente, novas tecnologias vêm sendo adotadas no campo de produção, como irrigação com vinhaça, manejo adequado do solo, uso de resíduos agroindustriais, aplicação racional de adubos e corretivos (LEITE et al., 2011), a adubação verde e orgânica, a rotação de cultura, o controle biológico eficiente, utilização do sistema de plantio direto (SOARES et al., 2008), e a colheita da cana crua.

A adubação é uma das práticas mais importantes no manejo da cana-de-açúcar para que se tenha aumento expressivo na produtividade (GAVA et al., 2001). O conhecimento do efeito das doses de nutrientes que maximizam a produtividade da cultura, principalmente o nitrogênio (N) e o potássio (K), baseia-se na adubação convencional via solo (ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes para cana-de-açúcar, (AMBROSANO et al. 2013). A falta de nitrogênio, juntamente com a de potássio disponível no solo, pode causar grande impacto sobre a produtividade da cultura. O K é o elemento exportado em maior quantidade, principalmente pela cana-soca e, quando aplicado em solos arenosos, pode ser lixiviado com relativa facilidade (KORNDORFER E OLIVEIRA, 2005; ROSOLEM et al., 2006).

O potássio é um nutriente de grande importância para as plantas, pois está envolvido em todas as fases do crescimento vegetativo, auxilia na fixação do nitrogênio; promove o armazenamento de açúcar e amido (AQUINO et al., 1993), regula a quantidade de água nas plantas (MALAVOLTA, 1996), além de obter grande importância na fase de maturação e frutificação das plantas (AQUINO et al., 1993).

A resposta da cana-de-açúcar às adubações, principalmente relacionado ao N é bastante influenciado pela palhada que fica no solo, no processo de colheita crua, pois a mineralização deste material (matéria orgânica) disponibiliza grandes quantidades de N para a cultura (BASTOS et al., 2017). A cana-de-açúcar é uma planta eficiente para aproveitar o N do solo, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante.

O sistema radicular da cana-de-açúcar apresenta-se como fonte para o suprimento dos recursos do solo, pode atingir entre 2 e 6 metros de profundidade, renova-se quase que integralmente após a colheita e apresenta 63% da biomassa concentrada nos primeiros 30 cm (SMITH et al., 2005). Nas condições brasileiras, os poucos estudos sobre raízes em cana-de-açúcar foram realizados em manejo de solo convencional (VASCONCELOS, 2002; FARONI, 2004; CINTRA et al. 2006).

Segundo Otto et al. (2009), estudos relacionados à distribuição de raiz no perfil do solo podem ser úteis por uma série de razões, como a recomendação para localização de fertilizantes para soqueira, controle de pragas que atacam o sistema radicular, regulação de tráfego de máquinas na operação de colheita, entre outros.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a biomassa radicular da cana-de-açúcar, implantada no sistema de manejo convencional e colheita de cana crua, submetido as diferentes doses de N e K.

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização do Experimento**

O presente trabalho foi realizado, na área experimental Chã-de-Jardim pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no município de Areia, PB.

O solo está classificado como Latossolo Amarelo distrófico, o qual foi caracterizado quimicamente antes da instalação do experimento (Tabela 1). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do CCA/UFPB.

Prof (cm)	pH $H_2O_{(1:2,5)}$	P - mg/dm <sup>3</sup>	K	Na	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O g/kg
		-----				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----				
0-20	5,9	4,75	25,9	0,07	4,11	3,62	0,65	0	4,29	33,41
20-40	5,3	2,44	18,34	0,05	33,47	13,89	19,58	0,35	7,01	30,41

Tabela 1. Características químicas do solo, na camada de 0-20 e 20-40 cm, antes da instalação do experimento, Areia-PB, 2018

P, K, Na: Extrator Mehlich 1 H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0 Al, Ca, Mg: Extrator KCl 1 M M.O.: Matéria Orgânica – Walkley-Black

O clima da região é definido como subtipo climático As' que corresponde ao clima tropical sub-úmido (quente úmido, com chuvas de outono-inverno). A precipitação acumulada durante o experimento foi de 1695,2 mm (Figura 1).

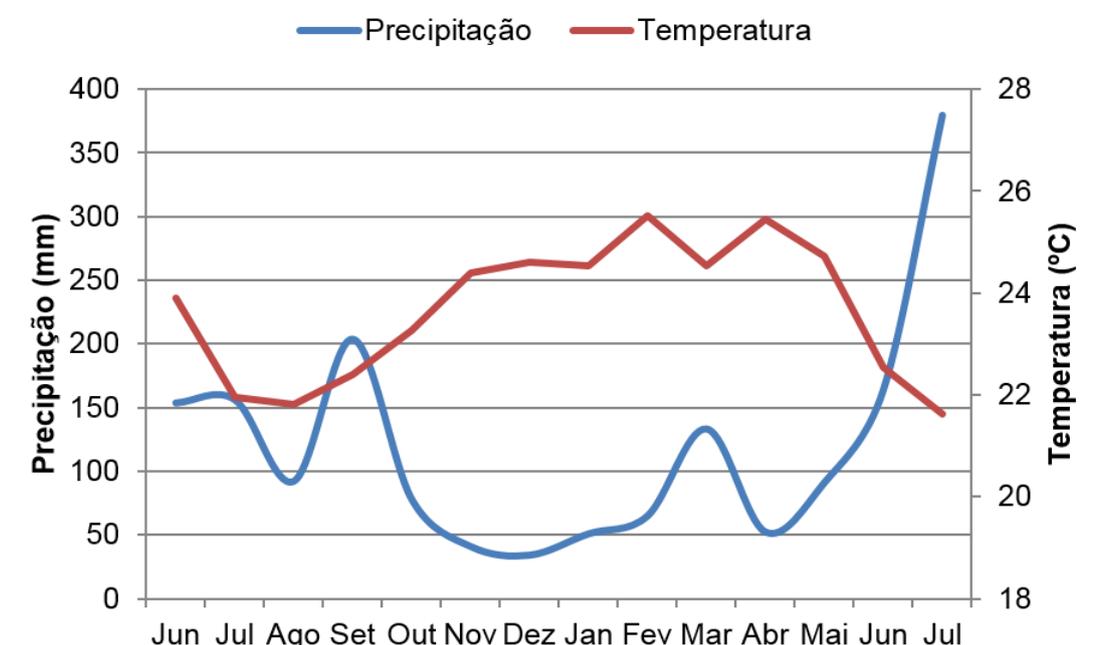


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) média mensal durante o experimento da cana-de-açúcar, Areia-PB, 2018.

A topografia da área onde foi instalado o experimento é plana (< 3 %) e de fácil drenagem da água de precipitação.

## 2.2 Tratamentos e delineamento Experimental

O experimento foi montado no final de junho de 2014, seguindo um delineamento experimental em blocos casualizado, com 11 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial conforme a matriz Plan Plueba III (Alvarez V, 1985), consistindo da combinação de cinco doses de N, na forma de uréia (6,75; 40,5; 67,5; 94,5 e 128,25 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de K na forma de cloreto de potássio (9; 54; 90; 126; e 171 kg ha<sup>-1</sup>), acrescido de uma testemunha absoluta (sem adubação) (Quadro 1).

Foi adicionado 180 kg de P ha<sup>-1</sup>, em única aplicação na fundação, juntamente

com as doses de K e um 1/5 do N na primeira adubação; foi aplicado 1/3 após 30 dias da primeira aplicação e o restante aplicado aos 60 dias.

Tratamento	N	K
1	40,5	54
2	40,5	126
3	94,5	54
4	94,5	126
5	67,5	90
6	6,75	54
7	128,25	126
8	40,5	9
9	94,5	171
10	6,75	9
11	0	0

Quadro 1. Combinações das doses (kg há<sup>-1</sup>) de N e K (K<sub>2</sub>O) segundo a matriz Plan Puebla III.

As parcelas foram constituídas de sete linhas de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,2 m (84 m<sup>2</sup> por parcela), com as avaliações realizadas nas cinco linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades, perfazendo uma área útil de 54m<sup>2</sup>.

Os sulcos foram abertos com cerca de 0,3 m de profundidade, com distância entre sulcos de 1,2 m. Após a abertura dos sulcos foram distribuídas as mudas totalizando 15 gemas viáveis por metro. Estas foram cobertas com uma camada de 0,1 m de solo. A colheita da cana crua foi realizada manualmente, aos 13 meses após o plantio.

### 2.3 Coleta das raízes

As amostragens das raízes da cana-de-açúcar foram realizadas por meio de uma sonda amostradora de raiz (SONDATERRA® SR-100). O amostrador é um monolítico tubular de 1,0 m de comprimento confeccionado em aço carbono com 0,2 cm de espessura, diâmetro interno de 5,5 cm e graduado de 10 em 10 cm no sentido de prover informações independentes sobre diferentes profundidades no perfil do solo.

Logo após o corte da cana, foram coletadas em cada parcela experimental quatro amostras, sendo duas do lado direito e mais duas do lado esquerdo da linha de plantio, a primeira rente a linha de plantio e a segunda coleta com 50 cm de distância da primeira amostra, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Depois de retirado a amostra do solo, estas foram acondicionadas em sacos de plástico, com a devida identificação, para posterior envio ao laboratório. No laboratório as amostras foram lavadas em água corrente, separando-se as raízes com peneiras de 10 e 35 mesh. Após a lavagem do solo, as raízes foram colocadas em papel absorvente, com auxílio de uma pinça cirúrgica, foi feita a retirada de resíduos de solo, insetos, palhas da cana e detritos que possam interferir na massa seca da raiz.

As raízes foram acomodadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação de ar forçado a 65°C até peso constante para posterior obtenção da

biomassa seca de raízes (BR). Os resultados foram utilizados para o cálculo de biomassa de raízes por unidade de área (ha) em cada seção de profundidade.

## 2.4 Análise estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica para posterior análise estatística utilizando-se o software SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), sendo os dados submetido à análise de variância e teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. Optou-se pela realização do teste de média devido a falta de ajuste dos dados as equações polinomiais e devido a não significância do teste de F.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cana-de-açúcar manteve, em média, aproximadamente de 2,0 t ha<sup>-1</sup> de raízes no solo na camada até 1,0 m de profundidade. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para biomassa de raízes da cana-de-açúcar na profundidade de 0-20 cm (Tabela 2).

A camada até 40 cm concentrou 65 % do total de raízes, mas, nas camadas mais profundas (40-60, 60-80 e 80-100 cm) foram observados uma redução de 15, 11 e 9 % de raízes, respectivamente. Esses dados corroboram com os observados por Cury et al. (2014), os quais, trabalhando com cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário, encontraram de 60 a 70 % do total de raízes concentradas na superfície, até 40 cm de solo.

Os tratamentos 5, 6 e 8 (N 67,5 + K<sub>2</sub>O 90 kg ha<sup>-1</sup>; N 6,75 + K<sub>2</sub>O 54 kg ha<sup>-1</sup> e N 40,5 + K<sub>2</sub>O 9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), apresentaram produção de biomassa radicular discrepante entre os demais tratamentos, com acúmulos de 2594,21, 2784,88 e 2471,72 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 2).

Trat.	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	Total
1	958,43 a	264,67 b	327,28 b	200,03 c	260,56 a	2010,97 b
2	670,70 a	554,96 b	599,45 a	167,34 c	220,92 a	2213,36 b
3	581,42 a	153,72 b	136,28 c	99,60 c	62,71 b	1033,72 c
4	671,60 a	389,64 b	169,65 c	167,23 c	119,82 b	1517,94 c
5	765,48 a	891,02 a	301,42 b	435,72 a	200,56 a	2594,21 a
6	1044,18 a	782,19 a	387,62 b	344,17 b	226,72 a	2784,88 a
7	706,96 a	626,10 a	308,01 b	305,79 b	164,00 a	2110,85 b
8	716,45 a	1002,89 a	335,30 b	188,56 c	228,51 a	2471,72 a
9	727,12 a	333,80 b	128,41 c	119,85 c	64,30 b	1373,48 c
10	686,69 a	302,65 b	99,01 c	154,18 c	117,64 b	1361,07 c
11	557,36 a	420,97 b	350,81 b	173,63 c	173,82 a	1676,58 c
MG	735,13	520,24	285,83	214,19	167,23	1922,62
CV(%)	47,30	35,69	48,97	35,29	41,01	19,15

Tabela 2. Biomassa da raiz de cana-de-açúcar adubada com N (6,75; 40,5; 67,5; 94,5 e 128,25 kg ha<sup>-1</sup>) e K (9; 54; 90; 126; e 171 kg ha<sup>-1</sup>), nas diferentes seções de profundidade (0-20, 20-40,

Medias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

Legenda: Trat. (Tratamentos); 1 (N 40,5 + K<sub>2</sub>O 54 kg.ha<sup>-1</sup>); 2 (N 40,5 + K<sub>2</sub>O 126 kg.ha<sup>-1</sup>); 3 (N 94,5 + K<sub>2</sub>O 54 kg.ha<sup>-1</sup>); 4 (N 94,5 + K<sub>2</sub>O 126 kg.ha<sup>-1</sup>); 5 (N 67,5 + K<sub>2</sub>O 90 kg.ha<sup>-1</sup>); 6 (N 6,75 + K<sub>2</sub>O 54 kg.ha<sup>-1</sup>); 7 (N 128,25 + K<sub>2</sub>O 126 kg.ha<sup>-1</sup>); 8 (N 40,5 + K<sub>2</sub>O 9 kg.ha<sup>-1</sup>); 9 (N 94,5 + K<sub>2</sub>O 171 kg.ha<sup>-1</sup>); 10 (N 6,75 + K<sub>2</sub>O 9 kg.ha<sup>-1</sup>) e 11 (N 0 + K<sub>2</sub>O 0 kg.ha<sup>-1</sup>).

Esses dados estão bastante próximos dos observados por Alvarez et al. (2000), os quais, trabalhando com cana crua e queimada, observaram de 72 a 75 % de raízes concentradas na superfície, até 40 cm de solo, na cana-planta, e 70 e 68 %, na primeira soqueira.

De acordo com Smith et al. (2005), a maior concentração da biomassa das raízes e da densidade radicular de cana ocorre na superfície, apresentando declínio exponencial com a profundidade.

O sistema radicular da cana-de-açúcar no manejo com colheita mecanizada apresenta de 70-85% das raízes até 0-40 cm de profundidade (Alvarez et al., 2000; Otto et al., 2009). Evidências apontam atividade do sistema radicular da cana até 2,0 m de profundidade, contudo o crescimento pode continuar e atingir camadas mais profundas (Smith et al., 2005).

Os resultados encontrados evidenciam a importância da adubação sobre o desenvolvimento das raízes e por consequência direta, na maior produtividade da cultura, reflexo do maior volume de solo explorado pela planta e pelo aumento de sua eficiência na absorção de água e nutrientes.

## 4 | CONCLUSÕES

O tratamento sem adubação e o tratamento com as menores doses de N e K não apresentaram diferença no acúmulo de biomassa da raiz da cana-de-açúcar.

As maiores doses de N e K inibem o acúmulo de biomassa da raiz da cana-de-açúcar.

Com a menor estruturação do solo e disponibilidade de nutrientes em profundidade, todos os tratamentos, apresentaram redução na biomassa da raiz da cana-de-açúcar nas maiores profundidades.

Os tratamentos 5, 6 e 8 apresentaram maior produção de biomassa radicular de 135, 145 e 130 % respectivamente, entre a média total dos demais tratamentos.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ VENEGAS, V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**: superfície de resposta; modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa: UFV, 1985. 75p.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C. & NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e cana

queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, v.57, p.653-659, 2000.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária**, Brasília, v.47, n.1, p.76-84, jan. 2012

AQUINO, A.B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. UFC, Fortaleza, 1993. 248 p.

BASTOS, A.; TEODORO, J.; TEIXEIRA, M.; SILVA, E.; COSTA, D.; BERNARDINO, M. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica no crescimento da cultura da cana -de -açúcar segunda soca. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.3, p.554-566, 2017.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.617-630, 2010.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P. DE; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E. & SILVA, J.E. DA. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, vol. 26, n. 3, p. 383-389, 2007.

CINTRA, F.L.D.; IVO, W.M.P.M.; SILVA, L.M. & LEAL, M.L.S. **Distribuição das raízes da cana-de-açúcar em sistemas de cultivo com adubação orgânica e *Crotalaria spectabilis***. Aracaju, Embrapa-CNPTC, 2006. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 12)

CURY, T. N.; MARIA, I. C. & BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1929-1938, 2014.

CRISPIM, J. G.; RÊGO, M. M.; RÊGO, E. R.; MEDEIROS, G. D. A.; SOARES, W. S.; PESSOA, M. S.; Efeito do benzilaminopurina e da cinetina sobre potencial morfogênico de cana-de-açúcar. **Revista AGROTEC** – v. 35, n. 1, p 94–99, 2014

FARONI, C.E. **Sistema Radicular de Cana-de-Açúcar e Identificação de Raízes metabolicamente ativas**. Piracicaba, 2004, 04p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**. v.38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1347–1354, 2001.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (<sup>15</sup>N) da ureia e da palhada por soqueira de cana-de- açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 621–630, 2003.

KAJIHARA, D.; GODOY, F DE; HAMAJI, T.A.; BLANCO, S.R.; SLUYS, M.A.V. & ROSSI, M. Functional characterization of sugarcane mustang domesticated transposases and comparative diversity in sugarcane, rice, maize and sorghum. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 3, p. 632 -639, 2012.

KIRUBAKARAN, R.; VENKATARAMANA, S.; JAABIR, M. S. M. Effect of ethrel and glyphosate on the ripening of sugar cane. **International Journal of Chemical Technology Research**, v.5, p.1927-1938, 2013.

KORNDORFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. **O potássio na cultura da cana-de-açúcar**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 2005.p.469-490.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.129-138, 2011.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. **Ceres**, 2006. 638 p.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C & TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.398-405, 2009.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1033-1040, 2006.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SMITH,D.M.; INMAN-BARBER,N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of sugarcane root system. *Field Crops Research*, 92: 169-183, 2005. In: BOLONHEZI, D.; NETO, L.A.F.; PEIXOTO, W.M.; CASABONA, L.P.; CASALETI, R.V.; BRAZ, G.H.R.; BRANCALIÃO, S.R.; DE MARIA, I. C. Biomassa de Raiz e parte aérea da Cana-de-Açúcar em diferentes doses de calcário no manejo de solo conservacional e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32. **Anais...** 2011.

SOARES, R. A. B.; GARCIA, J. C.; ZANATTA, G. S. C. C.; BRITO, M. C. Produção da cana orgânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 763-790.

VASCONCELOS, A.C.M. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. *STAB Açúcar Subprod.*, 21:20, 2002.

VIEIRA-MEGDA, M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; MEGDA, M.M.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.101, n. 2, p. 241 -257, 2015.

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS RAÍZES DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO MINERAL EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

### Helton de Souza Silva

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo. CCA/UFPB.

Areia - PB

### Mary Anne Barbosa de Carvalho

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo. CCA/UFPB.

Areia - PB

### Adailson Pereira de Souza

Professor Associado, Depto. Solos e Eng. Rural,  
CCA/UFPB.

Areia – PB

### Ewerton da Silva Barbosa

Graduando de Agronomia. CCA/UFPB

Areia – PB

### João Marques Pereira Neto

Graduando de Agronomia. CCA/UFPB

Areia – PB

### Caique Palacio Vieira

Engenheiro Agrônomo

Jucás – CE

**RESUMO:** O sistema radicular tem como funções principais sustentar a planta e absorver água e nutrientes para o seu desenvolvimento e produção. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a produção de biomassa radicular do milho, submetido a diferentes doses de N (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha<sup>-1</sup>) e K (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha<sup>-1</sup>). O experimento foi conduzido na estação

experimental Chã-de-Jardim pertencente ao CCA/UFPB. O experimento foi montado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram dispostos conforme a matriz Plan Puebla III. O potássio e o fósforo foram aplicados todos em fundação, juntamente com 30% do nitrogênio. O restante do nitrogênio foi aplicado em cobertura aos 40 dias após o plantio, sem incorporação. A coleta da raiz do milho foi realizada 75 dias após o plantio, sendo coletada três amostras por parcela, na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. A 10 cm de profundidade a biomassa radicular do milho foi de 4730 kg ha<sup>-1</sup> na combinação das doses de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 4 kg ha<sup>-1</sup> de K. Na profundidade de 10-20 o acúmulo de biomassa foi de 2395 kg ha<sup>-1</sup> também nas doses combinada de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 4 kg ha<sup>-1</sup> de K. Para profundidade de 20-40 cm, constatou-se uma produção média de biomassa radicular de 437,31 kg ha<sup>-1</sup>. O incremento das doses de N, favoreceu o aumento no acúmulo de biomassa radicular.

**PALAVRAS CHAVE:** Sistema Radicular, Nitrogênio, Potássio.

**ABSTRACT:** The application of balanced doses of nutrients in the corn crop provides adequate growth and development for the plant, favoring a higher production of biomass of the root

system, consequently, exploring a larger volume of soil, therefore, having at its disposal a greater amount of water and nutrients, culminating in increased productivity. The objective of this work was to determine the root biomass production of maize, submitted to different doses of N (5, 30, 50 and 95 kg ha<sup>-1</sup>) and K (4, 24, 40, 56 and 76 kg ha<sup>-1</sup>). The experiment was conducted at the Chã-do-Jardim experimental station belonging to the CCA / UFPB. The experiment was set up in a randomized complete block design with 11 treatments and five replicates. The treatments were arranged according to Plan Puebla III matrix. The potassium and phosphorus were all applied on a foundation, together with 30% of the nitrogen. The rest of the nitrogen was applied in the 40 days after planting, next to the line, without incorporation. The corn rootworm was collected 75 days after planting, and three samples per plot were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm. At 10 cm depth the corn root biomass was 4730 kg ha<sup>-1</sup> in the combination of the doses of 95 kg ha<sup>-1</sup> of N and 4 kg ha<sup>-1</sup> of K. At depth of 10-20 the accumulation of biomass was of 2395 kg ha<sup>-1</sup> also at the combined doses of 95 kg ha<sup>-1</sup> of N and 4 kg ha<sup>-1</sup> of K. For depth of 20-40 cm, a mean root biomass production of 437.31 kg ha<sup>-1</sup>. The increase of N doses favored an increase in the accumulation of root biomass.

**KEY WORDS:** Root System, Nitrogen, Potassium.

## 1 | INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados e estudados do mundo, é de grande importância econômica e estratégica indiscutível, devido suas diversas formas de utilização, como o insumo principal na produção de proteína animal, na alimentação humana e, também, na produção de biocombustíveis (CONAB, 2015), sua produção é muito dependente da adequada fertilização nitrogenada (MARTINS et al., 2014).

Segundo IBGE, no ano de 2015 a área plantada de milho no Brasil foi de 15.871.349 ha com uma produção de 85.509.185 t. O Nordeste representa 17% da área com uma produção de 5.992.082 t. A Paraíba é um dos menores produtores de milho com uma participação de apenas 0,4% da área nacional plantada e com produção de 10.979 t. Para o ano de 2016 a previsão da área plantada na Paraíba para a cultura do milho é de 85.498 ha e produção de aproximadamente 62.601 t.

Devido aos diversos estudos de melhoramento realizados com a cultura do milho, cultivares vem sendo desenvolvidas para atingirem altas produtividades. No Brasil, o clima, o manejo nutricional e o ataque por pragas são alguns dos fatores que contribuem para a baixa produtividade do milho. Sendo a fertilidade do solo um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade de áreas destinadas tanto à produção de grãos bem como de forragem. Porém, esta realidade não limita-se apenas aos baixos teores de nutrientes presentes nos solos, mas, também, ao uso inadequado de adubações, principalmente nitrogênio (N) e potássio (K) (VALDERRAMA et al., 2011).

O nitrogênio é o nutriente quantitativamente mais exigido pela cultura do milho e

o que mais onera a produção deste cereal (CIVARDI et al., 2011, DUETE et al., 2011). Devido à grande dinâmica do N no ambiente, o manejo da fertilização nitrogenada é muito complexo (SCHIAVINATTI et al., 2011). Por isto, o domínio do conhecimento relacionado a fertilizantes e fertilização nitrogenada é essencial para aumentar a eficiência dos fertilizantes e maximizar a produtividade das culturas (PRANDO et al. 2013).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, devido ao seu menor custo, alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes (CIVARDI et al., 2011), porém, apresenta limitação, quando aplicada na superfície do solo, devido às chances de perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  (VALDERRAMA et al., 2011).

Além do nitrogênio (N), o potássio (K) é um elemento bastante demandado pela cultura, sendo determinante para que se obtenha um bom desenvolvimento dos grãos, aproximadamente 30 % do K absorvido pela planta, são exportados para os grãos (COELHO et. al., 2011).

O milho apresenta um enorme potencial de desenvolvimento radicular, necessitando de solos profundos, que apresente uma boa profundidade efetiva, é desejável que seja entorno de 1 m, para que as raízes não encontrem impedimento e possam ir buscar água e nutrientes livremente (LANDAU et. al. 2009). Nas regiões tropicais, pesquisadores veem relatando que a maior parte do sistema radicular do milho está situado entre 0-30 cm de profundidade, dificilmente estendendo-se aos 60 cm (LANDAU et. al. 2009). Bassoi et.al. (1994) constataram que a 70% do sistema radicular do milho, está disposto na profundidade de entre 0-40 cm.

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho, quantificar a biomassa radicular do milho cultivado em sistema de plantio direto, submetido a diferentes doses de N e K.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização do Experimento

O presente trabalho foi realizado, na área experimental Chã-de-Jardim pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), no município de Areia, PB.

O clima da região é definido como subtipo climático As' que corresponde ao clima tropical sub-úmido (quente úmido, com chuvas de outono-inverno). A precipitação e temperatura média mensal do ano agrícola de 2015 segue na figura 1.

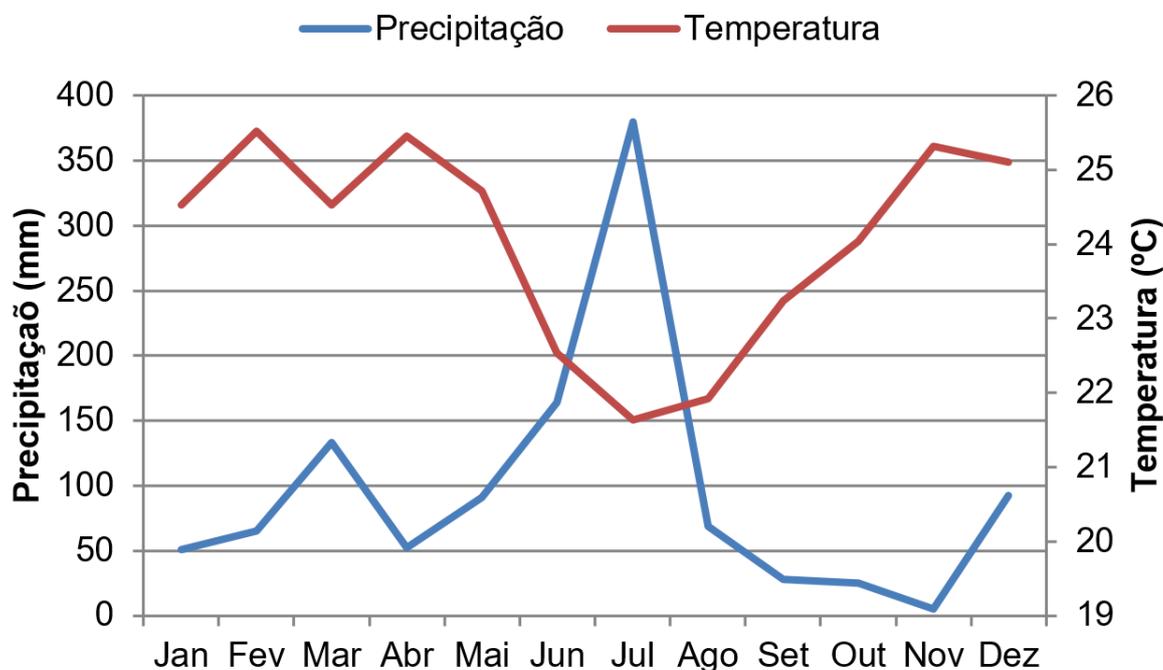


Figura 1- Temperatura e precipitação média mensal do ano agrícola de 2015, Areia-PB, 2018

A topografia da área onde foi instalado o experimento é plana (< 3 %) e de fácil drenagem da água de precipitação.

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo distrófico. A análise de fertilidade do solo segue na tabela 1. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Solos Engenharia Rural (DSER) do CCA/UFPB.

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	C	MO
	----- mg.dm <sup>-3</sup> -----			----- Cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----			----- g.kg <sup>-1</sup> -----		
H <sub>2</sub> O (1,2,5)									
5,65	3,66	17,96	0,06	1,40	1,20	0,55	8,74	16,50	28,45

Tabela 1- Fertilidade do solo da área antes da instalação do experimento, na camada de 0-20 cm de profundidade, Areia-PB, 2018

P, K, Na: Extrator Mehlich 1

H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0  
KCl 1 M M.O.: Matéria Orgânica – Walkley-Black

Al, Ca, Mg: Extrator

## 2.2 Tratamentos e delineamento Experimental

O experimento foi montado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram dispostos conforme a matriz Plan Puebla III (ALVAREZ V, 1985), que consiste na combinação de cinco doses de N, na forma de ureia (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de K na forma de cloreto de potássio (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha<sup>-1</sup>), acrescido de uma testemunha absoluta (sem adubação) (Quadro 1).

TRATAMENTO	N	K
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	
1	30	24
2	30	56
3	70	24
4	70	56
5	50	40
6	5	24
7	95	56
8	30	4
9	70	76
10	5	4
11	0	0

Quadro 1- Combinação das doses de N e K (K<sub>2</sub>O) segundo a matriz Plan Puebla III, Areia-PB, 2018

As parcelas são contituidas de sete linhas de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,0 m (70 m<sup>2</sup> por parcela), com as avaliações realizadas na linha central da parcela.

### 2.3 Tratos culturais

Um mês antes da semeadura realizou-se a aplicação do glifosato, para o controle das plantas infestantes. O experimento foi conduzido em sistema de plantio direto da palha, revolvendo o solo apenas na linha de plantio, para realizar a adubação de fundação e a semeadura.

O plantio do milho híbrido (AG 4051) foi de forma manual, em suco, adotando-se o espaçamento entre fileiras de 1,0 m e 0,2 m entre plantas, colocando-se, 5 sementes por metro linear a uma profundidade de 3 a 4 cm. Obtendo-se assim uma população de 50.000 plantas por hectare.

Adubação fosfática, de 80 kg ha<sup>-1</sup>, foi aplicada em fundação em todas as parcelas. O potássio foi aplicado todo em fundação (aproximadamente 10 cm de profundidade), juntamente com 30% do nitrogênio. O restante do nitrogênio foi aplicado em cobertura aos 40 dias após o plantio, ao lado da linha, sem incorporação.

### 2.4 Coleta das raízes

A coleta da raiz do milho foi realizada 75 dias após o plantio, sendo coletada na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Foram coletadas três amostras por parcela, uma na linha de plantio entre as plantas e duas a 30 cm da linha de plantio, uma do lado esquerdo e a segunda do lado direito. Com auxílio de uma sonda amostradora de raiz (SONDATERRA® SR-100). O amostrador é um monolítico tubular de 1,0 m de comprimento confeccionado em aço carbono com 0,2 cm de espessura, diâmetro interno de 5,5 cm e graduado de 10 em 10 cm no sentido de prover informações independentes sobre diferentes profundidades no perfil do solo.

Depois de retirado a amostra do solo, estas foram acondicionadas em sacos de

plástico, com a devida identificação, para posterior envio ao laboratório. No laboratório as amostras foram lavadas em água corrente, separando-se as raízes com peneiras de 10 e 35 mesh. Após a lavagem do solo, as raízes foram colocadas em papel absorvente, com auxílio de uma pinça cirúrgica, foi feita a retirada de resíduos de solo, insetos, palhas do milho e detritos que possam interferir na massa seca da raiz.

As raízes foram acomodadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação de ar forçado a 65°C até peso constante para posterior obtenção da biomassa seca de raízes (BR). Os resultados foram utilizados para o cálculo de biomassa de raízes por unidade de área (ha) em cada seção de profundidade.

## 2.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica para posterior análise estatística utilizando-se o software SAEG versão 9.1 (SAEG, 2007), procedendo-se o desdobramento das interações, segundo sua significância pelo teste F.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A 10 cm de profundidade a biomassa radicular do milho foi crescente com o aumento das doses de nitrogênio. Já para o potássio, o aumento nas doses não favoreceu o acúmulo de biomassa radicular do milho, constatando-se maior acúmulo de biomassa (4730 kg ha<sup>-1</sup>) com a combinação das doses de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 4 kg ha<sup>-1</sup> de K (Figura 1 e 2).

Quando comparada com o tratamento controle, observou-se um incremento de 3729,93 kg ha<sup>-1</sup> na biomassa radicular (Figura 2). Durieux et al. (1994) constataram que houve incremento na biomassa radicular nas doses de 0 à 140 kg.ha<sup>-1</sup> de N, já na dose de 224 kg.ha<sup>-1</sup> de N houve inibição do acúmulo de biomassa radicular do milho. As adições de N afetam o crescimento radicular do milho, que por sua vez, favorece a maior absorção desse nutriente.

Em trabalho realizado por Silva (2018) no mesmo experimento (Dados não publicados) foi constatado que houve um aumento linear da eficiência de adubação de acordo com o incremento da dose de N, alcançando em torno de 65% de eficiência de adubação na dose de 95 kg.ha<sup>-1</sup>.

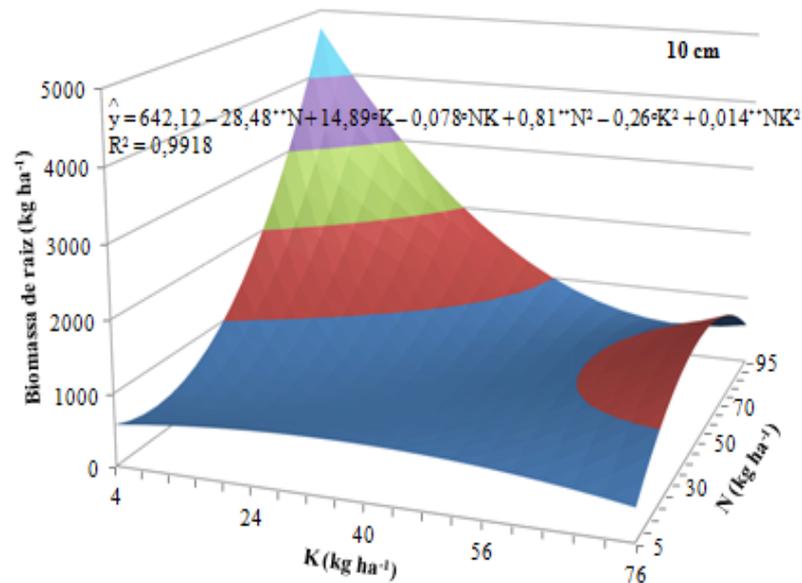


Figura 1- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 0-10 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

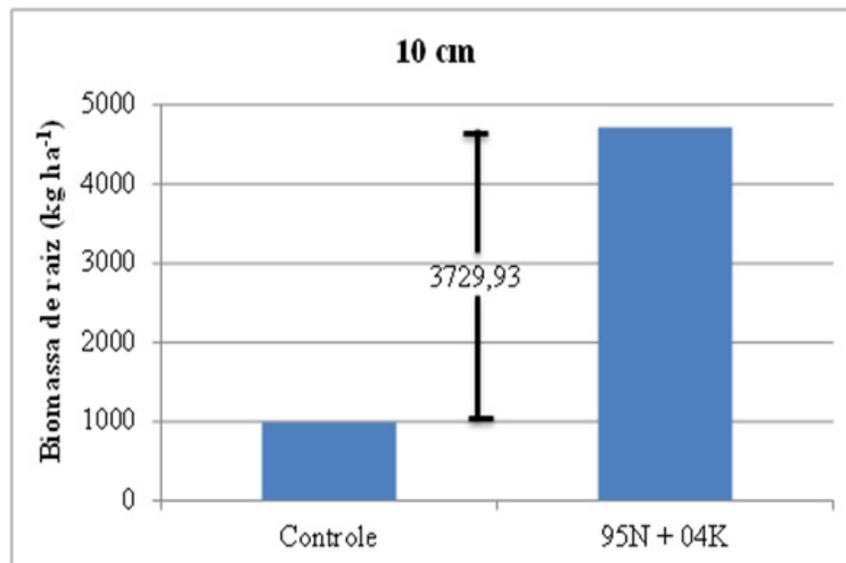


Figura 2- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 0-10 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

Na profundidade de 10-20 cm o acúmulo de biomassa radicular do milho foi semelhante ao da profundidade de 0-10 cm, houve um aumento de acordo com o incremento da dose de N. Havendo o maior acúmulo de biomassa de 2395 kg ha<sup>-1</sup>, na dose combinada de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 4 kg ha<sup>-1</sup> de K, proporcionando um incremento de 1895,89 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3 e 4). Observou-se que com o incremento das doses de K, inibiu o acúmulo de biomassa radicular.

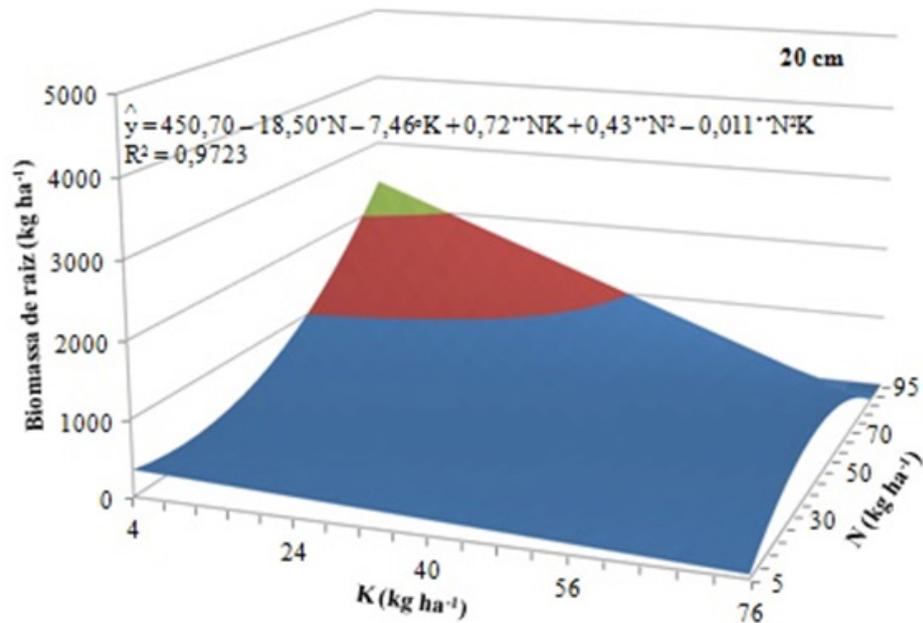


Figura 3- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 10-20 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

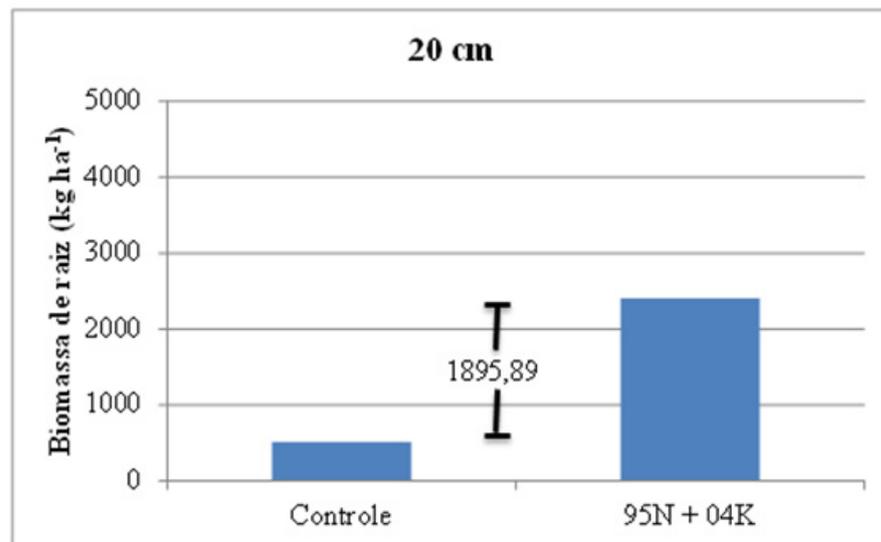


Figura 4- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 10-20 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

Já para a profundidade de 20-40 cm, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 5 e 6). Constatou-se uma produção média de biomassa radicular de 437,31 kg ha<sup>-1</sup>.

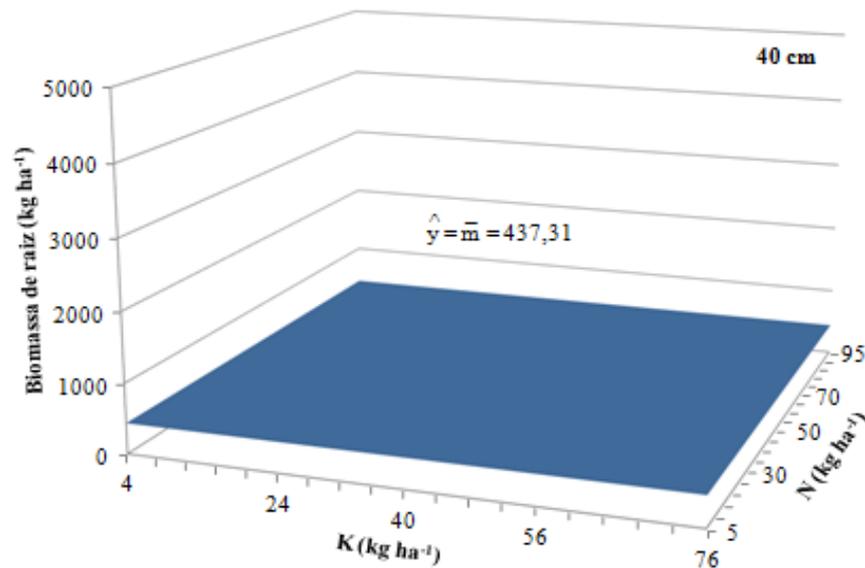


Figura 5- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 20-40 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

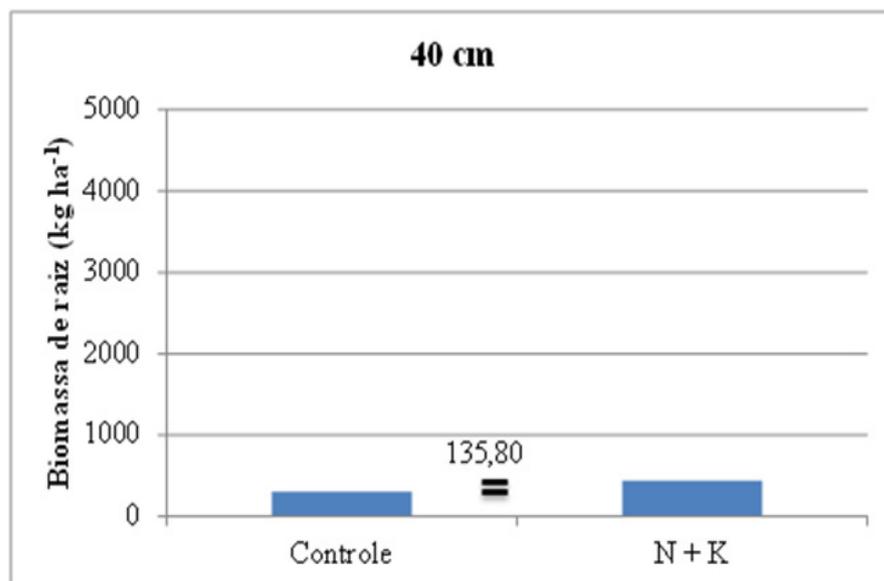


Figura 6- Produção de biomassa radicular do milho, na profundidade de 20-40 cm, submetido a diferentes doses de N e K, Areia-PB, 2018

Na profundidade de 0-10 houve maior acúmulo de biomassa radicular, sendo constatado que 62,55% da biomassa radicular encontra-se até 10 cm de profundidade, para as doses de N e K de máxima. Venzke Filho et al. (2004), também constaram maior acúmulo de biomassa da raiz de milho na camada de 0-10 cm de profundidade, no entanto em menor proporção, os autores relataram que 36% das raízes de milho estavam até 10 cm de profundidade.

O maior acúmulo de biomassa na camada superficial do solo está intimamente relacionado com a melhor qualidade física e química do solo, tendo em vista que nessa camada há uma melhor aeração, maior teor de nutrientes e material orgânica. Tendo em vista que a aplicação de fertilizantes e o acúmulo de biomassa se dá na superfície do solo, no sistema de cultivo adotado desse experimento.

O aumento da biomassa radicular do milho proporcionado pelo incremento das doses de N confirma a hipótese levantada por Coutinho Neto (2011). O mesmo relata que o N na planta é um possível promotor do desenvolvimento do sistema radicular, o tornando mais eficiente, de forma a dá suporte a parte aérea na captação de água e nutrientes.

Para a cultura do milho, o elemento K, mostrou não ser determinante para o desenvolvimento radicular, onde os maiores valores de biomassa de raiz foram observados nas menores doses.

## 4 | CONCLUSÕES

As doses combinadas de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 04 kg ha<sup>-1</sup> de K, proporcionaram o maior acúmulo de biomassa radicular (7562 kg.ha<sup>-1</sup>);

O maior acúmulo de biomassa radicular, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm (4730 e 2395 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), foi obtido na combinação das doses de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N e 04 kg ha<sup>-1</sup> de K;

A biomassa radicular do milho, na profundidade de 20-40 cm, não deferiu entre os tratamentos, sendo obtido em média 437,31 kg ha<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V, V.H. **Avaliação da fertilidade do solo (Superfície de resposta - Modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta)**. Viçosa, MG, UFV, 1985. 75p.

BASSOI, L. H. et al. Distribuição do Sistema Radicular do Milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: li. Comparação entre Cultura Irrigada e Fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.541-548, 1994.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p.52-59, 2011.

COELHO, A. M. et al. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo-Sistema de Produção, Versão Eletrônica - 7ª edição Set./2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira. Produtos de verão**. Safra 2015/2016. Perspectivas para agropecuária. Brasília, v.3, p. 1-130, set/2015.

COUTINHO NETO, A.M. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) pelo milho sob plantio direto com diferentes plantas de entressafra**. Jaboticabal, São Paulo. Jul./2011.

Durieux, R. P.; Kamprath, E. J.; Jackson, W. A.; Mol, R. H. Root Distribution of Corn: The Effect of Nitrogen Fertilization. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 958-962, 1994.

DUETE, R. R. C. et al. Acúmulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 463-472, 2011

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default>

asp?t=1&z=t&o=26&u2=1&u3=1&u4=1&u1=3>. Acesso em 10 de julho de 2016.

LANDAU, E. C. et al. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo-Sistema de Produção, Versão Eletrônica - 5ª edição Set./2009.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, jul./set. 2014

PRANDO, A. M. et al. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

SCHIAVINATTI, A. F. et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no Cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 295-230, 2011.

SILVA, H. S. **Balanço do nitrogênio em Latossolo Amarelo Distrófico Húmico cultivado com milho em sistema de plantio direto**. Areia, 2018. (Dados Não Publicados).

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de npk em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

VENZKE FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; FANTE JÚNIOR, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Root Systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, p.529-537, 2004.

## DOSES E SISTEMA DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM CAFÉ.

### **Danilo Marcelo Aires dos Santos**

Universidade Estadual do Tocantins, Engenharia Agrônômica, Palmas – TO

### **Enes Furlani Junior**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia (Departamento de Fitotecnia), Ilha Solteira – SP

### **Michele Ribeiro Ramos**

Universidade Estadual do Tocantins, Engenharia Agrônômica, Palmas – TO

### **Alexandre Marques da Silva**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Fitotecnia, Ilha Solteira – SP

**RESUMO:** A maioria dos solos brasileiros não apresenta teores adequados de nutrientes suficiente para atender às demandas nutricionais das culturas sendo necessário a realização da fertilização. O trabalho foi instalado em uma área experimental da FE/UNESP Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria-MS, em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob cultivo de café cv Catuaí vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso no esquema fatorial 5x3 com 4 repetições. Foi composto por 5 doses de nitrogênio (0, 50, 150, 250 e 350 kg ha<sup>-1</sup>) e três modos de aplicação (única em dezembro, parcelado em duas vezes – novembro e dezembro, parcelado em três vezes – novembro, dezembro e janeiro), fonte utilizada

de N foi ureia. A coleta solo foi realizada após a colheita do café, nas profundidades de 0 a 40 cm e a determinação dos atributos químicos do solo. O modo de aplicação e doses de N, influenciaram significativamente nos atributos químicos dos solos, mostrando que o manejo da adubação nitrogenada poderá interferir na fertilidade do solo e na disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adubação nitrogenada, solos do cerrado, fertilidade do solo.

**ABSTRACT:** Most of the Brazilian soils do not present adequate nutrient contents sufficient to meet the nutritional demands of the crops, being necessary the fertilization. The work was installed in an experimental area of FE / UNESP Campus of Ilha Solteira, in the municipality of Selvíria-MS, in a Typical Red Dystrophic Latosol under Catuaí red coffee cultivation. The experimental design was a randomized block design in the 5x3 factorial scheme with 4 replicates. It was composed of 5 doses of nitrogen (0, 50, 150, 250 and 350 kg ha<sup>-1</sup>) and three modes of application (single in December, divided in two times - November and December, divided in three times - November, December and January), used source of N was urea. The soil was collected after the coffee harvest, at depths of 0 to 40 cm and the determination of soil chemical attributes. The mode of application

and N doses had a significant influence on soil chemical attributes, showing that nitrogen fertilization management could interfere with soil fertility and nutrient availability for plants.

**KEYWORDS:** Nitrogen fertilization, cerrado soils, soil fertility.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido às nossas condições climáticas, o cultivo de café se espalhou rapidamente com produção voltada para o mercado doméstico. Num espaço de tempo relativamente curto, o café passou de uma posição secundária para a de produto-base da economia brasileira. Desenvolveu-se com total independência, ou seja, com recursos nacionais, sendo, afinal, a primeira realização exclusivamente brasileira que visou a produção de riquezas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CAFÉ – ABIC, 2009).

A adubação é um dos vários fatores que influenciam na produção das culturas, sendo que dentre os adubos utilizados o nitrogênio é um dos mais problemáticos devido a sua alta exigência em estádios definidos do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas e também a perda por lixiviação. Existem várias recomendações para se fazer a adubação nitrogenada, que se mal manejada traz vários problemas para a cultura e para o ambiente. A maioria dos solos brasileiros não apresenta teores adequados de nutrientes suficiente para atender às demandas nutricionais das culturas sendo necessário a realização da fertilização.

O nitrogênio geralmente é o nutriente mais exigido pelas culturas, tendo inúmeras funções, como estimular a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, aumentar a vegetação, o perfilhamento e os teores de proteínas. Além disso, é componente estrutural de aminoácidos e proteínas, bases nitrogenadas e ácidos nucléicos, enzimas, coenzimas e vitaminas, pigmentos e outros produtos secundários (MALAVOLTA et al. 1997).

O fornecimento adequado de nutrientes contribui, de forma significativa, tanto no aumento da produtividade quanto no custo de produção. A adubação nitrogenada é altamente exigida nos estádios vegetativo e reprodutivo das culturas e com a evolução e o crescimento da agricultura brasileira, os micronutrientes, tornam-se cada vez mais importantes e merecedores de atenção da pesquisa, tanto em casos de aparecimento de deficiências como na ocorrência de toxidez (Abreu, 2004).

O parcelamento das aplicações de fertilizantes químicos lixiviáveis, especialmente os nitrogenados, é largamente recomendado para diversas culturas, como recurso para reduzir as perdas dos nutrientes, assegurando maior disponibilidade às plantas durante o ciclo de desenvolvimento, quando estas atingem estádios máximos de absorção e transformação metabólica (CERVELINI et al., 1986).

Embora os adubos nitrogenados, causem grande acidificação dos cafezais. O nitrogênio é, também, o que promove os maiores aumentos de produção quando aplicado nas adubações. (RAIJ, 1996).

Diante o exposto este trabalho teve como objetivo estudar a influência das doses de N em diferentes modos de aplicação dos atributos químicos do solo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi instalado em uma área experimental na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria-MS, com coordenadas geográficas 20°20' de Latitude Sul e 51°24' de Longitude Oeste e com altitude média de 344m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O solo cultivado é do tipo LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado alumínico, fortemente ácido (DEMATTE, 1980), reclassificado<sup>(1)</sup> segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, (EMBRAPA, 2006). Com a devida antecedência foi realizada amostragem de solo para caracterização das propriedades químicas, seguindo a metodologia de análise descrita por Raij e Quaggio (1987) e Embrapa (1997). De acordo com as análises obtidas da amostra de solo (Tabela 1),.

Identificação Café	P mg.dm <sup>-3</sup>	MO g.dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						T	V %	m %
				K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB			
0-10 cm	5	18	4,8	0,90	31	15	55	2	47	102	46	5
10-20 cm	7	14	4,8	0,90	32	15	34	4	49	82	49	7
20-30 cm	4	14	4,7	0,90	25	13	46	3	39	85	46	7
30-40 cm	4	14	4,8	1,3	31	15	36	2	47	82	57	5

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo no município de Selvíria - MS 2006.

O delineamento foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x3, com quatro repetições. Como tratamento avaliou-se doses crescentes (0, 50, 150, 250 e 350 kg/ha) de nitrogênio e sistemas de parcelamento (aplicação única em dezembro, parcelado em duas vezes – novembro e dezembro, parcelado em três vezes – novembro, dezembro e janeiro).

O plantio do café cv. Catuaí Vermelho linhagem IAC 144, foi realizado entre os dias 26 de abril e 05 de maio do ano de 2005, no espaçamento de 3,0 metros entre linhas de plantio e 1,0 metro entre plantas. Foi efetuada uma adubação básica na cova de plantio de acordo com análise química do solo e seguindo as recomendações de (RAIJ et al., 1996), foram aplicados 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 160 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N.

As doses de N foram aplicadas na projeção da coroa entre os dias 12 e 15 dos respectivos meses, e a fonte de N utilizada foi a uréia.

Cada parcela experimental foram composta por 11 plantas. As amostras de solos foram coletadas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, na linha de cultivo e cada amostra foram composta por 8 amostras simples. A coleta foi feita utilizando trado de rosca. Após a coleta as amostras de solo foram encaminhada ao laboratório de análise de solos da FE/Unesp/Ilha Solteira e a determinação dos parâmetros químicos foram realizadas de acordo com a metodologia de análise descrita por Rajj e Quaggio (1987) e Embrapa (1997).

Os dados obtidos no presente trabalho foram submetidos à análise de variância através do teste F e teste de comparação de médias (Tukey) ao nível de significância de 5%, utilizando a metodologia descrita por Pimentel Gomes (2000).

### 3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Os Valores de  $p > F$  para as variáveis, para as variáveis P mehlich ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ),  $\text{K}^+$  ( $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ), Zn, Cu ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), Capacidade de Troca Catiônica (T) ( $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ) e V% obtidos nos tratamentos doses de nitrogênio em cafeeiro em diferentes modo de aplicação, nas da análise de solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm do solo, estão contidos na Tabela 02. Verifica-se que os tratamentos influenciaram as variáveis analisadas.

Tratamentos	P mehlich	$\text{K}^+$	Zn	Cu	CTC	V%
Dose(D)	0.0001*	0.00001*	0.0001*	0.0001*	0.00001*	0.02*
Modo(M)	0.0001*	0.00001*	0.0001*	0.0001*	0.00001*	0.11ns
Profundidade(P)	0.0011*	0.068ns	0.50ns	0.01*	0.98ns	0.99ns
D*M	0.008*	0.00001*	0.0004*	0.07ns	0.00001*	0.00001*
D*P	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns
M*P	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns
D*M*P	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns	1.00ns
Reg. Linear	0.00008*	0.02*	0.0001*	0.00002*	0.00008*	0.89ns
Reg. Quad.	0.0001*	0.13	0.008*	0.001*	0.03*	0.01*
CV(%)	39.26	46.51	24.97	23,32	9,37	26,60
Profundidade						
0-10	6.66ab	1.31a	0.28a	2.36ab	59.45a	29.83a
10-20	5.66b	1.46a	0.29a	2.53a	59.62a	29.20a
20-30	7.66a	1.16a	0.27a	2.19b	59.28a	28.91a
30-40	6.66ab	1.31a	0.28a	2.36ab	59.45a	29.08a

TABELA 02- Valores da análise de solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm do solo, para as variáveis P mehlich ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ),  $\text{K}^+$  ( $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ), Zn, Cu ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), Capacidade de Troca Catiônica (T) ( $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ ) e V% obtidos nos tratamentos doses de nitrogênio em cafeeiro em diferentes modo de aplicação.

ns – não significativo; \* - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Analisando os valores de P, com relação à interação Doses de N e modos de aplicação, verifica-se que aplicação de forma alterou os teores de P no solo sendo que as doses de 50, 150 e 250 kg de N.ha<sup>-1</sup>, apresentou efeito significativo com respectivos teores 8,51; 9,68 e 7,12 mg/dm<sup>3</sup> de P. Com relação as doses de N no modo de aplicação única teve ajuste quadrático, ocorrendo incremento nos teores do nutriente até a dose de 150 kg de N.ha<sup>-1</sup>, (9,2 mg/dm<sup>3</sup> de P) e ajuste linear decrescente quando o nitrogênio foi aplicado de forma parcelada, ou seja, maiores doses N menores teores de P. (Tabela 03).

Ainda analisando a Tabela 03, observa-se que o modo de aplicação e as doses de N também influenciaram os teores de K. Nas doses de 50 e 250 kg de N.ha<sup>-1</sup>, quando o fertilizante foi aplicado em três momentos, obtendo 0,96 e 0,52 de mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K<sup>+</sup> no solo, respectivamente. Para doses de N na aplicação de forma única (ajuste linear decrescente), maiores dose N acarretou nos menores teores de K, já a aplicação parcelada em novembro/dezembro houve ajuste quadrático com incremento do valor até a dose de 250 kg de N.ha<sup>-1</sup>, (2,24 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K<sup>+</sup>). Essa variação dos teores dos nutrientes do solo pode ser explicada, pelo fato que, adubação nitrogenada pode acidificar o solo e com isso alterar as disponibilidades dos elementos sendo que solos ácidos têm maior disponibilidade de P e para o K a maior a disponibilidade ocorre em solos alcalinos.

Fatores		P mehlich (mg/dm <sup>3</sup> )				
Doses x Modo						
Modo dentro de doses	0	50	150	250	350	
Dezembro	6.14b	8.51a	9.68a	7.12a	4.56a	
Nov/Jan	9.54a	6.96a	8.64ab	7.16a	5.81a	
Nov/Dez/Jan	5.90b	4.61b	6.54b	4.79b	3.97a	
Doses dentro de modo	Dezembro		Nov/Jan		Dez/Nov/Jan	
	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática
0	8.19	6.56	8.85	8.65	5.81	5.37
50	7.88	8.05	8.47	8.49	5.60	5.64
150	7.26	9.22	7.70	7.93	5.20	5.72
250	6.64	7.94	6.93	7.09	4.80	5.14
350	6.02	4.23	6.16	5.94	4.39	3.92
P>F	0.007*	0.0002*	0.001*	0.53ns	0.07*	0.16ns
r <sup>2</sup>	0.19		0.55		0.31	
R <sup>2</sup>		0.91		0.57		0.49
Dezembro	Y= -0.00012X <sup>2</sup> + 0.036X + 6.56					
Nov/Jan	Y= -0.0076 X + 8.85					
Nov/Dez/Jan	Y= -0.0040X + 5.81					
<b>K<sup>+</sup> (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>						
Doses x Modo						
Modo dentro de doses	0	50	150	250	350	
Dezembro	2.35a	1.45ab	1.08a	1.44b	0.72a	
Nov/Jan	1.00b	1.95a	0.63a	3.9a	1.01a	
Nov/Dez/Jan	1.00b	0.96b	0.73a	0.52c	0.91a	

Doses dentro de modo	Dezembro		Nov/Jan		Dez/Nov/Jan	
	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática
0	1.95	2.08	1.38	0.92	0.98	1.07
50	1.78	1.77	1.48	1.53	0.90	0.89
150	1.44	1.28	1.68	2.22	0.84	0.67
250	1.10	1.00	1.88	2.24	0.77	0.66
350	0.76	0.90	2.08	1.57	0.70	0.85
P>F	0.0001*	0.007*	0.0005*	0.00001*	0.21ns	0.06ns
r <sup>2</sup>	0.64		0.04		0.22	
R <sup>2</sup>		0.69		0.17		0.72
Dezembro	Y = -0.0034X + 1.95					
Nov/Jan	Y = -0.00003X <sup>2</sup> + 0.013 + 0.92					

Tabela 03. Valores P mehlich (mg/dm<sup>3</sup>) e K<sup>+</sup> (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) em função da interação entre os fatores doses e modo de aplicação de N.

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

A aplicação de diferentes doses de N e sistema de aplicação influenciaram os teores de Cobre e Zinco no solo, havendo efeito significativo para as duas variáveis analisadas. (Tabela 04).

Fatores		Zn					
Doses x Modo							
Modo dentro de doses	0	50	150	250	350		
Dezembro	0.29b	0.28a	0.40a	0.24b	0.21a		
Nov/Jan	0.43a	0.27a	0.40a	0.31a	0.25a		
Nov/Dez/Jan	0.28b	0.20b	0.29b	0.19b	0.21		
Doses dentro de modo	Dezembro		Nov/Jan		Dez/Nov/Jan		
	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	
0	0.32	0.28	0.38	0.37	0.26	0.26	
50	0.31	0.31	0.37	0.37	0.25	0.25	
150	0.28	0.33	0.33	0.35	0.24	0.24	
250	0.26	0.29	0.30	0.31	0.22	0.22	
350	0.24	0.19	0.27	0.26	0.20	0.20	
P>F	0.0006*	0.00004*	0.00002*	0.22ns	0.01*	0.88ns	
r <sup>2</sup>	0.20		0.34		0.25		
R <sup>2</sup>		0.57		0.35		0.25	
Dezembro	Y = -.000003X <sup>2</sup> + 0.008X + 0.28						
Nov/Jan	Y = - 0.0003X + 0.38						
Dez/Nov/Jan	Y = -0.00001X + 0.26						
Cu							
Modos de Aplicação	Dezembro	Nov/Jan	Nov/Dez/Jan				
	2.39b	2.60a	2.08c				
Doses							
0			2.46				
50			2.53				
150			2.52				

250	2.33
350	1.95

	Linear	Quadrática
Cu	$Y = -0.001X + 2.58$ $r^2$ 0.43	$Y = -0.000009X^2 + 0.001X + 2.46$ $R^2$ 0.61

Tabela 04. Valores Zn mg/dm<sup>3</sup> em função da interação entre os fatores doses e modo de aplicação de N.

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Com relação ao modo de aplicação do fertilizante, os maiores teores dos nutrientes foram obtidos quando a ureia foi aplicada de forma parcelada em novembro/dezembro com 2,60 mg/dm<sup>3</sup> de Cobre e 0,33 mg/dm<sup>3</sup> de Zinco. Para o fator doses de N, houve efeito significativo com ajuste foi quadrático, tendo incremento dos teores de Cobre e Zinco até a dose de 150 kg de N.ha<sup>-1</sup>, (2,50 mg/dm<sup>3</sup> de Cobre e 0,36 mg/dm<sup>3</sup> de Zinco).

O decréscimo dos valores do Zinco pode ter sido ocasionado pela acidificação do solo proporcionada pela aplicação das maiores doses do fertilizante nitrogenado, Rajj (1991), citado por Soares 2003, relata que o zinco é um elemento cuja forma mais comum em solução é a do cátion Zn<sup>2+</sup> e que, de acordo com Lopes (1999), também citado por Soares (2003), o zinco movimenta-se por difusão no solo, ou seja, dos pontos de maior concentração para os pontos de menor concentração, sendo que a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH de solo entre 5,0 e 6,5 e o pH do solo quando aplicou as maiores doses de N variou de 4,4 a 4,5. (Tabela 04)

Os valores médios de T e V%, foram influenciados pela aplicação das diferentes doses de N, (Tabela 05). no qual houve efeito significativo e ajuste quadrático para CTC e V% ocorrendo incremento dos valores até dose de 150 kg de N.ha<sup>-1</sup>, Com relação ao modo de aplicação houve efeito significativo apenas para CTC proporcionando o valor de 62,17% quando nitrogênio foi aplicado de forma parcelada em dois momentos novembro/dezembro. Estes resultados podem ser justificado pela acidificação do solo causado pela adubação nitrogenada, estudo realizado por Abreu Junior et al. (2001), relata que acidificação do solo é dependente do teor e tipo de mineral que compõem a fração argila, dos teores de matéria orgânica, que juntos determinam a Capacidade de Troca de Cátions do solo, assim o uso de maiores doses de adubação nitrogenada provoca acidez do solo e pode alterar a CTC.

Fatores	T (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )				
Doses x Modo					
Modo dentro de doses	0	50	150	250	350
Dezembro	56.75b	63.71a	63.01a	58.34a	56.51b
Nov/Jan	68.75a	59.87a	63.06a	57.26a	61.93a
Nov/Dez/Jan	58.03b	54.50b	62.65a	55.65a	51.71c
Doses dentro de modo		Dezembro	Nov/Jan		Dez/Nov/Jan

	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática
0	61.09	58.81	64.70	66.90	58.60	56.22
50	60.65	60.89	63.91	63.68	57.95	58.20
150	59.74	62.49	62.33	59.70	56.64	59.49
250	58.87	60.69	60.75	59.00	55.33	57.23
350	57.99	55.48	59.17	61.58	54.02	51.41
P>F	0.06*	0.001*	0.001*	0.001*	0.007*	0.0008*
r <sup>2</sup>	0.13		0.27		0.20	
R <sup>2</sup>		0.60		0.55		0.56
Dezembro	Y = -0.0001X <sup>2</sup> + 0.05X + 58.81					
Nov/Jan	Y = 0.0001X <sup>2</sup> - 0.072X + 66.90					
Dez/Nov/Jan	Y = -0.0001X <sup>2</sup> + 0.04 + 56.22					
<b>V(%)</b>						
Doses x Modo						
Modo dentro de doses	0	50	150	250	350	
Dezembro	30.28a	31.55a	34.47a	29.36b	25.62b	
Nov/Jan	20.64b	30.65a	25.75b	37.20a	24.22b	
Nov/Dez/Jan	29.74a	26.83a	33.27a	24.86b	32.23a	
Doses dentro de modo	Dezembro		Nov/Jan		Dez/Nov/Jan	
	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática	Linear	Quadrática
0	32.54	30.25	25.70	21.86	28.76	29.39
50	31.79	32.03	26.32	26.73	28.96	28.84
150	30.31	33.04	27.57	32.16	29.35	28.59
250	28.82	30.64	28.81	31.86	29.73	29.23
350	27.34	24.84	30.05	285.85	30.12	30.81
P>F	0.02*	0.01*	0.064ns	0.0002*	0.57ns	0.50ns
r <sup>2</sup>	0.41		0.07		0.02	
R <sup>2</sup>		0.91		0.45		0.05
Dezembro	Y = -0.0001X <sup>2</sup> + 0.04X + 30.25					
Nov/Jan	Y = -0.0002X <sup>2</sup> + 0.11X + 21.86					

Tabela 05. Valores de T(mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e V(%) em função da interação entre os fatores doses e modo de aplicação de N.

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

#### 4 | CONCLUSÃO

As doses de Nitrogênio influenciaram nos atributos químico do solo, sendo que os melhores teores das características químicas do solo químicas do foi obtida até dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A aplicação do fertilizante nitrogenado em dois momento proporcionou melhores valores dos parâmetros químicos quando aplicado as maiores doses de N.

## REFERÊNCIAS

- ABREU C. A., VAN RAIJ B., ABREU M. F., PAZ GONZALEZ A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, 2004, p.579-584.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CAFÉ – ABIC. **História**. Rio de Janeiro, [200-]. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38>>. Acesso em: 17 dez. 2009.
- CERVELLINI, G. S. et al. Nitrogênio na adubação química do cafeeiro: doses e parcelamentos do nitrocálcio. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 45-55, 1986.
- DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos Campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade-ESALQ/USP, 1980. 44 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p
- LOPES, A.S. **Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999. 70p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed., rev. e ampl. Piracicaba: Nobel, 2000. 460 p.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Análise química de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 107 p.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p.
- Soares, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-ESALQ, Piracicaba – SP, 2003.

## EFEITO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLOS DE TEXTURAS DISTINTAS

### **Aline Noronha Costa**

Mestranda em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Cleidiane Alves Rodrigues**

Engenheira Agrônoma, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Débora Oliveira Gomes**

Engenheira Agrônoma, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Layse Barreto de Almeida**

Engenheira Agrônoma, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Daynara Costa Vieira**

Mestre em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Michel Keisuke Sato**

Doutor em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia.  
Belém – PA

### **Fernanda Paula Sousa Fernandes**

Graduanda em Agronomia, Instituto Federal do Pará.  
Castanhal - PA

### **Augusto José Silva Pedrosa**

Doutor em Agronomia, Instituto Federal do Pará.  
Castanhal – PA

### **Herdjania Veras de Lima**

Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias.  
Belém – PA

**RESUMO:** A condutividade hidráulica do solo consistena velocidade com que a água pode se mover através do solo sob certos gradientes hidráulicos, sendo importante ao uso agrícola e, conseqüentemente, à produção das culturas e à preservação do solo. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes níveis de compactação na condutividade hidráulica de solos com textura arenosa e argilosa. Foram coletadas amostras de dois solos de texturas distintas. Para a montagem do experimento, foram definidos os valores de densidade do solo ( $D_s$ ) correspondentes a 70, 80, 90 e 100% da  $D_s$  máxima de acordo com cada textura. Seguidamente, porções destes solos foram adicionadas em anéis volumétricos e compactados com auxílio de uma prensa hidráulica. Para a determinação da condutividade hidráulica não saturada ( $k$ ) foi utilizado um infiltrômetro de mini-disco. A variação dos valores de  $k$  em função do grau de compactação (GC) foi avaliada por análise de regressão. Para o de textura franco-arenosa, a  $k$  decresceu com o aumento do GC, sendo o modelo exponencial o que melhor explicou as alterações na distribuição do tamanho e

quantidade de poros do solo. Para o solo de textura muito-argilosa, o GC não alterou sua  $k$ . A ausência dessa relação neste solo pode ser devido a maior quantidade de microporos naturalmente presentes. O GC não altera a  $k$  em solos de textura argilosa sob condições não saturadas, mas nas mesmas condições, para um solo de textura arenosa, a  $k$  é reduzida com o aumento do GC.

**PALAVRAS-CHAVE:** densidade do solo; água no solo; infiltrômetro de mini-disco.

**ABSTRACT:** Soil hydraulic conductivity consists of the speed at which water can move through the soil under certain hydraulic gradients, being important to the agricultural use and, consequently, to the production of the crops and the preservation of the soil. The objective was to evaluate the effect of different compaction levels on the hydraulic conductivity of soils with sandy and clayey texture. Samples were collected from two soils of different textures. For the assembly of the experiment, the values of  $D_s$  corresponding to 70, 80, 90 and 100% of the  $D_{smax}$  were defined according to each texture. Subsequently, portions of these soils were added to volumetric rings and compacted with the aid of a hydraulic press. For the determination of the unsaturated hydraulic conductivity ( $k$ ) a mini-disk infiltrameter was used. The variation of the  $k$  values as a function of the degree of compaction (DC) was evaluated by regression analysis. For the sandy loam texture, the  $k$  decreased with the increase of the DC, being the exponential model the one that better explained the changes in the distribution of the size and quantity of the pores of the soil. For the soil with very clayey texture, the DC did not change its  $k$ . The absence of this relationship in this soil may be due to the greater amount of naturally occurring micropores. DC does not change  $k$  in clayey soils under unsaturated conditions, but under the same conditions, for a sandy texture soil,  $k$  is reduced with increasing DC.

**KEYWORDS:** soil bulk density; soil water; mini-disc infiltrameter.

## 1 | INTRODUÇÃO

A estrutura do solo pode ser alterada pelas práticas de manejo inadequadas, que causam o processo de compactação do solo influenciando a produtividade das culturas (TORMENA et al., 1998).

A compactação do solo é definida pela compressão do solo não saturado durante a qual ocorre um aumento de sua densidade em consequência da redução de seu volume, resultando em alteração na geometria e distribuição do tamanho dos poros. Esta forma de degradação física do solo é ocasionada por forças externas que podem ser causadas pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (SOUZA, 2010).

A condutividade hidráulica do solo é dependente da geometria dos poros, do teor de água e das diferenças no potencial matricial e consiste na velocidade com que a água pode se mover através do solo sob certas condições e gradientes hidráulicos (LIBARDI, 2005). Essa propriedade é de grande importância ao uso agrícola e, está

diretamente ligada à produção das culturas e à preservação do solo e do ambiente (GONÇALVES & LIBARDI, 2013). Dessa forma, o objetivo foi avaliar o efeito da compactação na condutividade hidráulica de dois solos com texturas distintas.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de física do solo da Universidade Federal da Amazônia. Foram coletadas amostras de dois solos de texturas distintas na profundidade de 0-20 cm nos municípios de Belém-PA e Paragominas-PA, os quais foram secos ao ar e passados em peneira de 2 mm. A caracterização dos solos foi feita com base na distribuição do tamanho das partículas do solo, matéria orgânica (M.O) e densidade da partícula (Tabela 1).

Textura	Areia	Silte	Argila	M.O
0-20 cm		%		g Kg <sup>-1</sup>
Franco-Arenosa	78,01	7,63	14,36	10,4
Muito-Argilosa	11,38	15,39	73,23	7,2

Tabela 1: Caracterização física de dois solos distintos

As curvas de compactação do solo foram determinadas pelo ensaio de Proctor Normal realizadas no laboratório de física do solo.

A partir da obtenção das curvas de compactação foi determinada a densidade do solo máxima ( $D_{smax}$ ) que foi de 1,70g cm<sup>-3</sup> para o solo arenoso e de 1,29 g cm<sup>-3</sup> para o argiloso e seu respectivo conteúdo de água que corresponde a umidade do solo crítica de compactação ( $\theta_c$ ) que foi de 0,16m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para o solo arenoso e de 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para o argiloso. Com base na  $D_{smax}$  foram definidos os valores de  $D_s$  correspondentes a 70, 80, 90 e 100% da  $D_{smax}$  de acordo com cada solo. Os solos foram corrigidos quanto a umidade e então umedecidos até a ( $\theta_c$ ). Posteriormente, porções desses solos foram adicionadas a anéis volumétricos e compactados com auxílio de uma prensa hidráulica. A quantidade de solo adicionado referente a cada nível de compactação foi determinada com base no volume do anel e da  $D_s$  desejada.

Para avaliar o efeito dos diferentes níveis de compactação do solo foi determinada a condutividade hidráulica do solo não saturado ( $k$ ) utilizando um infiltrômetro de mini-disco com diâmetro de 4,5 cm, sendo ajustado o tubo de controle de sucção em 2 cm (PERROUX & WHITE, 1988). As análises estatísticas consistiram de análise de variância, e quando significativo a 5%, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O comportamento da  $k$  foi avaliado por análise de regressão.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o de textura franco-arenosa, a  $k$  decresceu com o aumento do grau de compactação, sendo o modelo exponencial o que melhor explicou a distribuição dos dados (Figura 1).

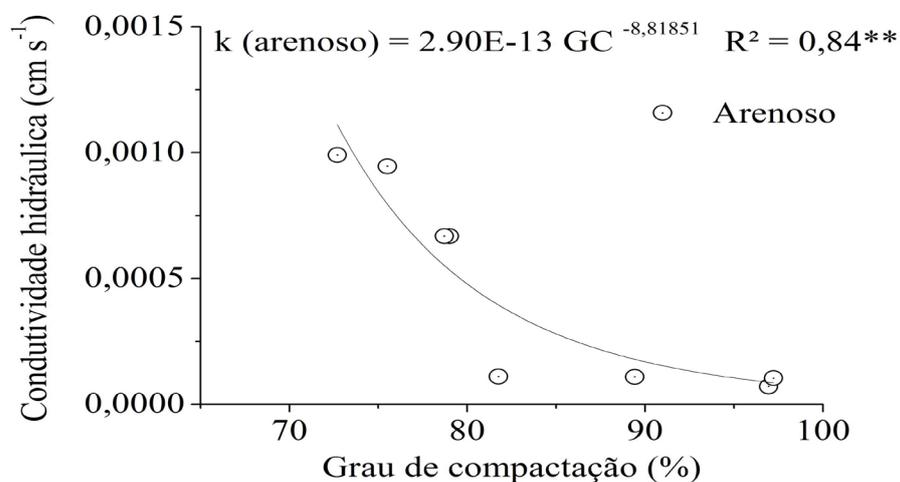


Figura 1: Condutividade hidráulica do solo em função do grau de compactação em solo com textura franco-arenosa.

Esse resultado está relacionado com as alterações na distribuição do tamanho e quantidade de poros do solo devido ao aumento dos níveis de compactação, tornando os caminhos que a água deve percorrer mais tortuosos (RENNÓ & BORMA, 2016). Nessas condições, a capacidade do solo em conduzir água é reduzida, logo, a condutividade hidráulica é baixa (SILVA & KATO, 1997).

O efeito da compactação na diminuição do tamanho dos poros, que efetivamente transportam água, explica a redução da condutividade hidráulica com o aumento do grau de compactação, por ser altamente relacionada com raio médio ponderado para o fluxo, diminuindo o seu valor, de forma acentuada, com a redução do tamanho dos poros (STONE et al., 2002).

Para o solo de textura muito-argilosa, o GC não alterou sua  $k$ . A ausência dessa relação neste solo está relacionada a maior quantidade de microporos naturalmente presentes (Figura 2).

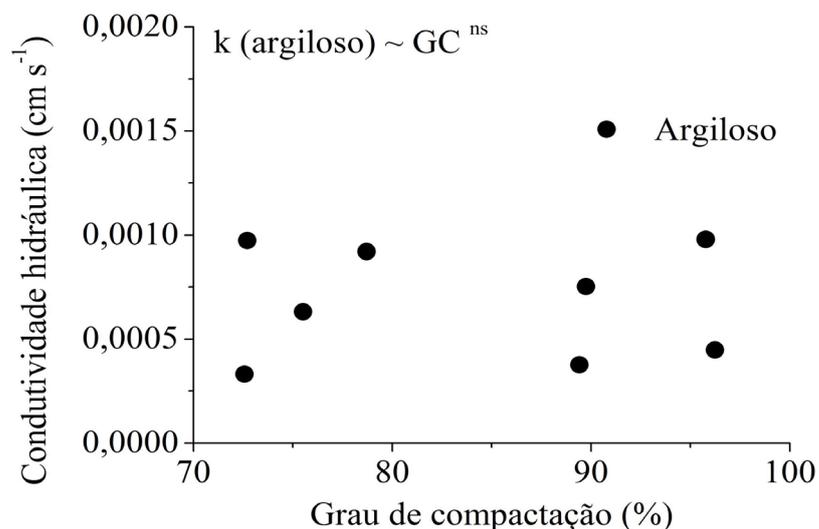


Figura 2: Condutividade hidráulica do solo em função do grau de compactação em solo com textura muito-argilosa.

Um estudo feito com um solo de textura argilosa verificou-se que a condutividade hidráulica não constatou diferença estatística entre os tratamentos compactados (OLIVEIRA et al., 2013). Para esses autores o resultado encontrado é decorrente da redução da macroporosidade, por apresentar grande efeito sobre a velocidade de infiltração de água, bem como sobre o desenvolvimento radicular das plantas, por conferir ao solo condições de baixa aeração, principalmente nos solos argilosos (CINTRA & MIELNICZUK, 1983), pois em solos não saturados, os macroporos geralmente se enchem de ar, assim, a condução de água sob tensão se dá pelos microporos do solo, que são bem menos afetados que os macroporos no processo de compactação do solo (RENNÓ & BORMA, 2016).

#### 4 | CONCLUSÕES

O grau de compactação não altera a condutividade hidráulica em solos de textura muito-argilosa sob condições não saturadas. Entretanto, sob as mesmas condições, para um solo de textura franco-arenosa, a  $k$  é reduzida com o aumento do GC.

#### REFERÊNCIAS

CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p: 323-327, 1983.

GONÇALVES, A.D.M.A & LIBARDI, P.L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p:1174-1184, 2013.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335p.

OLIVEIRA, P.R. de; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; ROSSETTI, K.V.; FERRAUDO, A.S.; FRANCO, H.B.J.; PEREIRA, F.S.; BÁRBARO JÚNIOR, L.S. Qualidade estrutural de um Latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p: 604-612, 2013

PERROUX, K.M. & WHITE, I. Designs for disc permeameters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p: 1205-1215, 1988.

RENNÓ, C.D. & BORMA, L. de. S. Água no solo: Processos hidrológicos, 2016. <https://slideplayer.com.br/slide/10886571/> Acesso em 21/08/2018.

SILVA, C.L. & KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p:213-220, 1997.

SOUZA, J. M. de. **Dinâmica de atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo em topossequência de pastagem cultivada no Brejo Paraibano**. 2010. 72f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

STONE, L.F.; GUIMARAES, C.M. & MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p:207-212, 2002.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

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

### Marcelo Raul Schmidt

Estudante de doutorado; Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, RS

### Elemar Antonino Cassol

Professor titular; Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, RS

### Tiago Stumpf da Silva

Estudante de doutorado; Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, RS

**RESUMO:** Modelos de predição das perdas de solo são importantes, pois possibilitam fazer planejamentos conservacionistas e controlar os processos erosivos. A Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) é um modelo simples e muito utilizado, mas necessita a determinação de seus fatores para sua aplicação a nível local. No modelo, o efeito da cobertura e manejo do solo na erosão hídrica é representado pelo fator C. Objetivou-se determinar o fator C da USLE, para um sistema que envolve culturas anuais após o uso do solo com pastagens. O experimento foi conduzido a campo sob chuva natural, em um Latossolo Vermelho no município de Augusto Pestana, RS. Em avaliações efetuadas durante 3 anos, determinou-se o fator C na sucessão trigo-soja em preparo convencional, à partir dos

seguintes condições de uso anterior do solo: 1) Após seis anos com pastagem permanente de Alfafa (PALF); 2) Após quatro anos do consórcio de pastagens permanentes de setárea, siratro e desmódio (PSSD); 3) Após sete anos da sucessão trigo-soja em preparo convencional (TSPC). No mesmo período também foram avaliadas as perdas de solo na parcela padrão (SDPP), necessário para determinação do fator C. O fator C médio durante os três anos estudados foi de 0,0464 para PALF; 0,0615 para PSSD e de 0,0711 para TSPC. As pastagens apresentaram efeito residual positivo na redução do valor de fator C, conferindo valores 55% menor em PALF e 15% menor em PSSD em relação a TSPC, porém foi verificado que no terceiro ano o efeito residual não ocorre.

**PALAVRAS-CHAVE:** USLE, erosão do solo, fator C.

**ABSTRACT:** Soil loss prediction models are important because they allow to make conservation planning and control erosion processes. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is a simple and widely used model, but requires the determination of its factors for its application at the local scale. In the model, the effect of soil cover and management on water erosion is represented by C factor. The purpose of this study was to determine the C factor of USLE for a system that involves annual crops

after the pasture use. The experiment was conducted in the field under natural rainfall, in an Oxisol in the municipality of Augusto Pestana, RS. In evaluations carried out during 3 years, C factor was determined in the wheat-soybean succession in conventional tillage, in the following conditions of previous soil use: 1) After six years with permanent alfalfa pasture (PALF); (2) After four years of the consortium of permanent pastures of setaria, siratro and desmódio (PSSD); 3) After seven years of wheat-soybean succession in conventional tillage (TSPC). In the same period, soil losses in the standard plot (SDPP), necessary for determination of factor C, were also evaluated. The mean C factor in the three years studied was 0.0464 for PALF; 0.0615 for PSSD and 0.0711 for TSPC. The pastures had a positive residual effect in reducing the C factor value, presenting values 55% lower in PALF and 15% lower in PSSD in relation to TSPC, but it was verified that in the third year the residual effect does not occur.

**KEY WORDS:** USLE, soil erosion, C factor.

## 1 | INTRODUÇÃO

A erosão é um processo de desgaste da superfície de rochas e de solos. Quando ocorre como erosão geológica é um importante componente da evolução natural do ecossistema físico e no desenvolvimento das paisagens. No entanto, quando ocorre como erosão antrópica ou acelerada pode interferir na qualidade dos solos e dos recursos hídricos, sendo, portanto, uma forma de erosão indesejável (CASSOL et al., 2018). A erosão do solo têm impactos negativos em um amplo conjunto de serviços ecossistêmicos relacionados ao solo, incluindo a produção de culturas, qualidade da água, ciclagem de nutrientes e estoque de carbono (DOMINATI, PATTERSON & MACKAY, 2010), gerando portanto prejuízos ambientais, econômicos e sociais (XIUBIN et al., 2003; LAL, 1976)

Muitas práticas conservacionistas têm sido negligenciadas, mesmo perante o atual cenário agrícola, de investimentos crescentes em novas tecnologias. Telles, De Fátima Guimarães & Dechen (2011), apresentaram estimativas dos custos da erosão do solo entre 1933 e 2010 em diversas regiões do mundo, sendo a maior US\$ 45,5 bilhões ao ano, para a União Europeia. No Brasil, no Estado do Paraná, atingem US\$ 242 milhões ao ano, e no Estado de São Paulo, US\$ 212 milhões ao ano. Essas estimativas basearam-se em custos relacionados tanto na unidade produtiva como na área de meio ambiente, economia e sociedade.

Analisando os prejuízos causados pela erosão em áreas agrícolas, Bertol et al. (2007) concluíram que o preparo convencional causa perdas 55% superiores em relação ao plantio direto, isto considerando apenas os custos relacionados as perdas de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Além desses prejuízos, a magnitude da erosão chegou a ser considerada uma ameaça a própria existência da humanidade (FAO, 1993), e atualmente o cenário não apresenta boas expectativas, visto que em 2015 a FAO publicou um documento com a informação de que 30% dos solos do mundo estão

moderadamente a altamente degradados, e parte disso devido à erosão. Portanto, é de suma importância identificar os fatores que influenciam a erosão hídrica. Assim, torna-se possível prever as perdas de solo e escolher melhores práticas de manejo, visando reduzi-las ou manter abaixo do limite de tolerância para cada solo.

Perante este cenário vale destacar a importância de pastagens permanentes na conservação do solo, sendo mais eficiente inclusive do que o plantio direto, visto que só necessita de revolvimento no ano de implantação das pastagens, enquanto no plantio direto ocorre mobilização entre uma e duas vezes ao ano na linha de semeadura. Desta forma, as perdas de solo que ocorrem em pastagens permanentes são extremamente baixas, podendo considerar que o uso do solo com essas culturas é um dos mais eficientes em controlar a erosão (SILVA, 2016).

A predição da suscetibilidade a erosão do solo e a verificação das principais fontes de erosão em uma área, constitui o primeiro passo para a escolha de estratégias frente as perdas de solo causadas pela erosão hídrica (AUERSWALD et al., 2014). A modelagem da erosão hídrica do solo constitui uma ferramenta eficaz para avaliar a eficiência de estratégias ativas e a serem adotadas com o objetivo de avaliar o sistema de manejo (Cassol et al., 2018). De acordo com Auerswald et al. (2014), o modelo mais simples utilizado para predição da erosão hídrica no mundo é a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Dentre os fatores da USLE necessários para prever as perdas de solo, o manejo e cobertura do solo (representado pelo fator C no modelo) é considerado o mais importante, pois é nesse que o técnico e o produtor podem lançar mão para manipular a equação e reduzir ou manter as perdas de solo dentro de limites aceitáveis (CASSOL et al., 2018). O fator C determina a eficácia dos sistemas de manejo de solo e culturas na prevenção da perda de solo por erosão hídrica (GABRIELS et al., 2003). Segundo Guo et al. (2015), na USLE o fator C indica o efeito combinado das variações das culturas ou outras coberturas de solo e sistemas de preparo, bem como as alterações correspondentes da erosividade anual da chuva. O manejo e cobertura vegetal da USLE é determinado a partir de dados experimentais obtidos a campo (ÖZHAN et al., 2005). Este fator é definido pela razão entre as perdas de solo em uma parcela com específica cultura e manejo por uma parcela mantida descoberta (livre de vegetação) e preparada convencionalmente no sentido do declive, considerando as condições da parcela-padrão (WISCHMEIER & SMITH, 1978), em diferentes períodos de crescimento das culturas.

A obtenção do fator C é de grande complexidade em função da gama de diferentes sistemas de manejo e de plantas anuais e perenes (DE MARIA & LOMBARDI NETO, 1997). Existem poucos trabalhos no Brasil sobre a determinação do fator C, e praticamente inexitem valores deste fator quando se mantém um sistema de culturas e preparo de solo com rotação de pastagens anuais. Além do fator R, existem outros elementos que interferem nos valores do fator C, sendo as fases da cultura, a cobertura pela vegetação e resíduos, manejo do solo, rotação e/ou sucessão anual de culturas

e o efeito residual de diferentes cultivos anteriores do solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

No Brasil, alguns autores trabalharam na determinação do fator C para diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal, dos quais destacam-se os trabalhos de De Maria & Lombardi Neto (1997), Bertol, Schick & Batistela (2001), Silva & Schulz (2001), Bertol, Schick & Batistela (2002), Amaral (2008), Prochnow et al. (2005), Albuquerque et al. (2005), Martins et al. (2010), Eduardo et al. (2013), Santos et al. (2014), Silva (2016). A literatura brasileira sobre informações do fator C ainda é escassa (AMARAL, 2006; SILVA, 2016; CASSOL et al., 2018). Entretanto, existe grande necessidade de obtenção de dados que supram o modelo para realizar um planejamento conservacionista e para outros estudos envolvendo modelagem na área de erosão e conservação (SILVA, 2016; CASSOL et al., 2018).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi determinar o fator C para a sucessão trigo-soja em preparo convencional após 6 anos de cultivo de alfafa, após 4 anos de cultivo do consórcio setária+siratro+desmódio e após 8 anos da mesma sucessão trigo-soja em preparo convencional. Desta forma, existe a hipótese de que as pastagens exercem efeito residual positivo no solo contra as perdas de solo, alterando o sistema de manejo adotado, refletindo conseqüentemente no valor de fator C.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e descrição do experimento

O experimento de campo sob condições de chuva natural, foi conduzido de julho de 1976 a junho de 1984 no município de Augusto Pestana (28° 43' latitude Sul, 54° 00' longitude Oeste e altitude de 305 m), região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), em uma área de propriedade do Ministério da Agricultura e que se encontrava cedida em comodato ao Centro de Treinamento da Cotrijuí.

O solo da área experimental foi descrito e caracterizado com um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013). O relevo é ondulado a suavemente ondulado, com declive que varia de 3 a 10%, podendo ocorrer declividades de no máximo 15%. Conforme a classificação de Köppen (1936), o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com quatro estações distintas, temperatura média do mês mais quente superior a 22° C e a temperatura média do mês mais frio entre -3° C e 18° C, e a precipitação média anual é de 1.850 mm (FEPAM, 2010).

### 2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi realizado, com quatro tratamentos, e uma repetição totalizando quatro parcelas experimentais. As parcelas foram implantadas com dimensões de 22,0 × 3,5 m, totalizando uma área de 77 m<sup>2</sup>. As parcelas foram delimitadas por chapas galvanizadas fixadas ao solo em profundidade de

aproximadamente 10 cm nas laterais e na extremidade superior, sendo que na extremidade inferior havia uma calha coletora do escoamento. O escoamento era armazenado em tanques para posteriormente quantificar a água e o solo perdidos. Foram utilizados os dados de perdas de solo por erosão determinados entre julho de 1984 e junho de 1987.

Os tratamentos avaliados estão descritos a seguir:

1. SDPP: Solo descoberto em preparo convencional, realizado no sentido do declive com uma aração com arado reversível e duas gradagens com grade hidráulica. Essa é a parcela padrão da Equação Universal de Perdas de Solo. O preparo era realizado duas vezes ao ano, simultaneamente aos preparos das parcelas com culturas anuais. Para mantê-la descoberta durante todo o ano eram realizadas capinas com enxada ou retirada manual da vegetação espontânea. Conforme a filosofia da USLE, os valores obtidos no primeiro ano experimental não são utilizados para determinação do fator C, isto porque o primeiro ano serve para estabilização do sistema, tirando o efeito residual do manejo e cobertura do período anterior à experimentação (WISCHMEIER & SMITH, 1978).
2. TSPC: Sucessão trigo-soja em preparo convencional, com uma aração com arado reversível e duas gradagens, realizadas no sentido do declive incorporando os restos culturais. Os tratamentos foram semeados com semeadora de plantio direto tracionada mecanicamente. O trigo foi semeado no espaçamento de 17 cm entrelinhas, sendo depositadas 60 - 63 sementes por metro linear. A soja foi semeada com espaçamento de 50 cm entrelinhas e depositando-se 30 sementes por metro linear. Os dados de perdas de solo entre julho de 1984 e maio de 1987 foram utilizados para obtenção do fator C para ser comparado com as áreas que vinham sendo cultivadas com pastagem.
3. PALF: Pastagem de alfafa (*Medicago sativa*) desde o verão de 1978 até o inverno de 1984. A pastagem era cortada de duas a seis vezes no ano e deixada sobre a parcela, como cobertura morta. Em julho de 1984 foi introduzido nessa parcela a sucessão de culturas de trigo e soja em preparo convencional, mantidas até junho de 1987.
4. PSSD: Pastagem de setária + siratro + desmódio (*Setaria sphacelata* + *Macroptilium atropurpureum* + *Desmodium ovalifolium*, respectivamente) desde o verão de 1980 até o inverno de 1984. Em julho de 1984 foi introduzido nessa parcela a sucessão de culturas de trigo e soja em preparo convencional, mantidas até junho de 1987.

### 2.3 Determinação do fator C

Este fator deve ser avaliado em estádios pré-determinados, de acordo com o desenvolvimento das culturas ao longo do ciclo. Em sucessões de culturas anuais, o ano agrícola de desenvolvimento das culturas é dividido em dez períodos, considerando-se cinco para as culturas de inverno/primavera e cinco para as culturas de verão/outono.

Considerou-se o ano agrícola se iniciando com os preparos das culturas de inverno e terminando com a colheita das culturas de verão. Os períodos de 1 a 5 são

referentes ao da cultura do trigo, denominado como período de inverno. Os períodos de 6 a 10 são referentes ao da cultura da soja, denominado como período de verão.

Na parcela padrão da USLE (solo descoberto durante todo o ano), o preparo do solo sempre foi realizado na mesma época do preparo e semeadura dos tratamentos com culturas anuais.

### *2.3.1 Determinação da Razão de Perdas de Solo*

A Razão de Perdas de Solo (RPS) é determinada pela relação entre as perdas de solo em determinado tratamento pelas perdas de solo da parcela padrão (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A RPS foi determinada para cada um dos dez períodos das culturas. A perda de solo de cada período de determinado tratamento foi dividida pela perda de solo da parcela padrão no mesmo período. A RPS varia entre zero e um, sendo zero quando não ocorreu perda de solo no tratamento considerado em determinado período, e um quando a perda de determinado tratamento for igual a perda que ocorreu na parcela padrão.

### *2.3.2 Determinação da Fração do Índice de Erosividade das chuvas*

A erosividade total das chuvas em cada período das culturas foi dividida pela erosividade total do correspondente ano agrícola, para se obter a Fração do Índice de Erosividade ( $FEI_{30}$ ) nesses respectivos períodos. Foi determinado a  $FEI_{30}$  de todos os períodos dos ciclos da sucessão de culturas de inverno e de verão. A  $FEI_{30}$  varia entre zero e um, pois representa a porcentagem do índice de erosividade anual que causou a erosão no estágio considerado.

### *2.3.3 Cálculo do fator C*

Para obter o fator C anual de cada tratamento, soma-se o produto da RPS pela  $FEI_{30}$  obtido em cada período, conforme a seguinte expressão:

$$\text{Fator C anual} = \sum_{i=1}^{i=10} \text{RPS} \times \text{FEI}_{30}$$

onde  $i$  representa o período da cultura.

Somando-se, portanto, os valores de fator C obtidos em cada período da cultura, obtém-se o fator C para cada ano e a média do fator C de todos os anos de experimentação corresponde ao fator C final para cada tratamento.

## **3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados obtidos durante os três anos agrícolas de experimentação foram

dispostos em três tabelas com o intuito de discutir cada ano separadamente e verificar as diferenças ocorridas a cada ano após introduzir culturas anuais com preparo convencional em área de pastagens. No primeiro ano de estudo (Tabela 1), é possível perceber efeito residual positivo das pastagens.

Período	El <sub>30</sub>	Fração	SDPP	TSPC	PALF	PSSD	TSPC	PALF	PSSD
	$\left(\frac{\text{MJ mm}}{\text{ha h}}\right)$	FEI <sub>30</sub>	-----Perdas de solo-----				-----Fator C-----		
			Mg ha <sup>-1</sup>						
1	372,5	0,0478	0,131	0,030	0,034	0,013	0,0110	0,0124	0,0046
2	968,0	0,1241	0,018	0,002	0,002	0,001	0,0145	0,0146	0,0035
3	571,8	0,0733	0,053	0,013	0,002	0,001	0,0172	0,0027	0,0010
4	178,1	0,0228	0,004	0,001	0,001	0,000	0,0068	0,0048	0,0020
5	257,0	0,0329	0,071	0,000	0,003	0,000	0,0000	0,0012	0,0000
6	769,8	0,0987	0,019	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
7	1.159,4	0,1486	0,148	0,000	0,000	0,006	0,0000	0,0000	0,0062
8	1.026,0	0,1315	0,445	0,004	0,000	0,005	0,0011	0,0000	0,0016
9	1.518,3	0,1946	0,663	0,002	0,006	0,005	0,0007	0,0017	0,0014
10	980,1	0,1256	3,030	0,004	0,001	0,001	0,0002	0,0000	0,0001
Total	7.801,0	1,0000	4,584	0,056	0,048	0,032	0,0515	0,0375	0,0204

Tabela 1. Perdas de solo na parcela padrão (SDPP) e fator C para a sucessão trigo-soja em preparo convencional após pastagem de alfafa (PALF) após pastagem de setária, siratro e desmódio (PSSD) e após trigo-soja em preparo convencional (TSPC) em cada período das culturas no ano de 1984/1985.

No tratamento que foi cultivado com alfafa, o efeito residual proporcionou valor de fator C 1,4 vezes inferior, enquanto no tratamento que foi cultivado com o consórcio de setária, siratro e desmódio essa redução foi de 2,5 vezes em relação ao valor de fator C da sucessão trigo-soja em preparo convencional.

No segundo ano (Tabela 2), o efeito residual continua acontecendo, de forma semelhante para PALF, porém já foi menos eficiente na PSSD, comparando-se ao ano anterior. Sendo que no tratamento que foi cultivado com alfafa, o efeito residual proporcionou valor de fator C 1,7 vezes inferior e no consórcio de setária, siratro e desmódio o valor foi 1,6 vezes inferior em relação ao valor da sucessão trigo-soja convencional. Nos dois primeiros anos a PSSD apresentou valores um pouco menores de fator C em relação a PALF, isso pode ter ocorrido devido a maior quantidade de resíduo deixado pela rotação de culturas PSSD, visto que a palhada mesmo quando incorporada é capaz de diminuir o escoamento (CASSOL & LIMA, 2003).

Período	$EI_{30}$	Fração	SDPP	TSPC	PALF	PSSD	TSPC	PALF	PSSD
	$\left(\frac{MJ\ mm}{ha\ h}\right)$	$FEI_{30}$	-----Perdas de solo-----				-----Fator C-----		
Mg ha <sup>-1</sup>									
Ano Agrícola 1985/1986									
1	1.321,6	0,1668	0,201	0,159	0,107	0,078	0,1320	0,0892	0,0650
2	580,6	0,0733	0,555	0,090	0,017	0,059	0,0119	0,0022	0,0079
3	972,6	0,1227	0,220	0,016	0,003	0,003	0,0090	0,0015	0,0015
4	163,1	0,0206	0,009	0,000	0,000	0,001	0,0000	0,0000	0,0015
5	193,3	0,0244	0,006	0,000	0,000	0,004	0,0000	0,0000	0,0170
6	440,5	0,0556	2,276	0,022	0,032	0,018	0,0005	0,0008	0,0004
7	1.653,3	0,2086	32,044	0,302	0,049	0,525	0,0020	0,0003	0,0034
8	1.173,1	0,1480	4,014	0,014	0,000	0,016	0,0005	0,0000	0,0006
9	501,3	0,0633	8,757	0,003	0,001	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
10	926,2	0,1169	2,542	0,000	0,000	0,046	0,0000	0,0000	0,0021
Total	7.925,6	1,0000	50,623	0,606	0,208	0,750	0,1560	0,0940	0,0993

Tabela 2. Perdas de solo na parcela padrão (SDPP) e fator C para a sucessão trigo-soja em preparo convencional após pastagem de alfafa (PALF) após pastagem de setária, siratro e desmódio (PSSD) e após trigo-soja em preparo convencional (TSPC) em cada período das culturas no ano de 1985/1986.

No terceiro ano (Tabela 3), a área cultivada com alfafa apresentou desempenho superior em manter efeito residual quando comparada ao consórcio de setária, siratro e desmódio. Esse fato pode ter ocorrido devido a PALF ter sido implantada dois anos antes, o que permitiu maior aporte de resíduos, quando comparado ao PSSD, aumentando conseqüentemente o conteúdo de matéria orgânica e a agregação do solo.

Período	$EI_{30}$	Fração	SDPP	TSPC	PALF	PSSD	TSPC	PALF	PSSD
	$\left(\frac{MJ\ mm}{ha\ h}\right)$	$FEI_{30}$	-----Perdas de solo-----				-----Fator C-----		
Mg ha <sup>-1</sup>									
Ano Agrícola 1986/1987									
1	1.366,3	0,1074	1,201	0,049	0,060	0,234	0,0043	0,0053	0,0209
2	553,9	0,0435	0,344	0,003	0,005	0,136	0,0003	0,0006	0,0173
3	469,8	0,0369	0,005	0,000	0,000	0,000	0,0002	0,0000	0,0002
4	247,2	0,0194	0,013	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0017
5	921,4	0,0724	3,395	0,004	0,000	0,008	0,0001	0,0000	0,0002
6	2.766,7	0,2175	3,208	0,011	0,025	0,361	0,0007	0,0017	0,0245
7	860,6	0,0676	5,222	0,001	0,000	0,001	0,0000	0,0000	0,0000
8	1.716,2	0,1349	22,040	0,005	0,002	0,005	0,0000	0,0000	0,0000
9	2.663,2	0,2093	62,030	0,009	0,003	0,020	0,0000	0,0000	0,0001
10	1.157,7	0,0910	14,454	0,001	0,002	0,007	0,0000	0,0000	0,0000
Total	12.723,0	1,0000	111,911	0,081	0,096	0,772	0,0058	0,0077	0,0648

Tabela 3. Perdas de solo na parcela padrão (SDPP) e fator C para a sucessão trigo-soja em

preparo convencional após pastagem de alfafa (PALF) após pastagem de setária, siratro e desmódio (PSSD) e após trigo-soja em preparo convencional (TSPC) em cada período das culturas no ano de 1985/1986.

Na Figura 1 estão apresentadas as médias de fator C dos três anos estudados para os três tratamentos. Esses valores correspondem ao fator C para serem utilizados na USLE para as condições de sucessão trigo-soja em preparo convencional após 6 anos de cultivo de alfafa, após 4 anos de cultivo do consórcio setária+siratro+desmódio e após 8 anos da mesma sucessão trigo-soja em preparo convencional para a regiões próximas de Augusto Pestana, RS. A ordem de valores de fator C médio obtidos foi PALF < PSSD < TSPC.

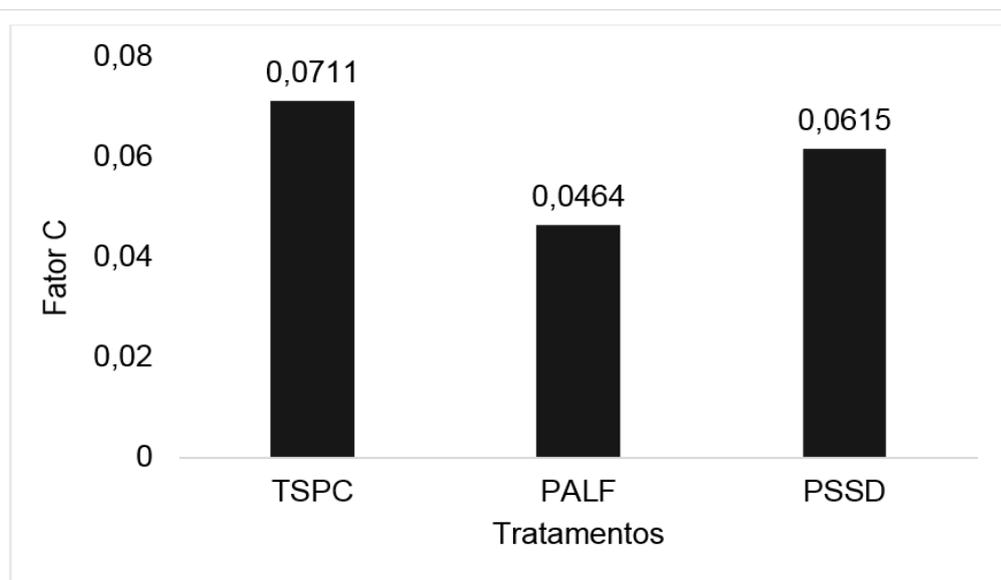


Figura 1: Valores de fator C médios para a sucessão trigo-soja em preparo convencional após pastagem de alfafa (PALF) após pastagem de setária, siratro e desmódio (PSSD) e após trigo-soja em preparo convencional (TSPC) entre julho de 1984 e maio de 1987 em Augusto Pestana, RS.

Vale ressaltar que o valor de fator C obtido é referente a três anos de cada sistema de manejo e uso do solo, e que ao usar uma série de dados com mais anos de experimentação os valores podem sofrer alterações. Dentre os fatores de fator C para a sucessão trigo-soja em preparo convencional pode-se citar os valores de 0,1576 obtido por Silva (2016) com 13 anos de experimentação em um Argissolo; 0,1437 obtido por Bertol; Schick e Batistella (2001), com 6 anos de experimentação em um Cambissolo e 0,23 obtido por Amaral et al. (2006) em um Cambissolo. Baseando-se na literatura, apesar de se tratar de locais diferentes, espera-se que ao analisar mais anos, o valor de fator C seja maior do que o encontrado durante os três anos. Pois nos três anos utilizados neste estudo a distribuição da chuva foi uniforme durante o ano, gerando menores perdas de solo, e conseqüentemente menores valores de fator C.

Santos, Fontaneli & Tomm (2001), verificaram que o uso do solo com pastagens com pastoreio pode aumentar em 15% o teor de matéria orgânica na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em 5 anos de avaliação. No presente estudo as pastagens eram

cortadas de duas a seis vezes por ano, com a alfafa depositando em média  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de e o consórcio de setária+siratro+desmódio em média  $18 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  resíduo ao solo, tendo potencial de aumentar significativamente o teor de matéria orgânica. E após a adoção do sistema convencional o teor de matéria orgânica foi diminuindo anualmente. Possivelmente essa condição explique a menor influência residual das pastagens ao longo do período posterior a utilização com culturas anuais em sucessão com preparo convencional.

Em condições de clima tropical, na qual o experimento está inserido, são exigidos em torno de  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de resíduo em plantio direto e em torno de  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em preparo convencional para que o estoque atual de carbono do solo seja mantido (BAYER et al., 2006). Portanto, ao aportar  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  sem revolvimento do solo durante as pastagens, o estoque de carbono aumentou. Contudo, após a adoção da sucessão trigo-soja em preparo convencional, aportando cerca de  $6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  o estoque foi reduzido gradativamente no passar dos anos de experimentação.

A matéria orgânica é responsável por diversas atividades que acarretam em benefícios ao solo, dentre eles o aumento da microporosidade. Silveira (2013) constatou que para cada 1% de aumento da matéria orgânica, aumenta-se em 4% o volume de microporos do solo, sem alterar a macroporosidade. Esse aumento da microporosidade permite que o solo armazene 50.000 litros a mais de água por hectare, o que potencializa o controle do escoamento superficial, diminuindo a erosão do solo. Corroborando com as observações de Stevenson (1982), a matéria orgânica por meio de seus grupos hidrofílicos, é um dos componentes do solo responsáveis pela retenção de água.

Além de alterar a porosidade, Silva, Cabeda & Carvalho (2006), verificaram uma correlação positiva entre o diâmetro médio ponderado dos agregados e os teores de carbono orgânico total na camada de 0 a 20 cm, refletindo a importância da matéria orgânica na estabilização dos agregados do solo. O incremento de carbono no solo, além de aumentar a classe de agregados de maior diâmetro ( $>2,0 \text{ mm}$ ), diminui a classe de menor diâmetro ( $<0,25 \text{ mm}$ ) (CASTRO FILHO, MUZILLI & PADANOSCHI 1998). Esse aumento de agregados de maior diâmetro no solo é importante na resistência à erosão, pois são carregados com maior dificuldade pelo escoamento quando comparados a agregados menores (MEYER & HARMON, 1978). Além disso, solos com alta estabilidade de agregados tem maior resistência a desagregação pelo impacto da gota de chuva, sendo a desagregação a primeira fase do processo erosivo (ALBUQUERQUE, CASSOL & REINERT, 2000).

O efeito residual de pastagem de trevo cultivado foi estudado por Silva (2016). Após três anos com a pastagem, foi cultivada a sucessão trigo-soja em preparo convencional durante dois anos. O valor de fator C da área após trevo foi de 0,0764 no primeiro ano e 0,0910 no segundo, enquanto a área que já vinha sendo cultivada no sistema trigo-soja por três anos em preparo convencional, apresentou os valores de 0,2624 e 0,1709 no primeiro e segundo ano, respectivamente. Nesse mesmo estudo,

observou-se efeito residual mais evidente em relação ao presente estudo. Entretanto, verifica-se a mesma tendência de aumento do fator C, sendo que no segundo o ano o valor já foi 20% maior em relação ao primeiro. A área sempre cultivada em preparo convencional apresentou valores diferentes dos obtidos neste estudo. Esta variação pode ter influência das localidades, da cultura e anos diferentes. Sabe-se que a quantidade e distribuição das chuvas varia amplamente entre regiões, refletindo na erosividade (fator R da USLE) e no manejo e cobertura do solo (fator C da USLE). Além disso, cada solo possui características intrínsecas diferentes, enquanto o trabalho de Silva (2006) foi com um Argissolo Vermelho-Amarelo, com teor de argila de 17,1%, no presente estudo foi um Latossolo Vermelho, com teor de argila de 63%. Sabendo-se a importância da matéria orgânica na agregação do solo, e que a proteção física imposta pelos agregados e pelas interações organominerais são mais intensas em solos argilosos (BAYER, 1996), justificam-se os menores valores de fator C obtidos neste estudo.

Em suma, o efeito residual das pastagens deixa de se manifestar após dois anos, com valores de fator C, inclusive maiores do que os encontrados na parcela de trigo-soja em preparo convencional continuamente. Portanto, mesmo utilizando o solo por vários anos em sistema conservacionista, dois anos de preparo convencional são capazes de anular todos os benefícios gerados anteriormente. Neste mesmo raciocínio, é possível perceber a importância de descartar o primeiro ano de dados para a determinação do fator C da USLE, conforme sugerido por Wischmeier & Smith (1978), visto que o sistema pode levar inclusive mais de um ano para estabilizar.

Esses resultados servem de alerta para que se tome cuidado na transição de campos nativos para culturas anuais, onde normalmente é realizado revolvimento do solo para a incorporação de calcário. Realizando a prática da calagem, que causa a dispersão de microagregados (SPERA et al., 2008), e ainda revolvendo o solo, podem ocorrer elevadas perdas de solo caso ocorra alta erosividade, principalmente logo após o solo ser preparado. Portanto, caso a mobilização do solo seja necessária, pode-se optar em realizar essa mobilização em faixas, para que a faixa não mobilizada retenha os sedimentos transportados da faixa mobilizada, da mesma forma que ocorre no cultivo em faixas (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

#### **4 | CONCLUSÃO**

Com base em três anos de experimentação, o uso do solo com a sucessão trigo-soja em preparo convencional após pastagens gerou valores de fator C 55% menor na área com alfafa e 15% menor na área com setária, siratro e desmódio em relação a área trabalhada desde o início do experimento com sucessão trigo-soja em preparo convencional. No entanto, o efeito residual das pastagens ocorre apenas durante os dois primeiros anos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Determinação de fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p. 153-160, abr./jun. 2005.
- ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A. & REINERT, D.J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.141-151, mar. 2000.
- AMARAL, A. J. **Fator cobertura e manejo da equação universal de perda de solo para soja e trigo em um Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de manejo**. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciência Agroveterinária, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2006.
- AMARAL, A. J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul - catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 5, p.2145-2155, out. 2008.
- AUERSWALD, K. et al. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: an alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. **Catena**, Amsterdam, v. 118: 220–225, July 2014.
- BAYER, C. **Dinâmica da Matéria Orgânica em Sistemas de Manejo de Solos**. 240 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1996.
- BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1-2, 217-226, Dec. 2006.
- BERTOL, I. et al. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 133-142, fev. 2007.
- BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n. 2, p.451-461, jun. 2001.
- BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n. 2, p.545-552, jun 2002.
- CASSOL, E. A. & LIMA, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, jan. 2003.
- CASSOL, E. A. et al. Soil erodibility under natural rainfall conditions as the K factor of the universal soil loss equation and application of the nomograph for a subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.42, mai. 2018.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, set. 1998.
- DE MARIA, I. C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 263-270, 1997.
- DOMINATI, E.; PATTERSON, M. & MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural

capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, n. 9, p. 1858–1868, Jul. 2010.

EDUARDO E. N. et al. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, p.796-803, maio/jun. 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília DF: [Embrapa], 2013. 353 p.

FEPAM. **Zoneamento ambiental da silvicultura: estrutura, metodologia e resultados**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA, FEPAM, 2010. 131 p. v. 1.

FAO and ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy; 2015. 608 p.

FAO. **Desarrollo sostenible de tierras aridas y lucha contra la desertificacion: Posición de la FAO**. Rome: [FAO], 1993. 30 p.

GABRIELS, D. et al. Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 74, n.1, p. 47–53, Nov. 2003.

GUO Q. et al. Estimation of USLE crop and management factor values for crop rotation systems in China. **Journal of Integrative Agriculture**, Amsterdam, v. 14, n. 9, p. 1877–1888, Sep. 2015.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. – KÖPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): Handbuch der Klimatologie. **Gebrüder Borntrager**, Berlin, n. 1, p. 1–44, 1936. part C.

LAL, R. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria: IV. Nutrient element losses in runoff and eroded sediments. **Geoderma**, Amsterdam, v. 16, n. 5, p. 403–417, Dec. 1976.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 517-526, set. 2010.

ÖZHAN, S. et al. Cover and management factors for the Universal Soil-Loss Equation for forest ecosystems in the Marmara region, Turkey. **Forest Ecology and Management**, v. 214, n. 1-3, p. 118-123, Aug. 2005.

PROCHNOW D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 91-98, fev. 2005.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. & TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p. 645-653, set. 2001.

SANTOS J. C. N. et al. Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.11, p. 1157-1164, nov. 2014.

SILVA, A. M. & SCHULZ, H. E. Estimativa do fator C da EUPS para cobertura morta de resíduos vegetais de origem urbana para as condições de São Carlos (SP, BRASIL). **Interciencia**, Caracas, v. 26, n. 12, p. 615-618, dic. 2001.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. & CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n. 3, p. 579-585, set. 2006.

SILVA, T. S. da. **Erodibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo e fator manejo e cobertura vegetal da Equação Universal de Perdas de Solo**. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

SILVEIRA, V. H. da. **Atributos físicos de um argissolo espessarênico com cultivo de citros manejados em sistemas orgânico e convencional**. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**. New York, John Wiley & Sons, 1982. 443p.

TELLES, T. S.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. & DECHEN, S. C. F. Os custos da erosão do solo. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 287-298, abr. 2011.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

XIUBIN, H. et al. Down-scale analysis for water scarcity in response to soil-water conservation on Loess Plateau of China. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 94, n. 3, p. 355–361, Mar. 2003.

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

### Rodrigo Ribeiro Fidelis

Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Karen Cristina Leite Silva

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Ricardo de Oliveira Rocha

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Patrícia Sumara Moreira Fernandes

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Lucas Xaubet Burin

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Lucas Silva Tosta

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Natan Angelo Seraglio

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

### Geovane Macedo Soares

Universidade Federal do Tocantins. Gurupi - Tocantins

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de boro em diferentes épocas na cultura do arroz irrigado nas condições das várzeas do Sudoeste do Estado do Tocantins. Foi conduzido um experimento em Lagoa da Confusão – Tocantins, em esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições, sendo quatro cultivares de arroz de várzea (IRGA-424, IRGA-424 RI, IRGA-425 e IRGA-426) e quatro épocas de aplicação (0. ausência de aplicação de boro; 1. aplicação de boro em cobertura aos 25 DAE - dias após a emergência; 2. aplicação de boro em cobertura aos 60 DAE; 3. aplicação de boro aos 75 DAE). Foram detectadas diferenças significativas em função da interação do cultivar versus época de aplicação do boro, somente para as características grãos inteiros e produtividade de grãos de arroz. As médias de produtividade são melhores quando da adubação boratada aos 60 e 75 DAE. Os genótipos IRGA-424 RI e IRGA-425 mostraram-se mais eficientes na utilização do boro, sendo recomendados sob qualquer época de aplicação do micronutriente.

**PALAVRAS-CHAVE:** características agronômicas, micronutriente, *Oryza sativa*.

**RESUMO:** A decisão para aplicação de doses adequadas de boro na cultura do arroz é vital para o aumento da produtividade, uma vez que a cultura exige pequenas quantidades do micronutriente existindo pequeno intervalo entre a deficiência e toxicidade do elemento.

**ABSTRACT:** The decision on the application of large doses of boron in rice cultivation is vital for increased productivity, since the crop allows small amounts of micronutrients to exist between the toxicity and toxicity of the element.

The present work aimed to evaluate the effect of boron application at different times in the irrigated rice crop in the floodplain conditions of the Southwest of the State of Tocantins. An experiment was carried out in Lagoa da Confusão - Tocantins, in a 4 x 4 factorial scheme with four replicates, four rice fields (IRGA-424, IRGA-424 IR, IRGA-425 and IRGA-426) and four application of boron in the absence of boron application, application of boron in the coating at 25 DAE - days after the emergency, application of boron at 60 DAE coverage, application of boron at 75 DAE). Significant differences were detected as a function of the interaction of the cultivar versus time of application of boron, only for the characteristics of whole grains and grain yield of rice. Productivity averages are better when fertilized at 60 and 75 DAE. The genotypes IRGA-424 IR and IRGA-425 were shown to be more efficient in the use of boron and are recommended under any micronutrient application period.

**KEYWORDS:** agronomic characteristics, micronutrient, *Oryza sativa*.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os micronutrientes são de grande importância para o desenvolvimento de uma planta, estando presentes nas principais funções metabólicas dentro das células e acarretando grandes perdas na produtividade na ausência dos mesmos (CORCIOLI et al., 2016). O boro é um micronutriente importante a todos os vegetais, fazendo parte do crescimento meristemático, da estruturação da parede celular, do funcionamento da membrana celular, no transporte de auxinas, no metabolismo de carboidratos e na síntese de ácidos nucleicos, ou seja, exerce papel fundamental no desenvolvimento da planta (XAVIER et al., 2017).

Segundo Leite et al. (2011), existe uma relação direta entre o suprimento de boro e a capacidade de produção de pólen, pois o elemento afeta a microesporogênese, a germinação e particularmente o desenvolvimento do tubo polínico. É um elemento pouco móvel na estrutura da maioria das espécies vegetais e sua deficiência ocorre em tecidos de crescimento, caracterizando-se pelo superbrotamento e enrolamento das folhas, enquanto que os sintomas de toxicidade aparecem primeiro em ápices e margens de folhas velhas, através de clorose (PAVINATO et al., 2009).

O arroz (*Oryza sativa* L.) destaca-se como alimento básico para mais da metade da população mundial. É cultivado em todos os continentes, desempenhando papel estratégico no aspecto econômico e social (BORDIN et al., 2016). No Brasil, é cultivado em várzeas e terras altas, sendo que seu cultivo irrigado contribui com aproximadamente 68% da produção brasileira e ocupa cerca de 31% da área cultivada com este cereal (LOPES et al., 2016).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2018), a produtividade nacional de arroz irrigado na safra 2017/18 chegou a 7.339 kg ha<sup>-1</sup>, 3,7% menor quando comparada à safra anterior. No Tocantins a produtividade foi de 5.400 kg ha<sup>-1</sup>, 8,7% a menos se comparada à safra anterior e 26,4% menor que a produtividade nacional. A

produção de arroz irrigado no Estado ocorre no Vale do Javaés, considerada a maior área contínua para irrigação por gravidade do mundo. Diante do potencial produtivo apresentado pelo Estado em virtude das amplas áreas aptas ao cultivo do arroz irrigado, faz-se necessário a adequação da adubação a ser utilizada.

A cultura do arroz exige pequenas quantidades de boro, sendo que a decisão para aplicar doses adequadas do micronutriente é vital para o aumento da produtividade da mesma (LEITE et al., 2011), exigindo-se cautela devido o intervalo de deficiência e toxicidade ser bastante estreito (BRUNES et al., 2016). Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de boro em diferentes épocas na cultura do arroz irrigado nas condições das várzeas do Sudoeste do Estado do Tocantins.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Santa Rita, município de Lagoa da Confusão-TO (10°47'22" S, 49°37'50" W, 186 m de altitude), na safra 2015/2016, em faixas, com delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições. Aplicou-se a dose de 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de boro, na forma de bórax, via foliar, em quatro épocas (0. ausência de aplicação de boro, sendo, portanto, considerada a testemunha; 1. aplicação de boro em cobertura - 25 dias após a emergência; 2. aplicação de boro em cobertura - 60 DAE; 3. aplicação de boro 75 DAE). Foram utilizados quatro cultivares de arroz de várzea (IRGA-424, IRGA-424 RI, IRGA-425 e IRGA-426).

O resultado da análise química e física do solo na camada 0-20 cm antes da instalação do experimento foi: pH em CaCl<sub>2</sub> = 4,9; M.O.(%) = 3,5; P(Mel) = 19,4 mg dm<sup>-3</sup>; K = 210 mg dm<sup>-3</sup>; Ca+Mg = 3,6 cmol dm<sup>-3</sup>; H+Al = 3,4 cmol dm<sup>-3</sup>; Al= 0,1 cmol dm<sup>-3</sup>; SB = 3,9 cmol dm<sup>-3</sup>; V = 54%; 350,0 g kg<sup>-1</sup> de areia; 120,0 g kg<sup>-1</sup> de silte e 530,0 g kg<sup>-1</sup> de argila.

A adubação de semeadura e cobertura foi realizada de acordo com a recomendação da análise de solo sendo que na adubação de semeadura foi utilizada a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 4-20-20. As adubações de cobertura foram realizadas utilizando-se 100 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia, 70 kg ha<sup>-1</sup> de 30-0-20 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de ureia. As adubações de cobertura foram realizadas próximas ao perfilhamento efetivo, na fase de diferenciação floral e florescimento, respectivamente.

Os tratos fitossanitários foram efetuados com produtos devidamente recomendados para a cultura, de acordo com o cronograma adotado pelo produtor. O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação de herbicida (Cialofop-butilico 180 g l<sup>-1</sup> + Basagran 600 g l<sup>-1</sup>, 2 e 1,5 l de p.c. ha<sup>-1</sup>, respectivamente). O controle com fungicidas foi realizado utilizando-se Triciclazol 750 g kg<sup>-1</sup> + Tebuconazol 200 g l<sup>-1</sup>. Juntamente com a aplicação de herbicida foram aplicados 0,2 l ha<sup>-1</sup> de inseticida metoxifenoazida 240 g l<sup>-1</sup> e, juntamente com as aplicações de fungicida foram aplicados 0,3 l ha<sup>-1</sup> de inseticida esfenvalerato 40 g l<sup>-1</sup>.

Para verificar o efeito da aplicação de boro, as seguintes características foram avaliadas: altura da planta, medida em centímetros; número de panículas; número de grãos por panícula; esterilidade das espiguetas; massa de cem grãos; rendimento de grãos, determinado após limpeza e polimento dos grãos; grãos inteiros, determinado após seleção dos grãos limpos e polidos e; produtividade de grãos, determinada pelo peso de grãos da área em quilogramas, corrigido para 13% de umidade, e transformando os dados para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, com aplicação do teste F. Para comparação entre as médias de tratamentos, foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2008).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferença significativa ( $P < 0.05$ ) em função do cultivar de arroz na altura de planta, número de grãos por panícula, esterilidade de espiguetas, grãos inteiros de arroz, rendimento de grãos e produtividade de grãos. Foram detectadas diferenças significativas ( $P < 0.05$ ) em função da interação do cultivar versus época de aplicação do boro, somente para as características grãos inteiros e produtividade de grãos de arroz.

Para a característica altura de planta, era esperado que a época de aplicação do boro influenciasse na característica uma vez que o micronutriente é importante para a formação da parede celular, conferindo melhor capacidade de aumento de porte para a planta (Tabela 1).

Genótipos	Altura de planta				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	92,8	93,3	94,9	96,6	94,4 A
IRGA-426	86,1	88,3	85,0	88,6	87,0 B
IRGA-424 RI	92,8	93,3	91,0	93,5	92,7 A
IRGA-425	89,6	90,6	94,0	90,0	91,0 A
Média	90,3 a	91,4 a	91,2 a	92,2 a	

Genótipos	Número de panículas				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	162,8	146,5	159,8	151,8	155,2 A
IRGA-426	168,5	205,3	160,5	127,8	165,5 A
IRGA-424 RI	213,0	173,8	189,3	168,5	186,1 A
IRGA-425	195,8	163,5	165,0	150,8	168,8 A
Média	185,0 a	172,3 a	168,6 a	149,7 a	

	Número de grãos por panícula				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	101,5	107,4	112,1	109,7	107,7 A
IRGA-426	92,2	104,3	91,1	98,9	96,6 B
IRGA-424 RI	102,1	94,5	96,5	107,3	100,1 AB
IRGA-425	110,8	98,3	110,5	109,8	107,3 A
Média	101,7 a	101,1 a	102,6 a	106,4 a	

	Esterilidade de espiguetas				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	10,0	9,1	9,3	8,0	9,1 B
IRGA-426	8,1	7,3	9,0	7,9	8,0 B
IRGA-424 RI	15,5	13,0	11,6	12,3	13,1 A
IRGA-425	7,7	10,4	9,3	11,1	9,6 AB
Média	10,3 a	9,9 a	9,8 a	9,8 a	

Tabela 1. Médias das características altura de planta (cm), número de panículas, número de grãos por panícula e esterilidade de espiguetas (%) de quatro cultivares de arroz, cultivados em ambiente sob diferentes épocas de aplicação de boro.

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferença estatística entre as médias para os cultivares e para a época de aplicação do boro no número de panículas. Tal característica é definida entre os estádios de germinação e início do desenvolvimento da panícula (LEITE et al., 2011) e está diretamente relacionada com o número de perfilhos formados na planta, portanto o boro não foi capaz de influenciar no perfilhamento do arroz.

Quanto ao número de grãos por panícula, era esperada diferença entre as épocas de aplicação uma vez o boro estar ligado à reprodução das plantas. Não há diferença estatística entre os cultivares IRGA-424 e IRGA-425, que apresentaram as maiores médias, enquanto que IRGA-426 apresentou a menor média. Nota-se que a aplicação boratada aos 60 DAE resultou em maiores médias para os cultivares IRGA-424 e IRGA-425. Esses cultivares apresentam média de 65 dias para o início do desenvolvimento da panícula, portanto o boro foi melhor aproveitado nesse período e proporcionou melhor aporte para a planta durante a fase de diferenciação do primórdio floral, na microesporogênese e no crescimento do tubo polínico.

Observou-se diferença significativa em função do cultivar de arroz, para esterilidade de espiguetas. O cultivar IRGA-424 RI apresentou a maior média, enquanto que IRGA-424 e IRGA-426 apresentaram as menores médias. Assim como em número de grãos por panículas, era esperada diferença entre as épocas de aplicação de boro, porém observa-se que, com exceção de IRGA-425, a aplicação de boro reduziu a esterilidade

de espiguetas.

Durante o período reprodutivo temperaturas acima de 35 °C podem causar esterilidade de espiguetas (WALTER, 2014), o que pode explicar a diferença entre os cultivares uma vez que os mesmos apresentam respostas diferentes às condições ambientais e a ocorrência de temperaturas elevadas na região de cultivo. O boro pode melhorar a abertura estomática, afetando o efluxo de íons de potássio das células-guarda nas tiras epidérmicas (REHMAN et al., 2018), ou seja, mesmo nas condições estressantes de temperatura, como ocorre na região de cultivo do presente trabalho, o boro pode aumentar a capacidade da planta de lidar com esse estímulo ambiental.

Não foi observada diferença significativa para massa de 100 grãos em função do cultivar de arroz e da época de aplicação de boro (Tabela 2). Esperava-se que o boro proporcionasse maiores valores para a característica, porém, é observado que o teor de boro no solo era considerado baixo e, tendo o boro baixa mobilidade no floema, as aplicações não foram capazes de influenciar na melhor translocação de fotoassimilados para os grãos. Além disso, pode-se relacionar inversamente o número de grãos por panícula com a massa dos mesmos.

Genótipos	Massa de 100 grãos				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	2,58	2,64	2,62	2,41	2,56 A
IRGA-426	2,66	2,72	2,73	2,69	2,70 A
IRGA-424 RI	2,57	2,60	2,70	2,75	2,65 A
IRGA-425	2,57	3,39	2,67	2,61	2,81 A
Média	2,59 a	2,84 a	2,68 a	2,61 a	

Genótipos	Grãos inteiros				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	55,4 Ba	58,3 Ba	56,6 ABa	56,7 Ba	56,7 B
IRGA-426	54,6 Ba	53,2 Ca	55,1 Ba	56,6 Ba	54,9 B
IRGA-424 RI	61,6 Aab	64,5 Aa	59,7 Ab	60,9 Aab	61,7 A
IRGA-425	59,5 Aa	56,5 BCa	58,6 ABa	57,9 ABa	58,1 AB
Média	57,8 a	58,1 a	57,5 a	58,0 a	

Genótipos	Rendimento de grãos				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	71,7	72,3	71,3	71,5	71,7 AB
IRGA-426	72,3	72,3	72,4	72,1	72,3 A
IRGA-424 RI	71,0	72,4	71,7	71,5	71,7 AB
IRGA-425	71,1	71,1	71,5	71,0	71,2 B
Média	71,5 a	72,0 a	71,7 a	71,5 a	

Genótipos	Produtividade de grãos				
	Época de aplicação				
	0	1	2	3	Média
IRGA-424	71,7	72,3	71,3	71,5	71,7 AB
IRGA-426	72,3	72,3	72,4	72,1	72,3 A
IRGA-424 RI	71,0	72,4	71,7	71,5	71,7 AB
IRGA-425	71,1	71,1	71,5	71,0	71,2 B
Média	71,5 a	72,0 a	71,7 a	71,5 a	

IRGA-424	6.051,5 ABc	8.691,2 Aa	5.842,6 Cc	7.022,1 Ab	6.901,8 A
IRGA-426	5.639,7 Bbc	5.522,1 Cc	6.522,1 Ba	6.128,7 Bab	5.953,1 B
IRGA-424 RI	5.492,7 Bc	5.801,5 Cbc	6.077,2 BCab	6.643,4 ABa	6.003,7 B
IRGA-425	6.242,6 Ab	7.095,6 Ba	7.125,0 Aa	6.838,2 Aa	6.825,4 A
Média	5.856,6 b	6.777,6 a	6.391,7 a	6.658,1 a	

Tabela 2. Médias das características massa de 100 grãos (g), grãos inteiros (%), rendimento de grãos (%) e produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de quatro cultivares de arroz, cultivados em ambiente sob diferentes épocas de aplicação de boro.

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto à porcentagem de grãos inteiros, quando não houve aplicação de boro, os cultivares que apresentaram maiores porcentagens foram IRGA-424 RI e IRGA-425. O cultivar IRGA-424 RI destacou-se também quando a aplicação ocorreu aos 25, 60 e 75 DAE, enquanto que IRGA-426 obteve a menor média nas três condições. Nota-se que o uso do boro não resultou em aumento das médias para os cultivares avaliados.

A qualidade do grão do arroz é fator fundamental para sua comercialização, visto que grãos inteiros e sem defeito possuem maior valor de mercado (LONDERO et al., 2015). Sendo assim, a cultivar IRGA-424 RI é a mais recomendada quanto a essa característica. Ainda, as aplicações mais tardias não resultam em incremento da característica para a cultivar citada. A mesma apresenta média de 100 dias para florescimento, portanto pode-se afirmar que é eficiente em aproveitar o boro para aumento da qualidade dos grãos na aplicação mais precoce.

Segundo Brunet et al. (2016), o boro é importante na formação da parede celular, mais especificamente na síntese de componentes, como a pectina, a celulose e a lignina, e no transporte de carboidratos. Apesar de não ter-se observado aumento na porcentagem de grãos inteiros pela interação do cultivar com a época de aplicação do boro nota-se que existem diferenças significativas, ressaltando a importância do boro para a característica. A temperatura ambiente do ar durante o enchimento de grãos é capaz de afetar drasticamente a qualidade e rendimento de grãos inteiros (LONDERO et al., 2015), o que pode explicar a estabilidade das médias para a característica citada.

O cultivar IRGA-426 foi o único a se diferir significativamente de IRGA-425 para a característica rendimento de grãos de arroz (Tabela 2). O rendimento de inteiros é um parâmetro importantíssimo para determinar o valor de comercialização da cultura do arroz, significando a quantidade de grãos inteiros que se obtém após o beneficiamento industrial dos grãos de arroz (GARCIA et al., 2015).

Quanto à produtividade de grãos de arroz (Tabela 2), verifica-se que com a aplicação boratada realizada aos 25 DAE, o cultivar IRGA-424 apresentou a maior média, enquanto que IRGA-424 RI e IRGA-426 apresentaram as menores médias e não diferiram significativamente. Já para aplicação aos 60 DAE, o cultivar IRGA-425 apresentou a maior produtividade de grãos, enquanto que IRGA-424 apresentou a

menor média.

Quando a aplicação de boro ocorreu aos 75 DAE, os cultivares IRGA-424 e IRGA-425 alcançaram as maiores médias e não diferiram significativamente, enquanto que IRGA-426 obteve a menor média. Observa-se que a aplicação de boro resulta em aumento na produtividade de grãos dos cultivares IRGA-424 RI e IRGA-425.

O aumento na produtividade de grãos foi notado com maior expressão quando a aplicação boratada ocorreu aos 60 e aos 75 DAE. Os cultivares utilizados apresentam média de 60 dias para o início do estágio reprodutivo, o que pode explicar as maiores médias de produtividade de grãos nas épocas de aplicação citadas, pois segundo Oliani et al. (2011) o boro apresenta baixa mobilidade no floema, estando mais disponível para a planta. Ainda, segundo Lemiska et al. (2014) a aplicação boratada via foliar aumenta os teores de boro nas partes reprodutivas. A capacidade de influência do boro no processo de fertilização do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico também são fatores determinantes para o aumento da produção de grãos (LIMA et al., 2013).

## 4 | CONCLUSÕES

O boro resultou em maiores produtividades;

As maiores produtividades foram alcançadas com adubação boratada aos 60 e 75 DAE;

Os genótipos IRGA-424 RI e IRGA-425 mostraram-se mais eficientes na utilização do boro, sendo recomendados sob qualquer época de aplicação do micronutriente.

## REFERÊNCIAS

BORDIN, L. C.; CASA, R. T.; MARCUZZO, L. L.; BOGO, A.; ZANCAM, R. L. **Efeito da aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de arroz irrigado e sua relação com o rendimento industrial**. Summa Phytopathologica, v. 42, n. 1, p. 85-88, 2016.

BRUNES, A. P.; MENDONÇA, A. O.; OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; LEITZKE, I. D.; VILLELA, F. A. **Produção, qualidade e expressão isoenzimática de semente de trigo produzidas sob diferentes doses de boro**. Revista Brasileira de Biociências, v.14, n.3, p. 137-144, 2016.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/18, décimo levantamento**. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/21088\\_8ca248b277426bb3974f74efa00abab6](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/21088_8ca248b277426bb3974f74efa00abab6)>. Acesso em: 09 ago 2018.

CORCIOLI, G.; BORGES, J. D.; JESUS, R. P. **Deficiência de macro e micronutrientes em mudas maduras de *Khaya ivorensis* estudadas em viveiro**. Cerne, v. 22, n. 1, p. 121-128, 2016.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística**. Revista Symposium, v. 6, n. 2, p. 36 - 41, 2008.

GARCIA, N. F. S.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, M.; PENTEADO, M. S. **Rendimento e**

**qualidade de grãos de arroz de terras altas em função de doses e modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*.** Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 21, p. 1653-1651, 2015.

LEITE, R. F. C.; SCHUCH, L. O. B.; AMARAL, A. S.; TAVARES, L. S. **Rendimento e qualidade de sementes de arroz irrigado em função da adubação com boro.** Revista brasileira de sementes, v. 33, n. 4, p. 785-791, 2011.

LEMISKA, A.; PAULETTI, V.; CUQUEL, F. L.; ZAWADNEAK, M. A. C. **Produção e qualidade da fruta do morangueiro sob influência da aplicação do boro.** Ciência Rural, v.44, n.4, p. 622-628, 2014.

LIMA, M. L.; CARDOSO, F. R.; GALANTE, A. H. A.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; ALVES, S. M. F. **Fontes e doses de boro na qualidade de sementes de feijão-comum e mamona sob consórcio.** Revista Caatinga, v. 26, n. 4, p. 31-38, 2013.

LONDERO, G. P.; MARCHESAN, E.; PARISOTTO, E.; COELHO, L. L.; ARAMBURU, B. B.; FLORES, C. S.; SILVA, A. L. **Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita.** Irriga, v. 20, n. 3, p. 587-601, 2015.

LOPES, M. B. S.; SILVA, F. R.; ZELLMER, V. A.; ALVES, P. M.; FIDELIS, R. R. **Adubação potássica na cultura do arroz em solos arenosos de várzea tropical.** Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, v. 9, n. 3, p. 27-33, 2016.

OLIANI, D.; TEIXEIRA, C. M.; BONILHA, M. A. F. M.; CASSIA, M. T. **Adubação foliar com boro e manganês na cultura do feijão.** FAZU em Revista, n.8, p. 9-14. 2011.

PAVINATO, P. S.; AGUIAR, A.; CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. **Boro em arroz de terras altas cultivado em solução nutritiva.** Bragantia, v. 68, n. 3, p. 743-751, 2009.

REHMAN, A. U.; FAROOQ, M.; RASHID, A.; NADEEM, F.; STUERZ, S.; ASCH, F.; BELL, R. W.; SIDDIQUE, K. H. M. **Boron nutrition of rice in different production systems. A review.** Agronomy for Sustainable Development, v. 38, n. 3, p. 1-24, 2018.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.; FERRAZ, S. E. T.; CERA, J. C. **Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, n. 12, p. 915-924, 2014.

XAVIER, C. V.; NATALE, W. **Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2017.

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

**Késia Rodrigues Silva Vieira**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Luís - Maranhão

**Yasmin Sampaio Muniz**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

**Erik George Santos Vieira**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Luís - Maranhão

**Marlen Barros e Silva**

Universidade Estadual do Maranhão,  
Departamento de Engenharia Agrícola  
São Luís - Maranhão

**João Firminiano da Conceição Filho**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Luís – Maranhão

**Deysiele Viana de Oliveira**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Luís - Maranhão

**RESUMO:** O município de Anapurus encontra-se na região leste do Estado do Maranhão, inserido no Bioma Cerrado, seriamente ameaçado pela crescente expansão das atividades agrícolas para implantação de grandes monoculturas, entre elas o eucalipto e a soja. A expansão do agronegócio no Bioma Cerrado tem trazido, entretanto, profundas alterações no cenário socioeconômico e ambiental da região, razão pela qual se justifica o presente estudo,

cujo objetivo principal é o de compreender a dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus (MA) entre os anos de 1980 e 2015. Para tanto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na análise multitemporal da dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal, correlacionando-se tais dados com a evolução socioeconômica do município. Constatou-se que houve a substituição da vegetação nativa do Campo Cerrado – sendo este bioma o mais afetado devido à elevada supressão vegetal para implantação das áreas de soja e eucalipto no município, e também, que houve impactos ambientais negativos, sendo estes resultados da expansão do agronegócio na região. Por fim, o uso de geotecnologias mostrou-se extremamente importante para o planejamento de controle ambiental vinculado ao desenvolvimento socioeconômico.

**PALAVRAS - CHAVE:** Análise multitemporal, vegetação, mapeamento

**ABSTRACT:** The municipality of Anapurus is located in the eastern part of the State of Maranhão, within the Cerrado Biome, seriously threatened by the growing expansion of agricultural activities for the implementation of large monocultures, including eucalyptus and soybeans. The expansion of agribusiness in the Cerrado Biome has, however, brought about

profound changes in the socioeconomic and environmental scenario of the region, which is why the present study is justified, whose main objective is to understand the dynamics of soil use and vegetation cover of the municipality of Anapurus (MA) between the years of 1980 and 2015. For this, geoprocessing and remote sensing techniques were used in the multitemporal analysis of soil use dynamics and vegetation cover, correlating such data with the socioeconomic evolution of the municipality. It was verified that with the substitution of the native vegetation of the Cerrado Field - this biome being the most affected due to the high vegetation suppression for implantation of the soybean and eucalyptus areas in the municipality. Negative environmental impacts were the result of agribusiness expansion in the region. Finally, the use of geotechnologies proved to be extremely important for environmental control planning linked to socioeconomic development.

**KEYWORDS:** Multitemporal analysis, vegetation, mapping

## 1 | INTRODUÇÃO

A crescente necessidade do homem em conhecer a dinâmica do meio ambiente com o fim de manejá-lo da forma mais racional possível torna o mapeamento do uso do solo e a análise da cobertura vegetal ferramentas extremamente importantes nos processos de preservação e conservação dos recursos naturais. Para diversos pesquisadores (NASCIMENTO & GARCIA, 2004), o mapeamento do uso e cobertura do solo ao longo do tempo possibilita a construção de cenários ambientais e indicadores que servem de subsídios para a avaliação da capacidade de suporte ambiental de uma determinada região de forma a direcionar a adoção de estratégias de manejo com vistas ao desenvolvimento sustentável.

A avaliação multitemporal do uso e ocupação dos solos de uma determinada região consiste em conhecer a forma com que determinada área vem sendo utilizada ao longo de um determinado período de tempo, permitindo uma caracterização das interações antrópicas com o meio ambiente e constitui uma representação espacial dessas interações. Além de contribuir para o entendimento da distribuição espacial das principais atividades econômico-produtivas desenvolvidas em uma região, a caracterização do uso e ocupação dos solos ajuda na compreensão das interrelações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico (NASCIMENTO & GARCIA, 2004).

Rosa (1990) postula que a identificação do uso e ocupação da terra é de suma importância para a compreensão do meio natural visando à organização do espaço natural cada vez mais alterado pela ação humana e pelo desenvolvimento de tecnologias que facilitam o trabalho rural. Os constantes registros do monitoramento das formas de uso e seus registros tornam possível a projeção de tendências importantes para o planejamento regional (ROSA, 1990). Assad & Sano (1988) destacam que a realização do monitoramento da paisagem de uma dada região é fator primordial no planejamento

racional de utilização da terra, face principalmente à velocidade de ocupação do espaço físico e ao pouco conhecimento dos recursos naturais nela existentes.

O uso de imagens de sensores remotos tem sido de grande utilidade na medida em que estas fornecem informações acerca dos diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, de grande valia na compreensão das dinâmicas dos processos de mudanças no uso e na cobertura da terra, assim como seus impactos socioambientais. Com a sistematização, por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, das informações disponíveis em um banco de dados especial, é possível o planejamento dos recursos naturais considerando as exigências e restrições inerentes a cada território (VIEIRA & TAGLIANI, 2001). Para Brito (2005), o levantamento multitemporal do uso e ocupação dos solos torna-se uma ferramenta importante para planejadores e legisladores, pois, ao verificar a utilização do solo em determinada área, pode-se elaborar uma melhor política de uso do solo para o desenvolvimento da região. Sebusiani & Bettine (2011) ressaltam, entretanto, que a utilização do espaço geográfico como recurso de gestão ambiental só é possível se os tomadores de decisões sobre a ordenação territorial forem conscientizados de forma a influir decisivamente na melhoria da relação sociedade/espaço. No caso do uso da terra e da cobertura vegetal, a utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto contribui para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, validação de projetos conservacionistas, diagnose de processos de degradação vegetal natural e outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação (ROSENDO & ROSA, 2007). Para Grigio (2003), o sensoriamento remoto é uma ferramenta imprescindível na redução de custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais. O grande interesse de uso de imagens de Sensoriamento Remoto advém da temporalidade das informações juntamente com seu relativo baixo custo, quando se busca informações de uso e cobertura do solo.

O bioma Cerrado vem sendo encarado como a fronteira agrícola brasileira, principalmente por estar localizado próximo aos grandes centros industriais e por apresentar terras com topografia plana, apresentando-se com as maiores taxas e o mais rápido processo de expansão de fronteiras agrícolas do país, atraindo grande parte da agroindústria nacional (SPÍNOLA et al., 2007).

No Maranhão, a exploração agrícola em áreas de Cerrado teve início a partir da década de 1980 com uma mudança significativa na agricultura da região pela implantação da monocultura da soja em detrimento das lavouras temporárias tradicionais de arroz, milho, feijão e mandioca (LEMOS, 2001).

Dentre os municípios que compõem a nova fronteira agrícola do Estado localizada na microrregião de Chapadinha que já foram incorporados ao processo produtivo agroindustrial, encontra-se o município de Anapurus.

A expansão das áreas de monocultura e pecuária nas áreas de Cerrado no município de Anapurus e seu entorno, entretanto, tem sido uma preocupação constante

diante da velocidade das alterações que vêm transformando rapidamente o cenário produtivo da região, até então baseado em atividades agroextrativistas de baixo padrão tecnológico (ANDRADE et al., 2013).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo geral compreender a dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus (MA) entre os anos de 1980 e 2015 através da utilização de técnicas de geoprocessamento.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

#### 2.1.1 Localização

O município de Anapurus está compreendido na microrregião de Chapadinha, no leste Maranhense, entre as coordenadas 03°44'42" e 03°22'56" de Latitude Sul e 43°18'48" e 42°57'29" de Longitude Oeste, distante cerca de 280 km da capital São Luís. O município possui uma área total de aproximadamente 608,296 km<sup>2</sup> e uma população, segundos dados da mais recente pesquisa do Censo Demográfico (IBGE, 2010) de 13.939 habitantes com uma estimativa de chegar a 15.286 habitantes em 2015.

#### 2.1.2 Clima do Município

O clima que predomina no município é o Aw-tropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen, com média pluviométrica anual entre de 1.704mm e duas estações bem definidas: uma seca (inverno) e outra chuvosa (verão). A estação chuvosa, que se estende de dezembro a maio, concentra o maior volume de chuvas em março, com uma média mensal de 357mm, enquanto que a estação seca se estende de junho a novembro, sendo o mês de agosto o que apresenta o menor índice pluviométrico (BDMEP, 2016).

As temperaturas variam entre 26,1°C e 28,3°C, sendo o mês mais quente o de outubro e o de temperaturas mais amenas, o de junho.

#### 2.1.3 Vegetação primária

A vegetação que se destaca é constituída por cerrado com floresta aberta e presença de babaçu e por campos cerrados com pastagem natural, os quais são formações essencialmente campestres com árvores ou arvoretas esparsas. Em certas áreas os campos cerrados apresentam um tapete graminóide com cobertura arbórea esparsa de uma só espécie (ANDRADE et al., 2013).

#### 2.1.4 Hidrografia

O município de Anapurus está localizado geograficamente entre três importantes bacias hidrográficas, a saber: Bacia Hidrográfica do Rio Munim – com maior extensão; Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças e a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba.

#### 2.1.5 Geologia

De acordo com a GEPLAN (2002), o município de Anapurus encontra-se sobre duas Formações Geológicas: a Formação Itapecuru (Ki), do Cretáceo Inferior e o Grupo Barreiras (TQb), do Terciário.

A Formação Itapecuru (Ki), que aflora na porção norte do município de Anapurus, recobre cerca de 50% do Maranhão, ocupando toda a metade norte do Estado. Constituída quase que exclusivamente por arenitos finos, cinzas, avermelhados e róseos, argilosos, a Formação Itapecuru apresenta estratificações cruzadas e silicificações intercaladas a leitos de siltitos e folhelhos cinza-esverdeados (BRASIL, 1973).

Sobreposto à Formação Itapecuru e assentado discordantemente sobre esta encontra-se o Grupo Barreiras dominando a porção sul do município, constituído por rochas sedimentares clásticas, mal selecionadas e pouco litificadas, incluindo conglomerados, siltitos a arenitos com cores variando do amarelo ao vermelho (MDA, 2005).

#### 2.1.6 Solos

Segundo a EMBRAPA (1986) a cobertura pedológica de Anapurus é por constituída por Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Plintossolos.

Os Latossolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, profundos, com horizonte B latossólico espesso (> 50 cm) e sequência de horizontes A, B e C com pequena diferenciação entre os mesmos. Formados sob condições de avançado estágio de intemperização, os Latossolos são bem acentuadamente drenados com textura variando de média a muito argilosa no horizonte B. Apresentam fertilidade natural muito baixa, expressa pela baixa capacidade de troca catiônica, acidez elevada, saturação por alumínio comumente alta e valores muito baixos de soma e saturação por bases. Compreendem a classe dominante nas áreas de chapadas, onde as condições de relevo plano e suave ondulado favorecem a sua utilização agrícola, desde que sejam corrigidas as deficiências de nutrientes (OLIVEIRA et al., 1992), o que lhes confere ótimo potencial agrícola.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos compreendem solos minerais não hidromórficos que têm como característica principal a presença de um horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A ou E com argila de atividade baixa,

podendo ainda ter argila de atividade alta desde que conjugada ao caráter alumínico e/ou à saturação por bases menor do que 50% (EMBRAPA, 2013). Com textura média e argilosa, situam-se principalmente nas encostas de colinas ou outeiros, ocupando também topos de chapadas onde ocorrem associados aos Latossolos. Em razão do incremento de argila em profundidade, apresentam suscetibilidade à erosão hídrica requerendo a adoção de práticas conservacionistas a fim de evitar perdas de solos, fertilizantes e de corretivos por erosão.

De menor ocorrência no município, os Plintossolos compreendem solos de textura média a argilosa formados sob condições de restrição à percolação d'água, imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam por apresentar horizonte plíntico no perfil (EMBRAPA, 1986). Na área estudada, os Plintossolos são predominantemente álicos e distróficos, de baixa fertilidade natural e acidez elevada. Sua aptidão agrícola depende sobretudo da reserva de nutrientes e da profundidade e volume da plintita no perfil.

## 2.2 Análise multip temporal das imagens de 1985, 2005 e 2015

No presente estudo, foi realizada uma análise multitemporal de imagens de satélite TM-LANDSAT 5 referentes à órbita e ponto 220/62. As imagens, datadas de julho/1985, agosto/2000 e outubro 2015 em composição colorida RGB (bandas 3, 4 e 5) (**Figuras 1, 2 e 3**) foram adquiridas gratuitamente no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, disponíveis para download no formato *Geo Tiff*, sendo o semestre do ano a época escolhida pelo menor recobrimento de nuvens.

Para o georreferenciamento das imagens e processamento digital dos dados, utilizou-se o Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas-SPRING, versão 4.3.3, desenvolvido pelo INPE, onde as imagens foram georreferenciadas para o sistema de coordenadas geográficas. Por meio do software Spring 4.3.3, realizou-se inicialmente a técnica de Manipulação de Contraste, que consiste em melhorar a qualidade visual das imagens para facilitar o trabalho de interpretação. A partir das imagens obtidas por sensores eletrônicos, originalmente processadas em preto e branco, foram geradas composições coloridas associando duas ou três imagens às cores primárias azul, verde e vermelho. Nas imagens de satélites foram utilizadas composições coloridas com as cores azul (blue), verde (green) e vermelho (red) nas bandas 3, 4 e 5.

Por fim, realizou-se a Classificação Supervisionada das imagens, realizada manualmente por interpretação das imagens em tela, considerando as propriedades básicas das imagens de satélite tais como cor, textura e forma.

A interpretação visual foi realizada inicialmente na imagem de 2015 e posteriormente nas de 2000 e 1985. Para tanto, utilizaram-se as informações colhidas durante uma ida a campo, em março de 2016, quando o município e seu entorno foram

percorridos a fim de coletar informações necessárias para a interpretação visual das imagens, sendo os pontos observados georreferenciados por meio de um receptor de GPS de navegação com precisão de  $\pm 3$  metros, segundo o fabricante. Cinco classes temáticas de uso do solo e cobertura vegetal foram identificadas e nomeadas segundo a terminologia da EMBRAPA (2013): Campo Cerrado; Vegetação secundária + Transição Cerrado/ Mata dos Cocais; Zona Ripária; Agropecuária e Núcleo Urbano. A associação das classes de Vegetação Secundária com as áreas de Transição Cerrado/ Mata dos Cocais foi realizada diante da dificuldade de separação das referidas classes em razão da escala trabalhada.

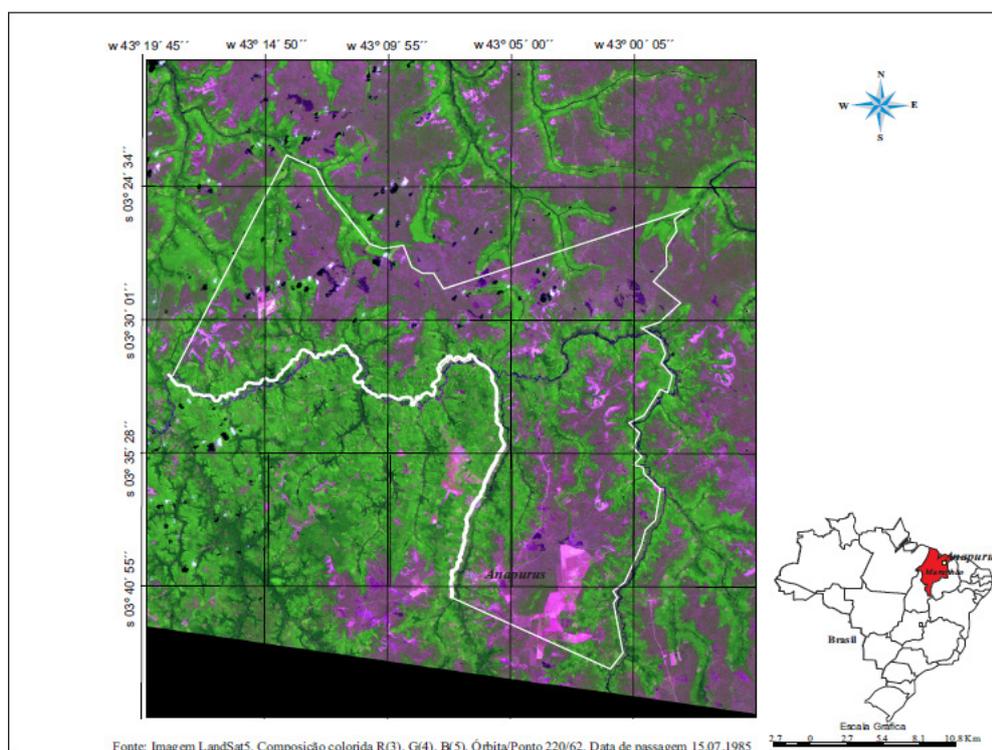


Figura 1 - Composição colorida (bandas 3, 4, e 5) da imagem Landsat 5 do município de Anapurus (MA) no ano de 1985.

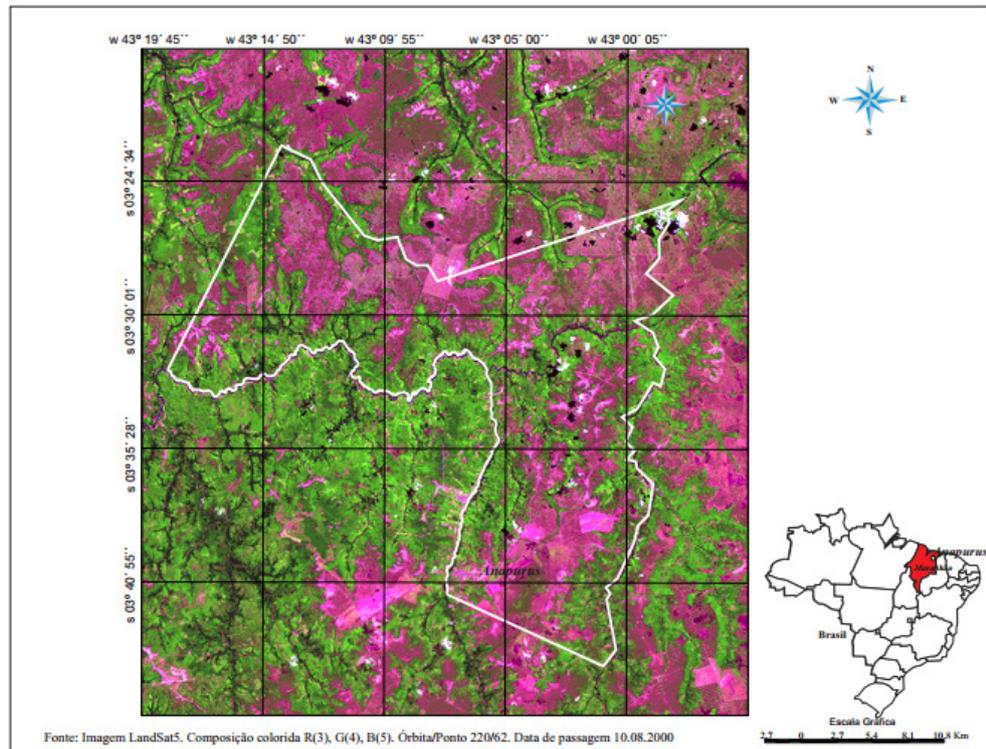


Figura 2 - Composição colorida (bandas 3, 4, e 5) da imagem Landsat 5 do município de Anapurus (MA) no ano de 2000.

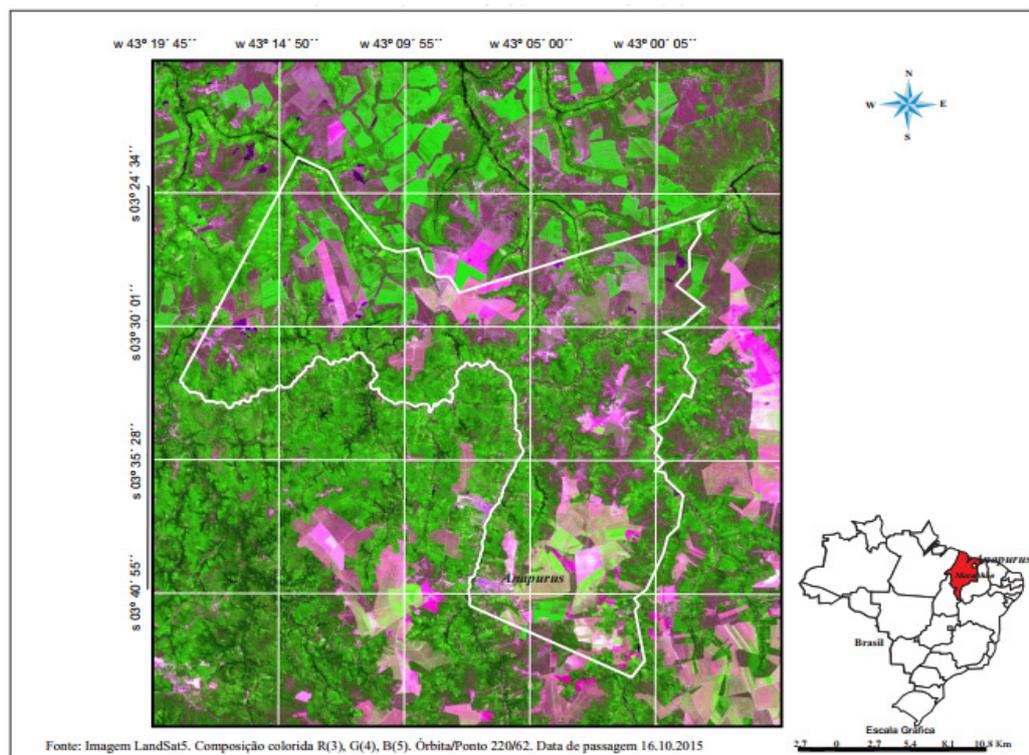


Figura 3 - Composição colorida (bandas 3, 4, e 5) da imagem Landsat 5 do município de Anapurus (MA) no ano de 2015.

Na **Figura 4** encontra-se a chave utilizada para a interpretação das imagens e classificação do uso do solo e cobertura vegetal do município.

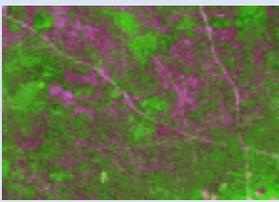
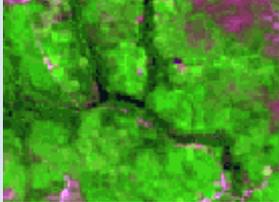
Classe	Imagem Landsat	Coordenadas	Fotografias de campo
Campo Cerrado		Lat: 03° 22' 24" Long: 42° 57' 51"	
Vegetação secundária + Transição Cerrado/ Mata dos Cocais		Lat: 04° 14' 22" Long: 44° 06' 36"	
Zona Ripária		Lat: 03° 30' 25" Long: 43° 13' 56"	
Agropecuária		Lat: 03° 27' 49" Long: 43° 11' 05"	
Núcleo Urbano		Lat: 03° 40' 32" Long: 43° 06' 27"	

Figura 4 - Chave de interpretação para classificação do uso do solo e cobertura vegetal.

Posteriormente, as áreas delimitadas na imagem foram ajustadas e poligonalizadas. Ao término da edição de todas as classes, tornou-se possível o cálculo das Medidas de Classes a fim de comparação de áreas entre os planos de informação (PI's) interpretados nas imagens.

As cartas de uso do solo e cobertura vegetal do município foram confeccionadas no software CorelDraw X6. Os softwares e hardwares utilizados foram os do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do processamento e classificação digital das imagens do município de Anapurus (MA) nos anos de 1985, 2000 e 2015 foi possível a definição de cinco classes de uso da terra nos 60.847,69 ha da área estudada. (**Tabela 1**).

Classes de uso do solo e cobertura vegetal	1985		2000		2015		Diferença (%) 1985-2015
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Campo Cerrado	24.369,50	40,05	23.176,89	38,09	12.893,63	21,19	-18,86
Vegetação Secundária + Transição Cerrado/ Mata dos Cocais	32.644,79	53,65	32.437,90	53,31	24.618,98	40,46	-13,19
Zona Ripária	1.338,65	2,20	809,27	1,33	571,97	0,94	-1,26
Agropecuária	2.458,25	4,04	4.362,78	7,17	22.544,07	37,05	+ 33,01
Núcleo Urbano	36,51	0,06	60,85	0,10	219,05	0,36	+ 0,30
<b>TOTAL</b>	<b>60.847,69</b>	<b>100,00</b>	<b>60.847,69</b>	<b>100,00</b>	<b>60.847,69</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>

Tabela 1 - Classes de uso do solo e cobertura vegetal de Anapurus (MA) nos anos de 1985, 2000 e 2015.

De acordo com os dados apresentados na tabela acima, verifica-se que a classe de Vegetação Secundária + Transição Cerrado/Mata dos Cocais, a qual engloba as áreas de capoeira e transição entre a mata dos cocais (babaçu) e o cerrado é predominante em Anapurus nos três anos avaliados apresentando, entretanto, redução significativa na ordem de 13%, correspondendo a cerca de 8.025 ha. A redução das áreas de Vegetação Secundária + Transição Cerrado/Mata dos Cocais foi acompanhada também da redução das áreas de Campo Cerrado, as quais passaram de aproximadamente 24.369 ha em 1985 para 12.893 ha em 2015, significando uma retração de quase 20% na área recoberta por essa vegetação. No mesmo período período, houve expansão significativa da classe Agropecuária que passou de 2.458,25 ha para 22.544,07 ha, representando um crescimento de 33%. As alterações nas classes de uso do solo e cobertura vegetal do município podem ser observadas nas **Figuras 5 a 7**, a seguir.

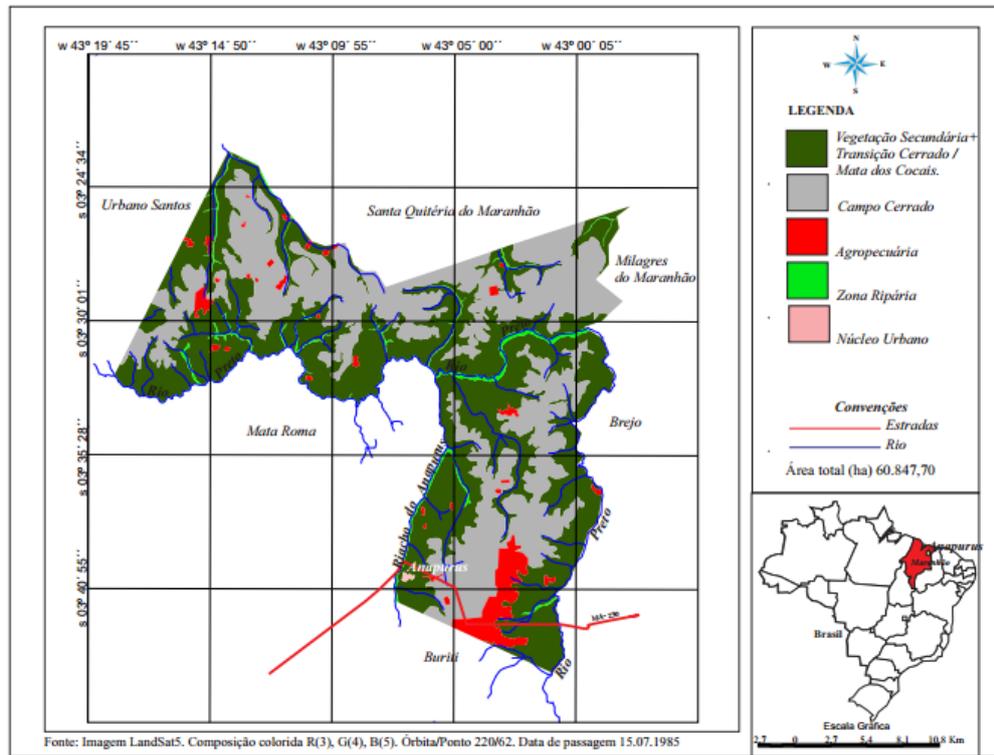


Figura 5 - Carta de uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus (MA) no ano de 1985.

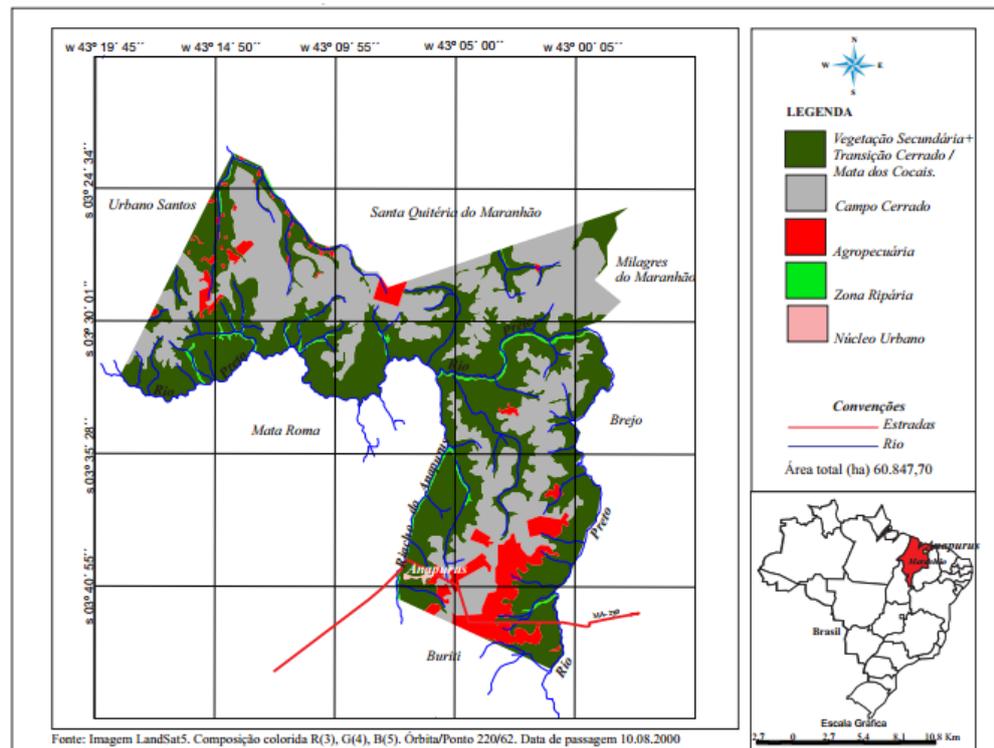


Figura 6 - Carta de uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus (MA) no ano de 2000.

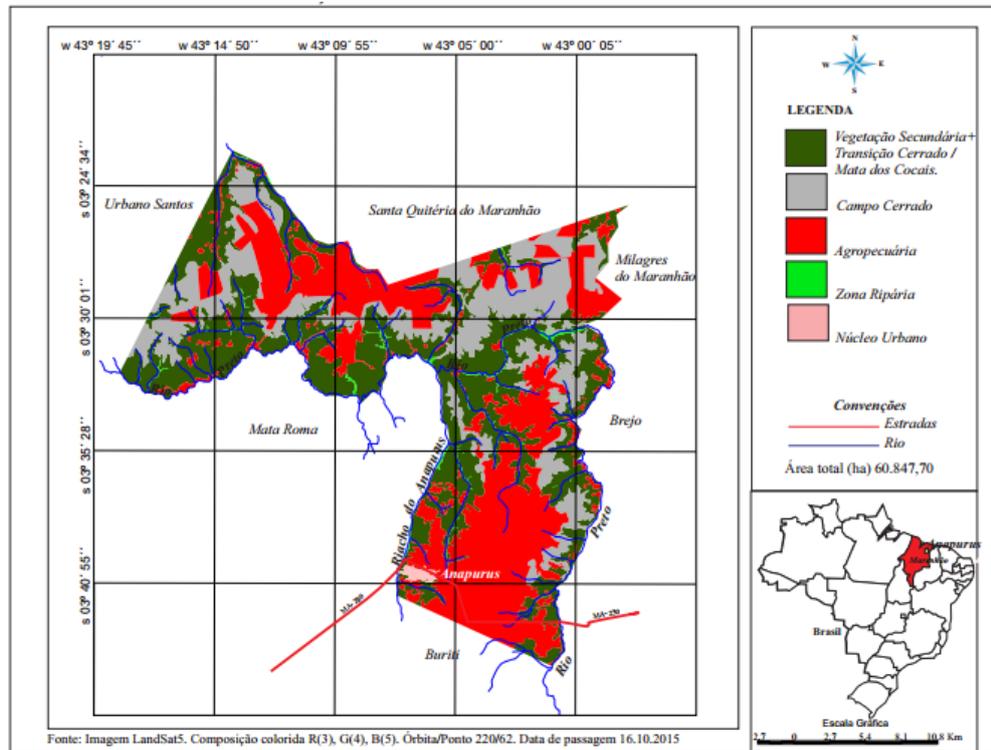


Figura 7 - Carta de uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus (MA) no ano de 2015.

Como pode ser observado nas cartas de uso do solo e cobertura vegetal (Figuras 5, 6 e 7) a maior expansão da classe Agropecuária, a qual engloba áreas de pastagem e de agricultura (lavouras temporárias e lavouras permanentes) deu-se principalmente pela incorporação de áreas anteriormente cobertas pela vegetação natural de Campo Cerrado, que passaram a ser rapidamente convertidas em áreas agrícolas sobretudo a partir de 1990, quando agricultores chegados em sua maioria do sul do país introduziram no município uma agricultura altamente tecnificada voltada à produção de soja e eucalipto.

A expansão da cultura da soja nas áreas de Campo Cerrado só foi possível devido a incentivos governamentais como, por exemplo, o Programa de Desenvolvimento Agrícola do Cerrado-PRODECER, criado em 1974 no governo do então Presidente do Brasil Ernesto Geisel. O principal objetivo do PRODECER era o de estimular e desenvolver a implantação de uma agricultura moderna, eficiente e empresarial de médio porte na região dos Cerrados com vistas ao seu desenvolvimento, mediante a incorporação de áreas ao processo produtivo, dentro de um enfoque sustentável. O sucesso alcançado pelo programa levou à sua continuidade fazendo com que em 1995 fosse lançada a sua terceira etapa, o PRODECER III, na qual os estados do Maranhão e Tocantins foram incluídos.

Um dos pilares do propagado desenvolvimento dos Cerrados pelo PRODECER foi o cultivo de grãos baseado em um modelo empresarial, motivado pelo desejo de exportação principalmente da cultura da soja e de ampliação de saldos comerciais, expandindo essa cultura para os municípios do sul e leste maranhense (SCHLESINGER

et al., 2008; CAMPOS, 2010; BOTELHO & DINIZ, 2012; RODRIGUES, 2014).

Para Santos (2008), o desenvolvimento de um conjunto de tecnologias que transformaram o Cerrado (anteriormente improdutivo) em áreas com potencial para o cultivo da soja, foi igualmente essencial para o alavancamento dessa oleaginosa. Entretanto, como não poderia deixar de ser, a substituição da vegetação original de Cerrado pela monocultura da soja trouxe problemas de ordem social e ambiental.

Ainda em relação à evolução do uso do solo e cobertura vegetal, percebe-se que a classe Zona Ripária, como pode ser identificada nas cartas de uso do solo e cobertura vegetal (Figuras 11, 12 e 13), apresentou uma redução ao longo do período dos 30 anos analisados, passando de cerca de 1.338 ha em 1985 para 572 ha em 2015.

No caso da classe Núcleo Urbano, ao se observar as cartas de uso do solo e cobertura vegetal e os dados da Tabela 1, verifica-se uma expansão ao longo do período dos 30 anos analisados, que passou de 36,51 ha em 1985 para 219,05 ha em 2015.

#### **4 | CONCLUSÕES**

Através da análise do estudo multitemporal do município de Anapurus ao longo de uma série de 30 anos (entre 1985 e 2015), foi possível comprovar que a grande expansão da agropecuária no município deu-se principalmente pela incorporação de áreas anteriormente cobertas pela vegetação natural de Campo Cerrado e Zona Ripária. A partir dessas evidências, percebe-se o quanto é preocupante o processo de ocupação e uso do solo no Cerrado, visto que este bioma encontra-se atualmente fragilizado e com níveis extremamente elevado de degradação, em decorrência da substituição indiscriminada da cobertura vegetal inicial por extensas áreas de monocultura.

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto se mostraram adequadas aos objetivos propostos, demonstrando serem eficientes no controle ambiental vinculado ao planejamento do desenvolvimento econômico de uma dada região, sendo uma maneira de controle da devastação que ocorre de maneira indiscriminada no município estudado. O planejamento contribui para transformar a natureza de uma forma economicamente viável, através de uma busca de desenvolvimento tecnológico ligado a uma consciência ambiental e social.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.B. de; CARVALHO, A.O. de; REGO, C.A.R.M.; DIAS, C.W.S.; CHAGAS, L.C.; ROCHA, S.F.; MARINHO, T.R.S.; BRITO, D.R.B. Distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal e uso do solo do município de Anapurus - MA. Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura. 2.ed, rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SP/Embrapa-CPAC, 1998.
- BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 17/05/2016
- BOTELHO, A.C.; DINIZ, J.S. A produção da soja em territórios tradicionais da agricultura familiar na Microrregião de Chapadinha, Maranhão. ISSN 1983-487X. UFU, 2012.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL: Folha SA. 23 São Luís e parte da Folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de Recursos Minerais, 3).
- BRITO, J.L.S. Análise temporal do uso do solo e cobertura vegetal do município de Uberlândia-MG, utilizando imagens ETM+/LANDSAT7. Sociedade & Natureza, 17 (32): 37-46, jun de 2005.
- CAMPOS, M.C. O papel do estado brasileiro na expansão do complexo da soja. Colômbia, 2010. XII Coloquio internacional de Geocrítica. Las interdependencias y construcción de estados nacionales: poder, territorialización, siglos XIX-XX.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986. 964 p. (Embrapa. SNLCS. Boletim de Pesquisa, 35); (Brasil. SUDENE. DRN. Série Recursos de Solos, 17).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. rev. ampl. – Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.: il. color.
- GEPLAN - Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Atlas do Maranhão. Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. São Luís: GEPLAN. 2002.
- GRIGIO, A.M. Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, Natal, 2003. 222 p. (Dissertação de Mestrado).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto do Município de Anapurus, ano 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=210080&idtema=103&search=maranhaolanapurusproduto-interno-bruto-dos-municipios-2010>. Acesso em: 01/06/2016.
- LEMOS, J. de J.S. O Cultivo da soja no sul do Maranhão: Implicações ambientais, sociais e econômicas. Mimeo, 11 p., 2001. Disponível em:< [http://www.confearg.org.br/media/livro\\_cerrado.pdf](http://www.confearg.org.br/media/livro_cerrado.pdf)>. Acesso em: 17/04/2016.
- MDA - Ministério de Desenvolvimento Agrário. Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável. São Luís (Ma). Maio, 2005.
- NASCIMENTO, P.S.R.; GARCIA, G.J. Atualização do mapa de vegetação natural e do uso da terra na

sub bacia do baixo Piracicaba (SP) com o auxílio de imagens TM/Landsat-5. Estudos Geográficos, Rio Claro, 2(2): 31-45, 2004.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992, 201 p.

RODRIGUES, S.J.D. Dinâmicas territoriais da expansão da fronteira da soja e da organização do trabalho no sul do maranhão. 2014 p. 25. CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária, v. 9, n. 17, p. 86-110, abr., 2014

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia: EDUFU, 1990, 136p.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 4209-4216. 2007.

SANTOS, Milton. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4. ed. 2. reimpr. – São Paulo, SP: editora da universidade de São Paulo, 2008.

SCHLESINGER, S.; NUNES, S.P.; CARNEIRO, M.S. Agricultura familiar da soja na região sul e o monocultivo no Maranhão: duas faces do cultivo da soja no Brasil. Rio de Janeiro : FASE, 2008. 148p.

SEBUSIANI, H.R.V.; BETTINE, S. do C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em microbacia urbana. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. v. 7, n. 1, p. 256-285, jan-abr/2011.

SPÍNOLA, C.M.; BECHARA, F.C.; BARRETTO, K.D. Uso de sensoriamento remoto na identificação de fitofisionomias do Cerrado *Lato Sensu*. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 378-380, jul. 2007.

VIEIRA, E; TAGLIANI, C.R. Criação de um banco de dados geográficos para o município de Capão do Leão – RS, Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26, Abril 2001, IN

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

### **Maria Elisa Ferreira de Queiroz**

Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Conceição do Araguaia, Pará

### **Aleksandra Gomes Jácome**

Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Conceição do Araguaia, Pará

### **Jéssica Lanne Oliveira Coelho**

Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Conceição do Araguaia, Pará

### **Jheny Borges da Conceição**

Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Conceição do Araguaia, Pará

**RESUMO:** Em pastagens degradadas da região norte do Brasil, encontra-se espontaneamente o bambu (*Bambusa vulgaris*), cuja importância é conferida pela grande quantidade de sedimentos decorrente de suas folhas. As análises químicas de solos próximos às touceiras de bambu demonstraram valores dos componentes de matéria orgânica (2,62); Ca (3,37); Mg (1,09); K (90,9); C.T.C (7,0); V% (63,9%), H+Al (2,33) superiores estatisticamente aos distantes a 100 m da planta, com valores de matéria orgânica (1,55); Ca (1,52); Mg (0,61); K (38,4); C.T.C (4,8); V% (45,6%) e H+Al (2,66). O acúmulo e a disponibilidade de nutrientes nos

solos com bambu são fatores que influenciam positivamente no condicionamento de ambientes degradados, pois a planta contribuiu significativamente na reposição química por meio da decomposição de sua matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Degradação, Condicionamento, Recuperação

**ABSTRACT:** In degraded pastures of the northern region of Brazil, bamboo (*Bambusa vulgaris*) is found spontaneously, whose importance is conferred by the great quantity of sediments derived from its leaves. Chemical analyzes of soils close to bamboo clumps showed values of organic matter components (2,62); Ca (3,37); Mg (1,09); K (90,9); C.T.C (7,0); V% (63,9%), H + Al (2,33) statistically superior to those at 100 m from the plant, with values of organic matter (1,55); Ca (1,52); Mg (0,61); K (38,4); C.T.C (4,8); V% (45,6%) and H + Al (2,66). The accumulation and availability of nutrients in soils with bamboo are factors that positively influence the reconditioning of degraded environments, since the plant contributed significantly in the chemical replacement through the decomposition of its organic matter.

**KEY WORDS:** Degradation, Conditioning, Recovery

## 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, a região norte é conhecida pelo sistema de pecuária extensiva, principalmente no estado do Pará, caracterizado por suas feições transicionais entre formação geológica recente e períodos marcantes de estiagem notadamente na porção sudeste, caracterizando solos que, por apresentar forte dinâmica e intemperismo, são sensíveis a atividades de uso intensivo (STEEGE et al. 2013). No estado, a atividade está presente em muitas propriedades, promovendo o desgaste do solo, por manejo inadequado, que contribui para sua degradação (BERTONI; NETO, 2010). Por este motivo, as pastagens são abandonadas, disponibilizando estes locais para recolonização de novas plantas, como os bambus, gramíneas de grande porte e lenhosos, que atingem o seu crescimento máximo em poucos meses (OLIVEIRA, 2013). Produzem grande quantidade de serapilheira que os protegem de agentes erosivos, fornecendo matéria orgânica e nutriente para a microbiota e para outros vegetais (ANDRADE et al. 2003). Neste sentido, a planta pode ser uma alternativa viável e de baixo custo para servir como agente de reestruturação do solo, (re)fornecendo condições adequadas ao estabelecimento de florestas ou culturas perenes.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo ocorreu no período de fevereiro a julho de 2016 em quatro municípios (Figura 1), pertencentes a região sudeste do estado do Pará-Brasil, com clima Aw, segundo classificação de Köppen, temperatura média 26°C e pluviosidade média 1.800mm ao ano, com altitudes variando entre 160 e 227 m (IBGE, 2016).

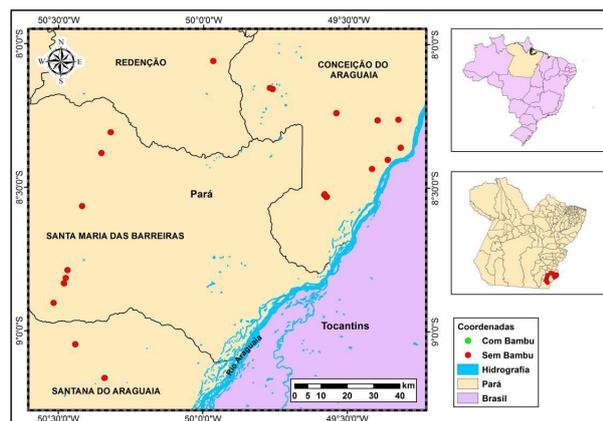


Figura 1: Municípios e pontos de coleta de amostras de solo, ao limite das rodovias

As coletas foram feitas ao longo das rodovias que interligam estes municípios em fazendas que apresentavam pastos abandonados, com sinais de degradação, com a presença oportuna da espécie *B. vulgaris*. As amostras de solo foram retiradas próximo às touceiras de bambu (com bambu) e a 100m das touceiras (sem bambu). Os dados físico-químicos foram: a saturação de bases (V%), Fósforo (P), Cálcio (Ca),

Magnésio (Mg), Potássio (K), potencial hidrogeniônico (pH), Cálcio mais Magnésio (Ca+Mg), Matéria Orgânica (M.O), Capacidade de Troca Catiônica (C.T.C), Acidez potencial (H+Al) e a Textura. Os dados foram analisados por ANOVA two-way, seguido pelo teste de TukeyHSD e correlação de Pearson. Ambos os testes com  $\alpha = 0,05$  e IC: 95% calculados com uso do programa R, versão 3.3.2.

### 3 | RESULTADOS

Os dados físico-químicos (Figura 2) demonstraram valores significativamente maiores para as unidades amostrais “com bambu” ( $F=14,1$ ;  $P$ -valor  $<0,001$ ) dos componentes de matéria orgânica (2,62); Ca (3,37); Mg (1,09); K (90,9); C.T.C (7,0); V% (63,9%) e H+Al (2,33), do que aos valores das unidades “sem bambu”, com matéria orgânica (1,55); Ca (1,52); Mg (0,61); K (38,4); C.T.C (4,8); V% (45,6%) e H+Al (2,66).

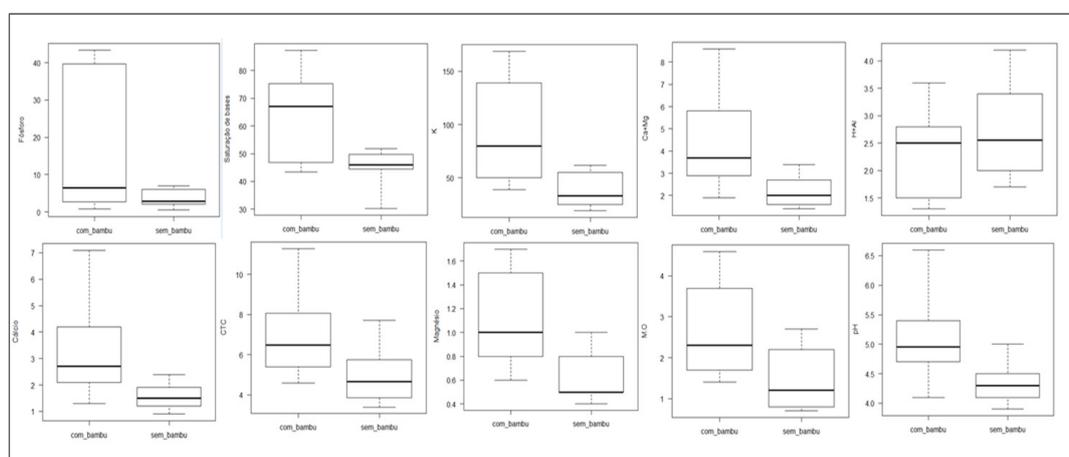


Figura 2: Distribuição dos nutrientes nos solos com bambu e sem bambu, de acordo com seus valores absolutos (K; Ca+ Mg; H+Al; CTC; M.O e pH)

A correlação dos nutrientes (Figura 3) com a matéria orgânica é positiva nas amostras de solo “com bambu”, com exceção do potássio ( $cor = 0,3$ ,  $p>0,05$ ). A presença de potássio disponível no solo que pode ser translocada no corpo da planta tem importância em seus processos fisiológicos e bioquímicos (MALAVOLTA et al. 1997). Em plantações comerciais da espécie *B. vulgaris* no estado da Paraíba-Brasil, que se desenvolvem sobre solos de textura arenosa, grande parte dos nutrientes são disponibilizados pela própria serapilheira das plantas (NETO et al. 2002). Os meios convencionais de uso do solo em diversos sistemas de cultivo, como aragem, gradação, formação de pastagens, uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, salinização, acidificação ou alcalinização, depleção de nutrientes, causam tantas transformações que limitam o desenvolvimento biótico nestes locais, que são abandonados pouco tempo após o uso excessivo (PRIMAVESI, 2002). Os custos de recuperação tradicional destas áreas podem alcançar valores superiores a R\$ 3.000,00/ha (OLIVEIRA; CORSI, 2005). Em contraste, a propagação do bambu é vegetativa, tem habilidade

de desenvolvimento numa grande variedade de solos e de climas, conserva os fluxos hídricos existentes, repõe biomassa e promove o condicionamento para a reabilitação destes solos (BEN-ZHI et al. 2005).

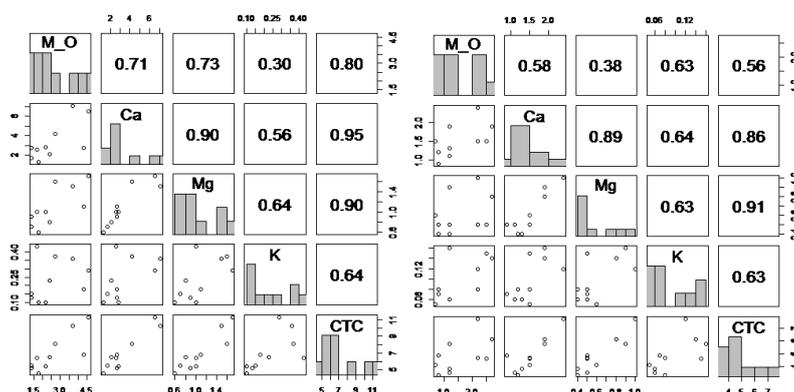


Figura 3: Correlação linear de Pearson entre as variáveis dos solos com bambu, na primeira coluna e sem bambu, na segunda coluna. (Ca: cálcio, Mg: magnésio, K: potássio, M.O: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica,  $\alpha=0,05$ , IC= 95%)

Evitar a hiperdominância é necessário, pois são plantas perenes e impedem a recolonização de outras espécies vegetais, adotando-se o cultivo consorciado (LARPKERN et al. 2011). A planta também auxilia no controle da erosão, agregação das partículas, proteção de margens, evitando deslizamentos de terra (BEN-ZHI et al. 2005). Após seu estabelecimento, pode alcançar os mais diversos setores econômicos, sem que o desbaste altere sua contribuição da biomassa no solo, pois segundo Lima Neto et al (NETO et al, 2002), mesmo com o uso, colmos jovens de apenas onze meses, reintroduzem a maioria dos nutrientes, com estabilização de 10 a 15 anos após o plantio (RAO; RAMAKRISHANAN, 1989), tempo suficiente para a substituição da cultura pelo estabelecimento de uma floresta secundária, tanto para finalidade econômica, quanto para conservação.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. G; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte, v. 24, n 220, p. 55-63, 2003.

BEN-ZHI, Z.; MAO-YI, F.; JIN-ZHONG, X.; XIAO-SHENG, Y.; ZHENG-CAI, L. Ecological functions of bamboo forest: Research and Application. **Journal of Forestry Research** 16(2): p. 143-147, 2005.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. 7.ed. São Paulo: Ícone, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150270&search=paralconceicao-do-araguaia>. Acesso em 5 de outubro de 2016.

LARPKERN, P.; MOE, S.; TOTLAND, O. Bamboo dominance reduces tree regeneration in a disturbed tropical forest. **Oecologia**, 165: p. 161–168, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

NETO, M. C. L.; NETO, E. B.; BARRETO, L. P.; SILVA, J. A. A. Exportação de Macro nutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **R. Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p 251-257, 2010.

OLIVEIRA, L. F. A. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para o uso na construção civil**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. **Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de produção de bovinos**. São Paulo: EMBRAPA, 2005.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

RAO, K. S.; RAMAKRISHNAN, P. S. Role of Bamboos in Nutrient Conservation During Secondary Succession Following Slash and Burn Agriculture (Jhum) in Nort-East India. **Journal of applied Ecology**. v. 26, n. 2, p. 625-633, 1989.

STEEGE, V. et al. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. **Science**, vol. 42, DOI: 10.1126/science. 1243092, 2013. Disponível em: [http://lerf.eco.br/img/publicacoes/2013\\_2512%20Hyperdominance%20in%20the%20Amazonian%20Tree%20Flora.pdf](http://lerf.eco.br/img/publicacoes/2013_2512%20Hyperdominance%20in%20the%20Amazonian%20Tree%20Flora.pdf). Acesso em: 2 de abril de 2017.

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

### **Michele Ribeiro Ramos**

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

### **Lucas Felipe Araújo Lima**

Graduando, Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS); Palmas – Tocantins.

### **João Vitor de Medeiros Guizzo**

Graduando, Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS); Palmas – Tocantins.

### **Danilo Marcelo Aires dos Santos**

Professor, Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS); Palmas – Tocantins.

### **Alexandre Uhlmann**

Embrapa Florestas, Colombo PR

**RESUMO:** A identificação de solos com alto ou baixo potencial de uso ainda é uma ferramenta pouco utilizada, devido principalmente à dificuldade de detecção e interpretação de parâmetros complexos de solo, contudo é possível escolher algumas características pedológicas fáceis de serem identificadas a campo, para auxiliar na decisão do uso e manejo do solo. Desta forma objetivou-se realizar o levantamento dos solos da fazenda Agroecológica do Centro de Ciências Agrárias – CCA/UNITINS, a fim de identificar as classes de solos, relacionando-as com os aspectos da geomorfologia da área, bem como caracterizá-las quanto ao seu potencial e fragilidade de

uso. Para o reconhecimento da área, foram feitas prospeções através de tradagens (trado holandês), onde foram reconhecidas as classes de solos com bases em atributos granulométricos e morfológicos. Foram feitos 72 pontos de observações, 24 amostras coletadas para análise físico-química e 07 perfis completos, totalizando 9,4 amostras/ha. As principais classes de solos determinadas foram: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico plíntico, Latossolo Vermelho Distrófico típico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico, Plintossolo Pétrico Concrecionário típico. Os Latossolos Vermelho e Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam maior potencial de uso agrícola. Enquanto que os Neossolos Flúvico e os Plintossolos apresentam grande vulnerabilidade ou fragilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Capacidade do uso, classes de solos, aptidão agrícola.

**ABSTRACT:** The identification of soils with high or low potential of use is still a little used tool, due mainly to the difficulty of detection and interpretation of complex soil parameters, however it is possible to choose some pedological characteristics easy to be identified in the field, to aid decision of land use and management. The objective of this study was to survey the soils of the Agroecological Farm of the Center of Agricultural Sciences - CCA / UNITINS, in order

to identify the soil classes, relating them to the geomorphological aspects of the area, as well as its potential and fragility of use. For the recognition of the area, surveys were carried out through traditions (Dutch trawl), where the soil classes were recognized with bases in granulometric and morphological attributes. Seventy-two observations were made, 24 samples were collected for physico-chemical analysis and 07 complete profiles, totaling 9.4 samples / ha. The main classes of soils determined were: Typic Dystrophic Red-Yellow Latosol, Typical Dystrophic Red Latosol, Typic Dystrophic Red-Yellow Latosol, Typic Dystrophic Tb, Typically Typical Pythonic Plenosol. Red Latosols and Red-Yellow Latosols present greater potential for agricultural use. While the Flúvico Neosolos and the Plintossolos present great vulnerability or fragility.

**KEYWORDS:** Capacity of use, soil classes, agricultural aptitude.

## 1 | INTRODUÇÃO

A identificação de solos com alto ou baixo potencial de uso ainda é uma ferramenta pouco utilizada, devido principalmente à dificuldade de detecção e interpretação de parâmetros complexos de solo, contudo é possível escolher algumas características pedológicas fáceis de serem identificadas a campo, para auxiliar na decisão do uso e manejo do solo.

Apesar da comprovada importância sócio-ambiental, o Cerrado ainda se encontra pouco valorizado em termos de conservação. Segundo Ferreira et al. (2009) estudos realizados com base em dados de sensoriamento remoto apontam um estágio de conversão deste bioma na ordem de 60%, degradação esta normalmente relacionada às atividades de pastoreio, agricultura, mineração, hidroelétricas e carvoarias.

No caso do Tocantins, totalmente inserido na área do Cerrado, o cenário de degradação é mais preocupante, com uma taxa de conversão da cobertura nativa na ordem de 64%, fortemente marcadas pela expansão da pecuária e pela tecnificação da agricultura (FERREIRA et al., 2009).

Práticas agropecuárias inadequadas como cultivo ou pastoreio intensivo, cultivo em vazantes, desmatamento e utilização de solos fisicamente inapropriados para o cultivo são os principais responsáveis pela degradação das terras. Neste sentido é comum se deparar com sistemas de produção sob condições impróprias de manejos, bem como, em vários casos, sistemas totalmente excludentes ao potencial de uso dos solos (RAMOS et al., 2015).

O ciclo degradador provocado por desmatamentos, exposição do solo às intempéries, intensa utilização de insumos e escoamento superficial gera impactos negativos decorrentes da erosão, fato este agravado por um difícil e custoso controle. Para minimizar tais efeitos, é necessário estabelecer um sistema de conservação do solo, associado à observação do uso do solo na paisagem e da movimentação da água, em uma situação específica de cada área (CASTRO et al., 2010).

Os conflitos são consequências do uso incorreto dos solos, não respeitando a

aptidão agrícola ou a capacidade de uso das terras. Segundo Castro et al. (2010) o conhecimento das classes de capacidade de uso das terras é uma importante ferramenta no que diz respeito ao planejamento com melhor utilização da terra.

A capacidade de uso visa o aproveitamento das condições do solo com um mínimo de perdas, baseando-se num detalhamento expressivo dos fatores que possam influenciar a estruturação e composição deste meio, tais como relevo, erosão, solo, clima, entre outros; tornando-se mais confiáveis as bases para planejamento de uso racional (CASTRO et al., 2010).

No entanto, em função do grande crescimento do setor agropecuário brasileiro, a falta de avaliação da aptidão agrícola de terras, ou capacidade de uso de solos, para a elaboração e implantação de planejamentos de uso sustentável das terras, tem se tornado frequente, podendo ocasionar impactos negativos ao ambiente (RAMOS et al., 2015).

Minimizar esta possibilidade é de fundamental importância, bem como identificar e caracterizar as potencialidades, assim como as fragilidades ambientais frente aos diferentes tipos de uso que podem ocorrer nos distintos segmentos de paisagens que constituem uma determinada região (RAMOS et al., 2015).

Desta forma objetivou-se foi realizar o levantamento dos solos da fazenda Agroecológica do Centro de Ciências Agrárias – CCA/UNITINS, a fim de identificar as classes de solos e caracteriza-la quanto ao seu potencial e fragilidade de uso.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no Complexo de Ciências Agrárias – CCA da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS, no município de Palmas na região central do Estado do Tocantins, Brasil, a 10 km da TO 050, sentido Palmas-Porto Nacional. Está 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.

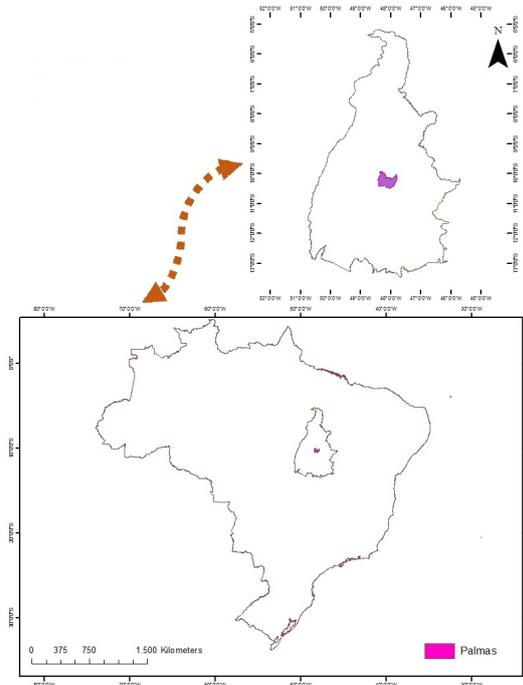


Figura 1. Localização da área de estudo

Segundo o Mapa Exploratório de Geologia do Tocantins (IBGE, 2007), a área está localizada sob duas formações geológicas distintas. A Formação Pimenteiras: Grupo Canindé, que constitui-se de arenitos e microconglomerados, dispõem-se na porção basal; encimados por siltitos, folhetos e argilas, apresentam estratos plano-paralelos, marcas onduladas e microestruturas cruzadas. E a Cobertura Detrítica-Laterítica Neogênica Miocênica: constituída de uma zona basal com rochas subjacentes alteradas, areias, argilas e níveis conglomeráticos, parcialmente laterizados; uma zona média concrecionária de lateritos ferrugionosos compactos; e uma zona superior (RANZANI, 2002; ANDRADE, 1972).

O tipo climático predominante é o Aw, tropical seco, segundo Köppen. E a temperatura média em Palmas é de 26.7 °C. Setembro é o mês mais quente do ano com uma temperatura média de 28.0 °C. Junho tem a mais baixa, com 25.9 °C. A pluviometria da região pode ser dividida em duas estações bem definidas, uma seca, que tem início no mês de maio, terminando no mês de setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com precipitação média anual 1760 mm.

A área, objeto do estudo possui 8,44 hectares e um perímetro de 1201,067 m<sup>2</sup>. área é antropizada, com vestígios da vegetação que já foi do cerrado e com presenças de plantas daninhas, como: Picão-preto (*Bidens alba*) e a Dormideira (*Mimosa pudica* L. Atualmente está sem uso em sua maior parte, mas a outra parte da área é utilizada para cultivos anuais de grãos. As análises químicas e de granulometria foram realizadas de acordo com a metodologia preconizada pela Embrapa (2011).

Para o reconhecimento da área, foram feitas prospecções através de tradagens (trado holandês), onde foram reconhecidas as classes de solos com bases em atributos granulométricos e morfológicos. Complementarmente, houve a preocupação de dispor as coletas em posições intermediárias aos perfis, no sentido de proporcionar maior

intensidade de amostragens e, conseqüentemente, maior rigor às informações dos solos.

O levantamento ultra detalhado de solos, as coletas e descrições de perfis foram realizadas de acordo com (SANTOS, 2013; IBGE, 2015) e classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013). Foram feitos sete (07) perfis completos (trincheiras) e setenta e um (71) pontos de observações (trado holandês).

As amostras para análises granulométricas e químicas, foram processadas no laboratório Agroambiental, situado no Complexo de Ciências Agrária (CCA) da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS. As análises envolveram a determinação: granulometria, pH em água e em KCl, fósforo, potássio, matéria orgânica, cálcio, magnésio, hidrogênio, alumínio e CTC efetiva (EMBRAPA 2011).

A partir das informações estudadas no campo, foram identificadas as principais limitações ao uso agrícola de cada solo e determinadas seu potencial agrícola.



Figura 1 - Levantamento dos solos.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização morfológica

No campo foram identificadas três ordens de solos com maior representatividade, previamente classificadas como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico A moderado relevo plano, LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano, e o PLINTOSSOLO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado, sendo uma ordem com melhor influência na área, o NEOSSOLO Tb Distrófico Típico A fraco relevo suave ondulado. No estado do Tocantins, estas são as principais ordens de solo, no qual os LATOSSOLOS predominam em maior parte.

O primeiro perfil (P1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico A moderado relevo plano), de relevo plano (1% de declividade) apresenta sequência de horizontes A, AB, Bw1 e Bw2. A transição é clara e plana do horizonte A para AB, e do horizonte AB para Bw1; gradual e plana do horizonte Bw1 para Bw2 (Tabela 1). Como característica marcante desse perfil, observa-se a presença do horizonte plíntico em 102 cm de profundidade, com 66% de petroplintinta. Neste perfil, predominam as cores brunos e vermelho-amarelo, caracterizados pelos matizes 7,5 YR e 5 YR, respectivamente (Tabela 1). De acordo com Kampf & Schwertmann (1983), as cores vermelhas e amarelas indicam a presença de óxidos de ferro, como hematita ( $Fe_2O_3$ ) e goethita ( $FeOOH$ ), em solos moderadamente drenados. No entanto, a hematita apresenta-se em maior quantidade em ambientes mais secos e com altas temperaturas, características típicas da região tocantinense, enquanto a goethita predomina em ambientes mais úmidos. Existe um leve declínio na área, onde no período chuvoso há uma maior concentração de água nesta parte da área favorecendo a formação de goethita em detrimento da hematita.

Horizonte	Profundidade cm	Cor Munsell (úmida)		Classe Textural	Estrutura
		Matriz	Mosqueado		
P1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico A moderado relevo plano					
A	0 - 29	7,5 YR	4/3	Franco-argilo-arenosa	for. mod. méd. bl. ang./sub.
AB	29 - 43	7,5 YR	5/6	Argilo-arenosa	mod. méd. bl. ang.
Bw1	43 - 101	7,5 YR	5/6	Argilo-arenosa	mod. méd. bl. ang./sub
Bwf2	101cm +	7,5 YR	4/6	Argilo-arenosa	for. mod. peq. méd. bl. ang./sub.
P2 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano					
A	0 - 26	7,5 YR	4/4	Argilo-arenosa	fr. peq. bl. sub
AB	26 - 56	7,5 YR	4/6	Argilo-arenosa	mod. peq. gra. peq. med. bl. Sub.
Bw1	56 - 90	7,5 YR	5/5	Argilo-arenosa	mod. peq. med. bl. ang./sub.
Bw2	90 - 131cm+	7,5 YR	3/8	Argilosa	mod. peq. med. bl. ang./sub.
P3 - NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico A fraco relevo suave ondulado					
A	0 - 4	7,5 YR	6/8 - 5/8	Franco-argilo-arenosa	grão simples. fr. peq. gra.
CAM1	4 - 74	7,5 YR	6/8 - 5/8; 5 YR 5/8 - 4/8	Argilo-arenosa	grão simples. fr. peq. med. gra.

CAM2	74 - 93cm+	10 YR 6/8; 2,5 YR 6/8; 7,5 YR 5/8	Franco-argilo-arenosa	grão simples. fr. peq. gra.
P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado				
Ap	0 - 12	5 YR 4/2	Franco-argilo-arenosa	fr. muito peq. bl. ang./sub.
Bf1	12 - 70	7,5 YR 5/6	Argilo-arenosa	fr. peq. med. bl. ang./sub.
Bf2	70 - 127cm+	2,5 YR 5/8	Argilosa	mod. peq. bl. ang./sub.
P5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado				
A	0 - 16	5 YR 5/4	Argilo-arenosa	mod. méd. bl. ang./sub.
Bf1	27 - 85	7,5 YR 5/8; 2,5 YR 7/8 / 2,5 YR 5/8	Argilosa	mod. peq. méd. bl. ang./sub.
Bf2	85 - 117cm+	10 YR 6/8	Argilo-arenosa	mod. peq. gra. bl. ang./sub.
P6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano				
A	0 - 15	5 YR 4/6	Argilo-arenosa	mod. muit peq. bl. ang./sub.
Bw1	15 - 40	2,5 YR 5/8	Argilo-arenosa	mod. peq. gra.
Bw2	40 - 87	2,5 YR4/8	Argilo-arenosa	mod. peq. gra.
Bw3	87 - 118cm+	2,5 YR4/8	Argilosa	mod. peq. bl. sub.
P7 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano				
A	0 - 9	2,5 YR 4/8	Franco-argilo-arenosa	mod. muito peq. bl. ang./sub.
AB	9 - 21	2,5 YR 5/8	Argilo-arenosa	mod. peq. muito peq. bl. ang./sub.
Bw1	21 - 47	2,5 YR 6/6	Argilo-arenosa	mod. peq. bl. ang./sub.
Bw2	47 - 119cm+	2,5 YR 6/8	Argilo-arenosa	mod. peq. med. bl. ang./sub.

Tabela 1. Descrição morfológica dos perfis da fazenda agroecológica de Palmas – TO.

for: forte; bl: bloco; sub.: subangular; ang.: angular; mod: moderada; méd: média; fr: fraca; gra.: granular; peq.: pequena.

O segundo perfil (P2 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano), também de relevo plano (1% de declividade), e apresenta uma sequência de horizontes A, AB, Bw1 e Bw2 (Tabela 1). A transição entre horizontes de A para AB é clara e ondulada; enquanto a transição de AB para Bw1 e de Bw1 para Bw2 é difusa e ondulada. O solum é mais espesso em relação ao P1, e não foi encontrado o horizonte plíntico fora de posição diagnóstica, identificado no P1.

Diferentemente do horizonte Bw2 do P1, o horizonte Bw2 do P2 possui uma textura mais argilosa (Tabela 1). O P2 possui raízes abundantes no horizonte A, provavelmente relacionado à estrutura do solo, por não apresentar consistência dura ou muito duro quando está seco, facilitando a penetração das raízes. Quanto à cor, todos os horizontes apresentam uma coloração mais brunada (7,5 YR), sendo mais forte no AB, Bw1 e Bw2 (7,5 YR 4/6; 7,5 YR 5/5 e 7,5 YR 3/8, respectivamente) (Tabela 1). Solo muito bem drenado, reforçando a afirmação anterior de pouca percolação de água, prevalecendo hematita como óxido de ferro predominante, que indica uma matriz argilosa intemperizada.

O terceiro perfil (P3 - NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico Típico A fraco relevo suave ondulado), localizado mais próxima a drenagem, de relevo suave ondulado (5% de declividade), apresenta sequência de horizontes indefinido, um perfil formado por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre elas, na qual foi encontrado muita dificuldade para descrevê-lo, pois no mesmo atuam misturas de cores de difícil interpretação. Trata-se de deposição de camadas

de forma descontínua. Portanto os “horizontes” foram designados como camadas 1, 2, 3 e 4 (Tabela 1), de transição difusa, desde a primeira camada até a quarta camada. A variação textural difere apenas na camada 2, sendo mais argilosa que as demais. Quanto à cor, trata-se de uma mistura de cores, como mencionado anteriormente; a camada 1 apresenta cor amarelo-avermelhado a bruno-forte (7,5 YR 6/8 5/8); não diferindo muito da camada 2, no qual apresenta dois tipos de cores, amarelo-avermelhado a bruno-forte (7,5 YR 6/8 5/8) e vermelho a vermelho-escuro (2,5 YR 5/8 4/8). A camada 3 apresenta as cores, amarelo-brunado (10 YR 6/8), vermelho (2,5 YR 6/8) e bruno-forte (7,5 YR 5/8); e finalmente a camada 4 apresenta cor preto a preto (5 Y 2,5/1 2,5/2) (Tabela 1). Acima de camada 3 existe um veio descontínuo vermelho e presença de cassiterita nas camadas 3 e 4, um óxido de estanho (SnO), é translúcido quando em pequenos cristais, com cor púrpura, preta, castanha-avermelhada ou amarela.

O quarto perfil (P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado), também situado próxima a drenagem, de relevo suave ondulado (5% de declividade), e apresenta sequência de horizontes, Ap, Bf1 e Bf2 (Tabela 1). A transição entre os horizontes Ap e Bf1 é clara e ondulada; enquanto de Bf1 e Bf2 é difusa e plana. Quanto à cor, diferem-se muito de um horizonte para outro, Ap apresenta cor cinzento-amarelado-escuro (5YR 4/2); diferente do horizonte Bf1, bruno-forte (7,5 YR 5/6); e do Bf2, com coloração vermelho (2,5 YR 5/8). Texturalmente também se diferenciam, sendo mais argiloso de acordo com a profundidade (Tabela 1). Ressalta-se ausência de raízes no perfil, provavelmente por ser um solo de consistência dura ou muito dura. Trata-se de um solo mal drenado, estando posicionado no terço inferior, o que favorece ao acúmulo de água em algum período do ano, considerando a estacionalidade climática característica da região, essa parte da área anualmente ciclos de umedecimento e secagem, favorecendo a formação de plintita e petroplintita.

O quinto perfil (P5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado) trata-se da mesma unidade de mapeamento do P4, onde possui o mesmo relevo suave ondulado (5% de declividade). Apresentam sequência de horizontes diferentes do P4, constituído por A, BA, Bf e C (Tabela 1). A transição entre os horizontes A e BA é gradual e plana; enquanto que de BA para Bf é clara e ondulada; e de Bf para C é difusa e ondulada. Quanto à cor, trata-se de um bruno-avermelhado (5YR 5/4) no horizonte A; bruno-forte (7,5 YR 5/8) em BA, sendo que o mesmo apresenta um horizonte descontínuo (14 - 35 cm); o horizonte Bf se destaca dos demais pela variação de cores de bruno-forte (7,5 YR 5/8), mosqueado vermelho claro / vermelho (2,5YR 7/8 / 2,5 YR 5/8), e por apresentar textura mais argilosa; e o horizonte C, apresentando uma coloração amarelo-brunado (10 YR 6/8) (Tabela 1). Como o P4, é mal drenado com presença constante de petroplintitas, pois trata-se de um solo semi hidromórfico, favorecendo a formação das petroplintitas, devido aos ciclos de umedecimento e secagem, já relatado no perfil anterior.

O sexto perfil (P6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano) possui declive plano (1% de declividade), e apresenta sequência de horizontes A, Bw1, Bw2 e Bw3 (Tabela 1). A transição é difusa e plana em todos os horizontes. Neste perfil, predominam as cores vermelhas, sendo vermelho-amarelo (5YR 4/6) no horizonte superficial; vermelho (2,5 YR 5/8) no subsuperficial Bw1; e vermelho-escuro (2,5 YR 4/8) em Bw2 e B3 (Tabela 1). A coloração vermelha indica a presença do óxido de ferro hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), característica típica de LATOSSOLOS VERMELHOS. Semelhante ao perfil P2, o P6 apresenta-se bem drenado, mas diferentemente do P2, está localizado em área de pouco uso agrícola. A presença de raízes no horizonte superficial A e no subsuperficial Bw1 é muito abundante a abundante, respectivamente ressaltando que provavelmente quando seco, é um solo mais friável, ressaltando-se ainda o preparo do solo no sistema convencional, que favorece a desestruturação dos agregados, facilitando a penetração de algumas raízes.

O sétimo perfil (P7 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano), apresenta característica semelhante aos perfis P2 e P6, no qual se encontrando localizado em uma área com declive de relevo plano (1% de declividade), e apresenta sequência de horizontes idêntico ao P2, com horizonte A, AB, Bw1 e Bw2 (Tabela 1). Mas, diferentemente do P2, que apresenta cores bunadas, o P7 é composto por cores vermelhas, semelhantes ao P6. O horizonte superficial do P7 observa-se a cor vermelho-escuro (2,5 YR 4/8); enquanto que nos subsuperficiais AB, Bw1 e Bw2 predomina a cor mais avermelhada (2,5 YR 5/8; 2,5 YR 6/6; 2,5 YR 6/8, respectivamente) (Tabela 1). Este perfil foi feito dentro da área de maior uso da fazenda (plantios de espécies anuais). Durante o levantamento, a área estava ocupada por milho (*zea mays*) e foi possível observar presença muito abundante de raízes no horizonte superficial A e abundantes no subsuperficial AB.

As classes texturais variaram bastante de franco-argilo-arenoso para argilo-arenoso, principalmente nos horizontes superficiais estudados (Tabela 1). A textura argilosa foi encontrada somente nos horizontes subsuperficiais, como no horizonte B2 do P2 e P4, no horizonte B do P5 e no horizonte B3 do P6, mostrando influência da argila na drenagem dos solos. Os três primeiros horizontes do P2, o horizonte A, AB e B1 apresentam classe textural argilo-arenoso, ou seja, possuem maior teor de areia em relação à argila (Tabela 1), facilitando a infiltração de água. No P5 acontece o inverso, o horizonte mais argiloso é o B, a partir de 27 cm de profundidade podendo tornar a infiltração de água mais lenta. Esses processos podem favorecer o deslocamento de argila dentro do perfil, concentrando argila nos horizontes mais subsuperficiais.

### 3.2 Atributos químicos

Os LATOSSOLOS (P1, P2, P6 e o P7) tratam-se de solos distróficos, com porcentagem da saturação por base (V%) abaixo de 50% e o teor de alumínio menor que  $4 \text{ cmolc dm}^3$ .

A saturação por base dos horizontes de todos os perfis de LATOSSOLOS

apresentam valores muito baixos, onde os maiores valores estão nos horizontes superficiais do P6 e P7, com 22,3% e 23%, respectivamente, os demais horizontes superficiais e subsuperficiais apresentam valores inferiores a 7%, associados a pH baixos (Tabela 2).

Os valores de CTC do horizonte A dos perfis 2, 6 e 7 apresentam entre 11 e 12,85 cmolc dm<sup>3</sup>, esses horizontes destacam-se por possuir CTC relativamente elevada e V% (proporção de cargas negativas ocupadas por bases) muito baixa, 5,85%, 22,33%, e 23% respectivamente (Tabela 2).

Horizonte	Espessura	pH	P (Mehlich)	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup> Mg <sup>+2</sup>	SB	Al <sup>3</sup>	H+Al	CTC	V	m	M.O.S	C
	cm		mg dm <sup>3</sup>			cmolc dm <sup>3</sup>			(pH 7,0)		%		
P1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico A moderado relevo plano													
A	0 - 29	4,16	1,22	10	0,44	0,47	0,81	8,81	9,28	5,02	63,5	1,55	0,897
AB	29 - 43	3,85	0,43	0	0,42	0,42	0,77	6,6	7,02	5,98	64,71	0,94	0,545
Bw1	43 - 101	4,44	0,57	0	0,33	0,33	0,16	4,95	5,28	6,25	32,65	0,55	0,32
Bw2	101cm+	4,84	0,5	0	0,15	0,15	0,17	5,23	5,38	2,79	53,13	0,5	0,288
P2 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano													
A	0 - 26	4,13	0,93	20	0,7	0,75	1,39	12,09	12,85	5,85	64,91	1,93	1,122
AB	26 - 56	3,79	0,21	0	0,19	0,19	1,03	7,99	8,18	2,32	84,43	1,55	0,897
Bw1	56 - 90	4	0,36	0	0,24	0,24	0,33	6,6	6,84	3,51	57,89	1,27	0,737
Bw2	90 - 131cm+	4,3	0,36	0	0,32	0,32	0,07	7,44	7,76	4,12	17,95	1,22	0,705
P3 - NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico A fraco relevo suave ondulado													
A	0 - 4	5,5	1	20	3,08	3,13	0,01	5,78	8,91	35,16	0,32	1,99	1,154
CAM1	4 - 74	4,56	0,64	0	0,39	0,39	1,48	6,81	7,2	5,41	79,14	0,55	0,32
CAM2	74 - 93cm+	5,04	1,79	0	0,24	0,24	0,67	3,55	3,79	6,34	73,63	0,33	0,19
P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado													
Ap	0 - 12	4,47	1	10	1,35	1,38	0,46	8,22	9,59	14,34	25,06	1,93	1,122
Bf1	12 - 70	4,63	0,14	0	0,1	0,1	0,54	6,52	6,62	1,51	84,38	1,33	0,769
Bf2	70 - 127cm+	4,22	0	0	0,21	0,21	0,34	7,78	5,99	3,51	61,82	0,33	0,192
P5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico A moderado relevo suave ondulado													
A	0 - 16	4,65	0,57	10	0,51	0,54	0,62	7,52	8,06	6,65	53,65	2,1	1,218
Bf1	27 - 85	4,87	0,07	0	0,15	0,15	0,14	5,33	5,48	2,74	48,28	0,39	0,224
Bf2	85 - 117cm+	4,75	0,43	0	0,1	0,1	0,46	5,2	5,3	1,89	82,14	0,5	0,288
P6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano													
A	0 - 15	4,97	0,5	20	2,42	2,47	0,27	8,6	11,07	22,33	9,85	2,38	1,378
Bw1	15 - 40	4,49	0,64	10	0,51	0,54	0,83	8,45	8,98	5,96	60,78	1,66	0,962
Bw2	40 - 87	4,52	0,14	0	0,21	0,21	0,23	5,49	5,7	3,68	52,27	1,27	0,737
Bw3	87 - 118cm+	4,87	0,5	0	0,11	0,11	0,08	6,67	4,78	2,3	42,11	0,94	0,545
P7 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado relevo plano													
A	0 - 9	5,32	1,29	150	3,1	3,48	0,29	8,96	12,44	23	6,94	3,32	1,923
AB	9 - 21	4,34	0,86	40	0,48	0,58	1,31	10,02	10,6	5,5	69,22	1,99	1,154
Bw1	21 - 47	4,09	0,36	10	0,4	0,43	1,29	9,26	9,68	4,4	75,19	1,66	0,962
Bw2	47 - 119cm+	4,27	0,5	10	0,17	0,2	0,61	7,23	7,42	2,64	75,12	1,49	0,865

Tabela 2. Análise química dos perfis da Fazenda agroecológica de Palmas - TO

C= Carbono orgânico; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V%= saturação por bases; m%: saturação por alumínio; M.O.S: matéria orgânica saturada.

Portanto, as principais implicações de manejo desses solos são de caráter químico, ou seja, baixa fertilidade, pois os mesmos apresentam m% muito alto (saturação por alumínio) e pH muito baixos, indicando solos muito ácidos e com baixa fertilidade natural, sendo recomendável fazer calagem para a neutralização do alumínio e para disponibilização de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo, na qual os horizontes A do P3, P6 e P7, apresentam 3,08, 2,42 e 3,1 cmolc  $\text{dm}^3$ , respectivamente.

Em relação ao teor de potássio ( $\text{K}^+$ ) nos LATOSSOLOS, nota-se que nos horizontes subsuperficiais do P1 e P2, o teor desse nutriente é zero, assim como nos horizontes Bw2 e Bw3 do P6. Essa indisponibilidade é recorrente nos solos do cerrado, contudo, ressalta-se que esse nutriente é de fácil lixiviação, volatilização. A passagem do K da forma trocável para a não-trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo, favorecendo a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (Rosolem et al., 2006).

A disponibilidade de  $\text{K}^+$ , assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de mineiras primários e secundários, a aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além de ciclagem do nutriente pelas plantas. Apenas nas camadas superficiais foi verificado teores aproximados de 10 mg  $\text{dm}^3$  no (Tabela 2), podendo ser explicado devido ao acúmulo de resíduos vegetais, contudo, esses valores são considerados baixos (CFS RS/SC, 1995).

Além disso, foi constatado que grande parte dos horizontes apresentam baixos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , devido a pobreza química do material de origem, associado ao intenso intemperismo, principalmente dos LATOSSOLOS, justificando-se assim, a baixa fertilidade química. Contudo, no P7 (LATOSSOLOS) é o solo de melhor qualidade química dentro da fazenda agroecológica, isso se deve ao uso agrícola que já estabeleceu naquela porção da área, manejo de fertilizantes (adução e calagem), aumentando a concentração de  $\text{K}^+$  (150 mg  $\text{dm}^3$  no horizonte A e 40 mg  $\text{dm}^3$  no horizonte AB).

O horizonte A possui baixíssimo teor de alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), com 0,26 cmolc  $\text{dm}^3$ , valores de pH em torno de 5,0 e baixa saturação por alumínio (m%) (6,94%). Segundo Sousa e Lobato (2002), esses valores são considerados adequados. O teor de matéria orgânica foi o maior dentre todos os perfis estudados, 3,32% (Tabela 2).

No P3 (NEOSSOLO FLÚVICO), a camada 1 apresentou teores de  $\text{Al}^{3+}$  extremamente baixos, 0,01 cmolc  $\text{dm}^3$ . Em contrapartida, a saturação de bases (V%), com 35,16 %, é considerado médio em solos do cerrado e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , na camada superficial, são considerados adequados, segundo Sousa e Lobato (2002). A saturação por alumínio está entre 10 e 20% e o pH também adequado, entre 5,5 e 6,0 (ALVARES, V. et al., 1999). Em virtude de serem solos jovens, ainda apresentam características do material de origem, havendo grande quantidade de minerais primários e secundários

Os teores de fósforo disponíveis foram baixos em todos os solos estudados.

E a saturação por alumínio, foram verificados valores elevados em quase todos os horizontes dos perfis estudados, aumentando a competição de  $Al^{3+}$  com os outros cátions (Muggler et al., 1996).

Nos perfis de PLINTOSSOLOS (P4 e P5), os atributos químicos avaliados foram semelhantes aos encontrados nos perfis de LATOSSOLOS, baixa fertilidade química natural, SB abaixo de  $1,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , CTC com valores menores que  $9 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , pH menor que 5,0 em todos os horizontes e a matéria orgânica nunca superior a 2%. Caracterizando solos com mesmo padrão de fertilidade que os demais. De textura argilo-arenosa em todos os horizontes, com exceção apenas do Bf1 do perfil 4 e Bf2 do perfil 5 com textura argilosa. Contudo, além da limitação química, o vale ressaltar é a presença de petroplintintas. A quantidade de petroplintita presente nos horizontes do Perfil 4 são de 46%, no horizonte A e 73% no horizonte Bf1. Enquanto que no perfil 5 nos horizontes Bf1 e Bf2 são de 60 e 39% respectivamente. Esse volume ocupado por “pedras” é significativo considerando que mais da metade do volume do horizonte não é constituído por terra fina, fração do solo considerada para cálculos de adubação e calagem.

Os resultados encontrados estão de acordo com os citados na literatura, em que os solos do cerrado, apresentam-se com baixo teores de matéria orgânica e baixa fertilidade natural (LOPES, 1983; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; OLIVEIRA et al., 2017). Com exceção apenas de uma parte dos Latossolos (representado pelo perfil P7), por estar situado em uma área de cultivo agrícola anual, apresentou-se diferentes dos demais solos presentes na área

### 3.3 Potencialidades e limitações dos solos

As quatro classes de solos são de baixa fertilidade natural, porém dentre eles o LATOSSOLO VERMELHO (P7) e o NEOSSOLO FLÚVICO (P3) são os que apresentam melhor fertilidade, considerando os maiores valores de V% nos horizontes superficiais em relação aos outros perfis (Tabela 2).

Os PLINTOSSOLOS PÉTRICOS por estarem posicionados no terço inferior da área podem apresentar condições de restrição à percolação de água ou estão sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade, apresentam drenagem deficiente, essa característica constitui limitação séria para usos intensivos, dificultando o seu manejo. Além disso, o desgaste dos implementos agrícolas é mais acentuado neste quando comparados com os Latossolos, devido principalmente ao atrito provocado com o contato das petroplintintas.

A presença de água limita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e prejudica a trocas gasosas de espécies que não estão adaptadas à ambientes hidromórficos.

Outra fragilidade conferida a esse grupo de solos está relacionada a recomendação da adubação e calagem, considerando que no laboratório a fração analisada é a terra

fina, ou seja, material que passa na peneira de 2mm, ignorando, portanto, o que fica retido nela, ou seja, o que compõe o esqueleto do solo, neste caso as petroplintitas. Desta forma, todas as recomendações são feitas baseadas apenas na terra fina, provocando assim “over dose” na recomendação da adubação e calagem.

Além da baixa fertilidade natural, a matriz desses solos é argilosa, o que favorece o manejo e disponibilidade de nutrientes, bem como a retenção de água nos períodos mais secos.

O NEOSSOLO FLÚVICO apresenta-se mal drenado, e fertilidade adequada na camada superficial, presença de materiais primários, pouco influenciado pelo intemperismo, além de sofrer influência do lençol freático é o solo que apresenta características mais diferenciadas na área, contudo não é indicado ao uso. Sem estrutura definida, com presença de materiais primários e secundários, camadas depositadas irregularmente com pouca alteração pedogenética.

Lumbreras et al. (2015) cita que em função da heterogeneidade das propriedades deste solo o mesmo é considerado de baixo potencial agrícola, dependente dos fatores restritivos que os mesmos podem apresentar.

Os LATOSSOLOS de uma maneira geral, apresentam apenas restrições de caráter químico, ou seja, a fertilidade natural desses solos é baixa, fato já constatado na literatura. Contudo, essa limitação é facilmente reversível com manejo do solo, adubação e calagem, uso de espécies que favoreçam o acúmulo de matéria orgânica, adubos verdes que favoreçam a melhoria da fertilidade química desses solos.

Os Latossolos, embora sejam solos bastante estáveis, o trânsito de máquinas pesadas e o manejo inadequado podem levá-los à degradação (LUMBRERAS et al., 2015). Tem ampla ocorrência na região, sendo muito utilizados para a produção agrícola no estado.

Desta forma, a fazenda foi dividida em duas grandes áreas (Figura 2), uma abrange todos os LATOSSOLOS, e a outra que inclui os PLINTOSSOLOS e o NEOSSOLO. Essa divisão foi baseada no mapa de solos da área e na análise das limitações encontradas, seja ela de caráter químico, morfológico ou mesmo de relevo que irá influenciar diretamente os fluxos hídricos de superfície e subsuperfície dentro da área. Além disso, a facilidade de melhoramento foi considerada, pois os solos com características mais fáceis de serem resolvidas podem ser enquadrados em um grupo que permita uso mais intenso do solo. Em contrapartida, solos cuja limitações são mais difíceis de serem resolvidas não podem ser admitidos usos mais intensos. Desta forma, para essas áreas sistemas integrados (IFPF's e SAF's) são os mais indicados.

Porém recentemente, tem-se verificado o uso desses solos (Plintossolos) com agricultura, especialmente o plantio de soja no Estado do Tocantins. Contudo, vale ressaltar que o uso intensivo dessas áreas é feito sem algum critério e recomendação, tendo, portanto, a necessidade da realização de pesquisas nesses que representam 35% da área do Estado do Tocantins.

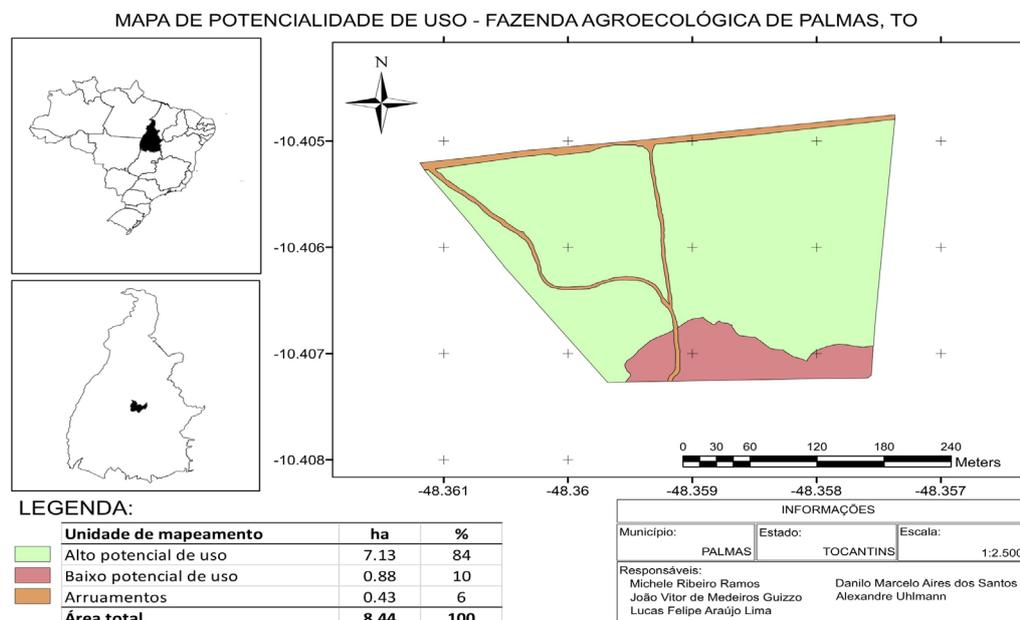


Figura 2 – Localização e caracterização das classes de solo na área.

## 4 | CONCLUSÕES

Os Latossolos apresentam restrições de natureza química, sendo, portanto, facilmente resolvidas com um bom manejo de solo (adubação, calagem, uso de espécies que favorecem o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes).

Os Plintossolos, apresentam baixa fertilidade natural, contudo a característica que inviabiliza o uso é a presença de petroplintitas conhecidas por “pedras”. Na fazenda ela se apresenta em diferentes profundidades e constituem a mais severa limitação, devido desgastes de implementos, drenagem deficiente, temperatura elevada nos períodos mais quentes do dia e principalmente devido ao grande volume que elas ocupam no solo.

A área foi dividida em dois grupos, áreas com alto potencial de uso e áreas com baixo potencial de uso, sendo os Latossolos no primeiro grupo e os Plintossolos juntamente com o Neossolo no segundo grupo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, S.M. **Geologia do Sudoeste de Itacajá, Bacia do Parnaíba**. 1972. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Carlos São Carlos, 1972.

CASTRO, L. I. S.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C. R. L. **SPRING aplicado na determinação da capacidade de uso das terras da microbacia do Ribeirão Pouso Alegre**. Botucatu, Irriga:UNESP, v. 15, n. 3, p. 268-274, 2010.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS-RS/SC. **Recomendação de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional/ Embrapa-CNPq, 1995. 128p

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2.

ed. revisada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. **Ativos ambientais do bioma cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 1, n. 61, p. 37-50, 2009.

IBGE. **Mapa Exploratório de Geologia do Estado do Tocantins.** Tocantins, 2007. 1 mapa. Escala 1:1.000.000.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4).

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos cauliniticos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 7, p. 27-31, 1983.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo.** Piracicaba, POTAFÓS, 1983. 162p.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P. E. F. da; BARROS, A. H. C.; AGLIO, M. L. D.; DART, R. de O. Potencialidades e limitações ao uso agrícola de solos do Matopiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado.** Piracicaba, POTAFÓS, 1983, 136p.

MUGGLER, C. C.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do Rio Corrente, sudeste da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, DF, v. 31, n. 3, p. 221-232, 1996.

OLIVEIRA, V.A.; JACOMINE, P.K.T.; COUTO, E.G. Solos do bioma cerrado In: CURI, N.; KER, J.C.; NOVAIS, R.F.; VIDAL-TORRADO, P. SCHAEFER, C.E.G.R. **Pedologia – Solos dos Biomas Brasileiros.** Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

RAMOS, M. R.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; GOMES, J. B. V. Levantamento de solos e caracterização de suas fragilidades e potencialidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

RANZANI, G. **Solos e aptidão agrícola das terras do município de Palmas-Tocantins.** Fundação Universidade do Tocantins, Palmas, 2002. 85p.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M.; THIAGO, W. M. Significância de formas não-trocáveis de potássio na nutrição da soja. **Científica**, São Paulo – SP, v. 24, p. 263-273, 1996.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 6ª Ed. (revista e ampliada). Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013 99 p.

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

### **Crissogno Mesquita dos Santos**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Francisca Laila Santos Teixeira**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Tiago de Souza Santiago**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Daniel Vítor Mesquita da Costa**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Kessy Jhonnes Soares da Silva**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Nayra Beatriz de Souza Rodrigues**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **André Luís Macedo Vieira**

Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de  
Conservação da Biodiversidade – ICMBIO  
Parauapebas – PA

### **Ângelo Augusto Ebling**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas

Parauapebas – PA

### **Daiane de Cinque Mariano**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

### **Ricardo Shigueru Okumura**

Universidade Federal Rural da Amazônia –  
Campus Parauapebas  
Parauapebas – PA

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi mapear a distribuição espacial da RP e Ug do solo com *Cynodon spp.* As avaliações foram realizadas em novembro de 2016, nas mediações da Universidade Federal Rural da Amazônia, campus de Parauapebas, em uma parcela experimental com ovinos em pastejo intensivo por três anos. A área experimental possui relevo suave ondulado e dimensões de 130 x 30 m, onde foram amostrados e referenciados no GPS em grade regular de 5 x 5 m, com total de 60 pontos. Em cada ponto amostral, foram determinados a RP e a Ug nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. A análise descritiva foi realizada através dos parâmetros: média, máximo, mínimo, coeficiente de variação, assimetria, curtose e avaliação de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A modelagem geoestatística de RP e Ug foram realizadas com o auxílio do software

Gs+, versão 7. Os mapas foram gerados pelo método de interpolação por krigagem através do software Surfer, versão 11. Os modelos que melhor se ajustaram aos semivariogramas para pastagem foram o exponencial e o esférico, para a RP e Ug, respectivamente. Os atributos estudados apresentaram variabilidade espacial com índice de dependência espacial (IDE) variando de moderado ( $0,25 < IDE \leq 0,75$ ) a forte ( $IDE > 0,75$ ). A malha de amostragem captou a dependência espacial em todos os casos analisados. O mapeamento dos atributos do solo permitiu verificar uma zona crítica para a RP ( $RP > 2,5$  MPa) na profundidade de 0,20 – 0,30 m, que ocorreu, provavelmente, devido ao pastejo intensivo de animais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Variabilidade espacial. Tifton. Compactação.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to map the spatial distribution of soil resistance to penetration and soil humidity with *Cynodon* spp. The evaluations were accomplished in November 2016, in the mediations of the Federal Rural University of the Amazon, Campus of Parauapebas, in an experimental plot with intensive grazing sheep three years ago. The experimental area has slightly wavy relief and dimensions of 130 x 30 m, where it was sampled and referenced in the GPS in a regular grid of 5 x 5 m, with total of 60 points. At each point, RP and Ug were determined at depths of 0.0-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m. The geostatistical modeling of RP and Ug were performed using the Gs + software, version 7. The maps were generated by the kriging interpolation method through the Surfer software, version 11. The models that best fit the semivariograms for pasture were the exponential and spherical, for RP and Ug, respectively. The attributes studied presented spatial variability with spatial dependence index (SDI) ranging from moderate ( $0.25 < SD \leq 0.75$ ) to strong ( $SD > 0.75$ ). The sampling grid showed spatial dependence in all analyzed cases. The soil attributes mapping allowed to verify a critical zone for RP ( $RP > 2.5$  MPa) in the depth of 0.20 - 0.30 m, which probably occurred due to the intensive grazing of animals.

**KEYWORDS:** Spatial variability. Tifton. Compaction.

## 1 | INTRODUÇÃO

A perda da qualidade física do solo implica em condições desfavoráveis à sua estruturação, como formação de agregados pouco estáveis, elevada densidade, maior resistência do solo à penetração das raízes e resulta em condições que restringem o desenvolvimento e produção das culturas vegetais, bem como a preservação dos recursos naturais (LIMA et al., 2013).

O monitoramento dos atributos físicos do solo no início e após as atividades agrícolas são ferramentas imprescindíveis quanto ao planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, pois estes atributos quando avaliados sucessivamente, permitem monitorar a eficácia do sistema de manejo adotado (TORRES et al., 2015).

Por meio da agricultura de precisão (AP) tem-se a ciência da variabilidade existente no solo, tornando possível identificar nas áreas cultivadas, as zonas com

restrições físicas, químicas e biológicas. A AP permite ainda planejar atividades de recuperação e, até mesmo, a aplicação de insumos agrícolas de acordo com a necessidade do solo, no local e quantidade adequadas. Esta variabilidade espacial e temporal pode ser estudada aplicando-se os princípios da geoestatística, que permite identificar áreas carentes de insumos que podem limitar a produção (MARASCA et al., 2011; MATIAS et al., 2015; ZANÃO JUNIOR et al., 2010;).

A geoestatística tem como fundamento o entendimento de que as amostras de uma determinada variável não são aleatórias, mas sim dependentes da posição no espaço em que se encontram (RODRIGUES et al., 2014), sua utilização implica na descrição de um plano de amostragem, para o qual define-se número e espaçamento dos pontos onde as amostras serão coletadas (GUIMARÃES et al., 2016).

Os métodos geoestatísticos são utilizados para examinar tanto a dependência espacial como para interpolar atributos de solo através da krigagem. Este procedimento permite inferir se um atributo exibe ou não estrutura espacial e, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear o campo de estudo (CARVALHO et al., 2008). Outra característica relevante da utilização da krigagem é o fato de estimar valores confiáveis em qualquer posição do local em estudo, ou seja, não é baseada na preservação dos valores originais dos dados (GUIMARÃES et al., 2016).

A análise da resistência do solo a penetração (RP) surge a partir desta perspectiva, como um dos parâmetros mais utilizados para avaliar e indicar o grau da compactação, sendo útil para detectar as camadas compactadas e pertinente para os atributos físicos do solo como a textura e a umidade, que por sua vez, influenciam diretamente no desempenho do solo, submetido a pressões externas (COLET et al., 2009; ROQUE et al., 2008).

A determinação da RP por meio de penetrômetro, permite quantificar a força exercida no solo em função da penetração de uma ponta cônica, simulando a resistência que o solo oferece à penetração das raízes (LIMA et al., 2013; MOLIN et al., 2012). Por sua vez, o acompanhamento das características físicas no solo não é questão simples, pois estes se constituem de uma complexa interação de fatores pedogenéticos, como material de origem desuniforme com diferenças em relação à dureza, composição química e cristalização. Além também, de ser influenciados pelas condições de clima e relevo, resultando assim, na variabilidade espacial de seus atributos (MATIAS et al., 2015).

Os atributos de solo muitas vezes não revelam uma variação genuinamente aleatória ao longo de um terreno, apresentando correlação espacial (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2016; GOMES et al., 2007; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Assim, a geoestatística tem sido utilizada como importante ferramenta de análise dos dados, a fim de modelar e estudar a estrutura de dependência espacial dos atributos do solo, por meio do ajuste de semivariogramas experimentais (MANZIONE; ZIMBACK, 2011).

Partindo da adoção de conceitos e técnicas corretas de utilização do solo sabe-se que resultados positivos na produção forrageira podem ser obtidos, assim, a gestão

do animal em pastejo passa a ser mais complexa, pois se relaciona a um conjunto de diferentes fatores entre solo, planta e ambiente, que visam aumento da produtividade e melhor desenvolvimento do animal (AGUIAR, 2011; COSTA et al., 2012).

Devido à grande relevância das condições físicas do solo na produção vegetal, o presente trabalho teve por objetivo mapear e avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica em três diferentes profundidades amostrais, em uma área cultivada com *Cynodon* spp. pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, campus de Parauapebas - PA.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no setor de produção de ruminantes da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas, Estado do Pará, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 06° 03' 30" S e 49° 55' 15" W, nos dias 10 e 12 de novembro de 2016. O clima da região segundo a classificação de Köppen é tropical úmido, do tipo "Aw", com média anual de 29° C para temperatura do ar e de 1.500 a 2.000 mm de precipitação pluvial (IDESP, 2015).

A área experimental possui relevo suave ondulado e predominância de Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2018). A pastagem de Tifton (*Cynodon* spp.) foi implantada em sistema convencional com método de pastejo intensivo de ovinos há três anos. Neste local, que abrange 2.100 m<sup>2</sup>, foram excluídos 5,0 m de bordadura para fins de maior controle na qualidade amostral e, a partir disso, procedeu-se com a distribuição espacial dos pontos de coleta em malha regular de 5x5 m, conforme o *grid* do local de estudo (n=60), representado na Figura 1.

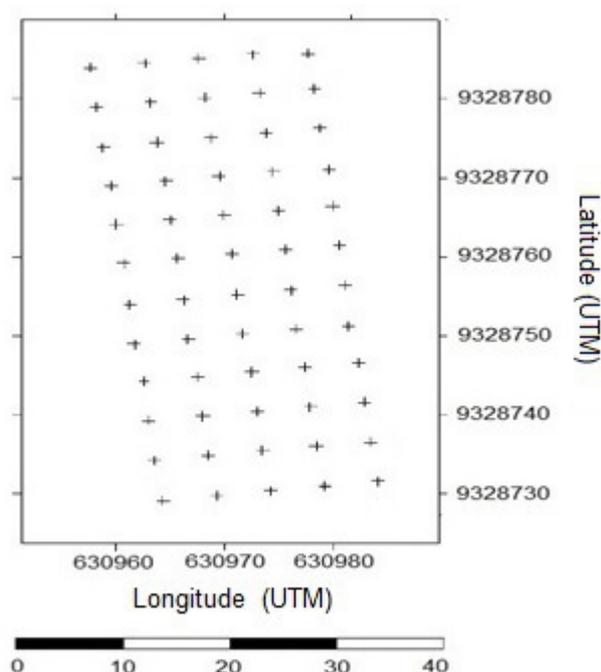


Figura 1. Grid amostral da área para determinação da resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica em pastagem com *Cynodon* spp.

Em cada ponto delimitado no grid amostral foram coletadas as coordenadas geográficas (Figura 2a) com uso do GPS (Global Positioning System) Garmin - 60CS.

A resistência do solo à penetração (RP) foi mensurada por meio de um penetrômetro eletrônico PLG 1020 penetroLOG® (Figura 2b) em cada ponto marcado com o GPS, sendo avaliada em três diferentes profundidades (0,00 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,30 m).

Os resultados de RP obtidos foram confrontados aos que Imhoff et al. (2000) consideram crítico para desenvolvimento radicular de pastagens perenes (valores acima de 2,5 MPa), mostrado nos mapas de superfície pela coloração vermelha.

Para a determinação da umidade gravimétrica (Ug), realizou-se coleta de amostras simples de solo, em duplicata, com auxílio de sonda (Figura 2c), nos mesmos pontos e profundidades utilizadas na RP.



Figura 2. Georreferenciamento dos pontos amostrais (a); mensuração da resistência do solo à penetração (b) e coleta de solo em duplicata (c).

As amostras de Ug foram acondicionadas em recipientes de metal com peso conhecido e embaladas para evitar perda de água por evaporação. Em laboratório, as amostras foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa úmida e mantidas em estufa a 105 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, com auxílio de uma balança de precisão obteve-se a massa seca do solo para fins do cálculo do teor de umidade, conforme fórmula proposta pela Embrapa (2017).

Segundo Freddi et al. (2006), valores de umidade abaixo de 20% comprometem o desenvolvimento das plantas. Partindo deste preceito, adotou-se no presente estudo que valores entre 14 e 20% representam um índice moderado para desenvolvimento da cultura. Valores acima de 20% de Ug foram considerados em níveis adequados, representados nos mapas de superfície pela coloração azul céu e azul puro, respectivamente.

Os valores de RP e Ug foram analisados através da estatística descritiva por meio do cálculo das medidas de posição (média), dispersão (valor máximo e mínimo, coeficiente de variação e desvio padrão), como também, pela forma como estavam distribuídos (coeficientes de assimetria e de curtose). Adicionalmente, verificou-se a aderência ou não dos dados à distribuição normal, sendo aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ).

Para mensurar os coeficientes de variação, foi adotado o critério de classificação proposto por Gomes (2000): baixo ( $CV < 10\%$ ); médio ( $10\% < CV < 20\%$ ); alto ( $20\% < CV < 30\%$ ) e muito alto ( $CV > 30\%$ ), o qual, segundo Freddi et al. (2006), tem sido admitido em muitos trabalhos relacionados com estudos de solo, por ser uma medida adimensional e possibilitar a comparação da variabilidade de duas variáveis.

Com base na obtenção de semivariogramas experimentais, a análise geoestatística determinou a variação espacial das amostras (VIEIRA, 1983), no qual, para os resultados que apresentaram estrutura de dependência espacial (não linear), mediante os seguintes parâmetros do semivariograma: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ), alcance ( $A$ ) e índice de dependência espacial [ $C_1/(C_0+C_1)$ ], realizou-se o ajuste dos modelos matemáticos (esférico, exponencial ou gaussiano) que representassem adequadamente o comportamento observado, através do software Gs+, versão 7 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004). Para o índice de dependência espacial (IDE) adotou-se os critérios estabelecidos por Zimback (2001), que classifica o  $IDE \leq 0,25$ , de fraco;  $0,25 < IDE \leq 0,75$ , de moderado e;  $IDE > 0,75$ , de forte.

A elaboração dos mapas de distribuição espacial ocorreu através do método de interpolação por krigagem, sendo estabelecidas intervalos de cores que representassem o grau de variação de RP (azul puro – muito baixo, azul céu - baixo, laranja claro - médio e vermelho - alto) e Ug (céu azul - moderado e azul puro - adequado) em cada profundidade do solo, com auxílio do software Surfer, versão 11 (GOLDEN SOFTWARE, 2016).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva para as variáveis umidade gravimétrica ( $U_g$ ) e resistência do solo à penetração (RP) apresentados na Tabela 1, demonstraram que a RP nas profundidades de 0,00–0,10 m e 0,20–0,30 m manifestaram comportamento lognormal, enquanto, apenas a profundidade de 0,10 – 0,20 m para o mesmo atributo, apresentou distribuição normal. A  $U_g$  avaliadas em todas as profundidades se apresentaram com distribuição normal, confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Para Freddi et al. (2006) a média é uma boa medida descritiva para dados com distribuição normal, todavia, o mesmo não ocorre para aquelas com distribuição lognormal. De acordo com Miguel et al. (2009), a normalidade dos dados não é uma premissa da geoestatística, tendo-se maior importância o coeficiente de assimetria, que deve ser próximo a zero, apresentando semivariogramas com patamares bem definidos, de forma a não comprometer as análises.

Os coeficientes de assimetria apresentaram valores próximos a zero, indicando que a distribuição de frequências não manifestou caudas muito alongadas, caracterizando um comportamento pertinente ao avanço geoestatístico.

Parâmetro	Profundidade		
	0,0 – 0,1 m	0,1 – 0,2 m	0,2 – 0,3 m
<b>Resistência do solo à penetração (MPa)</b>			
Média	0,53	1,83	2,02
Mínimo	0,01	0,44	0,13
Máximo	2,30	3,47	3,92
Desvio-padrão	0,57	0,61	0,83
CV (%) <sup>(1)</sup>	106,22	33,46	41,33
Assimetria	0,43	0,20	0,15
Curtose	2,18	2,98	2,74
p <sup>(2)</sup>	3x10 <sup>-6</sup> (L)	0,92 (N)	0,001 (L)
<b>Umidade gravimétrica (%)</b>			
Média	21,33	20,63	21,75
Mínimo	15,78	10,76	12,29
Máximo	25,94	27,36	29,65
Desvio-padrão	2,35	3,71	4,73
CV (%) <sup>(1)</sup>	11,00	18,00	21,76
Assimetria	-0,30	-0,60	-0,46
Curtose	2,44	2,98	2,17
p <sup>(2)</sup>	0,26 (N)	0,31 (N)	0,22 (N)

TABELA 1. Parâmetros estatísticos descritivos da resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica do solo cultivado com *Cynodon* spp., nas profundidades de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, na região de Carajás - PA. 2016.

<sup>(1)</sup> CV = Coeficiente de Variação. <sup>(2)</sup> p = avaliação de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. (N) = distribuição normal. (L) = distribuição lognormal.

A variabilidade da RP foi classificada como muito alta (CV > 30%), enquanto que para a Ug, a variabilidade se apresentou média nas profundidades de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m (10% < CV < 20%) e alta na profundidade de 0,20 – 0,30 m (20% < CV < 30%). Esses valores de coeficientes de variação podem ser resultado da utilização de implementos no preparo do solo, o pastejo intensivo dos animais associado ao declive da área e classe de solo, que podem acentuar os processos erosivos.

Ainda de acordo com os resultados da Tabela 1, verificou-se que na área amostrada existe uma ampla variação dos dados de RP. De acordo com Imhoff et al. (2000), isto pode ser atribuído ao gradiente de umidade e possível variabilidade da densidade do solo devido ao pastejo. O referido autor também cita que a degradação da estrutura do solo altera drasticamente a resistência do solo à penetração de raízes, que se mostra um indicador sensível ao efeito do pisoteio dos animais.

Nas condições do solo avaliado não foram determinados níveis de resistência crítica às plantas na camada superficial (0,00 – 0,10 m), apresentando em todos os pontos valores abaixo de 2,5 MPa, o que demonstra condições adequadas para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Apesar da camada superficial não ter apresentado valores críticos de RP, houve um incremento gradual deste atributo ao longo do perfil do solo, provavelmente devido ao pisoteio animal e diferença textural que caracteriza a classe de solo. Kondo & Dias

Junior (1999) ao estudarem o comportamento dos Latossolos em função da umidade e uso, inferiram que estes solos apresentam-se mais suscetíveis à compactação pelo pisoteio animal em camadas superficiais (0,00 – 0,03 m). Por outro lado, Pignataro Netto et al. (2009), relataram que em uma área cultivada com *Andropogon novo*, sem a presença de animais, obteve-se valores menores de RP na camada de 0,05 – 0,20 m, quando comparado a área com animais em pastejo, sugerindo que a menor perturbação propiciou melhor condição deste atributo.

Na profundidade de 0,20 – 0,30 m o valor médio de RP (Tabela 1) indica que a área apresentou valores aceitáveis, ou seja, menores que 2,5 MPa. No entanto, verifica-se em determinada faixa da área, valores pontuais superiores a 2,5 MPa (Figura 3), o que configuram condição crítica ao desenvolvimento radicular de pastagens perenes, conforme indicado por Imhoff et al. (2000). No mesmo estudo, o autor adverte que a magnitude e o tipo das mudanças que ocorrem nas características do solo nestas condições resultam da intensidade do pisoteio animal, da umidade e tipo de solo. Embora não avaliado, vale ressaltar que sistemas radiculares têm capacidade de penetração no solo distinta conforme a espécie, sendo que gramíneas, pela intensa proliferação de raízes fasciculadas na camada arável do solo, são mais eficientes que espécies com raízes pivotantes (LIMA et al., 2013).

Não foi observado uma correlação entre os valores de RP e Ug (Tabela 1), conseqüentemente, estes valores não interferiram na análise da RP, que é inversamente influenciada pela umidade do solo. Tal fato, possivelmente é explicado pela presença de cobertura do solo com a forragem Tifton, que pode ter propiciado uma maior manutenção da umidade e, através das características de seu sistema radicular, agregam as partículas do solo melhorando sua estrutura, aumentando assim, a capacidade de absorção e retenção de água.

Parâmetro	Profundidade		
	0,0 – 0,1 m	0,1 – 0,2 m	0,2 – 0,3 m
<b>Resistência do solo à penetração (MPa)</b>			
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Exponencial
Efeito pepita	0,109	0,317	0,244
Patamar	0,228	0,641	0,630
Alcance	35,680	180,120	21,270
$C_1(C_0+C_1)$ <sup>(1)</sup>	0,522	0,505	0,613
$R^2$ <sup>(2)</sup>	0,729	0,221	0,594
SQR <sup>(3)</sup>	8,954E <sup>-03</sup>	0,097	0,074
<b>Umidade gravimétrica (%)</b>			

Modelo	Exponencial	Esférico	Esférico
Efeito pepita	0,970	6,400	3,820
Patamar	5,949	15,190	26,680
Alcance	4,620	17,220	20,280
$C_1/(C_0+C_1)$ <sup>(1)</sup>	0,837	0,579	0,857
$R^2$ <sup>(2)</sup>	0,128	0,587	0,751
SQR <sup>(3)</sup>	6,86	55,4	210

TABELA 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais da resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica do solo cultivado com *Cynodon* spp., nas profundidades de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, na região de Carajás - PA. 2016.

<sup>(1)</sup>  $C_1/(C_0+C_1)$  = grau de dependência espacial. <sup>(2)</sup>  $R^2$  = coeficiente de determinação. <sup>(3)</sup> SQR = soma de quadrados dos resíduos.

A análise da variabilidade espacial por meio de semivariogramas para os atributos do solo com os parâmetros e modelos ajustados aos semivariogramas, encontram-se apresentados na Tabela 2. A análise geoestatística demonstrou que os atributos avaliados apresentaram dependência espacial. O índice de dependência espacial (IDE) encontrados foram moderados ( $0,25 < IDE \leq 0,75$ ) para RP em todas as camadas avaliadas e para Ug na profundidade de 0,10 – 0,20 m.

A Tabela 2 permite verificar ainda um alto grau de dependência espacial ( $IDE > 0,75$ ) para a Ug nas profundidades de 0,00 – 0,10 m e 0,20 – 0,30 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Freddi et al. (2006), onde obtiveram moderada dependência espacial para RP e Ug do solo em uma malha experimental de 10 x 10 m. Guimarães et al. (2016), relatou que quanto maior o valor do IDE, mais o semivariograma explica a variância dos dados, o que permite considerar que a malha de amostragem usada foi adequada, pois foi capaz de captar a dependência espacial em todos os casos analisados.

Habitualmente, a forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência (CAVALCANTE et al., 2007). Desse modo, a forte dependência espacial constatada para o atributo em estudo pode ser resultante de qualquer um dos fatores de formação do solo, especialmente o material de origem e relevo, ao passo que a dependência espacial moderada, seria devido a homogeneização do solo, propiciada pelos sistemas de uso e manejo.

Os semivariogramas ajustaram-se aos modelos gaussiano na profundidade de 0,00 – 0,10 m e exponencial nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m para o atributo da RP. O melhor ajuste para a Ug aconteceu nos modelos exponencial na camada superficial (0,00 – 0,10 m) e esférico nas demais profundidades avaliadas (0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m). Segundo Cavalcante et al. (2007), os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta.

Outro parâmetro de extrema relevância para a geoestatística relaciona-se ao alcance da dependência espacial, pois permite que seja definido o raio de amostragem

de maneira a garantir nas próximas amostragens, e para as mesmas condições do estudo, a independência dos pontos amostrais, a minimização do erro padrão da média e, também, reduzir o número de amostras a serem coletadas (ARTUR et al., 2014). Assim, todos os pontos vizinhos situados dentro de um círculo com esses raios podem ser utilizados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (SILVA; CHAVES, 2001).

O alcance encontrado nos atributos de RP e Ug (Tabela 2), excederam a o *grid* amostral (5 x 5 m), com exceção da Ug para a profundidade de 0,00 – 0,10 m, apresentando valor de 4,62 m. O alcance inferior a grade amostral, indica que esta não contemplou a variabilidade espacial da Ug apresentada na respectiva profundidade.

Na Figura 3 observa-se que os valores de RP aumentaram conforme as profundidades avaliadas. Porém, o solo da área estudada não apresentou níveis de RP críticos às plantas mesmo sob variação do teor de água do solo, excetuando-se uma pequena zona na camada de solo mais profunda de 0,2 – 0,3 m (Figura 3), o que resulta em condições satisfatórias para o crescimento do Tifton.

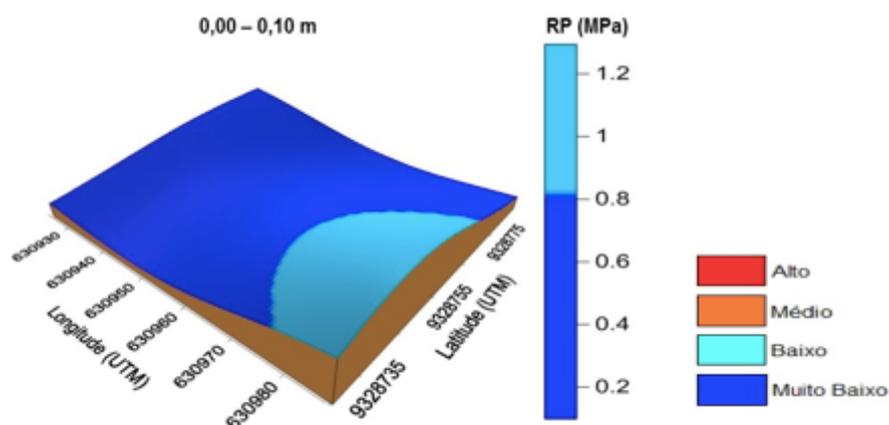
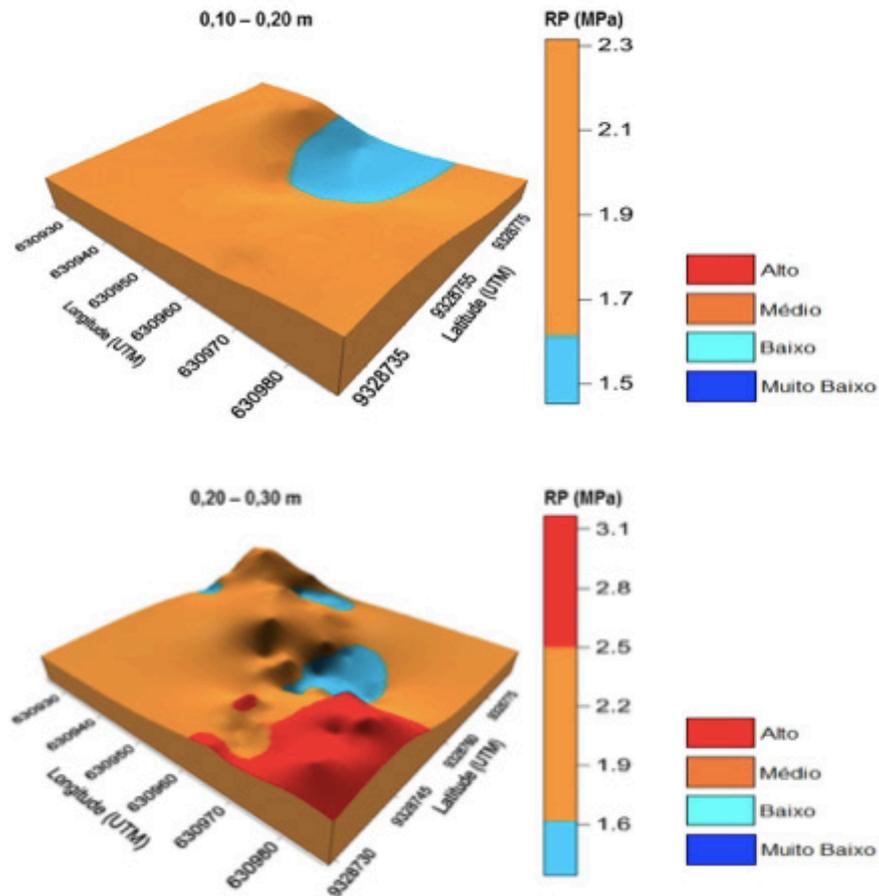


Figura 3 – Mapas de superfície 3D da resistência do solo à penetração cultivado com *Cynodon* spp., nas profundidades de 0,0-0,1 m (A), 0,1-0,2 m (B) e 0,2-0,3 m (C), na região de Carajás - PA. 2016.



A Figura 4 representa os percentuais da umidade do solo, os quais encontram-se entre 15% e 28%, estes teores encontram-se representados por duas variações da cor azul, onde quanto mais forte a matiz, maior o índice de umidade. Nota-se portanto, um comportamento semelhante nas três profundidades avaliadas, com apenas pequenas manchas claras (cor azul céu), indicando uma menor  $U_g$  nessas manchas. Este fato ocorreu em virtude das coletas dos dados de  $U_g$  terem sido realizadas no período chuvoso e, o aporte de matéria orgânica provido pela forragem, pode ter propiciado o aumento da retenção de umidade no solo e proteção contra a evaporação direta.

A redução do conteúdo de água no solo, representada nos mapas de superfície pela coloração azul céu, com valores abaixo de 20%, não interferiu no comportamento da RP, divergindo com o que Silveira et al. (2010) relatou com seus colaboradores. Segundo os autores, a redução de água em Argissolos promove o aumento da coesão entre as partículas minerais, tornando-as mais difíceis de serem separadas por forças externas, o que resulta no aumento da RP. Esta relação inversamente proporcional entre as variáveis RP e  $U_g$ , não ocorreu, possivelmente, devido ao fato de que os valores de umidade não apresentaram níveis críticos, situando-se em intervalos próximos ao adequado ( $U_g = 20\%$ ), mantendo níveis aproximados de coesão entre as partículas.

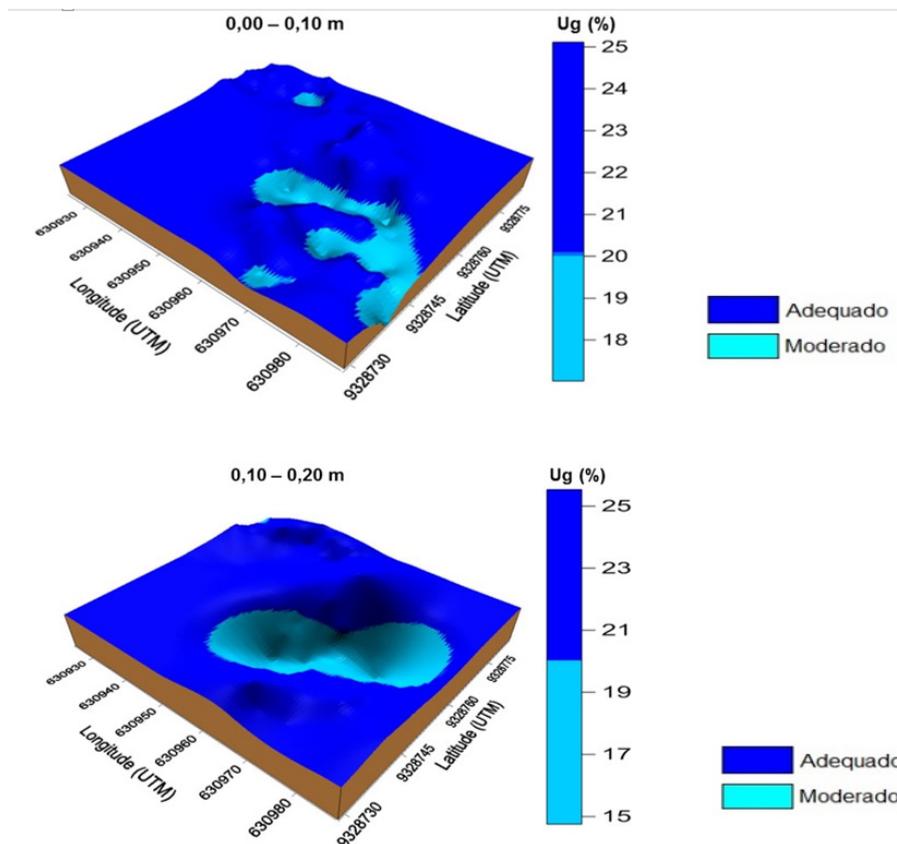


Figura 4 – Mapas de superfície 3D da resistência do solo à penetração cultivado com *Cynodon* spp., nas profundidades de 0,0-0,1 m (A), 0,1-0,2 m (B) e 0,2-0,3 m (C), na região de Carajás - PA. 2016.

#### 4 | CONCLUSÃO

A malha de amostragem é adequada para mapear a dependência espacial da resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica do solo nas diferentes profundidades avaliadas.

Através do mapeamento geoestatístico é possível verificar uma zona crítica para a resistência do solo à penetração ( $RP > 2,5$  MPa) na área com pastagem na profundidade de 0,20 – 0,30 m, possibilitando o uso localizado de práticas agrícolas que reduz a densidade do solo.

#### REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. P. A. **Manual do manejador da pastagem: um guia para o monitoramento da produção de forragem e da produção animal em sistemas de pastejo**. Uberaba: CONSUPEC, 2011. 90 p.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística e análise fatorial exploratória para representação espacial de atributos químicos do solo, na cafeicultura**. Coffee Science, Lavras-MG, v. 11, p. 195-203, 2016.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande-PB, v. 18, p. 141–149, 2014.

- CARVALHO, L. A.; M. NETO, V. J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. A.; CHAVES, C. H. C. **Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS.** Dourados-MS, Agrarian, v.1, p.7-22, 2008.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v. 31, p. 1329-1339, 2007.
- COSTA, M. A. T.; TORMENA, A. A.; LUGÃO, M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. **Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa-MG, v. 36, p. 993-1004, 2012.
- COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. **Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação.** Ciência Agrotecnológica, v. 33, p. 361-368, 2009.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. Ed. ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JUNIOR, V.; CARVALHO, G. J. **Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, p. 113-121, 2006.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004. GS+ Version 7. **Geostatistics for the Environmental Sciences.** User's Guide. Gamma Design Software, LLC, 160 p.
- GOLDEN SOFTWARE, 2016. **Surfer for Windows.** Version 11. Golden Software, Inc., Golden, Co.
- GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 11, p. 427-435, 2007.
- GOMES, P.F. **Curso de estatística experimental.** 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.
- GUIMARÃES, W. D.; GRIPP JUNIOR, J.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. **Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza-CE, v. 47, p. 247-255, 2016.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. **Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 35, p. 1493-1500, 2000.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Estatística municipal de Parauapebas.** 2015. Disponível em: <[www.idesp.pa.gov.br/pdf/EstatisticaMunicipal/pdf/Parauapebas.pdf](http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/EstatisticaMunicipal/pdf/Parauapebas.pdf)> Acesso em: 20 jan. 2017.
- KONDO, M. K. & DIAS JUNIOR, M. S. **Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v. 23, p. 211-218, 1999.
- LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. **Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí.** Agropecuária Científica no Semiárido, Campina Grande-PB, v. 9, p. 117-124, 2013.

- MANZIONE, R. L.; ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial multivariada aplicada na avaliação da fertilidade do solo.** Engenharia na Agricultura, Viçosa-MG, v. 19, p. 227-235, 2011.
- MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja.** Bioscience Journal, Uberlândia-MG, v. 27, p. 239-246. 2011.
- MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. **Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense.** Revista Agro@mbiente On-line, Boa Vista-RO, v. 9, p. 17-26, 2015.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. **Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 44, p. 1513-1519, 2009.
- MOLIN, J. P.; DIAS, C.T.S.; CARBONERA, L. **Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 16, p.584–590. 2012.
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v. 33, p. 1441-1448, 2009.
- RODRIGUES, M. S.; RAMOS, R. R. D.; AZEVEDO, T. P.; PATROCÍNIO FILHO, A. P.; OLIVEIRA, L. G. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em área de capineira irrigada no semiárido.** Agropecuária Científica no Semiárido, Campos de Patos-PB, v. 10, p. 161-166, 2014.
- ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. **Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v. 32, p. 1827-1835, 2008.
- SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. **Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande-PB, v. 5, p. 431-436, 2001.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. **Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocioso no Recôncavo da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v. 34, p. 659-667, 2010.
- TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A.; SILVA NETO, O. F.; ARAÚJO, A. S.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. S. **Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num Latossolo sob semeadura direta há doze anos.** Global Science and Technology, Rio Verde-GO, v. 8, p. 131-140, 2015.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, T.L.; NIELSEN, D.R. **Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties.** Hilgardia, Oakland, v. 51, p. 1- 75, 1983.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; ZANÃO, M. P. C.; GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto.** Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

## 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.

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

**Juliana de Lima Moretto**

UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas  
Botucatu - SP

**Leonardo Theodoro Büll**

UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas  
Botucatu - SP

**RESUMO:** A fertilização fosfatada nos solos tropicais possui eficiência muito variável, dependendo, dentre outros fatores, da fonte de P utilizada, das propriedades do solo e da espécie e variedade vegetal cultivada. Dentro desse contexto, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de termofosfatos, em solos com concentrações iniciais de P distintas, utilizando-se o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) como planta indicadora. Foi utilizado um Nitossolo da Fazenda Experimental Lageado, coletado em área de produção agrícola, com médio teor de P. Adjacente à área de produção, em mata natural, coletou-se o mesmo solo, com baixo teor de P. Em casa de vegetação elaborou-se um experimento com quatro fertilizantes fosfatados: termofosfato magnesiano (TM), termofosfato potássico (TK), termofosfato grosso (TG), e superfosfato triplo (ST) como referência. As plantas foram avaliadas quanto a massa de matéria seca e teor de P para cálculo do Índice de Eficiência Agronômica – IEA. O termofosfato com granulometria grosseira tem

sua eficiência altamente prejudicada em razão de sua menor solubilidade. Os termofosfatos possuem eficiências agronômicas distintas em função da concentração inicial de P no solo, eles são mais eficientes quando esse nível é previamente adequado. O índice de eficiência agronômica dos termofosfatos TM e TK é inferior ao padrão num solo com baixo teor inicial de P, e superior ao padrão num solo com adequado teor inicial de P.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termofosfatos. Eficiência agronômica. Diferentes concentrações iniciais de fósforo. Adubação fosfatada.

**ABSTRACT:** Phosphate fertilization on tropical soils has very variable efficiency, depending, among others factors, from the P source used, the soil properties and the vegetal specie and variety cultivated. Inside this context, the objective of this experiment was to evaluate the thermophosphates agronomic efficiency, in soils with different phosphorus initial concentration, using millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) as indicator plant. It was used a Nitosol from the Experimental Farm Lageado, collected in an agricultural production area, with medium concentration of P. Adjacent to the production area, in an natural forest, the same soil was collected, with low P concentration. The experiment was elaborated in a greenhouse with four phosphate fertilizers (magnesium

thermophosphate (TM), potassium thermophosphate (TK), coarse thermophosphate (TG), and triple superphosphate (ST) as reference). At the end of the experiment the soil chemical composition (P, K, Ca, Mg and Si content) was evaluated. The plants were evaluated for dry matter mass and P content to calculate the Agronomic Efficiency Index – IEA. The thermophosphate with coarse granulometry has its efficiency highly impaired due its lower solubility. The thermophosphates have different agronomic efficiencies, depending of the initial concentration of P in the soil, they are more efficient when this level is previously adequate. The agronomic efficiency index of TM and TK thermophosphates is lower than the standard fertilizer in a soil with a low initial P content, and higher than the standard in soil with an adequate initial P content.

**KEYWORDS:** Thermophosphates. Agronomic efficiency. Different phosphorus initial concentrations. Phosphate fertilization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os solos tropicais caracterizam-se por ocasionar elevada fixação de P. Os termofosfatos são fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em água, com alta solubilidade em ácido cítrico. Através da acidez natural da solução do solo vislumbra-se uma liberação gradativa do ânion fosfato dos termofosfatos e, por conseguinte, menor fixação do P às partículas do solo. Entre os agricultores profere-se que os termofosfatos possuem baixa eficiência agrônômica quando utilizados em cultivos nos quais o solo dispõe de baixo teor inicial de P, sem sustentação científica para essa alegação. Para tanto, objetiva-se estimar a eficiência agrônômica de termofosfatos em dois solos com diferentes concentrações iniciais de P.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Foi selecionada uma amostra de solo de área agrícola com teor ( $35 \text{ mg dm}^{-3}$  P resina) médio de P (MP) para culturas anuais (RAIJ, 1997). Uma segunda amostra do mesmo solo foi coletada a vinte metros de distância da primeira, em área de mata natural, com baixo ( $7 \text{ mg dm}^{-3}$  P resina) teor de P (BP); trata-se de um Nitossolo (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa. As fontes fosfatadas avaliadas foram: termofosfato magnesiano (TM), termofosfato magnesiano potássico (TK), termofosfato magnesiano “grosso” (TG) e superfosfato triplo (ST), como referência. Delineamento experimental foi em blocos casualizados esquema fatorial  $4 \times 3 + 1$ , dose zero como tratamento controle, com quatro repetições. Os fatores foram as quatro fontes (TM, TK, TG e ST) e três doses de fósforo (40, 80 e  $120 \text{ mg dm}^{-3}$ ) com testemunha sem adubação fosfatada. Semeou-se o milho como planta indicadora. As plantas foram avaliadas quanto a massa de matéria seca e teor de P (resina) (RAIJ et al., 2001). As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (teste F), as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ) e então calculado o Índice de Eficiência

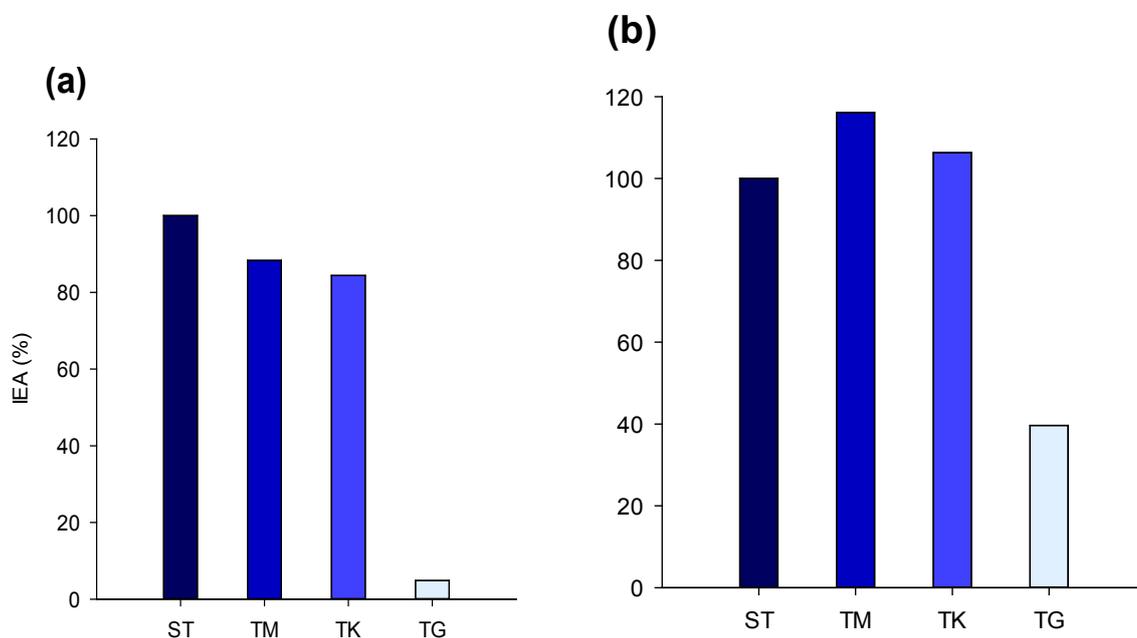
Agronômica – IEA com base no diferencial dos dados obtidos entre os termofosfatos avaliados e o superfosfato triplo, considerando-se tanto a produção média de matéria seca da parte aérea como a quantidade média de fósforo acumulada pela parte aérea (BÜLL et al., 1997).

$$IEA = \frac{(\text{Produção com termofosfato avaliado} - \text{produção sem P})}{(\text{Produção com super triplo} - \text{produção sem P})} \times 100$$

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao considerar o solo BP, a eficiência no acúmulo de MS para os termofosfatos foi inferior à do ST. As formas de termofosfatos em pó mostraram-se com eficiência próxima, porém abaixo do ST. O TM apresentou IEA de 88,3%, o maior entre os termofosfatos. As formas de termofosfato em pó mostraram-se com eficiência próxima a ST. No entanto, com o aumento do tamanho das partículas verifica-se grande redução da eficiência, esses resultados confirmam os encontrados por Stefanuti (1991), Kaminski et al. (1992), Rheinheimer (1992), Brasil (1994) e Büll et al. (1997).

No solo MP, opostamente, os termofosfatos tiveram sua eficiência aumentada, sendo que os termofosfatos em pó foram superiores ao ST (Figura 1). Foram obtidos os IEA de 116,1% e 106,3% para os termofosfatos TM e TK, respectivamente.



**Figura 1.** IEA quanto à produção de matéria seca da parte aérea do milho. (a) Solo BP; (b) Solo MP. TM: Termofosfato magnésiano, TK: termofosfato magnésiano potássico, TG: termofosfato “grosso” e ST: superfosfato triplo.

Quanto ao acúmulo de P na parte aérea das plantas, o TM foi o mais eficiente, foram obtidos IEA de 101,1% e 128,3% para este fertilizante no solo BP e MP, respectivamente (Figura 2), resultados semelhantes foram encontrados por Büll et

al. (1997). Com o aumento do tamanho das partículas, caso do termofosfato com granulometria grosseira, verifica-se importante redução da eficiência do termofosfato para ambos os índices.

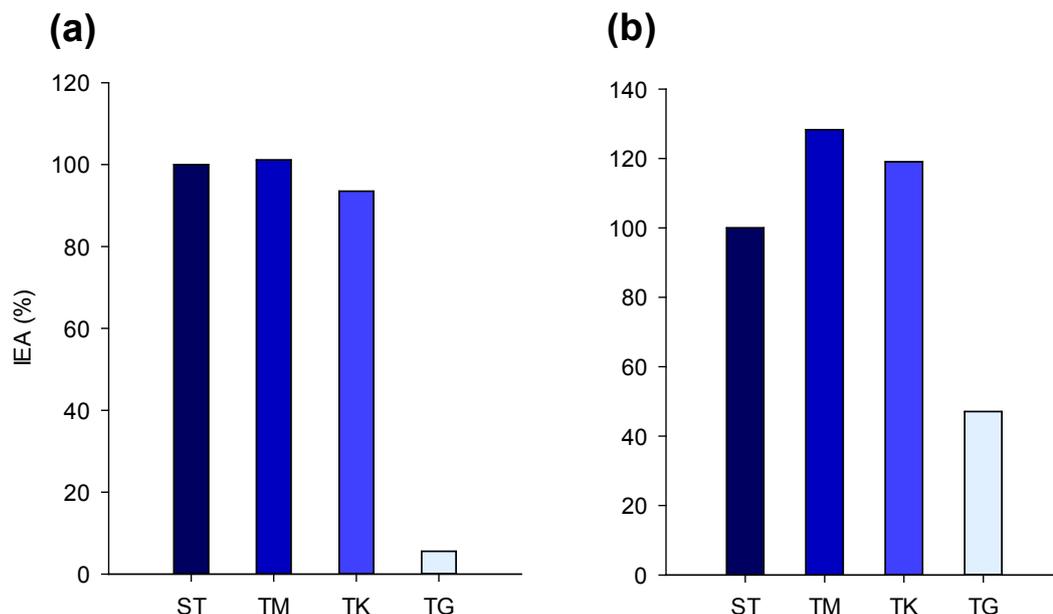


Figura 2. IEA quanto ao acúmulo de P na parte aérea do milho. (a) Solo BP; (b) Solo MP. TM: Termofosfato magnésiano, TK: termofosfato magnésiano potássico, TG: termofosfato “grosso” e ST: superfosfato triplo.

#### 4 | CONCLUSÕES

O termofosfato com granulometria grosseira teve sua eficiência altamente prejudicada em razão de sua menor solubilidade.

O IEA dos termofosfatos foi inferior ao superfosfato triplo no solo com baixo teor de P inicial,

O IEA dos termofosfatos em pó foi superior ao superfosfato triplo no solo com adequado teor de P inicial.

#### REFERÊNCIAS

BRASIL, E. C. **Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados**. Piracicaba. 160p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994.

BÜLL et al. **Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônoma**. *Bragantia*, Campinas, v. 56 n.1, p.169-179, 1997

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306 p.

KAMINSKI, J. et al. Avaliação da eficiência agrônoma de termofosfato magnésiano em função da granulometria. II. Leguminosas forrageiras. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1992, Piracicaba. **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p.250-251.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Avaliação da eficiência agronômica de termofosfato magnésiano em função da granulometria. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba. **Anais**. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.248-249. 1992.

STEFANUTI, R. **Efeito da granulometria de um termofosfato magnésiano no aproveitamento do fósforo**. Piracicaba, 1991. 76p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1991.

## 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**

Estudante de Agronomia, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Extensão/PIBEX – Universidade Federal do Pará/UFPA – Cametá, PA; elomatta@gmail.com

### **Wagner Augusto da Silva Mata**

Estudante de Agronomia – UFPA/Cametá, PA

### **Vitor Barbosa da Costa**

Estudante de Agronomia – UFPA/Cametá, PA

### **Joyce da Costa Dias**

Estudante de Agronomia – Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA/Belém, PA

### **Elessandra Laura Nogueira Lopes**

Professora Orientadora – UFPA/Cametá, PA.

**INTRODUÇÃO** – O manejo equivocado do solo pode alterar as propriedades físicas causando a compactação, interferindo diretamente na fertilidade natural do solo e por conseguinte no desenvolvimento das plantas. O efeito da compactação do solo no desenvolvimento das plantas é percebido quando a raiz encontra resistência mecânica ao seu crescimento. CAMARGO (1983), essa dificuldade dá-se quando o diâmetro da raiz é maior que os poros no solo. Todo sistema radicular ficará endurecido e raso, se porventura a raiz não ultrapassar essa barreira. Outrossim, no solo compactado, o número de macroporos é reduzido e a densidade é maior, isso em solo seco causa

maior resistência ao crescimento das raízes e decréscimo no potencial de água. O intento deste estudo foi avaliar os efeitos da compactação em diferentes níveis no desenvolvimento da cultura do feijão caupí (*Vigna unguiculata*) e do arroz (*Oryza sativa*). **Material e Métodos** – O ensaio teve a duração de 30 dias, instalado em 30/08/2016 na área experimental – casa de Vegetação da UFPA. O solo usado foi um Cambissolo bruno-amarelo, com as seguintes características granulométricas (g/kg): areia grossa= 26, areia fina= 494, silte= 300 e argila total= 180. Na preparação do solo foi feito o destorroamento, peneirado em malha 2,00 mm-malha 10 e compactado com soquete seguindo o ensaio de Proctor normal, em vasos de PVC. O experimento avaliou três repetições (R) com três níveis diferentes de compactação: Normal (NR 1, 2, 3), Moderada (MR 1, 2, 3) e Forte (FR 1, 2, 3). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x6 com 3 repetições, comportando 9 vasos para cada cultura e constituindo 18 parcelas experimentais. **Resultados e Discussão** – Através do teste de Tukey, observou-se: os solos do tratamento NR, sem compactação, apresentaram densidade entre 1,31 kg/cm<sup>3</sup> e 1,33 kg/cm<sup>3</sup>, nessas condições 2/3 dos vasos com feijão apresentaram desenvolvimento da plântula, alcançando em média, na parte aérea (ae), 7,8 cm e na radicular (ra) 3,8 cm,

o arroz cresceu 16,22 cm (ae) e 4,1 cm (ra) em 3/3 dos vasos. O MR com densidade entre 1,34 kg/cm<sup>3</sup> e 1,38kg/cm<sup>3</sup>, recebeu leve compactação; no feijão houve baixo desenvolvimento das plantas com apenas 1/3 dos vasos; apresentou alturas médias de 6,95 cm (ae) e 2,1 cm (ra), o arroz cresceu média de 15,01 cm (ae) e 4,6 cm (ra) em 2/3 dos vasos. O FR, foi umedecido e submetido à compactação intensa; densidade entre 1,57 kg/cm<sup>3</sup> a 1,89 kg/cm<sup>3</sup>; observou - se fendas no solo; não houve germinação das sementes nesse tratamento. **Conclusões** – Os tratamentos apontaram: o arroz obteve maior desenvolvimento nos primeiros dois tratamentos em relação ao feijão, foi o que melhor se adaptou às condições impostas. O tratamento FR não proporcionou condições ideais para as sementes germinarem em ambas culturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vigna unguiculata* e *Oryza sativa*, densidade, evolução

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

### **Veronica de Oliveira Costa**

Estudante (s) de graduação; Universidade Estadual do Piauí/UESPI; Corrente, PI

### **Manoel Ribeiro Holanda Neto**

Professor; Universidade Estadual do Piauí/UESPI; Corrente, PI

### **Mauricio de Souza Júnior**

Estudante (s) de graduação; Universidade Estadual do Piauí/UESPI; Corrente, PI

### **Mireia Ferreira Alves**

Estudante (s) de graduação; Universidade Estadual do Piauí/UESPI; Corrente, PI

### **Marco Aurélio Barbosa Alves**

Estudante de mestrado; Universidade Federal da Paraíba/UFPB; Areia, PB

### **Wesley dos Santos Souza**

Estudante de mestrado; Universidade Federal do Ceará/UFC; Fortaleza, CE

**RESUMO:** O fogo é muito utilizado para a limpeza de áreas agrícolas, sendo uma prática de mão de obra barata e de fácil uso. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a influência das queimadas sob os atributos cálcio e magnésio em área do bioma caatinga no Sul Piauiense. O trabalho foi realizado no baixão dourado, município de Júlio Borges-PI. O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro tratamentos: T1 - Área com queima com integração feijão

e milho - ACQIFM; T2 - Área sem queima com plantio de feijão - ASQPF; T - 3 Área com queima com plantio de capim-pangola - ACQPCP; T4 - Área sem queima há 4 anos com plantio de capim-Andropogon - ASQ4PCA e cinco repetições, totalizando 20 amostras de solo, na profundidade de 0,00-0,10 m. Os dados foram analisados e feita comparações de médias, usando programa estatístico assistat, onde os dados foram submetidos ao teste de Tukey, à 5% de probabilidade. O manejo com queimada afeta a presença do  $Ca^{+2}$  no solo, sendo que nessas condições sua presença é reduzida, principalmente em decorrência da lixiviação, porém em relação ao  $Mg^{+2}$  esse tipo de manejo não influenciou esse nutriente, sendo que os valores não deferiram estatisticamente. Desta forma, a prática de queimadas afeta negativamente a qualidade do solo, causando várias alterações nas concentrações dos nutrientes, levando futuramente ao empobrecimento do solo.

**PALAVRA-CHAVE:** qualidade do solo; nutrientes; fogo.

**ABSTRAT:** Fire is widely used for the cleaning of agricultural areas, being a cheap and easy to use labor practice. The objective of this work was to evaluate the influence of the burnings under the calcium and magnesium attributes in the area of the caatinga biome in southern

Piauiense. The work was carried out in the golden bahia, municipality of Júlio Borges-PI. The experimental design was completely randomized (DIC), with four treatments: T1 - Area with burning with beans and corn integration - ACQIFM; T2 - Area without burning with bean planting - ASQPF; T3 - Area with burning with pangola grass planting - ACQPCP; T4 - Non-burning area for 4 years with Andropogon-ASQ4PCA and five replications, totaling 20 soil samples, at a depth of 0.00-0.10 m. The data were analyzed and comparisons of averages were done using the statistical program assistat, where the data were submitted to the Tukey test, at 5% probability. The management with burning affects the presence of Ca + 2 in the soil, and in these conditions its presence is reduced, mainly due to the leaching, but in relation to the Mg + 2 this type of management did not influence this nutrient, being that the values did not statistically. In this way, the practice of burning affects negatively the quality of the soil, causing several changes in nutrient concentrations, leading in the future to soil impoverishment.

**KEYWORDS:** soil quality; nutrients; fire.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização do fogo como prática de manejo do solo é comum no Brasil, principalmente em áreas rurais. É utilizado com a finalidade de “limpar” áreas agrícolas, controlar pragas e doenças, preparar o solo para o plantio, renovar pastagens, melhorar a oferta e qualidade dos alimentos, abrir novas áreas de plantio, entre outros (VIEIRA et al. 2016).

O fogo representa, muitas vezes, a forma mais rápida e econômica para o produtor rural atingir tais objetivos, ressaltando que o mau planejamento e manejo desta ação podem gerar consequências danosas para o ambiente (LORENZON et al. 2014). O impacto ambiental das queimadas envolve a fertilidade dos solos, a destruição da biodiversidade, a fragilização de ecossistemas, a destruição de linhas de transmissão, a qualidade do ar e de visibilidade, bem como aumento do risco de acidentes em estradas e a limitação do tráfego aéreo, dentre outros aspectos (ACRE, 2010).

De acordo com alguns estudos, as queimadas têm seus pontos positivos e negativos. Os pontos positivos estão associados as cinzas aumentarem as concentrações de alguns elementos químicos essenciais do solo como Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, P e K<sup>+</sup> entre outros, pela queima dos restos vegetais, em razão da liberação imediata destes nutrientes, possibilitando uma assimilação rápida pelas plantas. Mais a curto prazo as perdas são significativas por meio da lixiviação, assim como através de fatores climáticos, como pelo carreamento pelas águas das chuvas, ventos entre outros. Essa ação ocorre, por falta da cobertura morta no solo, facilitando o processo erosivo, e assim acarretando o empobrecimento do solo.

Os impactos negativos estão associados aos fatores econômicos, sociais e ambientais, com diminuição da qualidade do solo e do ar e, conseqüentemente, danos

à saúde da população, além da diminuição da visibilidade em decorrência da fumaça, podendo provocar problemas como o fechamento de estradas e aeroportos (NEARY et al., 1999; DIAZ et al., 2002; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; KEELEY, 2009).

Para saber quais benefícios ou malefícios que as queimadas causam na qualidade do solo, é necessário comparar áreas que sofreu tal prática, com áreas que se encontra em estado de equilíbrio ambiental. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a influência das queimadas sobre os teores de cálcio e magnésio, em área de bioma caatinga no Sul Piauiense.

## 2 | MATERIAL E METÓDOS

O projeto foi realizado em áreas de caatinga no baixão Dourado município de Júlio Borges, Piauí (10° 18' 52" latitude Sul, 44° 14' 13" longitude Oeste). As condições climáticas do município de Júlio Borges (com altitude da sede a 389 m acima do nível do mar) apresentam temperaturas mínimas de 25 °C e máximas de 37 °C, com clima quente e semiúmido. A precipitação pluviométrica média anual é definida no Regime Equatorial Continental, com isoietas anuais acima de 800 mm e período chuvoso estendendo-se de novembro–dezembro a abril–maio. O trimestre mais úmido é o formado pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (IBGE–CEPRO, 1998). O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2013).

O experimento constituiu-se de 4 tratamentos: T1- área com queima com integração feijão e milho) – ACQIFM; T2 - área sem queima com plantio de feijão - ASQPF; T3- área com queima com plantio de capim-pangola - ASQPCP; T4- área sem queima há 4 anos com plantio de capim-Andropogon - ASQ4PCA; dos quais foram coletadas cinco amostras de solo em cada tratamento, em profundidade de 0,0-0,10 m. As amostras foram levadas ao laboratório de análises de solos-LASO, pertencente a Universidade Estadual do Piauí, onde foram processadas suas análises. O Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) foram extraídos com cloreto de potássio ( $\text{KCL}$ )  $1\text{ mol L}^{-1}$  e quantificados por titulometria (EMBRAPA, 2011).

Os dados foram analisados e posteriormente, feito comparações de médias, usando programa estatístico assistat, onde os dados foram submetidos ao teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento ASQPF (Gráfico 1) apresentou estatisticamente o melhor resultado para  $\text{Ca}^{+2}$  com média  $2.62\text{ cmol/dm}^{-3}$  comparado com os outros tratamentos. Isso devido a área não ter sofrido influência da queimada, mantendo assim suas propriedades químicas inalteradas para esse nutriente. Ressalta-se, porém, que embora a queima

dos resíduos vegetais possa elevar os teores das bases trocáveis e diminuir os teores de  $H^+$  e  $Al^{+3}$ , ela poderá, também, a longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas são facilmente carregadas por lixiviação e/ou erosão (MENDONZA et al., 2000).

O tratamento ASQ4PCA apresentou o menor resultado, com  $Ca^{+2}$  apresentando média de  $0.74 \text{ cmol/dm}^{-3}$ , mostrando a influência negativa a longo prazo da queima, que após um certo período de tempo, perde nutrientes como o  $Ca^{+2}$ , através de lixiviação, o que afeta a fertilidade do solo. Os efeitos positivos das do uso da prática da queimada de vegetação tendem a desaparecer, em médio prazo, durante o processo de tendem a desaparecer, em médio prazo, na lixiviação dos nutrientes pela ação de chuvas, o que resulta em concentrações que podem ser até inferiores às observadas em solos que não sofreram ação do fogo (KNICKER, 2007).

Quanto ao  $Mg^{+2}$ , os valores encontrados não deferiram estatisticamente entre os tratamentos, devido a ação da queimada não ter influenciado a presença desse nutriente no solo em relação ao tratamento sem queima (Gráfico 1).

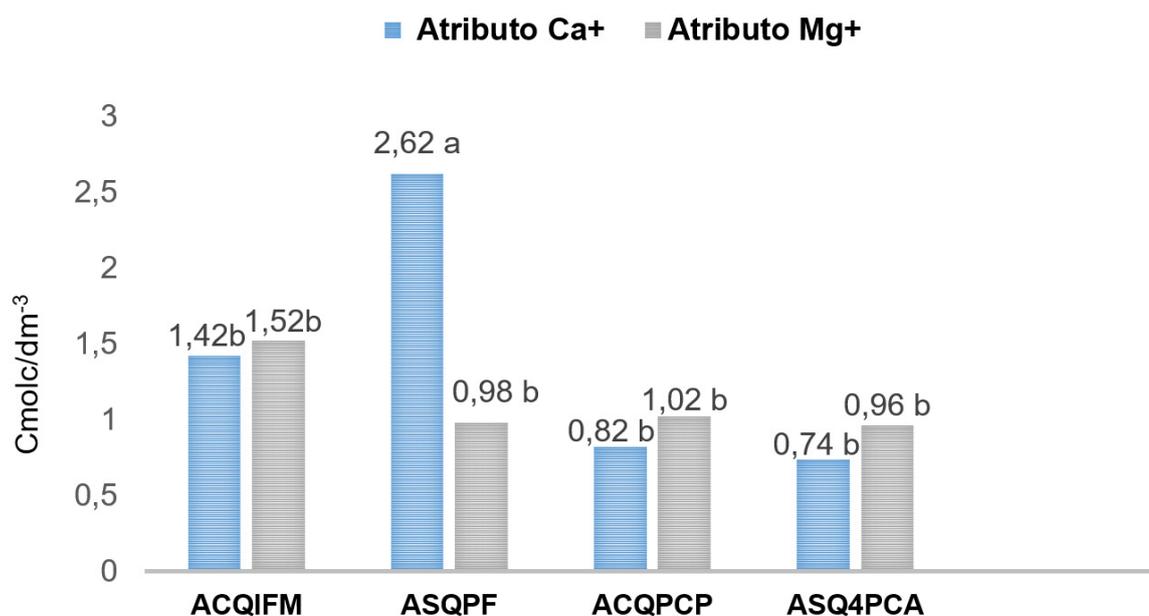


Gráfico 1. Médias referentes aos atributos químicos Cálcio ( $Ca^{+2}$ ) e Magnésio (Mg), em áreas sobre influência das queimadas no bioma caatinga no Sul piauiense.

Área com queima com integração feijão e milho - ACQIFM; Área sem quem com plantio de feijão - ASQPF; Área com queima com plantio de capim-pangola - ACQPCP; Área sem queima há 4 anos com plantio de capim-Andropogon – ASQ4PCA. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente no teste de Tukey à 5 % de probabilidade

## 4 | CONCLUSÕES

1. O manejo com queimada afeta a presença do  $Ca^{+2}$  no solo, sendo que nessas condições sua presença é reduzida, principalmente em decorrência da lixiviação, porém em relação ao  $Mg^{+2}$  esse tipo de manejo não influenciou esse nutriente, sendo que os valores não deferiram estatisticamente.

2. Desta forma, a prática de queimadas afeta negativamente a qualidade do solo, causando várias alterações nas concentrações dos nutrientes, levando futuramente ao empobrecimento do solo.

## REFERÊNCIAS

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA. **Relatório da Comissão Estadual de Gestão de Riscos Ambientais - CEGdRA**. Rio Branco, Acre. Digital. 2010.

DIAZ, M. C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e incêndios florestais na Amazônia**. Relatório IPAM. 2002. 43 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, 2011, 230 p.

KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity, and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Virginia, v. 18, p. 116-126, 2009.

KNICKER, H. **How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review**. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, mar. 2007.

LORENZON, A, S., BRIANEZHI, D., VALDETARO, E, B, SOUZA, C, M., MARTINS, S, V., RIBEIRO, C, A, A, S, SILVA, E., JACOVINE, L, A, G. **Análise química de um solo florestal após ocorrência de fogo**. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.4, n.2., p.142-147, Dezembro, 2014.

LOUZADA, J. N. C.; MACHADO, F. S.; BERG E. **O fogo como instrumento de manejo em agroecossistemas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 29-36, 2003.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. **Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis**. **Forest Ecology and Management**, Holanda, v. 122, p. 51-71, 1999.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. **Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.201-207, 2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto cadastro de fonte e abastecimento por água subterrânea Piauí, 2004**. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/Bitstream/handle/doc/16008/Rel\\_JulioBorges.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/Bitstream/handle/doc/16008/Rel_JulioBorges.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

VIEIRA, A, C., MELLONI, R., MELLONI, E, G, P., GUIMARÃES, M, C., FREITAS, M, S., Pecoraro, D. 2016. **Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem**. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.06 (2016) 1703-1711.

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

### **Enilson de Barros Silva**

Professor, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Departamento de Agronomia, Diamantina – Minas Gerais.

### **Maria do Céu Monteiro da Cruz**

Professora, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Departamento de Agronomia, Diamantina – Minas Gerais.

### **Ari Medeiros Braga Neto**

Doutorando, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Departamento de Agronomia, Diamantina – Minas Gerais.

### **Emerson Dias Gonçalves**

Pesquisador, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Fazenda Experimental de Maria da Fé, Maria da Fé – Minas Gerais.

### **Luiz Fernando de Oliveira da Silva**

Pesquisador, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Fazenda Experimental de Maria da Fé, Maria da Fé – Minas Gerais.

**ABSTRACT:** *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) is a species that produces edible fruits with a sour and sweet taste, characterized as a fleshy berry. Its production has aroused great interest of producers, merchants and consumers, for its easy cultivation, high nutritional value and economic added. Basic information about mineral nutrition of *physalis* is scarce, especially as regards the determination of the index leaf to evaluate nutritional status. The objective of this

study is to establish the index leaf, the type and leaf position in the floral branch and propose critical levels of nutrients for nutritional diagnosis of *physalis*. The data of nutrient concentrations in leaf limb, petiole and complete leaf and shoot dry weight of *physalis* collected from an experiment of nutrients omission in greenhouse were used to define leaf type to be sampled. The complete leaf samples were collected in three positions of the branch (apical, median and basal) in the flowering of crop and fruit productivity. These data were obtained in an experimental plot of NPK fertilization in *physalis* was used to define the position of the complete leaf to be sampled and to propose values of critical nutrient levels for *physalis*. Critical levels of nutrients were proposed by means of reduced normal distribution criterion with field experiment data. The complete leaf (petiole and leaf limb) in the median position of floral branches is can be indicated as sampling standard for diagnosis of nutritional state of *physalis*. The critical levels of nutrients proposed are N ( $34.1 \text{ g kg}^{-1}$ ), P ( $2.9 \text{ g kg}^{-1}$ ), K ( $17.1 \text{ g kg}^{-1}$ ), Ca ( $13.5 \text{ g kg}^{-1}$ ), Mg ( $3.9 \text{ g kg}^{-1}$ ), S ( $4.2 \text{ g kg}^{-1}$ ), B ( $19.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $16.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe Mn ( $40.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and Zn ( $20.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) for sampling of complete leaf in the median position of floral branches of *physalis*.

**KEYWORDS:** Leaf sampling, nutrients, nutritional status, critical levels.

**RESUMO:** A fisalis (*Physalis peruviana* L.) é uma espécie produtora de frutos comestíveis com sabor azedo e adocicado, caracterizados como uma baga carnosa. Sua produção vem despertando grande interesse de produtores, comerciantes e consumidores, pelo seu fácil cultivo, alto valor nutricional e econômico agregado. Informações básicas sobre a nutrição mineral do fisalis são escassas, principalmente no que se refere à determinação da parte da planta indicada para avaliar o estado nutricional da cultura. O objetivo deste trabalho foi estabelecer a folha índice quanto ao tipo e a posição da folha no ramo floral e propor o nível crítico de nutrientes para diagnose nutricional de fisalis. Os dados de concentração de nutrientes no limbo foliar, pecíolo e folha completa e de peso seco da parte aérea de fisalis foram coletados de um experimento de omissão de nutrientes em casa de vegetação para definição do tipo de folha a ser amostrada. Amostras de folha completa (pecíolo e limbo foliar) foram coletadas em três posições dos ramos (apical, mediana e basal) no florescimento da cultura e a produtividade de frutos. Os dados foram obtidos de um experimento de adubação NPK em fisalis para definição da posição a ser amostra da folha completa e propor valores de nível crítico de nutrientes para fisalis. A folha completa (pecíolo e limbo foliar) na posição mediana de ramos florais pode ser indicada com amostragem padrão para diagnose do estado nutricional de fisalis. Os níveis críticos de nutrientes propostos são para N (34,1 g kg<sup>-1</sup>), P (2,9 g kg<sup>-1</sup>), K (17,1 g kg<sup>-1</sup>), Ca (13,5 g kg<sup>-1</sup>), Mg (3,9 g kg<sup>-1</sup>), S (4,2 g kg<sup>-1</sup>), B (19,3 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (16,9 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (361,0 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (40,9 mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (20,2 mg kg<sup>-1</sup>) para amostragem da folha completa na posição mediana de ramos florais de fisalis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amostragem foliar, nutrientes, estado nutricional, nível crítico.

## 1 | INTRODUCTION

*Physalis peruviana* L. is an Andean exotic plant being characterized by being shrub, decumbent habit and very dense branches (RODRÍGUEZ et al., 2013). It belongs to the Solanaceae family and to the genus *Physalis*, which has about twelve species in South America (SOARES et al., 2009), being these species, producing edible fruits of sour and sweet taste being these species, producing edible fruits of sour and sweet taste (VARGAS-PONCE et al., 2016). The fruit is presented by a berry enveloped by the calice, popularly called boll (RUFATO et al., 2008). It has a high nutritional value and attractive medicinal properties (PUENTE et al., 2011), being rich in vitamins A, C, Fe, P and fibers (MUNIZ et al., 2014).

Soil chemical analysis is the routine form used as criterion to evaluate soil fertility and need of fertilization for different crops (FAGERIA et al., 2009). Normally, nutritional diagnosis of plants is performed by evaluation of results of foliar chemical analysis, among others, constituting a tool that allows planning, evaluating and calibrating fertilization recommendation used in the crops, being complementary to soil analysis (FAGERIA, 2007; PRADO; CAIONE, 2012).

Foliar analysis has been widely used in the diagnosis of plants nutritional status

is based on fact that there is a direct correlation between growth or yield and nutrient concentration in their tissues (MARSCHNER, 2012). From this correlation, values are established for nutrient concentrations corresponding to changes in terms of yield. These points represent critical levels and delimit ranges of concentrations related to nutrient deficiencies, appropriate levels or toxicity of nutrients (MOURÃO FILHO, 2004, PRADO; CAIONE, 2012).

Several factors that may determine variations in nutrient concentrations in leaves, such as leaf age and its position in the branch, fruiting performance, cultivar, genotype, soil type and cultural practices (FAGERIA, 2007; FAGERIA et al., 2009, SOUZA et al., 2011; PRADO; CAIONE, 2012). Therefore, there is no information on the leaf indexing for foliar diagnosis for physalis within the premise of a well-defined relationship between growth and crop yield and the nutrient concentration in the tissues. Given the above, the study aimed to establish the index leaf, the type and leaf position in the floral branch and propose critical levels of nutrients for nutritional diagnosis of physalis.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

Two experiments were carried out in Diamantina, state Minas Gerais, Brazil (18°15'S, 43°36'W, 1,250 m altitude) in a greenhouse in a nutrient solution and in field condition. Other in the field condition were carried out in Maria da Fé, state Minas Gerais, Brazil (22° 17'S, 43°23'W, 1,285 m altitude).

The greenhouse data in nutrient solution referred to an experiment that utilized the missing element technique. The experimental was designed in completely randomized with three replications and twelve treatments: complete nutrient solution and the individual omissions of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn, totaling 36 experimental plots with a plant in each pot.

Physalis was grown from seeds of a population provided by Company of Agricultural Research of Minas Gerais, from the center in the South of the State Minas Gerais, in Maria da Fé (22° 17'S, 43°23'W, 1,285 m altitude), Brazil. After a week, the seeds were sown in trays of 128 cells, using a commercial substrate Bioplant®. The seedlings were grown in a greenhouse and irrigation was made by micro sprinklers twice a day. A month after seedling emergence, it was performed the roots wash to remove the substrate bonded, and it was made the transfer of seedlings for hydroponic pots of black color with 3.0 L capacity, with addition fo 2.5 L of nutrient solution prepared in accordance to Clark (1975). Solutions with ionic strengths of 25, 50, 75 and 100 % were used. The seedlings were kept in each concentration for one week, using a continuous artificial aeration system. During this adaptation period, in the first and second week, it was supplied nutrient solution contained only macronutrients. And, in the third and fourth week, it was supplied nutrient solution with 50 and, 75% of macronutrients, respectively, and 10 % of the ionic strength of micronutrients. In the fifth week, 100 % of

the ionic strength of all nutrients was supplied by the nutrient solution. The treatments with complete solution and with absence of nutrients studied were supplied in the sixth week. The solutions with different treatments were changed weekly, during the 150 days of the experiment conduction. The solutions were prepared with analytical reagents, and the complete nutrient solution was prepared in accordance to Clark (1975) as following: 114.2 mg N (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratio 8:1); 2.2 mg P; 70.2 mg K; 104.4 mg Ca; 14.4 mg Mg; 16 mg S; 209 µg B; 32 µg Cu; 2128 µg Fe; 385 µg and 131 µg Zn Mn per liter of solution. For the other treatments, the nutrients concentrations were identical to those of the complete solution, except for the omitted nutrient. The pH of the nutrient solution was maintained at about 6.0 ± 0.1; applying HCl 0.1 mol L<sup>-1</sup> or NaOH 1.0 mol L<sup>-1</sup> with daily control, as needed, using a portable pH meter. At 150 days after the start of the experimental period, seedlings were evaluated shoot dry weight and divided in dry weight of stem, petiole and leaf limb, in the last two parts were used to define index leaf of physalis.

The field data were related to an experiment to study NPK rates in physalis that was cultivated in Quartzarenic Neossol and Yellow Red Argisol (SANTOS et al., 2013). Soil samples were air-dried, sieved (2.0 mm) and characterized according to Teixeira et al. (2017) with the following results: For Quartzarenic Neossol (pH<sub>water</sub>=5.3; P =10.3; K=0.5 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); Ca=1.0; Mg=0.3; Al=0.04 (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); Cation-exchange capacity =3.1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Bases saturation=42%, Organic carbon=1.7 and Clay=60 g kg<sup>-1</sup>) and Yellow Red Argisol (pH<sub>water</sub>=5.3; P=0.4; K=0.1 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); Ca =1.6; Mg=0.8; Al=0.1; Cation-exchange capacity =4.8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Bases saturation =25%, Organic carbon=2.9 and Clay=260 g kg<sup>-1</sup>). The experiments were arranged in a randomized blocks, fractional factorial design (4 x 4 x 4)<sup>½</sup>, with 32 treatments, totalizing 32 experimental plots. The following nutrient rates were applied: 0, 40, 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> N, as urea; 0, 45, 90 and 180 kg ha<sup>-1</sup> P, as triple superphosphate, and 0, 35, 70 and 140 kg ha<sup>-1</sup> K, as potassium chloride. The experimental plot consisted of 18 plants, spaced 3 x 1 m (density of 3,333 plants ha<sup>-1</sup>) being the plot useful to the four central plants. Soil preparation of the experimental area was conducted in conventional manner (plowing and harrowing). The fertilization with micronutrients was 1 kg of B (boric acid) and 4 kg of Zn (zinc sulfate) per ha.

Leaf samples with complete leaf (petiole and leaf limb) were collected in the four useful plants of the experimental plots, in three positions of the plant (apical, median and basal) in the flowering of crop. Each sample consisted of 10 leaves, counted in the apex direction for the base of the plants. Fruits productivity of physalis was evaluated by a useful plot in the year 2015 in Diamantina and in the year 2017 in Maria da Fé, Brazil.

The petiole, leaf limb and complete leaf samples in the experiments were dried in a forced-air oven at 65 C for nutrient determination (SILVA, 2009).

Greenhouse data, totaling 36 shoot dry weight data of physalis with a dependent variable and the concentration of all nutrients in the leaf limb, petiole and complete leaf

(petiole and leaf limb) sampled according to Figure 1a, as independent variables were submitted to multiple linear regression study with the purpose of obtaining the index leaf of physalis. Field experiment data of 32 experimental plots of Diamantina were submitted to multiple linear regression study between the concentrations of all nutrients in the three leaf positions of the plant (apical, median and basal), sampled according to Figure 1b, in floral branch as independent variable and fruits productivity of physalis as dependent variable.

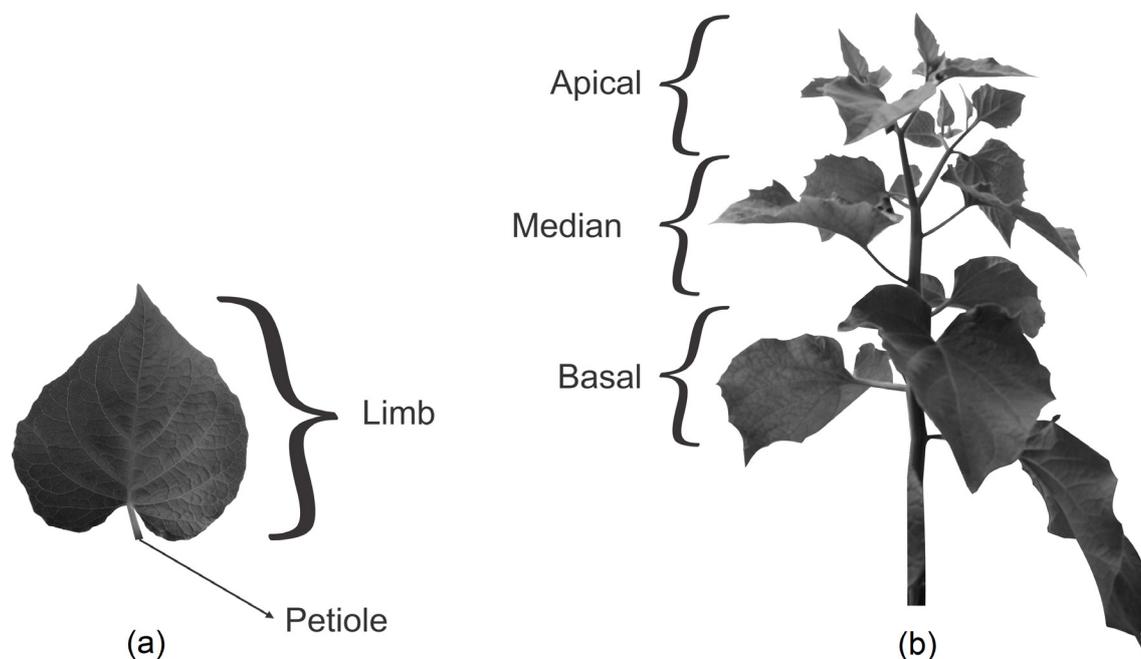


Figure 1. Sampling scheme of leaf type to be sampled (leaf limb, petiole and, complete leaf) (a) and three positions of floral branches (apical, median and basal) (b) physiologically mature leaves in flowering of physalis.

The selection of index leaf in type and position in physalis was considered: significance of the multiple linear regression, the adjustment index ( $R^2$  and  $R^2$  adjusted), the significance of each estimated nutrient parameter of the multiple linear regression with shoot dry weight part and fruits productivity of physalis, study of the graphic distribution of standardized residues (SEBER; LEE, 2003) and simple linear correlation ( $r$ ) of observed and estimated shoot dry weight and fruits productivity of physalis.

The critical levels of nutrients for the physalis were obtained after the definition of the index leaf, using the criterion of the reduced normal distribution (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001) in two experiments were carried out in Diamantina and Maria da Fé, state Minas Gerais, Brazil. The methodology consists of firstly verifying, if the fruit productivity data have normal distribution, and if negative, can do transformation of the data. When productivity has a normal distribution, the arithmetic mean ( $X_1$ ) and the standard deviation ( $s_1$ ) of the productivity are calculated. Next, productivity representing 90% of the maximum is calculated by Equation 1.

$$\text{Productivity}_{90\%} = 1.281552 * s_1 + X_1 \quad (1)$$

The next step calculated the variable Y by Equation 2, where  $n_i$  is the nutrient concentration that is desired to find the critical level.

$$Y = \text{productivity} / n_i \quad (2)$$

Subsequently, the Y values are verified for the normal distribution and the arithmetic mean ( $X_2$ ) and the standard deviation ( $s_2$ ) of the created variable are calculated. Then, the value of Y referring to 90 % of the maximum is calculated by Equation 3.

$$Y_{90\%} = 1.281552 * s_2 + X_2 \quad (3)$$

Knowing that  $Y = \text{productivity} / n_i$  and replacing productivity with 90% of maximum (Equation 1), the critical level is calculated by Equation 4, for nutrient  $n_i$ .

$$n_i = 1.281552 * s_1 + X_1 / 1.281552 * s_2 + X_2 \quad (4)$$

The critical levels of nutrients in the physalis leaves were compared with those proposed by Raviv & Lieth (2008) found in plant tissues.

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

The multiple linear regressions between the nutrient concentrations in leaf limb, petiole and complete leaf and shoot dry weight of physalis were significant by F test with better adjustment index results ( $R^2$  and  $R^2$  adjusted) (Table 1). The complete leaf presented higher value of  $R^2$  adjusted between nutrient concentrations and shoot dry weight of physalis, which occur for the petiole and leaf limb (Table 1). The estimated parameters of the regression (intercept and nutrient concentrations) were all significant at the 1% level by t test for leaf limb, petiole and complete leaf (Table 1) showing the relationship that the nutrients have with the plant growth (FAGERIA et al., 2009, MARSCHNER, 2012, PRADO; CAIONE, 2012).

The statistical study of the standardized residuals was adequate for this type of procedure (SEBER; LEE, 2003), since the points are random and homogeneous around the horizontal axis with value equal to zero, this characterizes a better result for the linear regression between the shoot dry weight of physalis and the nutrient concentrations for leaf limb, petiole and complete leaf (Figure 2). In addition, simple linear correlations ( $r$ ) were elevated between the estimated and observed shoot dry weight of physalis (Figure 2). In this way, it is possible to use leaf limb, petiole and complete leaf, but as a form of standardization for future evaluation of the nutritional status and recommendation for the farmers of physalis crop would be ideal the complete leaf as index leaf.

The field experiment was used to define the position (apical, median and basal) of the complete leaf in the floral branch of physalis. The multiple linear regressions adjusted between the fruits productivity of physalis and all the nutrient concentrations in the

complete leaf in full flowering of the plants can verify that the sampling of the complete leaf in the median position of floral branch was the one that presented significance by F test and the highest adjustment indexes ( $R^2$  and  $R^2$  adjusted) (Table 2).

Independent variable	Leaf limb	Petiole	Complete leaf
	..... Estimated parameter .....		
Intercept	-29.6367	-12.8086	-42.4426
N	0.5667**	0.2377**	0.7664**
P	-4.3138**	-4.3340**	-4.5955**
K	0.2891**	0.5678**	0.2990**
Ca	0.3240**	3.1969**	0.0922**
Mg	2.5922**	4.2711**	2.3259**
S	-2.6989**	-0.6453**	-2.3746**
B	-0.7218**	-0.9030**	-0.8545**
Cu	1.9169**	0.9373**	1.9498**
Fe	0.0790**	-0.0332**	0.1168**
Mn	0.0228**	-0.0388**	0.0355**
Zn	0.0639**	-0.2845**	0.1538**
F test	409.2980**	75.5770**	5278.2880**
$R^2$	0.9947	0.9719	0.9996
$R^2$ adjusted	0.9923	0.9591	0.9994

Table 1. Parameters of multiple linear regression equations between nutrient concentrations in leaf limb, petiole and complete leaf as independent variables and shoot dry weight ( $\text{g plot}^{-1}$ ) of physalis as dependent variable.

\*\*Significant at  $p = 0.01$ . Concentration values for macronutrients are in  $\text{g kg}^{-1}$  and micronutrients in  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Independent variable	Sampling position of complete leaf		
	Basal	Median	Apical
..... Estimated parameter.....			
Intercept	3014.692	-1.176.438**	391.271
N	-238.371	415.344**	186.379
P	-1176.226*	-1840.399**	-2350.082*
K	-98.507	281.753**	10.087
Ca	-319.599	-136.987**	-104.027
Mg	1716.916**	1227.637**	1690.205*
S	1325.750	501.548**	2568.860
B	5.452*	8.716**	13.493*
Cu	6.738	-1.764**	-4.308
Fe	-0.538	-0.186**	-0.535
Mn	2.749*	10.791**	12.285*
Zn	-5.777*	-7.562**	-11.737*
F test	4.725**	203.231**	6.125**
$R^2$	0.779	0.999	0.818
$R^2$ ajustado	0.616	0.989	0.685

Table 2. Parameter of multiple linear regression equations between complete leaf nutrient concentrations in three positions in the plant (basal, median and apical) as independent variable and, fruit productivity ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) of physalis as dependent variable.

\*\*Significant at  $p = 0.01$ . Concentration values for macronutrients are in  $\text{g kg}^{-1}$  and micronutrients in  $\text{mg kg}^{-1}$ .

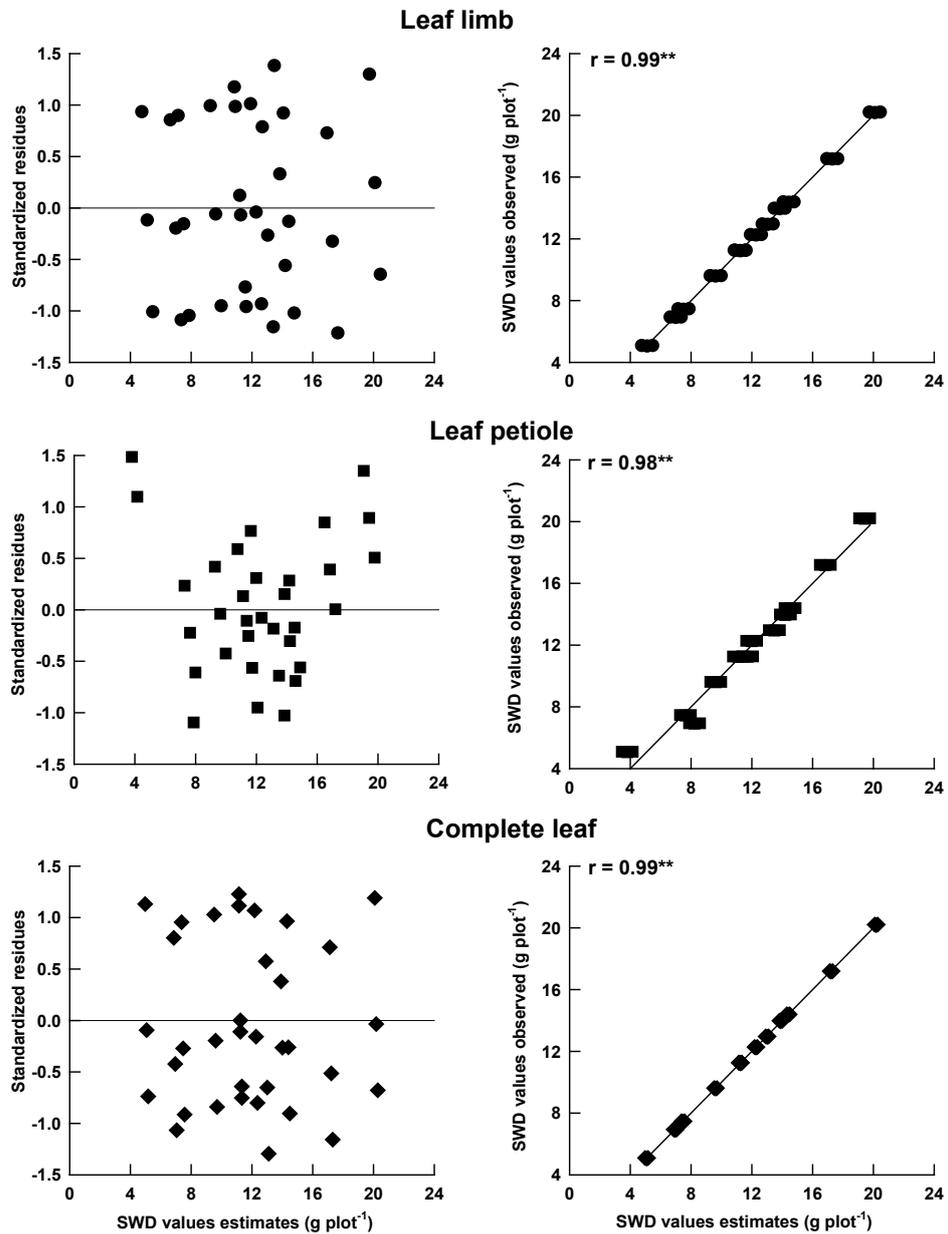


Figure 2. Graphical distribution of the standardized residues for the multiple linear regressions of all nutrients in leaf limb, petiole, and complete leaf with the estimated shoot dry weight (SDW) of physalis and, the simple linear correlation ( $r$ ) between SDW values observed and estimates.

The estimated parameters of the regression (intercept and nutrient concentrations) were all significant at the 1% level by  $t$  test (Table 2) for sampling the complete leaf in the median position in floral branch showing the relation that the nutrient concentrations have with the plant productivity (FAGERIA et al., 2009; MARSCHNER, 2012, PRADO; CAIONE, 2012). The statistical study of the standardized residues shows a better result for the regression when sampling of the complete leaf in the median position in floral branch and, with greater simple linear correlation ( $r$ ) between the estimated and observed values of fruits productivity of physalis (Figure 3).

The definition of the median sampling position of the complete leaf in a physalis plant follows what is generally observed for several crops such as cucumber, potato (SILVA, 2009) and common bean, which presented closer correlations for the concentration, accumulation and yield variables when sampled in the medium leaf (SOUZA et al.,

2011). For the coffee crop, the collection at medium height of the plant of the third pair of leaves from the tip of branch is sufficient to carry out the chemical determinations of macro and micronutrients (CINTRA, 2012).

However, the median sampling position is not a standard. For leaf sampling of rice is indicated the sampling of the total shoot (FAQUIN, 2002). Cultures with characteristics similar to physalis have very specific samplings as in the case of eggplant, which is only sampled the newly developed leaf petiole (SILVA, 2009).

The leaf index for foliar diagnosis of a crop is based on the direct correlation between growth rate or yield and the nutrient concentrations in its tissues (FAGERIA et al., 2009; MARSCHNER, 2012, PRADO; CAIONE, 2012). Therefore, failure to correlate all nutrients with crop growth and yield may provide misleading recommendation of the index leaf to be sampled to diagnose the nutritional status of plants. Without correlating the yield or growth of the plant with the nutrient concentrations, a wide variation was obtained for physalis as a function of the nutrient to be diagnosed.

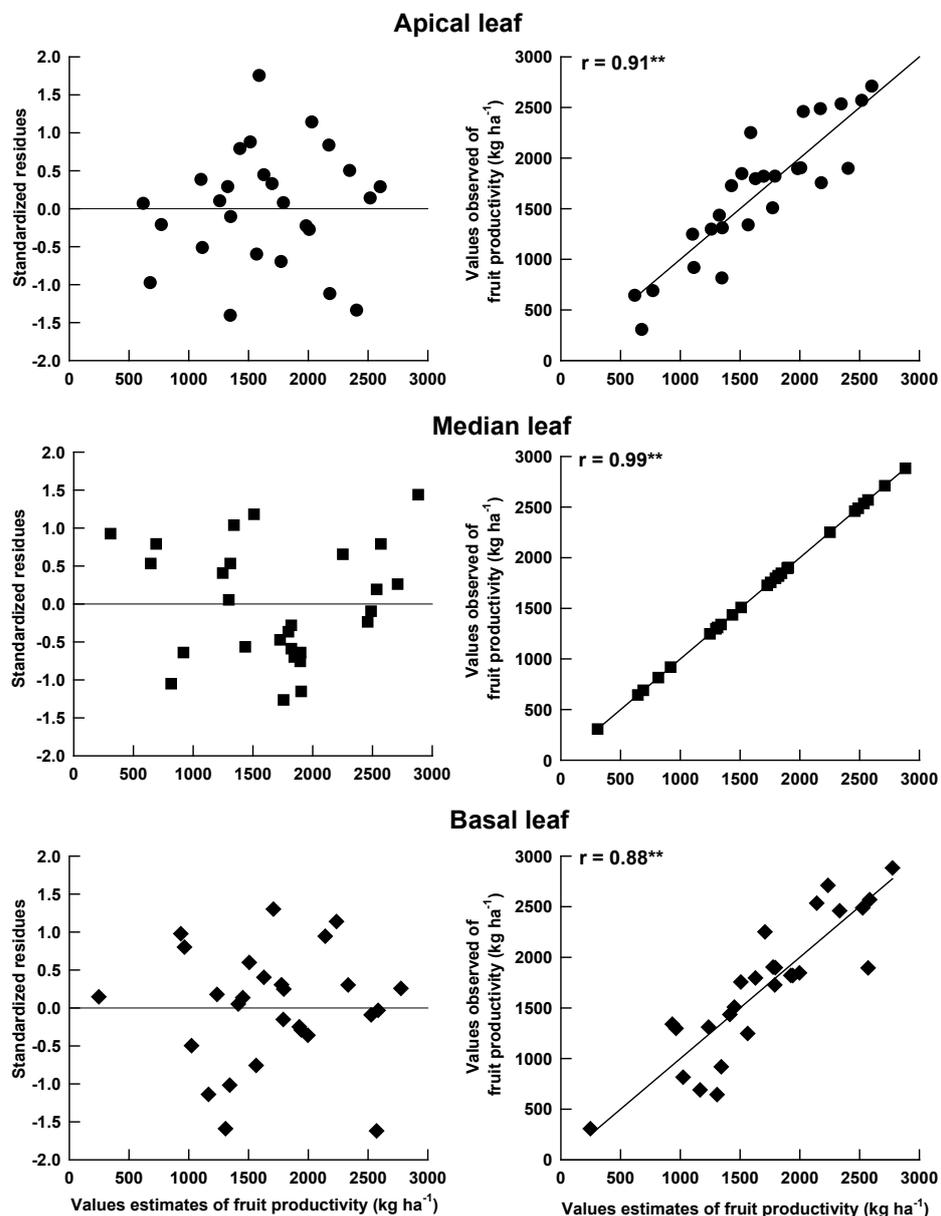


Figure 3. Graphical distribution of the standardized residues for the multiple linear regressions

of all nutrients in three positions in the plant (basal, median and apical) with the estimated fruit productivity of physalis and, simple linear correlation ( $r$ ) between the fruit productivity values observed and estimates.

Foliar diagnosis is recommended to collect leaves physiologically mature, i.e. with photosynthetic activity at its maximum and fully formed (MARSCHNER, 2012, PRADO; CAIONE, 2012). This leaf should behave as a source of photoassimilates (KOCH, 2004). Young leaves collected at the apex of the branch are physiologically immature, with low photosynthetic activity and at this stage it functions as a drain, with older leaves presenting a reduction of physiological activity with the onset of senescence (KITAJIMA et al., 2002). Thus, it is understandable that the leaves with the highest degree of maturity are ideal samples for leaf diagnosis of the physalis crop.

The data from the field experiments for the recommended complete leaf sample at the median position in the floral branches of the physalis plants were submitted to the methodology of the critical levels of nutrients by the criterion of the reduced normal distribution (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001) for nutrient standards for this crop, which has been characterized as efficient and its use is fully feasible (Table 3). Although the data are obtained from a crop yield cycle, these new data may eventually be used to evaluate the nutritional status of the physalis as a first approximation.

The critical levels of nutrients in physalis leaves for leaf sampling in the median position of floral branches (Table 4), when compared to the established range proposed by Raviv and Lieth (2008), were high for Ca, Mg, B and Cu, adequate for N, P, Fe, Mn and Zn and low for K and S. Thus, it can be observed that there was a change in the classification of critical levels of nutrients in comparison with the authors (RAVIV; LIETH, 2008). The definition of index leaf and critical levels of nutrients for physalis, as this work, may reduce the occurrence of inadequate diagnosis of nutritional deficiencies, excesses or imbalances, which may reduce increases in crop production cost.

Variable	Mean	Standar deviation	Lilliefors test
Fruit productivity	1,425.8	714.8	0.078**
Fruit productivity / N	398.7	224.0	0.075**
Fruit productivity / P	4,333.6	2,936.2	0.154**
Fruit productivity / K	708.5	517.7	0.146**
Fruit productivity / Ca	989.6	577.0	0.158**
Fruit productivity / Mg	2,900.7	2,367.5	0.125**
Fruit productivity / S	3,058.6	1,955.1	0.116**
Fruit productivity / B	52.6	53.7	0.121**
Fruit productivity / Cu	73.6	50.4	0.130**
Fruit productivity / Fe	3.4	2.4	0.135**
Fruit productivity / Mn	31.3	20.3	0.141**
Fruit productivity / Zn	59.6	44.0	0.149**

Table 3. Mean, standard deviation (s) and Lilliefors test for fruit productivity and relation between productivity and nutrient concentration in the complete leaf in the median position of physalis to obtain the critical levels of nutrients by reduced normal distribution criterion.

\*\*Significant at  $p = 0.01$ . Fruit productivity is in  $\text{kg ha}^{-1}$ . Concentration values for macronutrients are in  $\text{g kg}^{-1}$  and micronutrients in  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Nutrient	Nutrient concentration	
	Complete leaf median	Raviv & Lieth (2008)
	..... $\text{g kg}^{-1}$ .....	
N	34.1	10-56
P	2.9	1,2-5.0
K	17.1	14-64
Ca	13.5	2,0-9.4
Mg	3.9	1.4-2.1
S	4.2	2.8-9.8
	..... $\text{mg kg}^{-1}$ .....	
B	19.3	1-35
Cu	16.9	2.3-7.0
Fe	361.0	53-550
Mn	40.9	50-250
Zn	20.2	10-100

Table 4. Critical levels of nutrients in complete leaf in the median position of physalis by reduced normal distribution criterion.

## 4 | CONCLUSION

Sampling of the complete leaf (petiole and leaf limb) in the median position of floral branches is can be indicated as sampling standard for diagnosis of nutritional state of physalis.

The critical levels of nutrients proposed are N ( $34.1 \text{ g kg}^{-1}$ ), P ( $2.9 \text{ g kg}^{-1}$ ), K ( $17.1 \text{ g kg}^{-1}$ ), Ca ( $13.5 \text{ g kg}^{-1}$ ), Mg ( $3.9 \text{ g kg}^{-1}$ ), S ( $4.2 \text{ g kg}^{-1}$ ), B ( $19.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $16.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Fe Mn ( $40.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and Zn ( $20.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) for sampling of complete leaf in the median position of floral branches of physalis.

## 5 | ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) and the Research Supporting Foundation for the State of Minas Gerais (Fapemig) for funding the project and granting scholarship. They also thank the Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), for the infrastructure.

## REFERENCES

CINTRA, A. C. O. **Amostragem de folhas do cafeeiro para fins de diagnose do estado nutricional**. 34f. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2012

CLARK, R. B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Karnataka, v. 23, n. 3, p. 458-460, 1975.

FAGERIA, N. K. Soil fertility and plant nutrition research under field conditions: basic principles and methodology. *Journal of Plant Nutrition*, Philadelphia, v. 30, n. 2, p. 203-223, 2007.

FAGERIA, N. K. et al. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 32, n. 6, p. 1044–1064, 2009.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA, 2002. 77 p.

KITAJIMA K. et al. Decline of photosynthetic capacity with leaf age and position in two tropical pioneer tree species. **American Journal of Botany**, *New York*, v. 89, n. 12, p. 1925-1932, 2002.

KOCH, K. Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 7, n. 3, p. 235-246, 2004.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n.2, p. 235-238, 2001.

MARSCHNER, H. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd edn. San Diego: Academic Press, 2012. 672p.

MOURÃO FILHO, F. A. A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 61, n. 5, p.550-560, 2004.

MUNIZ, J. et al. General aspects of physalis cultivation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 964-970, 2014.

PRADO, R. M.; CAIONE, G. Plant analysis. In: ISSAKA, R.N. (Ed.). *Soil fertility*. 1<sup>st</sup> edn. Japan: InTech Open Science, 2012. p. 115-134.

PUENTE, L. et al. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: a review. **Food Research International**, São Paulo, v. 44, n. 7, p. 1733-1740, 2011.

RAVIV, M. H.; LIETH, H. *Soilless culture: theory and practice*. Amsterdam: Elsevier Science, 2008. 608p.

RODRÍGUEZ, F. E. E. et al. Identification of Immunity Related Genes to Study the *Physalis peruviana* – *Fusarium oxysporum* Pathosystem. **Plos One**, Georgia, v. 8, e68500, 2013.

RUFATO, L. et al. *Aspectos técnicos da cultura da physalis*. Lages: CAV/UEDESC; Pelotas: UFPel, 2008. 100 p.

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

SEBER, G. A. F.; LEE, A. J. *Linear regression analysis*. 2nd edn. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2003. 557p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SOARES, E. L. C. et al. O gênero *Physalis* L. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas Botânica**, São Leopoldo, n. 60, p. 323-340, 2009.

SOUZA, H. A. et al. Folha diagnóstica para avaliação do estado nutricional do feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1243-1250, 2011.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

VARGAS-PONCE, O. et al. Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Berlim, v. 63, n. 8, p. 1383-1395, 2016.

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

### Lizete Stumpf

Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Pelotas – Rio Grande do Sul

### Eloy Antonio Pauletto

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – Rio Grande do Sul

### Luiz Fernando Spinelli Pinto

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – Rio Grande do Sul

### Luciano Oliveira Geissler

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – Rio Grande do Sul

### Lucas da Silva Barbosa

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – Rio Grande do Sul

### Mateus Fonseca Rodrigues

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a população de ácaros e de colêmbolos e a qualidade de um solo minerado e revegetado com diferentes espécies de gramíneas perenes. Os tratamentos avaliados foram: a *Urochloa brizantha*, a *Hemarthria altissima*, o *Paspalum*

*notatum*, o *Cynodon dactylon* e a Vegetação espontânea. Para efeitos comparativos foi utilizado o solo natural como tratamento referência. Em 2014, foram coletadas 48 amostras de solo na camada de 0,00-0,10 m para a determinação da população de ácaros e colêmbolos, dos atributos físicos e químicos do solo construído. A *Hemarthria altissima* foi a espécie vegetal que mais se destacou entre as gramíneas perenes, até o presente momento, proporcionando uma densidade média de ácaros e colêmbolos muito próximos aos do solo natural. A densidade do solo mostrou-se a variável mais sensível as alterações promovidas pelas espécies vegetais, decorridos 11 anos de revegetação. A condição química do solo construído mostrou uma relação positiva com o desenvolvimento das plantas e com presença de ácaros e colêmbolos.

**PALAVRAS CHAVE:** ácaros, colembolos, agregação, pH, carbono orgânico.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate a population of mites and springtails and minesoil's quality revegetated with different species of perennial grasses. The treatments evaluated were: *Urochloa brizantha*, *Hemarthria altissima*, *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon* and Spontaneous vegetation. For comparative effects a natural soil were used as reference. In 2014, 48 soil samples were collected in the

0.00-0.10 m layer for the determination of the population of mites and springtails, the physical and chemical attributes of the minesoil. The *Hemarthria altissima* was the most prominent plant species among perennial grasses, to date, providing an average density of mites and springtails very close to the natural soil. Among the physical attributes, bulk density showed the most sensitive variable the changes promoted by plant species, after 11 years of revegetation. The chemical soil condition showed a positive relation with the development of plants and presence of mites and springtails.

**KEY WORDS:** mites, springtails, aggregation, pH, organic matter.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores reservas de carvão mineral da América Latina (CGEE, 2013), e assim como nos demais países, seu uso preponderante é destinado à geração de energia elétrica (DNPM, 2013). As principais reservas de carvão mineral brasileiras encontram-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com aproximadamente 28,6 e 3,4 bilhões de toneladas (89,0% e 10,5% do estoque do país) respectivamente (CRM, 2014). Esses estoques correspondem a 50% dos recursos energéticos não renováveis do Brasil (CPRM, 2014).

A extração do carvão, principalmente pela mineração superficial ou a céu aberto, provoca drásticas modificações no ambiente, pois envolve a retirada de grandes volumes de solo e rochas para a retirada do minério. Em geral, a recomposição topográfica da área minerada envolve o retorno do material estéril (mistura de rochas e carvão não aproveitados) na cava aberta para a retirada do carvão, seguida da reposição de uma camada de solo, retirada anteriormente à lavra, originando assim o solo construído (STUMPF et al., 2016 a).

Além dos problemas físicos do solo construído reinserido no ambiente, conforme aborda Stumpf et al. (2016 b) e Pauletto et al. (2016), os principais impactos ambientais também são gerados a partir dos materiais estéreis depositados nas cavas durante a recomposição topográfica das áreas mineradas. Os estéreis geralmente são ricos em sulfetos de ferro, os quais, na presença do oxigênio, da água e ação de bactérias, formam ácido sulfúrico, em um processo chamado de drenagem ácida de mina (DAM), que compromete a qualidade de águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos, através da acidificação do ambiente e dissolução de metais pesados (BITENCOURT et al., 2015), dificultando muitas vezes, o estabelecimento de plantas com potencial para a revegetação destas áreas degradadas. Adicionalmente aos problemas físicos e químicos, solos construídos também apresentam alterações biológicas, pois o solo ao ser removido do local de origem tem como consequência a supressão da vegetação, a redução dos teores de matéria orgânica, da biomassa microbiana e da biota edáfica (FRASSON et al., 2016; OLIVEIRA FILHO et al., 2015; HOLANDA NETO, 2011).

O restabelecimento do equilíbrio ecológico do solo pós-mineração passa primeiramente pela revegetação da área recomposta, pois são as plantas as

responsáveis pela recuperação paisagística, pelo controle dos processos erosivos e pela readequação dos atributos do solo construído. Portanto, assim como já observado em solos sob manejo agrícola, o tipo de cobertura vegetal pode interferir na população dos organismos do solo construído, diminuindo a sua densidade e diversidade em relação às áreas naturais não antropizadas (BARETTA et al., 2011; MELO et al., 2009; AQUINO et al., 2008; NEGRETEYAN-KELEVICH et al., 2007; MOÇO et al., 2005).

Dentre a diversidade de organismos pertencentes à mesofauna do solo, os ácaros e os colêmbolos merecem destaque, pois representam de 72 a 97% da população total (LINS et al., 2007). Os ácaros, de acordo com Silva et al. (2013), por serem muito mais populosos em relação aos colêmbolos, diminuem a área superficial dos resíduos vegetais, facilitando a continuação da decomposição por parte dos microrganismos, principalmente bactérias. Por sua vez, os colêmbolos apresentam como principal função a regulação da microbiota edáfica, pois apesar de se alimentar de uma gama extensiva de alimentos, são os microrganismos e hifas de fungos, associadas à matéria orgânica do solo e serapilheira, os alimentos preferidos da maioria das espécies (OLIVEIRA FILHO & BARETTA, 2016). Estes organismos podem apresentar de 3-12 gerações anuais e influenciam a estruturação do solo através de seu material decomposto principalmente rico em cálcio (MELLO et al., 2009). Nesse sentido, a mesofauna é considerada um bom bioindicador da qualidade do solo (BALOTA, 2017; BARETTA et al., 2006). Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a população de ácaros e de colêmbolos e a condição física e química de um solo minerado e revegetado por 11 anos com diferentes espécies de gramíneas perenes.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de mineração de carvão, pertencente à Companhia Riograndensede Mineração (CRM), localizada em Candiota/RS (31°33'56"S e 53°43'30"W). Nesta localidade a mineração ocorre a céu aberto, abrangendo as seguintes etapas: (a) remoção dos horizontes A, B e/ ou C do solo original e das rochas; (b) extração dos bancos de carvão; (c) deposição dos estéreis (mistura de rochas e carvão não aproveitados) na cava aberta para a extração do minério, os quais são *aplainados por tratores* de esteira; (d) reposição de uma camada de solo (horizonte A e/ou B), retirada anteriormente à lavra do carvão, originando assim o "solo construído". A camada de solo reposta na área experimental é procedente do horizonte B de um Argissolo Vermelho Eutrófico típico, como indicado pela cor vermelho escuro (2,5 YR 3,5/6), a classe textural argilosa (466 g kg<sup>-1</sup> de argila, 229,66 g kg<sup>-1</sup> de silte, 304,33 g kg<sup>-1</sup> de areia) na camada de 0,00-0,30m e com baixo teor de matéria orgânica (1,15%).

O solo foi construído no primeiro trimestre de 2003 e o experimento, com diferentes espécies vegetais, instalado em novembro/dezembro do mesmo ano, em parcelas de 20m<sup>2</sup> (5m x 4m), em um delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para o presente estudo, foram avaliados os tratamentos com as gramíneas perenes:

*Urochloa brizantha*, *Hemarthria altíssima*, *Paspalum notatum* cv Pensacola, *Cynodon dactylon* cv Tifton 85 e Vegetação espontânea. Antes da instalação das espécies, a área foi escarificada com patola a uma profundidade aproximada de 0,15 m, seguido por calagem correspondente a 10,4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 100% e uma adubação de 900 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 5-20-20, com base em resultados obtidos pela análise de solo. Adubações de 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 5-30-15 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio também foram realizadas anualmente em todas as parcelas da área experimental. Os tratamentos não receberam qualquer tipo de manejo relacionado ao corte de sua forragem ao longo da execução do experimento.

Como tratamento referência foi utilizado o solo natural pertencente à área de mineração, com predomínio de vassoura branca (*Baccharis dracunculifolia* Dc), macega estaladeira – (*Saccharum angustifolium* (Ness) Trin), chirca (*Eupatorium huniiifolium* Hook. Ex Arn.), carqueja (*Baccharis trimera* (Less) Dc) e Caraguatá (*Eryngium horridum* Malne).

Em outubro de 2014 foram coletadas 48 amostras de solo na camada de 0,00-0,10 m utilizando cilindros metálicos de aço inox de 0,08 m de altura e 0,085 m de diâmetro, para a determinação dos organismos da mesofauna edáfica, representados por ácaros e colêmbolos. Após a coleta, procedeu-se a determinação da mesofauna (nº de ácaros e colêmbolos), através do método do Funil Extrator de Tullgren, proposto por Bachelier (1978). O procedimento consistiu em colocar as amostras cuidadosamente em peneiras com malha de 2mm na parte superior de cada funil. Na base dos funis foram colocados copos coletores contendo álcool 80% mais quatro gotas de glicerina a fim de evitar a rápida evaporação do álcool e, após, lâmpadas de 25 watts foram ligadas em cada funil. As lâmpadas permaneceram acesas durante um período de 48h para que, com a ação da luz e do calor, os organismos se deslocassem para baixo, assim sendo capturados pelo copo coletor com capacidade de 50 mL. Posteriormente, estes organismos coletados foram acondicionados em recipientes fechados e com a ajuda de uma lupa binocular foram observados, classificados e quantificados.

Adicionalmente, foram coletadas 48 amostras de solo com estrutura preservada e não preservada, na camada de 0,00-0,10 m, para a determinação da densidade do solo, da macroporosidade e da estabilidade de agregados estáveis em água. As amostras com estrutura preservada foram saturadas em água por capilaridade durante 48 h, pesadas em balança de precisão e em seguida colocadas em uma mesa de tensão, onde foram equilibradas a uma tensão de 6 kPa, para a determinação da macroporosidade. Após o equilíbrio, as amostras foram secas em estufa a 105°C até peso constante para a determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 2011). As amostras com estrutura não preservada foram colocadas em tabuleiros de madeira mantidos à sombra e secos ao ar até o solo atingir o ponto de friabilidade, quando foram cuidadosamente destorroadas manualmente, observando-se os pontos de fraqueza dos agregados, e passadas na peneira de malha 9,52 mm. Após secagem ao ar, por um período de aproximadamente duas semanas, as amostras foram submetidas ao

peneiramento úmido (YODER, 1936), seguindo metodologia apresentada por Palmeira et al. (1999) que segue o princípio de determinação da estabilidade dos agregados em água, segundo Kemper (1965). Os intervalos das classes dos agregados foram: C1: 9,52-4,76 mm; C2: 4,75-2,0 mm; C3: 1,99-1,00 mm; C4: 0,99-0,25 mm; C5: 0,24-0,105 mm e C6: <0,104 mm. A partir dessas classes, os agregados foram separados em macroagregados, ou seja, agregados maiores que 0,25 mm, e microagregados, agregados menores que 0,25 mm, de acordo com Tisdall & Oades (1982).

Para avaliação da condição química do solo construído, na camada de 0,00-0,10 m, foram coletadas 48 amostras de solo, com auxílio de uma pá de corte, para a determinação do pH em água, dos teores de cálcio (Ca), de magnésio (Mg), de potássio (K), da saturação por bases (V%) e por alumínio (m%) e do teor de carbono orgânico (CO), conforme metodologia de Embrapa (2011).

Considerando o fato do solo referência não fazer parte do delineamento experimental, foram discutidas as diferenças entre as médias de cada tratamento e o solo natural, para cada variável analisada. No intuito de verificar a relação entre a população de ácaros e colêmbolos e a qualidade química do solo construído, agrupá-los e analisar a relação dos grupos de variáveis com cada espécie de gramínea, foi aplicada a análise de componentes principais (ACP). Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1985).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo sob o cultivo da *Hemarthria altíssima* foi o que apresentou a maior densidade média de ácaros e colêmbolos, com 3000 e 1025 indivíduos m<sup>-2</sup> respectivamente. Contudo, após 11 anos de revegetação ainda verifica-se que o solo construído sob revegetação com diferentes gramíneas ainda apresenta uma população de ácaros e de colêmbolos de, respectivamente, 10 a 85% e 18 a 92% menores em relação ao solo natural (Tabela 1). Esse resultado converge com os estudos de Li et al. (2015) e de Mukhopadhyay et al. (2014), que somente observaram um efeito significativo na qualidade biológica dos solos minerados, respectivamente na China e na Índia, após 18 e 17 anos de revegetação. Por outro lado, se observa que, tanto no solo natural como no solo construído sob revegetação, a quantidade de ácaros foi superior à de colêmbolos em todos os tratamentos. Este resultado diverge de Frasson et al. (2016) e Oliveira Filho et al. (2014), os quais observaram predomínio de colêmbolos em relação à população de ácaros, respectivamente, em áreas mineradas de carvão sob revegetação por 5 e 7 anos com diferentes espécies vegetais (*Schinus. terebinthifolius*, *Urochloas sp.*, *Baccharis spp.*, *Pseudobom baxgrandiflorum*, *Senna multijuga*, *Mimosa scabrella*, *Solanum pseudocapsicum*, *Eucalyptus spp.*, *Eugenia spp.*, *Taberna emontanacatharinensi*) e em áreas mineradas de carvão sob revegetação por 4 anos

com *Urochloa decumbens*.

Tratamentos	Ácaros --- Indivíduos m <sup>-2</sup> ---	Colêmbolos	Ds Mg m <sup>-3</sup>	Ma m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Macroag. ----- % -----	Microag.
<i>Urochloa brizantha</i>	1400	300	1,18	0,14	77,3 <sup>ns</sup>	12,6 <sup>ns</sup>
Δtest	-58%	-76%	-13%	+89%	-6%	-28%
<i>Hematria altissima</i>	3000	1025	1,27	0,12	78,9 <sup>ns</sup>	13,0 <sup>ns</sup>
Δtest	-10%	-18%	-7%	+70%	-4%	-26%
<i>Paspalum notatum</i>	1400	550	1,21	0,14	79,5 <sup>ns</sup>	14,2 <sup>ns</sup>
Δtest	-58%	-56%	-11%	+86%	-4%	-19%
<i>Cynodon dactylon</i>	500	100	1,38	0,11	82,1 <sup>ns</sup>	12,6 <sup>ns</sup>
Δtest	-85%	-92%	+2%	+45%	-1%	-28%
Vegetação espontânea	575	175	1,33	0,15	69,7 <sup>ns</sup>	15,6 <sup>ns</sup>
Δtest	-83%	-86%	-2%	+100%	-16%	-10%
<b>Solo natural</b>	<b>3350</b>	<b>1250</b>	<b>1,36</b>	<b>0,07</b>	<b>82,5</b>	<b>17,5</b>

Tabela 1: Diferenças (Δtest) entre o solo construído sob revegetação de gramíneas perenes e o solo natural em relação a densidade média de ácaros e colêmbolos, a densidade do solo (Ds), a macroporosidade (Ma) e a porcentagem de macroagregados (Macroag.) e microagregados (Microag.) na camada de 0,00-0,10 m.

Apesar do solo construído ainda apresentar atributos biológicos e de agregação aquém da condição natural, a maioria das gramíneas perenes mostra avanços na recuperação da Ds e da Ma, as quais foram respectivamente, 2 a 13% inferiores e 45 a 100% superiores no solo construído em relação ao solo natural (Tabela 1). Estes resultados, provavelmente, se devem à ação das raízes das diferentes espécies vegetais, os quais apresentavam aos 8,6 anos de revegetação o mesmo padrão de desenvolvimento radicular, isto é, uma maior massa, volume, área superficial específica e comprimento radicular concentrada na camada de 0,00-0,10 m, conforme mostrado por Stumpf et al. (2016 b). O sistema radicular agressivo das espécies promoveu a reorganização da estrutura e da rede de poros do solo, convergindo com os trabalhos de Perkons et al. (2014) e Vezzani & Mielniczuk (2011).

Em relação a condição química do solo construído se verificou que após 11 anos de revegetação, ainda ocorre o efetivo controle da acidez, bem como o aumento na disponibilidade de nutrientes do solo construído sob as diferentes espécies vegetais. Isto é, os valores de pH dos tratamentos foram 10 a 23% superiores e, conseqüentemente, os valores de V% foram 26 a 70% superiores e os valores de m% foram 33 a 84% inferiores em relação ao solo referência (Tabela 2). Este resultado converge com os resultados obtidos por Stumpf et al. (2016 c) que observaram na mesma área de estudo, após 8,6 anos de revegetação, efeitos positivos da incorporação de calcário até a profundidade aproximada de 0,15 m do solo construído.

Tratamentos	pH	Ca	Mg	K	V	m	CO
		----- cmolc kg <sup>-1</sup> -----			----- % -----		g kg <sup>-1</sup>
<i>Urochloa brizantha</i>	5,73	5,38	3,48	0,38	69,18	3,07	12,62
Δtest	+22%	+94%	+275%	+52%	+65%	-81%	-27%
<i>Hemarthria altíssima</i>	5,75	5,33	3,55	0,46	69,56	2,54	13,02
Δtest	+23%	+92%	+282%	+84%	+70%	-84%	-24%
<i>Paspalum notatum</i>	5,50	4,98	3,33	0,43	66,97	3,21	14,21
Δtest	+17%	+79%	+258%	+72%	+64%	-80%	-17%
<i>Cynodon dactylon</i>	5,40	5,90	3,55 <sup>ns</sup>	0,35	53,05	10,39	12,62
Δtest	+15%	+112%	+282%	+40%	+30%	-36%	-27%
Vegetação espontânea	5,13	4,35	4,25	0,23	51,53	11,03	15,63
Δtest	+10%	+57%	+357%	-8%	+26%	-33%	-9%
<b>Solo natural</b>	<b>4,68</b>	<b>2,78</b>	<b>0,93</b>	<b>0,25</b>	<b>40,97</b>	<b>15,90</b>	<b>17,21</b>

Tabela 2: Diferenças (Δtest) entre o solo construído sob revegetação de gramíneas perenes e o solo natural em relação ao pH em água, os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), saturação de bases (V) e alumínio (m) e no teor de carbono orgânico da camada de 0,00-0,10 m.

O aumento dos valores de pH e V% e a diminuição dos valores de m% em relação ao solo natural deriva do fato de que todos os tratamentos receberam elevada dose de calcário em 2003, conforme relatado em Stumpf et al. (2016 c), somado a doses anuais de adubação na área desde então. Importante ressaltar que os valores de pH abaixo de 4 em solos minerados para a extração de carvão indicam a possível ocorrência do fenômeno da DAM, decorrente da exposição de material estéril após a construção do solo. De acordo com Chen et al. (2013), fragmentos de rochas (material estéril) que contém enxofre reduzido, como o carvão, quando expostos ao ar e à água resultam na produção de grandes quantidades de ácido sulfúrico, que em contato com a água de drenagem e oxigênio gera a água ácida de mina, com valores de pH muito baixos. Por essa razão, o pH é um dos mais comuns indicadores químicos utilizados na avaliação da qualidade de solos minerados (SHEORAN et al., 2010). Daniels & Zipper (2010) ressaltam que tentativas de revegetação de solos minerados com valores de pH abaixo de 4,0 devem ser totalmente evitadas, enquanto que solos minerados com um pH entre 4,0 e 5,5 exigem a adição significativa de calcário para ocorrer um crescimento adequado de plantas.

Em relação às diferenças nos teores de CO, o destaque foi para o solo construído sob vegetação espontânea que apresentou uma redução de somente 9% em relação ao solo natural, enquanto que os demais tratamentos apresentaram reduções entre 17 e 27% (Tabela 2). Os relativamente baixos valores de CO (menores que 2%) em todos os tratamentos, inclusive no solo natural, derivam provavelmente de que o solo natural é um Argissolo, e como a camada de solo reposta sobre os estéreis advém de seu horizonte B, este apresenta como característica natural ser um solo pobre em matéria orgânica. É importante ressaltar que a recuperação de solos totalmente degradados, como ocorre em áreas de mineração de carvão a céu aberto, é um processo lento e

exige a necessidade de continua incorporação de massa vegetal, tanto aérea como subterrânea para se poder alcançar níveis adequados de matéria orgânica, ao ponto de influenciar positivamente na condição físico-química destes solos antropogênicos, conforme abordado por Stumpf et al. (2016 b,c).

Através da análise de componentes principais se observa que o primeiro componente apresentou as maiores correlações positivas para as variáveis V, pH, Ca e Mg, enquanto que a variável saturação por alumínio apresentou a maior correlação negativa (Figura 1).

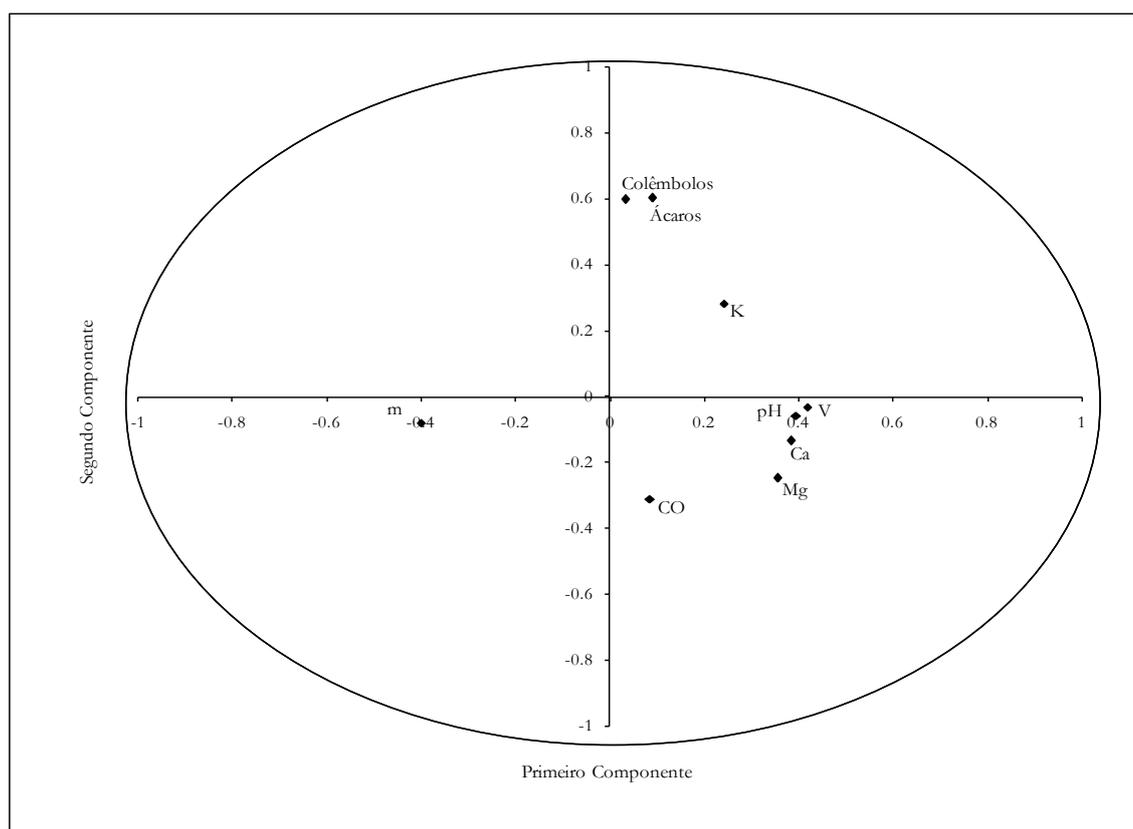


Figura 1: Autovetores das variáveis químicas (pH em água, teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), saturação de bases (V) e alumínio (m) e teor de carbono orgânico (CO)) e da mesofauna (ácaros e colêmbolos) de um solo construído submetido a revegetação com diferentes gramíneas perenes.

Este componente pode ser interpretado como uma resposta relacionada acidez do solo, já que com o aumento dos teores de Ca e Mg, e conseqüentemente do pH e do V%, tem-se a diminuição dos teores de alumínio. Este resultado converge com Stumpf et al. (2016 c), que observaram valores de pH, teores de Ca e Mg, V% e m% adequados e com relações convergentes entre si até a profundidade de 0,20 m, no mesmo solo construído, todavia aos 8,6 anos de revegetação, ou seja, 2,4 anos antes desta avaliação.

No segundo componente as maiores correlações positivas foram observadas para as variáveis ácaros e colêmbolos (Figura 1), convergindo com Oliveira Filho & Baretta (2016), os quais mencionam que a maior densidade de ácaros pode influenciar na densidade populacional de colêmbolos, por conta da relação de predação entre

estes organismos. Observa-se também que, no segundo componente, o teor de CO apresentou a maior correlação negativa em relação à população de ácaros e colêmbolos. Considerando que ambos os organismos são importantes precursores da atividade da microbiota (fungos e bactérias) na transformação dos resíduos vegetais em matéria orgânica (BALOTA, 2017), esta relação negativa do CO pode ser devido ao fato de que estes organismos, por fazerem parte de um complexo de organismos antagônicos e concorrentes, podem predação os fungos do solo, conforme aborda Oliveira Filho & Baretta (2016) e Aguiar-Menezes et al. (2007), influenciando assim na decomposição final dos resíduos adicionados ao solo. Todavia, contínuas avaliações são indicadas para observar a continuidade desta relação ao longo do tempo.

Na figura 2 observa-se a distribuição das diferentes plantas de cobertura com base nos quadrantes da ACP das variáveis químicas e de mesofauna do solo.

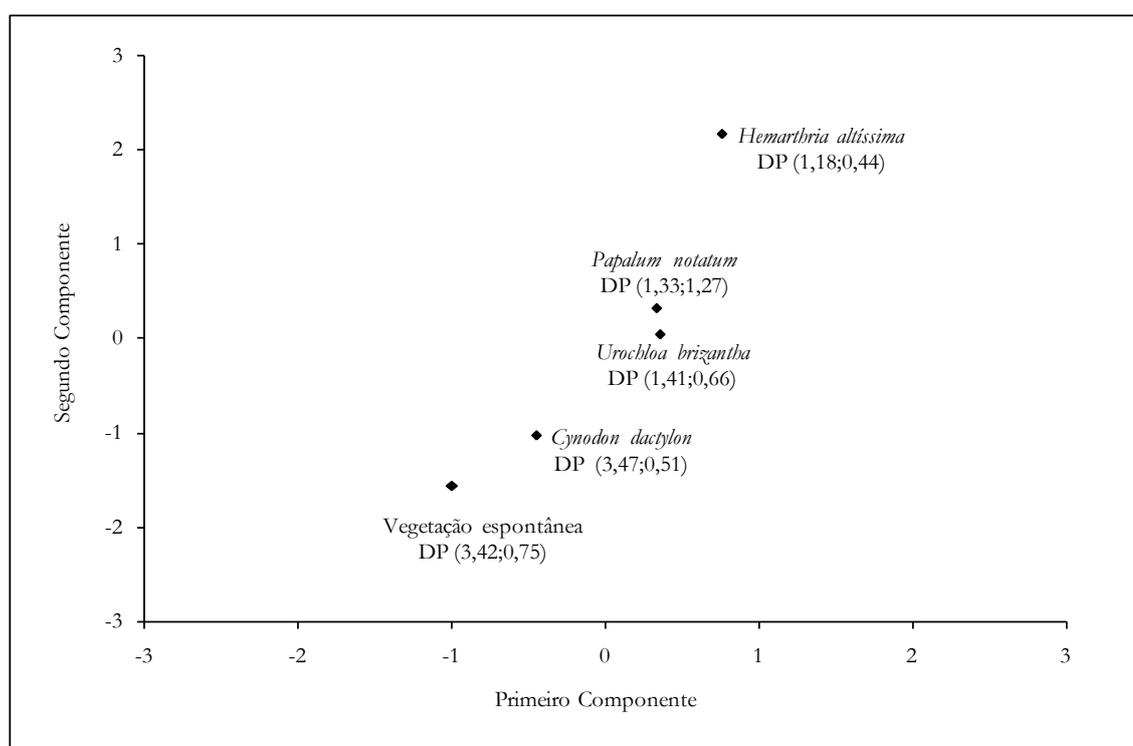


Figura 2: Agrupamento das gramíneas perenes onde DP representa o desvio padrão para o primeiro e para o segundo componente, respectivamente.

Considerando os quadrantes formados pelo primeiro componente, observa-se que as áreas com vegetação espontânea e *Cynodon dactylon* foram caracterizadas pelos maiores valores de saturação por alumínio. Por outro lado, considerando os quadrantes formados pelo segundo componente observa-se que onde se localiza a *Hemarthria altissima* foram observados, sobretudo, os maiores valores de ácaros e colêmbolos. Este resultado pode ser devido à quantidade e qualidade da biomassa vegetal aérea e subterrânea adicionada ao solo construído, bem como as melhorias das condições físicas do solo promovidas por esta espécie. Todavia, estas avaliações devem ser mensuradas em estudos posteriores para gerar dados mais conclusivos sobre a atuação positiva desta espécie sobre estes organismos do solo.

## 4 | CONCLUSÕES

A população de ácaros e colêmbolos na camada de 0,00-0,10 m do solo construído sob revegetação por 11 anos ainda é inferior a do solo natural, exceto a *Hemarthria altíssima* que apresentou uma densidade média de organismos muito próxima a do solo referência.

A densidade do solo foi o atributo mais sensível às melhorias proporcionadas pela revegetação.

Após 11 anos de revegetação, a condição química do solo construído ainda se apresenta adequada ao desenvolvimento das espécies vegetais e mostrou uma relação positiva com a presença de ácaros e colêmbolos.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR-MENEZES, E. D. L.; AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; MENEZES, E. B. Ácaros: taxonomia, bioecologia e sua importância agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F.; GUIMARÃES, M. F.; LAVELLE, P. **Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado**. European Journal of Soil Biology, v.44, n.2, p.191-197, 2008.

BACHELIER, G. **La faune des sols, son écologie et son action**. Paris: Initiations at Documents Techniques, 1978.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenias, 2017.

BARETTA, B.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p.119-170.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; BERTOL, I.; ALVES, M. V.; MANFOI, A. F.; BARETTA, C. R. D. M. **Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.5, n.2, p.108-117, 2006.

BITENCOURT, D. G. B.; PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; SILVA, M. T.; GARCIA, G. F. **Geração de drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, n.6, p.1821-183, 2015.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Roadmap tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035**. 2013.

CHEN, L.; TIAN, Y.; STEHOUWER, R.; KOST, D.; GUO, X.; BIGHAM, J. M.; BEEGHLY, J.; DICK, W. A. **Surface coal mine land reclamation using a dry flue gas desulfurization product: Long-term biological response**. Fuel, v.105, p.258-265, 2013

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Serviço Geológico do Brasil**. 2014 Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>

CRM - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO - **Mina de carvão de Candiota**,

**RS. Relatório 2014.** Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/conteudo/858/Mina de Candiota#U9Y4RWOQBTs>

DANIELS, W. L.; ZIPPER, C. E. **Creation and Management of Productive Mine Soils. Powell River Project Reclamation Guide lines for Surface-Mined Land in Southwest Virginia.** 2010. Disponível em: <http://www.ext.vt.edu/pubs/mines/460-121/460-121.html>

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Carvão Mineral 2013.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/carvao-mineralsumario-mineral2014>

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS. 2011.

FRASSON, J. M. D. F.; ROSADO, J. L. O.; ELIAS, S. G.; HARTE-MARQUES, B. **Litter Decomposition of Two Pioneer Tree Species and Associated Soil Fauna in Areas Reclaimed after Surface Coal Mining in Southern Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.40, n.1, p.1-14, 2016.

HOLANDA NETO, M. **Atributos microbiológicos de um solo construído vegetado com gramíneas após mineração de carvão em Candiota/RS.** 2011. 98f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

KEMPER, W D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ESMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Org.) **Methods of soil analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling.** Wisconsin, American Society of Agronomy; 1965. p 425-441.

LI, J.; ZHOU, X.; YAN, J.; LI, H.; HE, J. **Effects of regenerating vegetation on soil enzyme activity and microbial structure in reclaimed soils on a surface coal mine site.** Applied Soil Ecology, v.87, p. 56-62, 2015.

LINS, V.; SANTOS, H.; GONÇALVES, M. C. **The effect of the glyphosate, 2,4-D, atrazine e nicosulfuron herbicides upon the edaphic collembola (Arthropoda: Ellipura) in a no tillage system.** Neotropical Entomology, v.36, n.2, p.261-267, 2007.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, G.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS J. W.; ZANETTI, R. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores.** Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.34, n.1, p.39-43, 2009.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. **Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.4, p. 555-564, 2005.

NEGRETE-YANKELEVICH, S.; FRAGOSO, C.; NEWTON, A. C.; HEAL, O. W. **Successional changes in soil, litter and macro invertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest.** Applied Soil Ecology, v.35, n.2, p.340-355, 2007.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K.; MASTO, R. E. **Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study.** Ecological Engineering, v.71, p.10-20, 2014.

OLIVEIRA FILHO, I. L. C.; BARETTA, D. **Por que devemos nos importar com os colêmbolos edáficos?** Scientia Agraria, v.17, n.2, p.21-40, 2016.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; VIAPIANA, C. M.; SANTOS, J. C. P. **Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v.14, n.1, p.55-64, 2015.

- OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. **Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil.** Biotemas, v.27, n.2, p.69-77, 2014.
- PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. **Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.2, p.189-195, 1999.
- PAULETTO, E. A.; STUMPF, L.; PINTO, L. F. S.; SILVA, T. S.; AMBUS, J. V.; GARCIA, G. F.; DUTRA JUNIOR, L. A.; SCHEUNEMANN, T.; ALBERT, R. P. **Reclamation of a degraded coal-mining area with perennial cover crops.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.40, p.1-13. 2016.
- PERKONS, U.; KAUTZ, T.; UTEAU, D.; PETH, S.; GEIER, V.; THOMAS, K.; HOLTZ, K. I.; ATHMANN, M.; PUDE, R.; KÖPKE, U. **Root-length density of various annual crops following crops with contrasting roots systems.** Soil and Tillage Research, v.137, p.50-57, 2014.
- SHEORAN, V.; SHEORAN, A. S.; POONIA, P. **Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review.** International Journal of Soil, Sediment and Water, v.3, n.2, p.2-13, 2010.
- SILVA, C. F.; PEREIRA, G. H. A.; GERVASIO, M. **Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, n.3, p.587-595, 2013.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; PINTO, M. A. B.; DUTRA JUNIOR, L. A.; SCHEUNEMANN, T. **Sistema radicular da *Urochloa brizantha*: desenvolvimento e influência nos atributos de um solo degradado.** Interciencia, v.41, n.5, p.334-339, 2016 a.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. **Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil.** Soil and Tillage Research, v.161, p.71-78, 2016 b.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; AMBUS, J. V.; GARCIA, G. F.; SILVA, T. S. **Características químicas de um solo construído e seus efeitos no desenvolvimento radicular de gramíneas perenes.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.11, n.4, p.343-349. 2016 c.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and waterstable aggregates in soil.** Europe Journal Soil Science. v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, n.1, p.213-223, 2011.
- YODER, R. E. **A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses.** Journal American Society Agronomy, v.28, p.337-51, 1936.

## **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 estreses 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