

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3



Tamara Rocha dos Santos
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3



Tamara Rocha dos Santos
(Organizadora)

Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaió – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Gírlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia agrônômica: ambientes agrícolas e seus campos de atuação 3

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Tamara Rocha dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia agrônômica: ambientes agrícolas e seus campos de atuação 3 / Organizadora Tamara Rocha dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-041-1

DOI 10.22533/at.ed.411210305

1. Agronomia. I. Santos, Tamara Rocha dos (Organizadora). II. Título.

CDD 630

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A “Engenharia Agrônômica: Ambientes Agrícolas e seus Campos de Atuação” é uma obra que apresenta dentro de seu contexto amplas visões que reflete em ambientes agrícolas e seus campos de atuação trazendo inovações tecnológicas e sustentáveis que proporciona em melhorias sociais, ambientais e econômicas para toda comunidade agrária.

A coleção é baseada na discussão científica através de diversos trabalhos que constitui seus capítulos. Os volumes abordam de modo agrupado e multidisciplinar pesquisas, trabalhos, revisões e relatos de que trilham nos vários caminhos da Engenharia Agrônômica.

O objetivo principal foi apresentar de modo agrupado e conciso a diversidade e amplitude de estudos desenvolvidos em inúmeras instituições de ensino e pesquisa do país. Inicialmente são apresentados trabalhos relacionados a sustentabilidade, envolvendo questões agroecológicas, produção orgânica e natural, e suas relações sociais. Em seguida são contemplados estudos acerca de inovações tecnológicas do meio rural, que abrange qualidade de sementes, nutrição mineral, mecanização, genética, dentre outros. Na sequência são expostos trabalhos voltados à irrigação e manejo do solo, envolvendo processos hídricos, sistemas agroflorestais e adubação.

A obra apresenta-se como atual, com pesquisas modernas e de grande relevância para o país. Apresenta distintos temas interessantes, discutidos aqui com a proposta de basear o conhecimento de acadêmicos, mestres, doutores e todos que de algum modo se dedicam pela Engenharia Agrônômica. Abrange todas regiões do país, valorizando seus diferentes climas e hábitos.

Inicialmente são apresentados trabalhos relacionados a sustentabilidade, envolvendo questões agroecológicas, produção orgânica e natural, e suas relações sociais. Em seguida são contemplados estudos acerca de inovações tecnológicas do meio rural, que abrange qualidade de sementes, nutrição mineral, mecanização, genética, dentre outros. Na sequência são expostos trabalhos voltados à irrigação e manejo do solo, envolvendo processos hídricos, sistemas agroflorestais e adubação.

Assim a obra Engenharia Agrônômica: Ambientes Agrícolas e seus Campos de Atuação expõe um conceito bem fundamentado nos resultados práticos atingidos pelos diversos educadores e acadêmicos que desenvolveram arduamente seus trabalhos aqui apresentados de modo claro e didático. Sabe-se da importância da divulgação científica, portanto ressalta-se também a organização da Atena Editora habilitada a oferecer uma plataforma segura e transparente para os pesquisadores exibirem e disseminarem seus resultados.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA: UM ESTUDO NA BACIA DO SALGADO – CE, BRASIL

José Antônio Frizzone

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Claudivan Feitosa de Lacerda

DOI 10.22533/at.ed.4112103051

CAPÍTULO 2..... 15

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE CHUVAS PARA CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA NA CIDADE DE GOIÁS (GO)

Larissa Santos Castro

Roriz Luciano Machado

Joaquim José Frazão

Cássia Cristina Rezende

Aline Franciel de Andrade

Elizabete Alves Ferreira

Henrique Fonseca Elias de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.4112103052

CAPÍTULO 3..... 34

RECOMENDAÇÃO DE LÂMINAS DE FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA APÓS TRATAMENTO EM REATOR UASB

Júlia Camargo da Silva Mendonça Gomes

Camila da Motta de Carvalho

Everaldo Zonta

Henrique Vieira de Mendonça

DOI 10.22533/at.ed.4112103053

CAPÍTULO 4..... 39

IMPLICATIONS OF AGRICULTURAL GYPSUM DOSES IN PHYSICAL-HYDRIC ATTRIBUTES OF A TYPIC HAPLORTOX AND ON ROOT GROWTH AND SOYBEAN PRODUCTIVITY

Francisco de Assis Guedes Junior

Deonir Secco

Luciene Kazue Tokura

DOI 10.22533/at.ed.4112103054

CAPÍTULO 5..... 53

ÁCIDOS FÚLVICOS, HÚMICOS E HUMINA EM LATOSSOLO SOB USO EM SISTEMA AGROFLORESTAL, POUSIO E PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Allana Pereira Moura da Silva

Julian Junio de Jesus Lacerda

Caio de Meneses Cabral

DOI 10.22533/at.ed.4112103055

CAPÍTULO 6.....59

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE DISSIPAÇÃO TÉRMICA NA MEDIDA DO FLUXO DE SEIVA EM PINHÃO-MANSO

Ana Daniela Lopes
Vinicius Melo Rocha
Daniel Haraguchi Santos
Rafael Corradini
José Júnior Severino
João Paulo Francisco
Leonardo Duarte Batista da Silva
Marcos Vinicius Folegatti

DOI 10.22533/at.ed.4112103056

CAPÍTULO 7.....70

CLASSIFICAÇÃO EM PENEIRA DE GRÃOS DO CAFEIEIRO CONILON SOB MANEJO IRRIGADO E SEQUEIRO

Matheus Gaspar Schwan
Pedro Henrique Steill de Oliveira
Jussara Oliveira Gervasio
Joab Luhan Ferreira Pedrosa
Ralph Bonandi Barreiros
Lucas Rosa Pereira
Edvaldo Fialho dos Reis

DOI 10.22533/at.ed.4112103057

CAPÍTULO 8.....80

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM PYTHON PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE THORNTHWAITE

Victor Rodrigues Nascimento
André Luiz de Carvalho
Arthur Costa Falcão Tavares
Guilherme Bastos Lyra
Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro
João Pedro dos Santos Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.4112103058

CAPÍTULO 9.....88

CONSTRUÇÃO, CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DE LISIMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA

Ana Daniela Lopes
Vinicius Melo Rocha
Daniel Haraguchi Santos
Rafael Corradini
José Júnior Severino
João Paulo Francisco
Leonardo Duarte Batista da Silva
Marcos Vinicius Folegatti

DOI 10.22533/at.ed.4112103059

CAPÍTULO 10..... 100

BALANCE DE MATERIA ORGANICA Y CAPACIDAD DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO DE DISTINTOS SUELOS CON FERTILIZACIÓN CONTINUA

Liliana Vega Jara

DOI 10.22533/at.ed.41121030510

CAPÍTULO 11 112

AGREGAÇÃO SOB DIFERENTES PEDOFORMAS EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, NO SUDESTE DO BRASIL

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto

Vanessa Aparecida Freo

Marcos Gervasio Pereira

Alexandre Santos Medeiros

Cristiane Figueira da Silva

Otávio Augusto Queiroz dos Santos

Renato Siquini de Souza

DOI 10.22533/at.ed.41121030512

CAPÍTULO 12..... 127

USO DE TENSÍÔMETROS NA DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PLANTAS ORNAMENTAIS

Fátima Cibele Soares

Giordana Trindade de Abreu

Jumar Luís Russi

DOI 10.22533/at.ed.41121030513

SOBRE A ORGANIZADORA..... 140

ÍNDICE REMISSIVO..... 141

CAPÍTULO 1

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA: UM ESTUDO NA BACIA DO SALGADO – CE, BRASIL

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 07/03/2021

José Antônio Frizzone

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP
Piracicaba - SP

Bolsista de Inovação Tecnológica–FUNCAP– CE
Bolsista de Produtividade em Pesquisa - CNPq
<http://lattes.cnpq.br/1938995897164854>

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/ USP
Piracicaba - SP

<http://lattes.cnpq.br/5461315063608561>

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Secretário Executivo de Agronegócio
SEDET–CE
Fortaleza - CE

<http://lattes.cnpq.br/5215677939309020>

Claudivan Feitosa de Lacerda

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia Agrícola – UFC
Fortaleza – CE

<http://lattes.cnpq.br/4576414337840820>

RESUMO: A bacia do Salgado insere-se em uma região semiárida do estado do Ceará, Brasil. Essa constitui importante região produtora de alimentos e enfrenta restrição na disponibilidade de recursos hídricos. Neste estudo, o desempenho da agricultura irrigada foi analisado utilizando-se critérios

de segurança hídrica, produtiva, econômica e social. Baixos índices de desempenho sempre estiveram associados a inadequação de mais de um indicador de segurança. De uma forma geral os resultados indicaram a necessidade de redução do volume de água aplicado pela irrigação, aumento da produtividade, da renda e de empregos. Culturas ocupando a maior parte da área cultivada (e.g., arroz, banana, cana-de-açúcar, coco verde, goiaba, maracujá, milho verde) requerem volumes elevados de água para irrigação. Para essas culturas, são necessárias intervenções técnicas relativas ao manejo do sistema solo-água-plantas visando a melhoria da produtividade da água. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos irrigados que apresentem baixo índice de desempenho, por exemplo, inferior a 0,70. O estudo aqui apresentado poderá dar suporte às políticas públicas no âmbito da irrigação e das técnicas agrônomicas necessárias à melhoria do desempenho da agricultura irrigada.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de uso consuntivo da irrigação, produtividade física da água, produtividade econômica da água.

IRRIGATION WATER PRODUCTIVITY IN A SEMI-ARID REGION – A CASE STUDY IN THE SALGADO BASIN – CE, BRAZIL

ABSTRACT: The Salgado Basin belongs to the semi-arid region of Ceará State, Brazil. It is an important food producing region that faces constraints of water resources. In this study, the performance of irrigated agriculture was analyzed

based on water, productivity, economic and social security. Low levels of performance always were related to more than one index of security. Overall, results indicated that is necessary to reduce the volume of water for irrigation, to increase yield, incomes, and employment. Crops occupying most of cultivated land (e.g., rice, banana, sugarcane, coconut, guava, passion-fruit, corn), require high volumes of water for irrigation. For these crops, technical interventions related to management of the soil-water-plant system are necessary to improve water productivity. Under severe shortage of water resources and disputes among water users, which applies for the Salgado River Basin, irrigated crops of low performance index (e.g., smaller than 0.70) should not be prioritized. This study may support public policies related to irrigation and agronomical techniques necessary to improve the performance of irrigated agriculture.

KEYWORDS: Irrigation consumptive use coeficiente, physical water productivity, economic water productivity.

1 | INTRODUÇÃO

A bacia do rio Salgado é uma das cinco sub-bacias do rio Jaguaribe e se posiciona na porção meridional do Estado do Ceará. Possui uma extensão de 308 km e drena uma área de 12.623.89 km², o equivalente a 9% do território cearense. Depois da bacia do Baixo Jaguaribe, é uma das mais importantes regiões produtora de alimentos, sob irrigação, do estado do Ceará. Possui baixa capacidade de acumulação de águas superficiais (447.210.000 m³). A disponibilidade de águas subterrâneas é 127.600.758 m³. O clima é do tipo BSW'h' pela classificação de Köppen, quente e semiárido, com grande variabilidade na distribuição espacial das chuvas (INESP, 2009).

Historicamente a escassez hídrica no Estado do Ceará foi justificada apenas por condições eminentemente climáticas. Atualmente, porém, deixou de ser exclusivamente um fator natural para ser, também, consequência da crescente demanda pelos múltiplos usos, dentre os quais a agricultura irrigada, turismo, crescimento populacional e indústria, são dependentes de grandes quantidades de água. Melhorar a gestão dos recursos hídricos na agricultura é objetivo prioritário em todo o mundo (HUANG e ZHANG, 2020).

Os irrigantes estão sob pressão crescente para garantir a segurança alimentar bem como a sustentabilidade ambiental e econômica de longo prazo (KOECH; LANGAT, 2018). A disponibilidade de água afeta diretamente a produção de alimentos e o suprimento suficiente de água é vital para garantir o crescimento das culturas e a sobrevivência do homem (FERNÁNDEZ et al, 2020). Esse desafio é maior nas regiões áridas e semiáridas, onde a escassez é o fator limitante mais importante para a produtividade das plantas. Essas condições podem se tornar mais severas pelo aquecimento global (SUN et al., 2017). Pela falta de recursos hídricos nesses agro-ecossistemas, grande parte das áreas cultivadas não é irrigada e a agricultura é manejada sob condições de sequeiro (HADEBE et al., 2017), com baixa produtividade.

Aumentar a eficiência do uso da água na fazenda requer decisões sábias sobre o sistema de irrigação, a estratégia de irrigação e o método para programar a irrigação, entre outros fatores relacionados ao gerenciamento da água. Desde o início dos anos 2000, a abordagem da produtividade da água tem sido amplamente usada para resolver esse problema. Ele fornece indicadores úteis para a produtividade física da água e o desempenho econômico da irrigação. A análise da literatura, entretanto, mostra confusão no uso dos termos e falta de acordo nas equações (HEYDARI, 2014). Este artigo é focado no uso racional da abordagem de produtividade da água para o irrigante para melhorar a produtividade física e econômica da água em escala de campo, na bacia do rio Salgado, no estado do Ceará.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O coeficiente de uso consuntivo da irrigação (ICUC) é sugerido para definir a fração da água de irrigação aplicada a um campo, fazenda ou projeto que é convertida em vapor ou consumida (transpiração mais evaporação da superfície do solo ou das plantas) (BURT et al. 1997). O são medidas físicas de uma dada tecnologia de irrigação presumindo um nível de manejo e, portanto, não é comparáveis ao termo eficiência de uso de água ou produtividade da água. A fração não consumida é $1 - ICUC$, representa a porção recuperável.

Em qualquer estudo de balanço hídrico de um projeto ou bacia hidrográfica ou ao estimar o impacto de alguma intervenção, deve-se considerar ambos os indicadores, a fração consumida e a não consumida (JENSEN, 2007). O indicador ICUC é apropriado ao considerar a água consumida (evapotranspiração da cultura – ET) na produção do efeito desejado (produção da cultura), mas é um termo inapropriado se considerar a água não consumida como desperdiçada, uma vez que frequentemente essa água é recuperada e reutilizada em escala de bacia hidrográfica (GRAFTON, et al. 2018).

Nos sistemas de produção agrícola a WFP é usada para definir a relação entre produção comercial das culturas e a quantidade de água consumida nesta produção (ET), e tem servido como um indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação com relação ao manejo da água. Dessa forma, a produção total de biomassa (matéria seca) é transformada em produção comercial da cultura (VAZIFEDOUST et. al. 2008; PERRY et al. 2009) e define-se WFP com respeito à ET (WFP_{ET}), conforme Eq. (1). A WFP_{ET} constitui a chave para avaliação das estratégias de irrigação com déficit (GEERTS e RAES, 2009).

$$WFP_{ET} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Evapotranspiração da cultura (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

Na escala de campo, o uso de água representado no denominador das Eq. (1) é difícil de ser determinado com precisão. Assim, em algumas situações, outros substitutos para WFP são usados por muitos profissionais de irrigação e, como consequência, resultam diferentes valores. Se a quantidade total de água aplicada [irrigação (IR) + precipitação

efetiva (PE)] é considerada como água consumida pela cultura, então a Eq. (1) pode ser usada para determinar a produtividade física da água (WFP_{IR+PE}) [Eq. (2)]. O denominador da Eq. (2) é um substituto do uso de água para se obter o rendimento comercial correspondente. Sob condições de muito baixa precipitação, como em regiões áridas e semi-áridas, pode-se converter WFP_{IR+PE} em WFP_{IR} (Eq. 3). Nesses casos negligencia-se a variação do armazenamento de água no solo durante o ciclo da cultura, a percolação, a ascensão capilar e o escoamento superficial. Muitos profissionais usam as Eqs. (2) e (3) com a finalidade de identificar diferenças entre os métodos de irrigação e/ou manejo de irrigação.

$$WFP_{IR+PE} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Volume de irrigação + precipitação (m}^3\text{)}} \quad (2)$$

$$WFP_{IR} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Volume de irrigação (m}^3\text{)}} \quad (3)$$

Observa-se relativo consenso sobre o numerador de WFP ser o rendimento comercial. A biomassa total seca ou fresca ou produto colhido pode ser usado no numerador, expresso em termos físicos ou econômicos. No entanto, como os valores econômicos de diferentes produtos agrícolas não são os mesmos, a produtividade da água deve ser definida economicamente (HEYDARI, 2014). Por outro lado, algumas culturas são de base úmida, outras de base seca, algumas culturas como alface e milho podem ser reportadas em ambas as bases e para algumas outras o produto final é mais importante (por exemplo, cana-de-açúcar, beterraba açucareira, arroz em casca, etc.). Já a definição e os componentes do denominador diferem entre os autores. Alguns consideram apenas a água transpirada pela cultura (BOUMAN, 2007), mas a maioria inclui tanto a água evaporada do solo quanto a transpirada pela cultura. Pereira et al. (2012) sugeriram o uso do volume total de água envolvido na produção, isto é, além da ET somam-se a fração de lixiviação quando houver risco de sal na zona radicular e o uso não benéfico de água, ou seja, a água que é percolada, escoada do local de cultivo e derivada pelo vento quando a irrigação é por aspersão (isto é, volume total de água aplicado).

O conceito de produtividade da água pode se referir à produção física ou ao seu valor econômico (RODRIGUES e PEREIRA, 2009; HEYDARI, 2014). Um termo adequado para o último é a produtividade econômica da água (WEP), que se refere à razão entre produtos e insumos em termos monetários. Para culturas com baixos custos de investimento, por exemplo cereais, a produtividade econômica bruta da água de irrigação ($WEPB_{IR}$), que considera a margem bruta (receita bruta menos os custos variáveis) é aceitável [Eq. (4)] (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$WEPB_{IR} = \frac{\text{Margem bruta (\$ ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volume de irrigação (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

em que o denominado representa apenas o uso da água aplicada por irrigação.

No caso de culturas lenhosas e outras culturas que requerem substancial investimento desde o início, a produtividade econômica líquida da água ($WEPL_{IR}$) é um indicador mais adequado (FERNÁNDEZ et al., 2020), pois considera a margem líquida em vez da margem bruta, ou seja, inclui os custos variáveis e os fixos [Eq. (5)]:

$$WEPL_{IR} = \frac{\text{Margem líquida } (\$ \text{ ha}^{-1})}{\text{Volume de irrigação } (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})} \quad (5)$$

Ainda assim, nem $WEPB_{IR}$ nem $WEPL_{IR}$ consideram os custos de oportunidade, definidos como os benefícios perdidos ao longo da vida útil da cultura a uma determinada taxa de juros (FERNÁNDEZ et al., 2020). Uma análise econômica adequada deve considerar os custos de oportunidade. Portanto, a produtividade econômica da água total (WEP_{IR+PE}), definida pela Eq. (6) é recomendada:

$$WEP_{IR+PE} = \frac{\text{lucro } (\$ \text{ ha}^{-1})}{\text{Volume de irrigação} + \text{PE } (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})} \quad (6)$$

Se apenas o volume de irrigação for considerado no denominador, tem-se a produtividade econômica da água de irrigação (WEP_{IR}).

O lucro no numerador da Eq. (6) é definido como a receita bruta menos a soma dos custos variáveis, fixos e de oportunidade. Então WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} são adequados para tomar decisões sobre o manejo de irrigação de culturas lenhosas (FERNÁNDEZ et al., 2020). Ressalta-se que o tempo de vida da cultura afeta o valor WEP resultante, devido ao seu impacto nos custos fixos e de oportunidade. Isso é particularmente relevante para pomares de árvores frutíferas. Tanto WEP_{IR+PE} quanto WEP_{IR} são particularmente úteis para irrigantes que precisam tomar decisões sobre como gerenciar a irrigação da maneira mais lucrativa, ou seja, quando a meta de produção é aumentar a lucratividade e não a produtividade física da água. Entretanto, um cálculo preciso do WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} não pode ser feito antes do final da colheita, quando a receita e os custos ainda não são conhecidos. A receita é dada pelo rendimento e pelo valor de mercado e, para o cálculo dos custos totais, devem ser conhecidos os custos fixos, variáveis e de oportunidade (ALCON et al., 2013). Isso limita a utilização de WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} para a tomada de decisão na irrigação, uma vez que a avaliação econômica deve ser feita antes do início da temporada de irrigação. O desafio é maior quando o valor do rendimento depende da qualidade do produto e quando o preço de alguns insumos, como energia, fertilizantes e defensivos, varia de uma temporada para outra e mesmo durante o período de crescimento.

Indicadores de desempenho da agricultura irrigada são parâmetros importantes para se analisar o impacto da irrigação sobre a produção agrícola, receita líquida e geração de empregos em uma região. Para analisar o desempenho das culturas irrigadas são propostos neste estudo indicadores de desempenho agrupados em quatro classes (Tabela 4), cada uma composta por dois indicadores: (a) segurança produtiva – indicadores: produtividade

da terra (kg ha^{-1}) e produtividade da água (kg m^{-3}), (b) segurança econômica – indicadores: produtividade econômica da terra ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e produtividade econômica da água aplicada ($\text{R\$ m}^{-3}$), (c) segurança social – indicadores: quantidade de empregos gerados por unidade de área (empregos ha^{-1}) e por unidade de volume de água aplicada (empregos m^{-3}) e (d) segurança hídrica – quantidade de água utilizada na irrigação por unidade de área ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e ciclo da cultura.

Para formular um índice geral de desempenho da agricultura irrigada (I) foram definidas as seguintes relações adimensionais:

(a) Segurança hídrica: os dois indicadores são:

(a₁) Coeficiente de uso consuntivo da irrigação (ICUC_{ij}):

$$\text{ICUC}_{ij} = \frac{\text{VR}_{ij}}{\text{VA}_{ij}} \quad (7)$$

sendo VR_{ij} o volume líquido de irrigação requerido ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) pela cultura *i* na sub-bacia *j*, e VA_{ij} o volume bruto de irrigação aplicado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Para culturas irrigadas com déficit hídrico o valor de será maior que 1. No entanto, na análise que segue para desempenho das culturas irrigadas, o será assumido no máximo igual a 1.

(a₂) Ciclo da cultura:

Culturas permanentes: $C_i = 0,5$

Culturas temporárias de ciclo longo (ciclo ≥ 180 dias): $C_i = 0,75$

Culturas temporárias de ciclo curto (ciclo < 180 dias): $C_i = 1,0$

sendo C_i o peso atribuído à cultura *i*, referente ao comprimento do ciclo.

(b) Segurança produtiva: os dois indicadores são:

(b₁) Razão de produtividade física da terra (LFPR_{ij}):

$$\text{LFPR}_{ij} = \frac{\text{LFP}_{ij}}{\text{LFP}_{i \text{ máx}}} \quad (8)$$

sendo LFP_{ij} a produtividade física da terra (kg ha^{-1}) da cultura *i* na sub-bacia *j*, e $\text{LFP}_{i \text{ máx}}$ a máxima produtividade física da terra (kg ha^{-1}) observada na bacia para a cultura *i*.

(b₂) Razão de produtividade física da água (WFPR_{ij}):

$$\text{WFPR}_{ij} = \frac{\text{WFP}_{ij}}{\text{WFP}_{i \text{ máx}}} \quad (9)$$

sendo WFP_{ij} a produtividade física da água (kg m^{-3}) da cultura *i* na sub-bacia *j*, e $\text{WFP}_{i \text{ máx}}$ a máxima produtividade física da água (kg m^{-3}) observada na bacia para a cultura *i*.

(c) Segurança econômica: os dois indicadores são:

(c₁) Razão de produtividade econômica da terra (LEPR_{ij}):

$$\text{LEPR}_{ij} = \frac{\text{LEP}_{ij}}{\text{LEP}_{i \text{ máx}}} \quad (10)$$

sendo LEP_{ij} a produtividade econômica da terra ($\text{R\$ ha}^{-1}$) da cultura *i* na sub-bacia

j , e $LEP_{i\text{máx}}$ a máxima produtividade econômica da terra observada na bacia (R\$ ha⁻¹) para a cultura i .

(c₂) Razão de produtividade econômica da água (WEPR):

$$WEPR_{ij} = \frac{WEP_{i,j}}{WEP_{i\text{máx}}} \quad (11)$$

sendo $WEP_{i,j}$ a produtividade econômica da água (R\$ m⁻³) da cultura i na sub-bacia j , e $WEP_{i\text{máx}}$ a máxima produtividade econômica da água (R\$ m⁻³) observada na bacia para a cultura i .

(d) Segurança Social: os dois indicadores são:

(d₁) Razão de número de empregos gerados por unidade de área (LLABR):

$$LLABR_{ij} = \frac{LLAB_{i,j}}{LLAB_{i\text{máx}}} \quad (12)$$

sendo $LLAB_{i,j}$ o número de empregos gerados por unidade de área (empregos ha⁻¹) pela cultura i na sub-bacia j , e $LLAB_{i\text{máx}}$ o número máximo de empregos gerados por unidade de área (empregos ha⁻¹) observado na bacia para a cultura i .

(d₂) Razão de número de empregos gerados por unidade de volume de água aplicado (WLABR):

$$WLABR_{ij} = \frac{WLAB_{i,j}}{WLAB_{i\text{máx}}} \quad (13)$$

sendo $WLAB_{i,j}$ o número de empregos gerados por unidade de volume de água aplicada (empregos m⁻³) pela cultura i na sub-bacia j , e $WLAB_{i\text{máx}}$ o número máximo de empregos gerados por unidade de volume de água aplicada (empregos m⁻³) observado na bacia para a cultura i .

O índice de desempenho (I) para uma cultura irrigada i na sub-bacia j foi definido da seguinte forma:

$$I_{ij} = \alpha_1 ICUC_{ij} + \alpha_2 ICUC_{ij} + \alpha_3 LFPR_{ij} + \alpha_4 WFPR_{ij} + \alpha_5 LEPR_{ij} + \alpha_6 WEPR_{ij} + \alpha_7 LLABR_{ij} + \alpha_8 WLABR_{ij} \quad (14)$$

sendo α_k os pesos atribuídos pelo gestor a cada razão de segurança de acordo com suas prioridades; $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_8 = 1$. Se $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_8 = \alpha$, então $\alpha = 1/8$ e I_{ij} corresponde à média aritmética das razões de segurança. O valor de I_{ij} varia entre zero e 1. Quanto mais próximo de 1 melhor é o desempenho da cultura irrigada e, conforme I_{ij} vai reduzindo, significa que uma ou mais razões de segurança estão baixas e a atividade agrícola necessita de alguma intervenção de melhoria. O índice I_{ij} também serve para priorizar as atividades agrícolas irrigadas. Para culturas irrigadas com déficit hídrico obtém-se $ICUC$ maior que 1. Para normalizar I_{ij} entre zero e 1, considerou-se $0 \leq ICUC_{ij} \leq 1$.

Para o cálculo do indicador de produtividade econômica considerou-se a margem

líquida, isto é, da receita bruta subtraíram-se os custos fixos e as variáveis. As informações sobre áreas cultivadas, produtividade física da terra, volume bruto de irrigação aplicado aos cultivos, empregos gerados por unidade de área pelas atividades agrícolas, custos de produção e valor da produção foram obtidas na base de dados da Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE, 2018) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). O estudo de caso foi feito com as informações do ano de 2017.

Utilizou-se o método de Penman-Monteith divulgado no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1988) para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Os coeficientes de cultura (K_c), utilizados para o cálculo da evapotranspiração de cultura (ET_c) foram aqueles divulgados pela FAO 56 adaptados para as condições climáticas da região. Os dados utilizados para o cálculo da ET_o na bacia do Salgado foram obtidos de estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas na região de estudo. O sistema S@I (LIMA et al., 2015) foi o SSD utilizado para a determinação da ET_c nos municípios da bacia. O volume de irrigação requerido pelas culturas (VR) foi estimado com base na evapotranspiração potencial de cultura (ET_c), já que a precipitação pluvial na bacia no ano de 2017 foi muito baixa, isto é, em média 32,7 mm.

3 | RESULTADOS E DICUSSÕES

Na Tabela 1 mostra-se que, em 2017, as 19 culturas irrigadas na bacia do salgado ocuparam uma área irrigada 4.742 ha a cultura da banana ocupou a maior área (34,4%). Observa-se que a cultura do feijão também se destaca com 958 ha irrigados (20,2%). A área total irrigada recebeu um volume bruto de irrigação de 64.977.730 m³, enquanto o volume requerido foi de 44.269.610 m³, resultando num ICUC global de 0,681. As atividades agrícolas geraram uma produção total de 120.321.056 kg, produziram uma receita líquida de R\$ 95.191.188 e geraram 3.429,63 empregos diretos. Três culturas (banana, feijão-caupi e manga) ocupam 63% da área, recebem volume bruto de irrigação de 64,8% do volume total e produzem 57,5% da receita líquida total da bacia. A banana é o produto que rendeu maior receita líquida total para a bacia, entretanto a uva é a cultura que apresenta a maior rentabilidade por unidade de área. De acordo com informações da ADECE (2018) a área irrigada na bacia está distribuída em 21 municípios, tendo o município de Barbalha a maior área irrigada (1.069 ha).

Culturas	Área (ha)	VA (m ³ ha ⁻¹)	VR (m ³ ha ⁻¹)	LFP (kg ha ⁻¹)	LEP (R\$ ha ⁻¹)	Empregos (por ha)
Abacate	16	19.000	7.850	10.000	19.017	0,70
Acerola	50	18.000	9.960	11.500	45.460	1,70
Arroz	57	28.000	10.920	9.528	4.754	0,73
Banana	1.630	18.000	11.950	28.034	24.704	0,54
Batata doce	159	10.490	8.950	25.400	21.856	1,30
Cana-de-açúcar	140	19.000	6.220	59.533	8.807	0,16
Coco	114	15.000	8.470	12.300	11.043	0,26
Feijão-caupi	958	7.500	7.090	3.840	5.410	0,90
Goiaba	106	15.000	7.460	33.000	33.004	0,32
Laranja	84	16.500	9.960	11.250	15.047	0,34
Limão	27	14.000	9.960	9.400	20.578	0,35
Macaxeira	353	7.200	7.970	31.000	17.879	0,36
Mamão	100	15.000	8.460	77.325	33.569	0,55
Manga	397	14.000	9.960	20.475	23.251	0,40
Maracujá	209	14.000	9.950	17.300	23.063	0,38
Melancia	52	12.000	5.810	60.200	12.599	0,70
Milho verde	73	12.000	6.710	3.600	10.566	0,82
Tomate	208	10.000	4.980	82.000	46.540	3,22
Uva	9	17.600	8.470	34.625	86.333	2,19
Total	4.742					

Tabela 1 – Culturas e respectivas áreas cultivadas, volumes brutos de irrigação aplicados (VA), volumes de irrigação requeridos (VR), produtividade da terra (LFP) e receitas líquidas (LEP), na bacia do rio Salgado.

As estimativas de (Tabela 2) feitas aqui são aproximadas porque os volumes brutos de irrigação aplicados às culturas representam informações gerais apresentadas no relatório da ADECE (2018), revelando a necessidade de contabilidade abrangente da água em escala do campo e de bacia hidrográfica. Conforme salienta Burton (1999) a maior restrição para o entendimento sobre o uso da água na agricultura é a dificuldade associada com sua medida e quantificação. Medições e registros de vazão do sistema, de volume aplicado e variáveis de clima são raros e providos de erros potenciais.

Culturas	ICUC	WFP (kg m ⁻³)	WEP (R\$ m ⁻³)	Empregos (por 1000 m ³)	I
Abacate	0,413	0,579	1,001	0,037	0,793
Acerola	0,553	0,639	2,526	0,094	0,724
Arroz	0,390	0,340	0,170	0,026	0,776
Banana	0,664	1,557	1,372	0,030	0,717
Batata doce	0,855	2,426	2,084	0,132	0,982
Cana-de-açúcar	0,327	3,133	0,464	0,008	0,797
Coco verde	0,565	0,820	0,736	0,017	0,674
Feijão-caupi	0,945	0,512	0,721	0,120	0,925
Goiaba	0,497	2,200	2,200	0,021	0,695
Laranja	0,604	0,682	0,912	0,021	0,766
Limão	0,711	0,671	1,470	0,025	0,755
Macaxeira	1,107	4,306	2,483	0,050	0,718
Mamão	0,564	5,155	2,238	0,037	0,802
Manga	0,711	1,463	1,661	0,029	0,845
Maracujá	0,711	1,236	1,647	0,027	0,658
Melancia	0,484	5,017	1,050	0,058	0,785
Milho verde	0,559	0,300	0,881	0,068	0,601
Tomate	0,498	8,200	4,654	0,322	0,845
Uva	0,481	1,967	4,905	0,124	0,860

Tabela 2 – Coeficiente de uso consuntivo da água da irrigação (ICUC), produtividade física da água de irrigação (WFP), produtividade econômica da água de irrigação (WEP), geração de empregos por 1000 m³ de água aplicada e índice de desempenho das culturas irrigadas (I) na bacia do Salgado para $\alpha=1/8$. Ano de 2017.

Entre as 19 culturas irrigadas, apenas 6 (31,6%) apresentaram ICUC superior a 0,70, indicando a necessidade de adoção de técnicas para um manejo racional da irrigação. A cultura da macaxeira, com ICUC superior a 1 indica que a cultura está sendo manejada com déficit de irrigação. Valores muito baixos de ICUC são encontrados para as culturas do arroz e cana de açúcar. O ICUC contabiliza a fração da água total aplicada que é utilizada para usos consuntivos, no caso, especialmente evapotranspiração das culturas. Não são contabilizados aqui outros usos consuntivos como evapotranspiração de plantas daninhas, evaporação da água aspergida nos sistemas de aspersão, evaporação de reservatórios e água exportada com o produto colhido. A fração $1 - ICUC$ representa a água que, de alguma forma, transita para fora da área de cultivo, mas não se perde para a atmosfera na forma de vapor. A água de uso não consuntivo pode ser reutilizada na própria área, ou em outra área de jusante na bacia hidrográfica ou retornar à fonte. Está relacionada com a água que drena abaixo da zona radicular, a água que escoia superficialmente e a que infiltra nos canais (BURT et al., 1997).

Os valores tão baixos de $ICUC$ ilustram problemas típicos de aplicação de água. Esses problemas enfatizam a necessidade de considerar rigorosamente técnicas de manejo da irrigação, seleção de solos aptos ao cultivo sob inundação, projetos adequados dos sistemas, técnicas adequadas de operação dos projetos de irrigação, programa de manutenção dos sistemas de irrigação e treinamento dos irrigantes. Oportunidades para aumentar $ICUC$ são adoção de sistemas de programação ad irrigação baseados na demanda das culturas, uso de programação ad irrigação com déficit, uso de técnicas de manejo e conservação da água do solo que permitam a redução das perdas por evaporação, uso de sistemas de irrigação que minimizam a fração de solo molhado, melhor manutenção dos equipamentos de irrigação e estruturas de condução de água (WALLACE e BATCHELOR, 1997).

Na Tabela 2 são apresentadas as produtividades física e econômica da água para as culturas irrigadas na bacia do salgado, no ano de 2017. Para a produtividade física da água foi considerado volume de água aplicado por irrigação (VA) aos cultivos. Para a produtividade econômica da água considerou-se a receita líquida advinda da produção das culturas. Não foram computados os custos de oportunidade.

A cultura do arroz apresenta LFP (9.528 kg ha^{-1}) relativamente boa. Mas a WFP é baixa ($0,340 \text{ kg m}^{-3}$) por receber um volume bruto de irrigação alto ($28.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Este valor é inferior ao valor médio $0,43 \text{ kg m}^{-3}$ verificado por Costa et al. (2005) com aplicação de um volume de água $13.760 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em solos de textura argilo-siltosa no perímetro irrigado Morada Nova, pertencente à sub-bacia do Baixo Jaguaribe. Observa-se ainda que WEP para o arroz é baixa, em média $R\$ 0,17 \text{ m}^{-3}$, porque a receita líquida por hectare (LEP) advinda do cultivo não é elevada e o volume bruto de irrigação aplicado é alto. Destaca-se ainda uma contribuição social do cultivo do arroz na região apenas regular, gerando durante o ano na bacia, em média, $0,73$ empregos ha^{-1} ou $0,026$ empregos por 1000 m^3 de água aplicada. Estes valores levaram a um índice global de desempenho (I) regular ($0,776$). O aumento da WFP pode ser conseguido tanto pela redução do volume de água aplicado como pelo aumento da produtividade para a mesma quantidade de água evapotranspirada pela cultura (Coelho et. al. 2015).

O problema se repete com a cultura da cana-de-açúcar, que embora apresente I igual $0,797$ necessita de redução no volume de irrigação aplicado, pois, apresenta o menor $ICUC$ da bacia ($0,327$). Teodoro et al. (2013), conduzindo experimentação de campo no município de Rio Largo – AL, região Nordeste do Brasil, apontam que a produtividade de colmos de cana-planta de $160.000 \text{ kg ha}^{-1}$, utilizando irrigação por gotejamento superficial, pode ser obtida com aplicação de $17.370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água e 30 kg ha^{-1} de nitrogênio, resultando WFP de $9,22 \text{ kg m}^{-3}$. De acordo com Oliveira et al. (2011), em pesquisa realizada no município de Carpina – PE utilizando sistema de aspersão convencional, a irrigação plena proporcionou maior produtividade física da água, com acréscimo na produção média de colmos de $7,0 \text{ kg m}^{-3}$ em comparação ao regime de sequeiro.

O problema é agravado com as culturas do coco (I = $0,679$), goiaba (I = $0,696$),

maracujá ($I = 0,658$) e milho verde ($I = 0,601$), indicando um desempenho marginal da dessas culturas. Os resultados mostram que são necessárias ações para melhoria expressiva do manejo da irrigação e adoção de práticas agrônômicas que promovam aumento da produtividade da terra e uso de água de irrigação. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos que apresentem baixos índices de desempenho, por exemplo, inferiores a 0,70. Ou, de outra forma, que seja dado suporte técnico ao produtor rural para melhoria do desempenho da irrigação. O sucesso da aplicação de técnicas agrícolas modernas depende também de ações institucionais que visem estimular a assistência técnica e a difusão do conhecimento, a educação e a formação do irrigante e a promoção de incentivos para o uso eficiente da água e penalidades para o uso ineficiente.

4 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste artigo analisou-se desempenho da agricultura irrigada na bacia do rio Salgado, no estado do Ceará. Foram analisados critérios de segurança hídrica, produtiva, econômica e social. Baixos índices de desempenho sempre estiveram associados a inadequação de mais de um indicador de segurança. De uma forma geral os resultados indicaram a necessidade de redução do volume de água aplicado pela irrigação, aumento da produtividade, da renda e de empregos. Várias culturas com importantes áreas cultivadas e, portanto, demandando elevados volume de irrigação, como arroz, banana, cana-de-açúcar, coco verde, goiaba, maracujá e milho verde necessitam de intervenções técnicas relativas ao manejo do sistema solo-água-plantas visando a melhoria da produtividade com menos água aplicada. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos irrigados que apresentem baixos índices de desempenho, por exemplo, inferiores a 0,70. O estudo aqui apresentado poderá dar suporte às políticas públicas no âmbito da irrigação e das técnicas agrônômicas necessárias à melhoria do desempenho da agricultura irrigada.

REFERÊNCIAS

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. Estudo para definição de indicadores e critérios de uso da água no setor agropecuário – Estudo das águas: Produto V – Indicadores socioeconômicos das áreas irrigadas – Relatório 05/2018. p.64. 2018.

ALCON, F., MARTÍN-ORTEGA, J., PEDRERO, F., ALARCÓN, J. J., DE MIGUEL, M. D. Incorporating non-market benefits of reclaimed water into cost-benefit analysis: a case study of irrigated mandarin crops in southern Spain. **Water Resour. Manage.**, v.27, n.6, p.1809–1820, 2013.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **Irrig. and Drain.** paper 56. FAO, Rome, Italy. 1998.

BOUMAN, B. A. M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. **J. Agric. Food Syst. Community Dev.**, v93, p.43–60, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.04.004>.

BURT, C. M., CLEMMENS, A. J., STRELKOFF, T. S., SOLOMON, K. H., BLIESNER, R. D., HARDY, L. A., HOWELL, T. A., EISENHAUER, D. E. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v.123, n.6, p.423- 442, 1997.

BURTON, M.A.; KIVUMBI, D.; EL-ASKARI, K. Opportunities and constraints to improving irrigation water management: Foci for research. **Agric. Water Manage.**, v.40, n.1, p.37-44, 1999.

COELHO, E. F., SIMÕES, W. L., SANTOS, F. P., MELO, D. M., LIMA, L. W. F. Produtividade e eficiência do uso de água da bananeira caipira sob diferentes densidades de plantio e lâminas de irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p.2430-2437, 2015. http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_214.

COSTA, R. N. T.; COLARES, D. S.; SAUNDERS, L. C. U.; SUOZA, F. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado morada nova, CE. **Irriga**, v.10, n.4, p.388-398, 2005.

FERNÁNDEZ, F. E., ALCON, F., DIAZ-ESPEJO; HERNADEZ-SANTANA, V., CUEVAS, M. V., 2002. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agric. Water Manage.**, 237, 106074, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>.

GRAFFTON, R. Q.; WILLIAMS, C. J.; PERRY, C. J.; MOLLE, F.; RINGLER, C.; STEDUTO, P.; UDALL, B.; WHEELER, S. A.; WANG, Y; GARRICK; D.; ALLEN, R. G. The paradox of irrigation efficiency. **Science**, n.361, 6404, p.748-750, 2018. DOI: 10.1126/science.aat9314.

GEERTS, S., RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity. **Agric. Water Manage.**, v.96, p.1275–1284, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>.

HADEBE, S. T.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Drought tolerance and water use of cereal crops: a focus on sorghum as a food security crop in Sub-Saharan Africa. **J. Agr. Crop Sci.**, v. 203, n.3, p. 177–191, 2017. <https://doi.org/10.1111/jac.12191>

HEYDARI, N. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. **Irrig. and Drain.** v.63, 22–28, 2014. DOI: 10.1002/ird.1816.

HUANG, W.; ZHANG, Q. Selecting the optimal economic crop in minority regions with the criteria about soil and water conservation. **Agricultural Water Management**, v. 241, 106295, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106295>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, v. 30, n. 12, p. 1-82. Dezembro, 2017.

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ - INESP. Caderno Regional da sub-bacia do Salgado. Fortaleza – CE, v. 11, 135 p. 2009.

JENSEN, M. E. Beyond irrigation efficiency. **Irrig. Sci.**, 25 (4), 233-245, 2007. DOI 10.1007/s00271-007-0060-5

KOECH, R., LANGAT, P. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. **Water**, v.10, 1771, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10121771>.

LIMA, S. C. R. V., SOUZA, F., FRIZZONE, J.A., CAMARGO, D. C., BELTRÃO JÚNIOR, J.A. NASCIMENTO, A. K. S., 2015. Desempenho do sistema de assessoramento ao irrigante - S@I para a gestão da água em áreas irrigadas: benefícios aos irrigantes e ao distrito. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.1, p.1-13, 2015.

OLIVEIRA, E. C. A., FREIRE, F. J., OLIVEIRA, A. C., SIMÕES NETO, D. E., ROCHA, A. T., CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

PEREIRA, L.S., CORDERY, I., IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agric. Water Manage.**, v.108, p.39–51, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEL, R.G.; BURT, C.M., 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agric. Water Manage.**, v.96, p.1517–1524, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.

RODRIGUES, G. C., PEREIRA, L. S., 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. **Biosys. Eng.**, v.103, p.536–551, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002>.

SUN, X.G.; SHI, J.; DING, G.J. Combined effects of arbuscular mycorrhiza and drought stress on plant growth and mortality of forage sorghum. **Appl. Soil Ecol.**, v. 119, p. 384–391, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.030>

TEODORO, I., DANTAS NETO, J., SOUZA, J. L., LYRA, G. B., BRITO, K. S., SÁ, L. A., SANTOS, M. A. L., SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v.18, n3, p.387-401, 2013.

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAM, J. C.; FEDDES, R. A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agric. Water Manage.**, v.95, p.89-102, 1998. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.007>

WALLACE, J.S., BATCHELOR, C.H. Managing water resources for crop production. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, v.352, n.1356, p.937-947, 1997. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0073>

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE CHUVAS PARA CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA NA CIDADE DE GOIÁS (GO)

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 06/03/2021

Larissa Santos Castro

Spraytec Fertilizantes
Araxá – Minas Gerais
<https://orcid.org/0000-0001-6430-6648>

Roriz Luciano Machado

Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
Ceres – Goiás
<https://orcid.org/0000-0003-4270-5423>

Joaquim José Frazão

Instituto Federal Goiano – Campus Iporá
<https://orcid.org/0000-0001-8586-4622>

Cássia Cristina Rezende

Universidade Federal de Goiás
Goiânia – Goiás
<https://orcid.org/0000-0001-8463-1907>

Aline Franciel de Andrade

Universidade Federal de Goiás
Goiânia – Goiás
<http://lattes.cnpq.br/3769802987824061>

Elizabete Alves Ferreira

Instituto Nacional de Meteorologia – 10° DISME
Goiânia – Goiás
<http://lattes.cnpq.br/2458690354291253>

Henrique Fonseca Elias de Oliveira

Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
Ceres – Goiás
<https://orcid.org/0000-0001-8698-292X>

RESUMO: A determinação de atributos de chuvas para determinada localidade permite planejar práticas de prevenção e controle da erosão. O objetivo do presente trabalho foi determinar a distribuição da erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas máximas diárias anuais na cidade de Goiás, GO. Foram utilizadas séries de dados pluviográficos referente ao período de 2002 a 2011, fornecidos pelo INMET, e série de dados pluviométricos do período de 1949 a 2011, disponível na base HIDROWEB/ANA. Os pluviogramas foram digitalizados e seus dados processados em planilha eletrônica e, posteriormente, submetidos ao software Choveros a fim de determinar os índices de erosividade EI_{30} e $KE>25$, altura precipitada, quantidade de chuvas e respectivos padrões de precipitação. Os resultados encontrados demonstraram que a precipitação média anual foi de 1.648,6 mm e o período chuvoso vai de outubro a abril, com 90,8% da precipitação anual. Os valores médios para os índices de erosividade EI_{30} e $KE>25$ foram de 7.112,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 110,3 MJ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. O padrão de chuvas avançado (49,8%) apresentou maior ocorrência, seguido dos padrões atrasado (35,1%) e intermediário (15,1%). Os valores de chuva máxima diária anual para a cidade de Goiás, esperados para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos são, respectivamente, de 93,9; 112,6; 131,0; 154,2; 171,5 e 188,6 mm.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão hídrica, fator R, enchentes, chuva de projeto.

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF RAINFALL TO SOIL AND WATER CONSERVATION AT GOIÁS CITY (GO) BRAZIL

ABSTRACT: The determination of rainfall attributes for a given locality allows planning erosion prevention and control practices. The objective of the present work was to determine the distribution of erosivity, hydrological patterns and period of return of the annual maximum daily rainfall in the city of Goiás, GO. A series of pluviographic data for the period from 2002 to 2011, provided by INMET, and a series of rainfall data from the period 1949 to 2011, available at the HIDROWEB/ANA database, were used. The pluviograms were digitized and their data processed in a spreadsheet and later submitted to the Chuveros software in order to determine the erosivity indexes EI_{30} and $KE>25$, precipitation height, amount of rainfall and respective precipitation patterns. The results showed that the average annual precipitation was 1,648.6 mm and the rainy season goes from October to April, with 90.8% of the annual precipitation. The averages for the EI_{30} and $KE>25$ erosivity indices were 7,112.2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹ and 110.3 MJ ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. The advanced rainfall pattern (49.8%) presented the highest occurrence followed by delayed (35.1%) and intermediate (15.1%) patterns. The annual maximum daily rainfall values for the city of Goiás, expected for return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years are, respectively, 93.9; 112.6; 131.0; 154.2; 171.5 and 188.6 mm.

KEYWORDS: Water erosion, R factor, floods, rainfall of project.

1 | INTRODUÇÃO

As perdas de solo e água por erosão hídrica proporcionam a diminuição da produtividade das culturas, além de causar problemas ambientais, como o assoreamento de rios e poluição dos recursos hídricos (CASSOL et al., 2008).

A quantificação de fatores relacionados à erosividade das chuvas são informações cruciais para adequar sistemas de manejo de solos, adoção de práticas conservacionistas, auxiliar planos de recuperação de áreas degradadas, além de poder subsidiar políticas públicas e assim, permitindo o uso de recursos financeiros para fins conservacionistas, priorizando as regiões mais críticas (OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2008).

Nesse contexto, a equação universal de perda do solo (USLE) é um dos modelos mais utilizados para estimar a quantidade média de perda de solo a longo prazo, mensalmente e/ou anualmente (LEE e HEO, 2011), e ajustar o sistema de produção agrícola para que as perdas de solo fiquem dentro de limites toleráveis. A USLE foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1965, 1978) nos Estados Unidos, a qual é composta por fatores erosividade das chuvas – R; erodibilidade do solo – K; comprimento da inclinação – L; e inclinação – S; uso e cobertura – C; e práticas conservacionistas – P (MEUSBURGER et al., 2011).

O EI_{30} é o índice preconizado pela USLE e um dos mais utilizados para a quantificação do fator erosividade, sendo a multiplicação da energia cinética (E) pela intensidade máxima da chuva durante um período de 30 min (I_{30}) para cada tempestade de chuva (WISCHMEIER e SMITH, 1958, 1978). Para determinação do fator R da USLE necessita-se de séries históricas de dados de pluviógrafos de pelo menos 22 anos. Séries

temporais com mais de 20 anos são escassas no Brasil, logo, modelos que relacionam o EI_{30} com dados pluviométricos diários vêm sendo utilizados para se obter o fator R da USLE (ANGULO-MARTÍNEZ, 2009; MACHADO et al., 2013). Outro índice também utilizado e recomendado para regiões tropicais é o $KE > 25$, o qual considera a energia cinética de chuvas com intensidade de precipitação superior a 25 mm h⁻¹ (HUDSON, 1973).

O conhecimento do índice de erosividade tem importância tanto prática quanto científica, já que do ponto de vista prático, esse índice permite a identificação do período do ano com maior risco ou potencial de erosão hídrica, ou seja, permitindo o planejamento de medidas de controle. Já no ponto de vista científico, esse índice permite saber o motivo das diferenças nas quantidades de erosão em determinado ano e local (SCHICK et al., 2014).

No Brasil, o parâmetro EI_{30} vem sendo amplamente estudado e utilizado (ALBUQUERQUE et al., 2005; MACHADO et al., 2017; PINHEIRO et al., 2018; ALMEIDA et al., 2019). Segundo Oliveira et al. (2012), o índice de erosividade EI_{30} no Brasil varia entre 1.672 e 22.452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, enquanto em países como a Europa, Grécia e Suíça, foram encontrados índices entre 51,4 a 6.228,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (PANAGOS et al., 2015a), 84 a 2.825 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (PANAGOS et al., 2015b) e 124 a 5.611 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (MEUSBURGER et al., 2011) de erosividade, respectivamente. Essa grande diferença entre os valores pode ser atribuída à extensão dos territórios e variações climáticas dos locais (OLIVEIRA et al., 2012).

De acordo com sua intensidade, as chuvas podem ser classificadas em padrão avançado, intermediário, e atrasado, quando a localização dos picos de maior intensidade está no início, meio e fim do período de duração das chuvas, respectivamente (HORNER e JENS, 1941). Conforme Panachuki et al. (2006), maiores perdas de solo são previstas para os padrões intermediário e atrasado. Isso ocorre devido à maior umidade antecedente do solo que favorece o processo de desagregação pelo impacto das gotas de chuvas, ocasionando selamento superficial e, posteriormente, redução da taxa de infiltração de água e aumento do escoamento superficial.

O conhecimento das chuvas máximas diárias anuais associadas a períodos de retorno é uma das formas de obter a chuva de projeto, sendo também ferramenta bastante útil no dimensionamento de obras hidráulicas e conservacionistas como terraços agrícolas e bacias de infiltração (barraginhas), a fim de permitir o dimensionamento adequado dessas e outras práticas mecânicas (ELTZ et al., 2013).

A cidade de Goiás (GO) localiza-se em região suscetível a processos erosivos devido a problemas com infiltração de água das chuvas/escoamento superficial. Esse problema é resultante do desmatamento, uso e manejo inadequado do solo, relevo predominantemente acidentado à montante, grande área de afloramentos rochosos e solos rasos, decorrentes de geomorfologia complexa. Isso vem acarretando problemas de cheias históricas nos afluentes e no rio Vermelho, com diversos prejuízos na área urbana incluindo o patrimônio histórico tombado pela UNESCO (CAVALCANTI et al., 2008; SANTOS, 2014).

Diante do exposto, caracterizar as chuvas da cidade de Goiás permite obter parâmetros que contribuam para o incentivo ao planejamento e uso de práticas conservacionistas visando reduzir a erosão em áreas rurais nos seus diferentes usos da terra, de forma a contribuir para redução de enchentes na bacia do rio Vermelho, e consequentemente, nos impactos na área urbana da cidade de Goiás (GO). O presente trabalho teve por objetivo determinar a distribuição da erosividade anual e do fator R da USLE, dos padrões de precipitação pluvial, e da chuva máxima diária anual associada a períodos de retorno para a cidade de Goiás – GO.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com base nos dados pluviográficos da estação meteorológica denominada de Cidade de Goiás, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/10° DISME) sob o código 83374, onde coletou-se dados de 10 anos de registros referente ao período de 2002 a 2011. Os dados obtidos, em formato de pluviogramas, com intervalo de registro de no máximo 10 mm de precipitação e de 24 horas de duração, com unidades de 0,2 mm para o volume e 10 minutos para o tempo, foram digitalizados com uso de scanner portátil e, posteriormente, convertidos para formato digital, utilizando planilha eletrônica. Para tanto, foram anotados os horários (horas e minutos) de início e fim, seguidos da lâmina correspondente de cada segmento de chuva de mesma intensidade e a precipitação total do pluviograma, possibilitando assim, possíveis correções posteriores.

Em sequência, os dados foram organizados por meio da individualização das chuvas erosivas, arquivados em DAT e submetidos ao software CHUVEROS (software elaborado pelo prof. Elemar Antonino Cassol). Dos resultados de saída do software, utilizou-se os índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$, altura precipitada; e a classificação das mesmas de acordo com o pico de intensidade, em padrões avançado, intermediário ou atrasado. No software, o índice de erosividade EI_{30} é obtido por meio do produto da energia cinética (EC) e a intensidade máxima da precipitação em trinta minutos (I_{30}). O índice de erosividade $KE > 25$ é calculado pelo produto da energia cinética pela intensidade de segmentos de precipitação maior que 25 min h^{-1} . A determinação da energia cinética (EC) utilizada no Chuveros é a mesma do EI_{30} , ou seja, Wischmeier e Smith (1958) e modificada por Foster et al. (1981) descrita por (Equação 1):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1)$$

Onde:

I = intensidade da chuva em mm h^{-1}

Com o objetivo de obter o fator R da USLE, o qual requer série de dados pluviográficos de 22 anos no mínimo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), foi feita a ampliação dos dados utilizando série pluviométrica da mesma estação pluviográfica, obtidas da base de dados Hidroweb/ANA. Com isso, foi feito o ajuste de equações utilizando índices de erosividade

das chuvas (EI_{30} e $KE>25$) obtidos de dados pluviográficos e características pluviométricas com base no Rc (coeficiente de chuva) para igual período de avaliação. O Rc foi calculado pela Equação 2, proposta por Fournier (1960) e modificada por Lombardi Neto (1977), conforme a seguir:

$$Rc = \frac{Pm^2}{Pa} \quad (2)$$

Em que:

Rc : coeficiente da chuva (mm);

Pm : precipitação média mensal (mm);

Pa : precipitação média anual (mm).

Os ajustes mais adequados foram encontrados com base na precipitação média mensal (p), com modelos lineares para os dois índices de erosividade, conforme Figura 1.

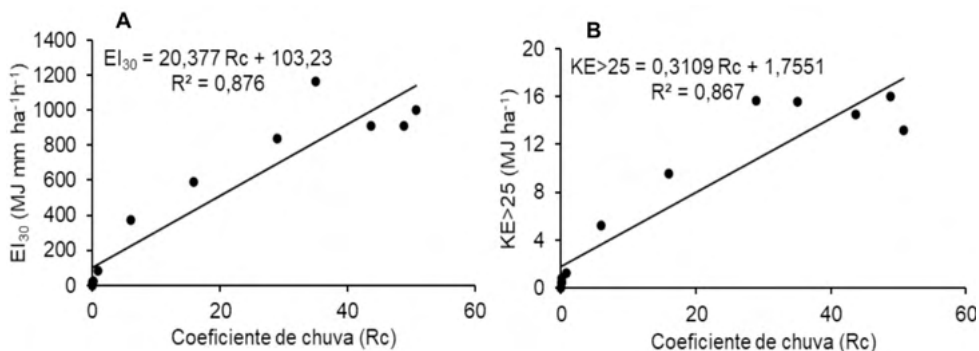


Figura 1. Correlação entre os valores mensais médios dos índices de erosividade EI_{30} (A) e $KE>25$ (B) e o coeficiente de chuva.

Visando garantir a validade das estimativas dos índices, foi aplicada a análise de intervalos de confiança buscando analisar o maior número de anos contínuos da série pluviométrica de 1949 a 2011 que fosse semelhante à série pluviográfica de 2002 a 2011, para emprego nos modelos ajustados para estimativa dos índices de erosividade. Houve sobreposição das médias e/ou dos IC entre dados pluviográficos e pluviométricos para cada mês do ano, ao testar inicialmente toda a série pluviométrica, indicando assim, a adequação do uso do período de 1949 a 2011 para as estimativas de EI_{30} e $KE>25$ (Figura 2).

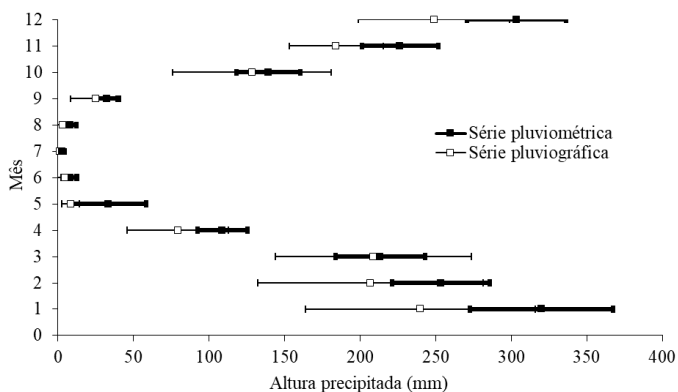


Figura 2. Médias e intervalo de confiança entre séries pluviométricas e pluviográficas da estação Cidade de Goiás – GO.

Os índices de erosividade, mês a mês, dentro de cada ano, foram estimados conforme Moretti et al. (2003), utilizando planilha com dados de Rc mensais (calculados para a precipitação mensal e anual de cada ano com a equação 2) para o período de anos definidos na etapa anterior (1949 a 1999), e aplicando às equações dos ajustes obtidos para cada índice (Figura 1) seguido de regra de três simples usando a equação 3:

$$E_{ij} = \frac{(RC_{ij} \cdot IEm)}{RCm} \quad (3)$$

em que,

E_{ij} = índice de erosividade de um mês i contido num ano j da série de dados ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

RC_{ij} = Rc total em um mês i contido num ano j da série de dados (mm);

IEm = índice de erosividade (EI_{30} ou $KE > 25$) médio mensal, no qual o mês i está contido na série de dados; e

RCm = Rc total mensal médio no qual o mês i está contido na série de dados (mm).

Os índices de erosividade mensais, calculados por meio da soma do EI_{30} de cada chuva erosiva ocorrida no mês, foram utilizados para determinar a erosividade anual (EI_{30} e $KE > 25$) para cada ano da série de 1949 a 2011 da localidade em estudo.

Com base no padrão hidrológico de cada precipitação, classificado pelo software Chuveros, foi calculada frequência das chuvas em cada padrão hidrológico, bem como, a distribuição relativa de altura precipitada e erosividade medida pelos índices EI_{30} e $KE > 25$ em cada padrão hidrológico.

O cálculo da chuva máxima diária anual foi realizado a partir dos dados da série histórica, obtidos da mesma estação meteorológica (HIDROWEB/ANA), a qual foi organizada em planilhas eletrônicas. Ajustou-se os dados ao modelo de distribuição de probabilidades de Gumbel (Equações 4 a 7), utilizando a chuva máxima diária anual

média e seu desvio padrão (PINTO et al., 1996). Assim, obteve-se a precipitação da chuva relacionada a diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos).

$$\gamma = \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4)$$

$$K = \frac{\gamma - \gamma n}{S_n} \quad (5)$$

$$P = \bar{X} + KS \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\gamma}}} \quad (7)$$

Onde:

γ = variável reduzida da distribuição de Gumbel;

\ln = logaritmo neperiano;

T = período de retorno (anos);

γn e S_n = valores tabelados em função dos números de anos (n) da série de dados;

P = valor da variável (precipitação) associado à frequência T;

\bar{X} = média aritmética da amostra;

K = coeficiente de frequência;

S = desvio padrão da amostra.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média anual com base na série pluviométrica (1949 a 2011) foi de 1.648,6 mm. As chuvas e, conseqüentemente, o potencial erosivo concentrou-se entre os meses de outubro e março no período estudado, sendo considerado o “período das águas” (Figura 3). O período de maio a setembro com baixos totais mensais precipitados, conseqüentemente apresenta potencial erosivo pouco relevante. Desta forma, o período de outubro a março reúne 88,3% das precipitações e 87,5% e 86,87% da erosividade pelos índices EI_{30} e $KE > 25$, respectivamente. Observa-se que os índices EI_{30} e $KE > 25$ possuem comportamento semelhante ao longo do ano (Figura 3).

Resultado semelhante foi encontrado por Galdino (2015) para o estado de Goiás e Distrito Federal, onde o período de maior incidência de chuvas ocorreu de outubro a março, totalizando 87% do índice total anual pluviométrico na região e 94% do total anual da erosividade da chuva. De acordo com Cassol et al. (2008), a tendência é que os maiores valores do índice EI_{30} coincidam com as maiores precipitações, sendo um período de alto risco à perdas de solo por erosão, se o solo estiver menos protegido. Isso demonstra a importância do estudo da distribuição do potencial erosivo da chuva (MORETTI et al., 2003) com relação ao manejo do solo e das culturas, visando garantir a cobertura do solo para diminuir o escoamento superficial.

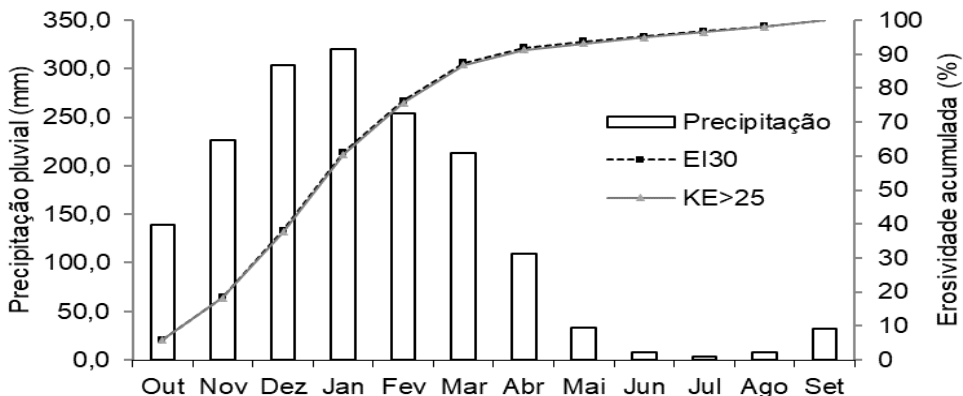


Figura 3. Valores médios mensais percentuais dos fatores de erosividade EI₃₀ e KE>25 e do volume total das chuvas obtido entre 1949 e 2011 (exceto os anos 1988, 2000 e 2001), para a cidade de Goiás (GO).

A erosividade anual para a cidade de Goiás (GO) variou entre 3.872,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em 1963 a 11.535,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em 1985 (Tabela 1). Mesmo no período chuvoso com que apresentou menor variabilidade (menores desvios padrão e coeficiente de variação) que no da seca, observa-se que essa foi muito alta, sendo, no entanto considerado normal já que cada evento de chuva na natureza é considerado único, especialmente nas regiões tropicais. Uma das causas de alta variabilidade espacial e temporal das chuvas no Brasil está relacionado aos diferentes tipos de chuva (FISCH et al., 2007), como convectivas, frontais e orográficas.

Meses de maior erosividade observados podem ter relação direta com cheias históricas reportadas na cidade de Goiás (GO). De acordo com trabalho de Cavalcanti et al. (2008), há documentadas total de nove cheias responsáveis por grandes danos à histórica cidade de Goiás (GO). De acordo com esses autores as causas das enchentes incluem o fator uso da terra nas cabeceiras. Das poucas cheias que tiveram as quantidades de chuvas registradas oficialmente nessa cidade, verifica-se que três delas datam 19 de fevereiro de 1980 (121,8 mm), 29 de março de 1981 (150,6 mm) e 31 de dezembro de 2001 (140,9 mm), destacando que já havia elevada precipitação acumulada na semana antecedente às cheias. Essas cheias citadas coincidem com os máximos índices de erosividade mensais da série estudada para o mês de fevereiro de 1980 (4673,8) e março de 1981 (3815,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Para o mês de dezembro, provavelmente, o máximo valor de erosividade da série pode ter coincido com a cheia de 2001, mas devido à falha na série, isso não pôde ser confirmado.

A erosividade anual média (fator R) obtida de dados pluviométricos para a localidade

estudada foi de 7.1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Esse índice tende em ser inferior ao obtido em outras localidades como Brasília (DF) (8.319) (DEDECEK, 1988), Goiânia (GO) (8.353) (SILVA et al. (1997)), Flechas (MT) (7.830) (MORAIS et al., 1991) e Cuiabá (MT) (8.810 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Almeida et al. (2011), todas no mesmo tipo de clima (Aw).

Mês/ Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
1949	2861,9	2398,7	122,5	47,1	74,2	0,0	0,0	0,0	0,0	258,4	266,7	632,2	6661,7
1950	312,3	7,8	283,4	164,9	30,6	0,0	0,0	0,0	0,0	965,2	2042,8	1931,7	5738,6
1951	1634,8	494,3	2771,6	4,2	444,8	0,0	0,0	0,0	0,0	102,0	412,5	747,0	6611,1
1952	481,0	980,6	1164,7	384,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	45,2	488,8	2418,0	5963,0
1953	143,1	517,3	689,2	413,1	0,0	0,0	136,4	0,0	237,7	882,5	435,7	2354,8	5809,8
1954	459,5	830,1	407,9	193,3	35,4	0,0	0,0	0,0	30,9	3,8	1372,7	1780,9	5114,5
1955	3613,9	247,6	314,5	273,1	2,5	41,5	0,0	0,0	0,0	469,4	228,8	1976,2	7167,4
1956	136,9	1067,5	442,2	1279,1	332,2	1420,9	7,9	22,5	40,0	130,0	1099,8	1468,2	7447,1
1957	2132,7	1516,2	856,3	224,0	68,7	0,0	0,0	38,2	440,3	145,4	808,4	327,6	6557,8
1958	3556,6	973,7	317,0	631,9	422,6	0,0	873,0	0,0	35,4	173,2	66,7	2873,7	9923,8
1959	1801,7	351,5	2106,4	67,1	20,2	139,5	0,0	211,6	0,2	523,8	787,2	797,7	6806,7
1960	1667,6	2846,8	1055,5	106,5	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0	373,2	1312,2	664,6	8047,3
1961	3968,6	443,5	234,6	101,1	15,2	0,0	0,0	7,0	0,0	281,2	892,0	2071,2	8014,2
1962	3553,6	260,0	727,4	14,2	0,0	0,0	0,0	9,9	194,1	0,0	453,1	3759,0	8971,2
1963	716,4	1437,9	495,1	376,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	400,9	440,1	3872,4
1964	6995,2	920,5	121,1	59,9	775,7	0,0	0,0	0,0	49,2	672,2	1193,7	443,7	11231,2
1965	1710,6	834,2	1139,5	803,6	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	1494,3	1995,1	197,1	8191,5
1966	2491,6	2955,2	1313,6	1,7	78,2	0,0	0,0	0,0	0,1	174,5	131,2	1988,6	9134,7
1967	831,0	752,7	1843,1	191,4	0,0	0,0	0,0	0,0	57,7	155,4	756,6	1088,5	5676,4
1968	450,0	2364,1	723,3	195,1	1,6	0,0	0,0	37,1	125,9	80,9	1437,6	960,4	6376,1
1969	1530,7	0,0	0,0	0,0	1537,6	0,0	0,0	0,0	0,0	340,5	3026,8	1487,3	7922,9
1970	1283,2	451,6	702,0	339,1	15,1	0,0	0,0	2,6	284,0	199,5	1492,2	925,3	5694,7
1971	298,1	494,9	315,8	149,5	35,0	0,0	0,0	0,0	5,8	1141,7	1921,2	1165,8	5528,0
1972	229,7	1160,8	290,0	70,7	68,7	0,0	177,6	408,7	23,2	311,6	720,4	2783,0	6244,4
1973	480,6	1481,7	1528,5	210,4	14,6	0,0	0,0	0,0	16,1	350,1	746,4	461,2	5289,6
1974	1817,9	314,6	1756,8	909,5	0,8	0,0	0,0	3,7	488,9	0,0	0,0	0,0	5292,1
1975	457,3	977,0	748,5	1048,6	74,8	12,7	0,0	0,0	30,3	195,5	961,1	363,7	4869,5
1976	299,5	1370,7	765,9	14,2	654,1	0,0	0,0	0,1	678,8	976,3	1499,2	779,2	7037,9
1977	4383,8	335,7	210,1	141,0	754,1	13,9	0,0	0,0	576,0	175,1	583,1	484,5	7657,3
1978	1223,9	634,8	689,8	399,2	24,1	0,0	1209,3	0,0	20,0	330,2	1536,2	1865,7	7933,4

1979	3791,9	2259,8	366,6	1,5	128,9	0,0	62,3	911,5	142,9	74,8	310,3	1294,1	9344,6
1980	1682,8	4673,8	179,0	139,8	2,1	20,3	0,0	0,1	91,2	32,0	693,5	961,1	8475,5
1981	1073,0	78,4	3815,2	167,4	453,6	260,7	0,0	0,0	24,1	1159,8	1134,2	433,4	8599,8
1982	3473,4	660,7	1286,6	79,7	254,6	0,0	1,7	412,5	462,1	442,5	343,0	777,6	8194,4
1983	3577,0	1071,4	389,0	350,6	125,8	1,5	562,8	0,0	45,1	359,8	630,6	1177,4	8291,0
1984	468,4	289,0	1476,9	234,2	86,3	0,0	0,0	287,5	611,5	1627,9	582,5	605,9	6270,0
1985	7968,1	554,6	521,8	176,8	27,9	0,0	8,1	11,9	330,0	199,7	216,6	1520,3	11535,9
1986	1142,6	445,2	642,3	55,0	43,9	0,0	40,1	1473,1	149,4	397,3	415,2	1858,0	6662,1
1987	482,9	698,5	0,0	575,1	35,6	0,0	0,0	0,6	86,2	318,1	1489,2	3250,6	6936,7
1989	902,2	573,8	724,8	45,7	0,0	196,2	2303,1	138,5	6,6	835,0	505,1	5247,6	11478,6
1990	1237,7	684,7	312,7	1002,6	212,0	0,0	18,6	103,8	245,4	418,0	388,6	1016,8	5640,7
1991	929,2	681,0	2770,3	733,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,2	695,0	0,0	1503,1	7407,8
1992	2248,7	1967,8	0,0	1006,9	167,3	0,0	0,0	0,3	82,8	1030,0	1131,2	1232,6	8867,6
1993	0,0	2229,8	0,0	1141,0	189,6	0,0	0,0	0,3	93,8	1167,2	1281,8	1396,8	7500,3
1994	1485,9	2623,8	152,7	127,8	0,0	13,6	0,0	2204,9	0,0	0,0	0,0	0,0	6608,7
1995	0,0	0,0	0,0	230,3	19,8	1092,2	554,0	0,0	130,8	229,4	3841,3	1526,9	7624,7
1996	1301,4	1730,3	459,3	225,8	44,3	0,1	0,0	0,0	146,2	132,3	332,1	3734,7	8106,5
1997	348,1	1075,6	493,4	481,2	3,2	0,7	2,5	18,4	56,7	136,7	2262,4	3026,9	7905,9
1998	1531,8	947,1	1086,3	276,9	549,7	2931,0	0,0	0,0	309,9	97,5	152,0	997,6	8879,6
1999	802,5	1042,3	180,3	606,0	33,4	0,4	6,0	10,6	75,4	183,1	1089,3	1193,6	5223,0
2002	2023,2	853,9	34,0	43,2	8,3	0,0	0,3	0,0	92,5	46,8	718,4	734,5	4555,1
2003	2717,0	431,6	980,3	339,3	0,7	0,0	0,0	4,9	30,0	139,5	349,4	800,2	5792,8
2004	526,1	2447,8	611,2	29,6	41,3	0,0	167,2	0,0	0,0	423,5	1042,8	539,7	5829,1
2005	1583,5	533,4	684,0	33,8	29,4	3,2	0,0	8,0	166,1	119,7	948,0	1989,3	6098,4
2006	382,6	659,2	1075,6	266,8	0,0	0,0	0,0	0,3	200,7	1813,2	639,4	741,1	5778,9
2007	107,7	3890,8	576,9	331,6	0,1	0,5	71,1	0,0	0,0	120,6	130,5	806,2	6036,0
2008	1224,8	1188,7	1101,7	427,6	8,0	0,0	0,0	0,1	87,4	77,8	647,1	1925,6	6688,8
2009	676,1	796,2	1781,1	476,6	17,3	34,5	0,0	145,8	429,7	683,5	521,3	1904,9	7467,1
2010	371,3	0,0	245,4	0,0	0,0	6,3	28,0	0,0	0,0	520,3	1748,7	1553,3	4473,4
2011	2921,3	137,0	1883,0	77,3	0,0	308,5	0,0	0,0	2,9	711,5	664,5	967,5	7673,6
Média	1641,8	1077,5	799,4	308,3	133,1	108,3	103,8	107,9	125,9	419,1	888,0	1399,2	7112,2
D.P.	1601,6	962,98	762,8	318,8	265,24	438,1	358,8	360,88	171,37	429,7	734,7	1008,3	1666,1
C.V.	97,6	89,4	95,4	103,4	199,3	404,5	345,6	334,4	136,1	102,5	82,7	72,1	23,4

Tabela 1. Valores mensais, anuais e médias de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) com estatísticas descritivas, obtidos de séries pluviométrica e pluviográfica para o período de 1949 a 2011 (exceto 1988, 2000 e 2001).

Os meses de dezembro e janeiro destacaram-se na série histórica com os maiores valores de erosividade (EI_{30}). Segundo Mazurana et al. (2009), meses de pico excepcional na erosividade das chuvas são responsáveis por grandes danos às lavouras cultivadas, em decorrência do processo de erosão hídrica. Um atenuante nesse período é que normalmente nos meses de dezembro e janeiro a maioria das culturas agrícolas em Goiás já está bem desenvolvida, cobrindo em parte ou totalmente a superfície do solo pelo seu dossel, e nesse caso, o fator cobertura do solo passa a ser fundamental para diminuir os danos do maior potencial erosivo das chuvas nesse período.

Conforme a classificação de Carvalho (1994) a erosividade para a cidade de Goiás é considerada de média a forte ($4.905 < R < 7.357$), o que indica a necessidade do uso de práticas conservacionistas nas áreas agrícolas.

Quanto ao índice $KE > 25$ (Tabela 2), seus valores variaram entre 60 MJ em 1962 a 186,3 MJ $ha^{-1} ano^{-1}$, em 1990. A média anual para esse índice foi de 110,3 MJ $ha^{-1} ano^{-1}$, sendo os maiores valores coincidentes com os maiores valores do índice EI_{30} de outubro a março, indicando o período de maior potencial erosivo. §

Valores de $KE > 25$ menores que o desse estudo foram encontrados por Carvalho et al. (2010) de 99,2 MJ $h^{-1} ano^{-1}$ para o município de Seropédica (RJ). Valle Junior et al. (2012), encontraram 102,05 MJ $h^{-1} ano^{-1}$ para a região de Uberaba (MG). Já em estudo de Silva et al. (1997) para região de Goiânia (GO) foi encontrado 129,8 MJ $h^{-1} ano^{-1}$, ou seja, superior ao presente estudo.

Em relação à distribuição das chuvas quanto aos padrões hidrológicos (Tabela 3), constata-se que o padrão de maior ocorrência na cidade de Goiás – GO é o avançado (49,8%), seguido dos padrões atrasado (35,1%) e intermediário (15,1%). Conseqüentemente, as perdas de solo esperadas podem ser menores que poderiam ser, pois as chuvas não predominam no padrão atrasado. Nesse padrão apresentam pico de intensidade no terço inicial de sua duração em momento que solo pode possuir menos umidade quando comparado aos demais padrões, ocasionando menor desagregação, selamento e transporte de solo (MEHL et al., 2001). Em São Borja, RS, o padrão hidrológico predominante foi o avançado em trabalhos realizados por Mehl et al. (2001) e Cassol et al. (2008), assim como na região de Ribeirão das Lajes, RJ (MACHADO et al., 2008).

Ano/ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
1949	44	37	2	1	1	0	0	0	0	4	4	10	102,8
1950	5	0	4	3	1	0	0	0	0	15	32	30	89,1
1951	25	8	43	0	7	0	0	0	0	2	6	11	102,7
1952	7	15	18	6	0	0	0	0	0	1	8	37	92,2
1953	2	8	11	7	0	0	2	0	4	14	7	36	90,7
1954	7	13	6	3	1	0	0	0	1	0	21	27	79,1
1955	56	4	5	4	0	1	0	0	0	7	4	30	110,7
1956	2	16	7	21	6	23	0	0	1	2	17	23	117,0
1957	33	23	13	4	1	0	0	1	7	2	13	5	102,1
1958	55	15	5	10	7	0	15	0	1	3	1	44	155,3
1959	28	5	33	1	0	2	0	4	0	8	12	12	105,7
1960	26	44	16	2	0	0	0	0	0	6	20	10	124,3
1961	61	7	4	2	0	0	0	0	0	4	14	32	123,6
1962	55	4	11	0	0	0	0	0	3	0	7	58	138,4
1963	11	22	8	6	0	0	0	0	0	0	6	7	60,0
1964	107	14	2	1	13	0	0	0	1	11	18	7	174,3
1965	26	13	18	13	0	0	0	0	0	24	31	3	127,5
1966	38	46	20	0	1	0	0	0	0	3	2	31	140,9
1967	13	12	29	3	0	0	0	0	1	2	12	17	87,9
1968	7	36	11	3	0	0	0	1	2	1	22	15	98,8
1969	24	0	0	0	26	0	0	0	0	5	47	23	124,6
1970	20	7	11	5	0	0	0	0	5	3	23	14	88,6
1971	5	8	5	2	1	0	0	0	0	18	30	18	85,9
1972	4	18	4	1	1	0	3	7	0	5	11	43	97,4
1973	7	23	24	3	0	0	0	0	0	6	12	7	82,0
1974	28	5	27	15	0	0	0	0	8	0	0	0	82,9
1975	7	15	12	17	1	0	0	0	1	3	15	6	76,1
1976	5	21	12	0	11	0	0	0	11	15	23	12	110,9
1977	67	5	3	2	13	0	0	0	10	3	9	7	120,0
1978	19	10	11	6	0	0	21	0	0	5	24	29	124,7
1979	58	35	6	0	2	0	1	15	2	1	5	20	145,8
1980	26	72	3	2	0	0	0	0	2	1	11	15	130,8
1981	16	1	59	3	8	4	0	0	0	18	18	7	134,2
1982	53	10	20	1	4	0	0	7	8	7	5	12	128,1
1983	55	17	6	6	2	0	10	0	1	6	10	18	129,2

1984	7	4	23	4	1	0	0	5	10	26	9	9	99,0
1985	122	9	8	3	0	0	0	0	6	3	3	23	178,2
1986	18	7	10	1	1	0	1	25	3	6	6	29	105,4
1987	7	11	0	9	1	0	0	0	1	5	23	50	107,6
1989	14	40	5	7	0	7	0	0	0	8	10	15	106,7
1990	19	9	11	1	0	3	39	2	0	13	8	81	186,3
1991	14	11	5	16	4	0	0	2	4	7	6	16	83,8
1992	35	9	37	10	0	0	0	0	1	9	0	20	120,9
1993	0	34	0	18	3	0	0	0	2	18	20	22	117,3
1994	23	40	2	2	0	0	0	37	0	0	0	0	105,2
1995	0	0	0	4	0	17	9	0	2	4	59	24	119,6
1996	20	27	7	4	1	0	0	0	2	2	5	57	125,3
1997	5	17	8	8	0	0	0	0	1	2	35	47	122,4
1998	24	15	17	4	9	47	0	0	5	2	2	15	139,7
1999	12	16	3	10	1	0	0	0	1	3	17	18	81,2
2002	31	13	1	1	0	0	0	0	2	1	11	11	70,3
2003	42	7	15	5	0	0	0	0	1	2	5	12	89,6
2004	8	38	9	0	1	0	3	0	0	7	16	8	90,4
2005	24	8	11	1	0	0	0	0	3	2	15	31	94,4
2006	6	10	17	4	0	0	0	0	3	29	10	11	90,3
2007	2	60	9	5	0	0	1	0	0	2	2	12	93,4
2008	19	18	17	7	0	0	0	0	1	1	10	30	103,6
2009	10	12	28	8	0	1	0	2	7	11	8	29	116,6
2010	6	0	4	0	0	0	0	0	0	8	27	24	69,3
2011	45	2	29	1	0	5	0	0	0	11	10	15	118,8
Média	25,2	16,7	12,4	4,8	2,2	1,8	1,8	1,8	2,1	6,5	13,6	21,4	110,3
D.P.	24,6	15,1	11,5	4,9	4,5	7,0	6,1	6,1	2,9	6,7	11,4	15,5	26,1
C. V.	97,6	89,9	93,0	102,3	203,3	380,3	345,6	334,4	138,5	103,1	83,5	72,5	23,7

Tabela 2. Valores mensais, anuais e médias de erosividade $KE>25$ ($MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) com estatísticas descritivas no período de 1949 a 2011 (exceto 1988, 2000 e 2001).

Padrão hidrológico	Número de chuvas		Altura precipitada		EI ₃₀		KE>25	
	Absoluto	%	mm	%	Absoluto*	%	Absoluto*	%
Avançado	726	49,8	653,8	48,9	2551,7	49,6	33,9	43,52
Intermediário	220	15,1	304,4	22,8	1141,4	22,2	19,6	25,16
Atrasado	512	35,1	378,1	28,3	1453,7	28,2	24,4	31,32
TOTAL	1458	100,0	1336,30	100,0	5146,8	100,0	77,9	100,0

* MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; ** MJ h⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 3. Número de chuvas, altura precipitada e erosividade acumuladas nos padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado na cidade de Goiás (GO), obtidos de pluviógrafo no período de 2002 a 2011.

Pode-se observar ainda na Tabela 3, que o maior volume precipitado ocorreu no padrão avançado, além dos índices de erosividade (EI₃₀ e KE>25) apresentarem o mesmo comportamento. Eltz et al. (2011), ao trabalhar com um simulador de chuva em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram maiores perdas de solo em chuvas de padrão atrasado com relação às perdas de solo em chuvas de padrão intermediário e avançado, o que foi atribuído a maior umidade antecedente.

A respeito da chuva máxima diária anual (CMDA), valores médios e associados a diferentes períodos de retorno estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que os valores encontrados ficaram abaixo dos obtidos por Mesquita et al. (2009) para algumas cidades vizinhas à Goiás (GO), para os períodos de retorno coincidentes. Já em trabalho realizado por Pereira et al. (2017) no sul do estado (Ipameri - GO) para os mesmos períodos de retorno, os valores de CMDA da cidade de Goiás (GO) tenderam em ser maiores. As diferenças entre as localidades podem estar relacionadas ao efeito do relevo sobre as chuvas, tamanho e período das séries de dados.

O presente trabalho permite definir o valor da chuva de projeto para diferentes exigências de período de retorno de obras hidráulicas no meio rural (Tabela 4). No dimensionamento de terraços agrícolas em nível, por exemplo, é recomendado usar CMDA com período de retorno de 5 a 10 anos (CRUCIANI, 1988). Pode-se calcular também, com base na série histórica, que período de retorno determinada chuva intensa está associado (Equação 7). No caso da cheia ocorrida em 2001 com valor precipitado de 140,9 mm (CAVALCANTI et al., 2008) por exemplo, tal evento pode ser igualado ou ultrapassado pelo menos uma vez em média a cada 14,7 anos. Deve se ressaltar que no referido evento a cheia ocorreu quando nos seis últimos dias já havia chovido 124,1 mm segundo os autores supracitados, ou seja, o solo já se encontrava com muita umidade, e com isso, baixa capacidade de armazenamento.

Acredita-se que a redução de cheias na bacia do rio Vermelho no tocante ao uso da terra, está no aumento da capacidade de infiltração de água no solo, bem como, no

armazenamento máximo possível do escoamento superficial (enxurrada) nas propriedades rurais. Existem diferentes práticas conservacionistas que podem ser empregadas para isso podendo ser citados alguns exemplos como, melhoria da cobertura do solo (pastagens), plantio direto, reflorestamento, descompactação do solo, plantio em nível, terraceamento e construção de bacias de infiltração dos quais esses últimos podem utilizar informações para dimensionamentos com base neste trabalho.

Localidade	Média	2	5	10	25	50	100
Goiás	89,3	93,9	112,6	131,0	154,2	171,5	188,6
Itaberaí ¹	-	-	135,6	164,0	202,5	-	-
Itapuranga ¹	-	-	122,9	145,1	174,5	-	-
Ipameri ²	-	80,96	97,07	107,74	121,23	131,23	141,15

¹ Mesquita et al. (2009). ²Pereira et al. (2017)

Tabela 4. Chuva máxima diária anual (mm) média e associada a diferentes períodos de retorno (anos) e localidades.

4 | CONCLUSÃO

O fator R da USLE para a cidade de Goiás (GO) nas condições do estudo é de 7.112,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, servindo de base para estudos de previsão de perdas de solo. O valor anual médio pelo índice KE>25 é de 110,3 MJ h⁻¹ ano⁻¹. Dezembro e janeiro são os meses de maior erosividade.

O padrão hidrológico avançado concentra os maiores valores de precipitação e índices de erosividade.

Chuvas máxima diária anual para a cidade de Goiás, com recorrência de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, são respectivamente, de 93,9; 112,6; 131,0; 154,2; 171,5 e 188,6 mm. A chuva de projeto com duração de 24 h para determinação de terraços em nível na região sob influência da estação Cidade de Goiás é de 131,0 mm nas condições do estudo.

Chuvas máxima diária anual para a cidade de Goiás, com recorrência de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente, de 93,9; 112,6; 131,0; 154,2; 171,5 e 188,6 mm. A chuva de projeto com duração de 24 h para determinação de terraços em nível na região sob influência da estação Cidade de Goiás é de 131,0 mm.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo nas condições de Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 180-188, 2005.

ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; ELTZ, F. L. F.; COUTO, E. G.; JORDANI, S. A. Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 142-152, 2012.

ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PEREIRA, F. A. C.; ROUWS, J. R. C. Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 8, 572-578, 2019.

ANGULO-MARTÍNEZ, M.; BEGUERÍA, S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: a comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). **Journal of Hydrology**, v. 379, n. 1-2, p. 111-121, 2009.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do Tipo I. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 1 ed. Rio de Janeiro: CPRM - Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais / ELETROBRAS, 1994. 372p.

CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; EVANGELISTA, A. W. P.; KHOURY JÚNIOR, J. K.; SILVA, L. D. B. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI30 e KE>25 em Seropédica-RJ. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 244-252, 2010.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008.

CAVALCANTI, M. A.; LOPES, L. M. ; PONTES, M. N. C. Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, p. 167-185, 2008.

CRUCIANI, D. E. **Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais**. In: LOMBARDI NETO & BELINAZZI JR. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas: Fundação Cargill, 1988, p. 26-59.

DEDECEK, R. A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 12, p.1431-1438, 1988.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 331-337, 2011.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B.; AMORIM, R. S. S. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 647-654, 2013.

FISCH, G.; VENDRAME, I. F.; HANAOKA, P. C. M. Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, 583-590, 2007.

- FOSTER, G. R.; MCCOOL, K. G.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.
- FOURNIER, F. **Climat et erosion**. 1 ed. Paris: Press Universitaires de France, 1960, 201p.
- GALDINO, S. **Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015, 19p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento).
- HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. In: ANAIS DA SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS. **Anais...** v. 67, n. 4, 1941, p. 533-568.
- HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973, 320p.
- LEE, J. H.; HEO, J. H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1-2, p. 30-48, 2011.
- LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. Dissertação de Mestrado. West Lafayette: Purdue University, 1977, 53 p.
- MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; COSTA, J. R. C.; NETO, D. H. O.; PINTO, M. F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2114-2115, 2008.
- MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 529-547, 2013.
- MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Multivariate Analysis of Erosivity Indices and Rainfall Physical Characteristics Associated with Rainfall Patterns in Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017.
- MAZURANA, J.; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 975-983, 2009.
- MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 475-483, 2001.
- MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 73-81, 2009.
- MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, n. 16, p.167-177, 2011.

- MORETTI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.713-725, 2003.
- MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, L. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.4, p.339-344, 1991.
- OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES, S. T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, v. 25, n. 3, p. 1021–1036, 2011.
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, n. 1, p. 139-147, 2012.
- PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHER, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261-628, 2006.
- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; KLIK, A.; ROUSSEVA, S.; TADÍC, M. P.; MICHAELIDES, S.; HRABALÍKOVÁ, M.; OLSEN, P.; AALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICZ, A.; DUMITRESCU, A.; BEGUERÍA, S.; ALEWELL, C. Rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 801-814, 2015a.
- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density. **Catena**, v. 137, p. 161-172, 2015b.
- PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTO, A. P. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do Município de Ipameri – GO. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC)**, v. 13, n. 2, p. 233-246, 2017.
- PINHEIRO, A. G.; SOUZA, T. E. M. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; GUERRA, S. M. S. Rainfall pattern and erosion potential in the physiographic regions of the state of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, 849-853, 2018.
- PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, O. R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. **Engenharia Agrícola**, v. 16, p. 8-21, 1996.
- SANTOS, P. S. **Caracterização e mapeamento biofísico ambiental da bacia hidrográfica do rio Vermelho a partir de dados remotamente sensoriados**. Tese de Doutorado. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2014, 149p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1906-1917, 2014.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 131-137, 1997.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub bacia hidrográfica de Latossolos no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2125-2134, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V.; SIQUEIRA, H. E. A erosividade das chuvas na bacia do Rio Uberaba. **Enciclopedia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 1-15, 2012.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science of American Proceedings**, v. 20, n. 3, p. 246-249, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965, 47p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978, 62p.

CAPÍTULO 3

RECOMENDAÇÃO DE LÂMINAS DE FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA APÓS TRATAMENTO EM REATOR UASB

Data de aceite: 28/04/2021

Júlia Camargo da Silva Mendonça Gomes

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRRJ-IT

Camila da Motta de Carvalho

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRRJ-IT

Everaldo Zonta

Prof. Dr. Everaldo Zonta, UFRRJ-IA

Henrique Vieira de Mendonça

Prof. Dr. Henrique Vieira de Mendonça, UFRRJ-IT

RESUMO: Neste trabalho foram calculadas doses de fertirrigação, com água residuária da bovinocultura (ARB) anaerobiamente digerida em reator UASB, para 12 culturas agrícolas quando cultivadas em dois diferentes solos: Argissolo e Planossolo. Como resultado temos os valores de recomendação de lâminas de fertirrigação com ARB, equivalentes à aplicação de fontes convencionais de nitrogênio, como a ureia. Concluiu-se, que a água residuária de bovinocultura possui potencial para a complementação ou substituição da adubação nitrogenada convencional, sendo uma alternativa econômica, circular e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Economia circular, reuso, compostos nitrogenados.

RECOMENDATION FOR FERTIGATION WITH CATTLE WASTEWATER

ABSTRACT: In this work, fertigation rates were calculated, with anaerobically digested cattle wastewater (CWW) from UASB reactor, for 12 agricultural crops when grown in two different soils: Argisolo and Planosol. As a result, the recommendation values for fertigation blades with CWW are suggested, equivalent to the application of conventional nitrogen sources, like urea. The conclusions were that the anaerobically digested CWW has the potential to complement or replace conventional nitrogen fertilization, being an economical, circular and sustainable alternative.

KEYWORDS: Circular economy, reuse, nitrogen compounds.

INTRODUÇÃO

O tratamento e descarte de águas residuárias da bovinocultura (ARB) requer atenção devido a seu potencial poluidor. Uma criação intensiva de gado com 1.000 cabeças possui potencial poluidor semelhante ao aproximadamente 14.000 pessoas (MENDONÇA et al., 2016; MENDONÇA et al., 2018). A disposição final incorreta destes resíduos pode causar contaminação de solo, das águas superficiais e subterrâneas (ERTHAL et al., 2010).

Uma alternativa viável e econômica para a disposição final destes efluentes é a sua utilização para fins agrícola. Nesse sentido, a

fertirrigação de culturas com a ARB torna-se uma opção que contribui para a redução da poluição, tendo efeito positivo na melhoria dos atributos do solo, reduzindo os custos com a adubação convencional (MENDONÇA et al., 2016; MENDONÇA et al., 2018).

No entanto, a aplicação de maneira inapropriada dos biofertilizantes também pode ocasionar efeitos deletérios aos solos, cursos d'água e à saúde pública (MACIEL et al., 2019). Dessa forma, o procedimento deve ser bem manejado, aplicando-se doses de maneira eficiente de forma a fornecer os nutrientes necessários para a planta e seu desenvolvimento equilibrado (BARBOSA, 2019).

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo delinear a montagem de uma tabela com recomendação de adubação orgânica para 12 culturas agrícola, por meio do cálculo das doses de aplicação de ARB previamente tratadas em Reator UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*, quando cultivadas em dois tipos de solos: Planossolo e Argissolo, coletados no município de Seropédica – RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

Ambos os solos foram coletados na área experimental da UFRRJ. Foram realizadas 2 campanhas de amostragem composta, oriunda de 8 pontos. As amostras de solos foram analisadas conforme Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997) no Laboratório de Fertilidade do Solo, Instituto de Agronomia da UFRRJ (Tabela 1).

Tipo de Solo	Profundidade (cm)	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T
-----Cmol _c /dm ³ -----									
Argissolo	0-40	0,49 (0,27)	3,15 (0,15)	2,25 (0,05)	0,36 (0,14)	3,38 (1,32)	0,20 (0,00)	6,25 (0,50)	9,63 (1,82)
Planossolo	0-40	0,04 (0,01)	1,00 (0,00)	0,55 (0,05)	0,13 (0,01)	2,64 (0,96)	0,25 (0,05)	1,72 (0,03)	4,36 (0,93)
Tipo de Solo	Profundidade (cm)	V	m	n	pH _{água} 1:2,5	MO %	P --mg/L--	K	ρ g/cm ³
-----%-----									
Argissolo	0-40	66,30 (7,31)	3,12 (0,24)	4,75 (1,88)	4,4 (0,10)	1,16 (0,11)	31,31 (1,69)	140,44 (53,43)	1,33 (0,02)
Planossolo	0-40	41,41 (9,47)	12,67 (2,41)	0,84 (0,07)	5,1 (0,00)	1,03 (0,36)	57,57 (11,43)	51,23 (3,77)	1,58 (0,08)

Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

TABELA 1. Resultados das análises químicas – Rotina de fertilidade do solo.

Água residuária (biofertilizante) e tratamento prévio

A ARB utilizada para o cálculo das doses de recomendação foi coletada após reator UASB com tempo de retenção hidráulica de 7,5 (±0,50) dias, na “Fazendinha Agroecológica”

(coordenadas: 22°45'22" S; 43°40'28" W), *campus* da UFRRJ. Anterior ao reator anaeróbio havia separação de sólidos grosseiros em esterqueira, que serve como um sedimentador primário. Os parâmetros físico-químicos foram determinados em triplicatas em conformidade com as metodologias do *Standard Methods* (APHA, 2012) e são apresentados na Tabela 2.

pH (UpH)	CE (μS/cm)	NH ₄ ⁺	N _{org}	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	P _t	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	ST	SD
-----mg L ⁻¹ -----											
6,2	1,496	150	126	12	0,75	36,8	32	53	22	897	755
(0,3)	(35,4)	(5,6)	(1,9)	(2,2)	(0,1)	(7)	(18)	(9)	(4,9)	(112)	(99)

Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

TABELA 2. Caracterização físico-química da ARB após reator UASB

Cálculo da taxa de aplicação (dose de referência)

Foram calculadas conforme metodologia proposta por Matos (2017), representada pela Equação 1, com base na produtividade máxima de cada cultura.

$$DA_{AR} = 1000 * [N_{abs} - (TM1 * MO * \rho_s * p * 10^7 * 0,05 * n/12)] / [TM2 * (n/12) * N_{org} + (N_{amônio} + N_{nitrato}) * TR] \quad (1)$$

Em que: DA_{AR} : taxa de aplicação ou dose, $m^3 \text{ ha}^{-1}$; N_{abs} : absorção de nitrogênio pela cultura, $kg \text{ ha}^{-1}$; $TM1$: taxa anual de mineralização da MO no solo, $kg.kg^{-1}.ano^{-1}$; MO : conteúdo de matéria orgânica do solo, $kg \text{ kg}^{-1}$; ρ_s : massa específica do solo, $t \text{ m}^{-3}$; p : profundidade do solo considerada, m ; $n/12$: fração anual relativa ao período de cultivo, ano; $TM2$: taxa de mineralização do nitrogênio orgânico, $kg \text{ kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; N_{org} : nitrogênio orgânico, $mg \text{ L}^{-1}$; $N_{amônio}$: nitrogênio amoniacal, $mg \text{ L}^{-1}$; $N_{nitrato}$: nitrogênio nítrico, $mg \text{ L}^{-1}$, e TR : taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura, $kg \text{ kg}^{-1}.ano^{-1}$.

As taxas anuais de mineralização da matéria orgânica ($TM1$), nitrogênio orgânico ($TM2$), utilizados na Equação (1), foram 0,01 e 0,5 respectivamente (MATOS, 2017), enquanto a taxa de recuperação de nitrogênio mineral extraído pela cultura (TR) variou conforme a capacidade de cada vegetação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentadas as lâminas de fertirrigação recomendadas para cada cultura quando cultivadas nos solos aqui analisados.

Cultura	Rendimento (t ha ⁻¹)	Remoção de N (kg ha ⁻¹)	Ciclo da cultura (meses)	TR (kg kg ⁻¹ ano ⁻¹)	Dose (mm)	
					Argissolo	Planossolo
Milho	14	200	4	0,5	185,99	185,44
Arroz	16	141	3,3	0,3	201,01	200,30
Trigo	10	160	4	0,5	146,78	146,23
Feijão	1	31	3	0,5	24,07	23,63
Soja	2	250	2	0,5	267,60	267,30
Batata	62	147	3	0,5	143,96	143,53
Cana-de-açúcar	300	254	12	0,5	154,96	153,79
Algodão	2	110	4	0,5	97,76	97,21
Capim elefante	46	800	3	0,7	613,46	613,13
Capim-guiné	35	560	4	0,7	409,01	408,59
Capim-pangola	31	400	4	0,7	289,97	289,55
Sorgo	16	200	4	0,7	141,16	140,74

TR = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura, adotados como 0,5 para culturas anuais, 0,3 para arroz inundado e 0,7 para culturas de sistema radicular volumoso (MATOS, 2017). Os rendimentos dos cereais estão expressos em base de massa seca.

TABELA 3. Doses de ARB para o fornecimento exigido de N para cada cultura.

Tendo em vista as diferentes necessidades de nitrogênio de cada cultura, verificou-se as doses de água residuária necessárias para atender tal demanda com vistas à produtividade máxima. Dessa forma, foram obtidos os valores da lâmina (mm) de ARB a serem aplicadas no Planossolo e Argissolo quando cultivados com as culturas descritas na tabela acima.

As menores lâminas de ARB obtidas para ambos os solos, foram para o feijão. Como trata-se de uma cultura fixadora de nitrogênio, podemos observar que, dentre as culturas estudadas, esta possui uma menor taxa de remoção de nitrogênio e consequente menor valor de dose.

O capim elefante por sua vez, obteve os maiores valores de dose, pois sua taxa de absorção de nitrogênio é maior do que a das outras culturas, recebendo assim uma maior lâmina de irrigação, podendo ser utilizado como uma cultura para a produção de biomassa e extração do nitrogênio do solo proveniente da água residuária.

O uso do biofertilizante proveniente de ARB pode apresentar resultados satisfatórios, como demonstrado no estudo realizado por MENDONÇA et al (2016) e MENDONÇA et al (2018) no cultivo de algumas cultivares de cana-de-açúcar. O biofertilizante produzido por meio da ARB foi utilizado como fonte de nitrogênio, substituindo totalmente a adubação convencional com ureia, sem prejudicar a produtividade e qualidade das cultivares.

Outras vantagens do uso da ARB como biofertilizante na agricultura é a economia

com fontes convencionais de nitrogênio (ureia, sulfato de amônio etc) além de evitar que estes efluentes cheguem aos cursos de água.

CONCLUSÕES

A ARB anaerobiamente digerida por reator UASB pode ser considerada como alternativa econômica para substituição de fertilizantes convencionais. A menor lâmina calculada foi para o feijão e a maior para o capim elefante, demonstrando que este último pode ser utilizado para extração de N da solução do solo de forma mais eficiente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2012. 1.220 p.

BARBOSA, C. H. **Eficiência nutricional de diferentes biofertilizantes produzidos a partir de resíduos da Agricultura Familiar no desenvolvimento da pimenta de cheiro**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Humaitá-AM, 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 212p. Rio de Janeiro, 1997.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 458-466, 2010.

MACIEL, A. M. et al. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um Planossolo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa: Editora da UFV. 371 p. 2017.

MENDONÇA, H. V. et al. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e uréia. **Revista em agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.9, n.4, p. 973-987, 2016.

MENDONÇA, H. V.; MARTINS, C. E.; DA ROCHA, W. S. D. et al. Biofertilizer replace urea as a source of nitrogen for sugarcane production. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 7, p. 216, 2018.

CAPÍTULO 4

IMPLICATIONS OF AGRICULTURAL GYPSUM DOSES IN PHYSICAL-HYDRIC ATTRIBUTES OF A TYPIC HAPLORTOX AND ON ROOT GROWTH AND SOYBEAN PRODUCTIVITY

Data de aceite: 28/04/2021

Francisco de Assis Guedes Junior

Deonir Secco

<http://lattes.cnpq.br/4034568149393353>

Luciene Kazue Tokura

<http://lattes.cnpq.br/0702867301935988>

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effects of gypsum doses on physical-hydric attributes, root growth and soybean productivity. The experiment was conducted at the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) in Santa Tereza do Oeste-PR. The soil was classified as Typic Haplortox. Five doses of agricultural gypsum were evaluated: 0; 3; 6; 9 and 12 t ha⁻¹, in outline randomized block design with six repetitions. Soil density, total porosity, macroporosity, microporosity and saturated hydraulic conductivity were evaluated at layers of 0.0 - 0.1; 0.1 - 0.2 and 0.2 - 0.3 m. Soybean productivity and root growth were also evaluated. Data were submitted to regression analysis. The physical attributes soil density, macroporosity and saturated hydraulic conductivity did not differ significantly with the application of the gypsum doses in the 0.0-0.1 and 0.2-0.3 m layers. However, in the 0.1-0.2 m layer, due to pressures imposed by the machines and agricultural implements deforming the soil, there were significant differences in the physical attributes of the density, macroporosity and saturated hydraulic conductivity. There was no significant

difference in grain productivity and root growth of soybean.

KEYWORDS: Aluminum. *Glycine max.* Soil structure.

IMPLICAÇÕES DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA EM ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO ARGILOSO E NO CRESCIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DA SOJA

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de gesso nos atributos físico-hídricos do solo, crescimento radicular e produtividade da soja. O experimento foi realizado no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) município de Santa Tereza do Oeste-PR. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico. Foram avaliadas cinco doses de gesso agrícola: 0; 3; 6; 9 e 12 t ha⁻¹, em delineamento de blocos ao acaso com seis repetições. Avaliou-se a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada nas profundidades de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m. Também foram avaliados a produtividade e crescimento radicular da soja. Os dados foram submetidos à análise de regressão. Os atributos físicos densidade do solo, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada não diferiram de forma significativa com a aplicação das doses de gesso nas camadas 0,0 - 0,1 e 0,2 - 0,3 m. No entanto, na camada de 0,1 - 0,2 m, devido à pressão imposta pelas máquinas e implementos agrícolas deformando

o solo, houve diferenças significativas nos atributos físicos da densidade, macroporosidade e condutividade do solo saturado. Não ocorreu diferença significativa para a produtividade e crescimento radicular da soja.

PALAVRAS-CHAVE: Alumínio. *Glycine max*. Estrutura do solo.

INTRODUCTION

Agricultural gypsum is composed basically of calcium and sulfur and acts as a soil conditioner. High solubility, when applied to the soil, reduces aluminum saturation in depth, and translocate nutrients from the superficial layers to the subsurface, mainly calcium, thus allowing greater efficiency and area explored by the roots (LEITE et al., 2007; ZAMBROSI et al., 2007b; BROCH et al., 2008; RAIJ, 2008; SORATTO, CRUSCIOL, 2008b; NEIS et al., 2010; BROCH et al. (2011); ZANDONÁ et al., 2015). Gypsum could be applied to acid soils to complement limestone to favor the root system growth and development in depth, because of its soil conditioning effects (MEURER et al., 2004).

According to Soratto, Crusciol (2008a), it is large the amount of information on the agricultural gypsum effect to improve the radicle environment of plants, due to the calcium movement to subsurface layers of the soil or decrease in the toxic effects of high aluminum contents. Still for Soratto, Crusciol (2008b), subsurface layers with low calcium levels and/or high exchangeable aluminum contents may cause decrease of harvests, especially in regions prone to low rainfall (dry spell), as they lead to less root system deepening, resulting in less soil volume explored by the roots, and in turn, less nutrients and water available to the plant.

Within this optics to Raji (2008), the activity of free Al^{3+} in the solution is a more consistent indicator of aluminum toxicity in soil solutions. Thus, the Ca displacement in the soil profile is much greater when gypsum is the source ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). SO_4^{2-} anion that is part of the agricultural gypsum formula is important in reducing Al^{3+} activity, which helps root development (Zambrosi et al., 2007a; Nora et al., 2014). However, the incorrect use of plaster can cause chemical imbalance to the soil, causing long-term damage (PAULETTI et al., 2014). According to Costa et al. (2007), the reduction of soil density (Sd) can be attributed to the fact that the gypsum aggregation action is due to the supply of cations that possibly neutralize part of the negative charges occurring in the medium.

For Sanchez et al. (2014), the maintaining soil with good fertility, physical, chemical, biological and water properties can provide good crop productivity.

In western Paraná, soybean stands out in the economy, with much of the region's income coming from the culture (CONAB, 2017). The technology of the use of agricultural gypsum has been an important handling strategy to aid in grain production, mainly as soil conditioner for the soybean crop.

Therefore, this study aimed to evaluate the effect of agricultural gypsum doses on

soil physical attributes, root growth and soybean productivity in a no-till system in west Paraná.

MATERIAL AND METHODS

The experimental area is in the municipality of Santa Tereza do Oeste-PR, located on the third Paraná plateau at latitude 25°08' (South) and longitude 53°58' (West), with an average elevation of 750 m. The experiment occurred in a Typic Haplortox, clayey texture, basalt substrate, smooth-wavy relief (EMBRAPA, 2013), cultivated under no-tillage system (NTS) for more than eighteen years. The soil is clayey textural class, with 29% sand, 11% silt and 60% clay. Table 1 shows the soil chemical determinations, collected in 2013, prior to the experiment, that is, before the application of the agricultural gypsum. Fifteen subsamples were collected in the experiment area.

According to Köppen's classification, the climatic characteristic of the region is mesothermal humid subtropical, Cfa, with average in the hottest month above 22°C and in the coldest month below 18°C, with no defined dry season, hot summer and frost less frequently. Rainfall is abundant and well distributed throughout the year; the annual averages are between 1,800 and 2,000 mm (IAPAR, 2000). During the whole cycle, the rainfall volume was around 1,118 mm and the average temperature was 22.61°C. Figure 1 shows the rainfall data, temperature and evapotranspiration evaluated every 15 days during soybean cycle.

Initially, the area was cultivated with no-tillage system with winter and spring coverage; later, gypsum was applied to the soil surface (December 2013), to the following late growing season of corn (February 2014), beans in sequence (October 2014), late growing season of maize (February 2015), and finally soybean (October 2015) when the experiment started.

The in outline was randomized block design with six repetitions. The plots (5 x 6 m) received the treatments that consisted of five doses of agricultural gypsum (0, 3, 6, 9, 12 t ha⁻¹) in a randomized block design with six replicates. Agricultural gypsum dose was 3 t ha⁻¹ (60% clay, 50 kg = 3.0 t ha⁻¹). From the 3.0 t ha⁻¹ value, the other gypsum doses were defined: zero, once, twice, three and four times the recommended dose, applied manually depending on the soil clay content Embrapa's recommendation EMBRAPA (2005).

The cultivar BMX Apollo was utilized for the experiment and treated with insecticide TS Cruieser 350 FS 200 mL 100 kg seeds⁻¹, and fungicides Vitavax-Thiram 300 mL 100 kg of seeds⁻¹. Soybean sowing occurred on October 5, 2015, with 0.45 m spaced, 16 seeds per meter. The control of weeds, pests and diseases occurred according to the crop need. During August 2015, the area remained in fallow to collect the soil physical samples. To analyze soil density, soil microporosity, soil macroporosity, total porosity and saturated hydraulic conductivity, trenches were opened in each experimental unit and samples were taken from undisturbed samples on stainless-steel volumetric rings with a 98 cm³ volume

(5 cm diameter and 5 cm height), in three soil layers (0.0 - 0.1; 0.1 - 0.2 and 0.2 - 0.3 m), with the aid of pedological hammer and soil extractor and there was no interaction between the factors.

Soil volume in the samples was adjusted properly and saturated in water for 24 hours in a tray with a water level at 2/3 of their height. Saturated samples were weighed and placed in a 0.6 m.c.a sand column and remained there for two days, draining the water in the macropores. After that we determined the saturated hydraulic conductivity (K_{gs}) in a constant-load permeameter. The samples were again saturated for 24 hours. Afterwards, this sample was allocated to the constant-load permeameter so that it could read the collected volume as a function of time, after which the soil hydraulic conductivity was calculated, according to the methodology recommended by EMBRAPA (2011).

After the K_{gs} determination, the samples were placed in an oven at 105°C for 48 hours to determine the dry soil mass. To calculate the soil density, the dry samples mass was divided by the volume of volumetric ring at 105°C, according to the equation: $Sd = Mss / Tv$, in which Sd is soil density and Mss , mass of the sample of dry soil at 105°C, and Tv is total volume of the ring, EMBRAPA (2011).

Calculating total soil porosity occurred with the relationship between soil density and particle density, as equation: $Tp = (1 - Sd) / Pd * 100$ in which Tp is total porosity, measured in ($m^3 m^{-3}$) and Sd is soil density, measured in ($Mg m^{-3}$) and Pd is particle density measured in ($Mg m^{-3}$), EMBRAPA (2011).

Microporosity was determined using water content retained in the samples in equilibrium with the tension of 0.6 m.c.a; this tension is enough to remove the water in the macropores, and the remaining water represents the volume of micropores obtained by equation: $Micro = (Msu - Mss) / Mss * 100$, $Micro$ = Soil microporosity ($m^3 m^{-3}$); Msu or Pa 0.6 m.c.a = soil mass after 0.6 m.c.a tension (Mg); Mss = mass of dry soil (Mg).

Thus, with total porosity and microporosity, calculating the macroporosity was possible (Camargo et al., 2009) according to equation: $Macro = Pt - Micro$ [$Macro$ = soil macroporosity ($m^3 m^{-3}$); Tp = total porosity ($m^3 m^{-3}$); $Micro$ = soil microporosity ($m^3 m^{-3}$)], EMBRAPA (2011).

To analyze soybean root growth, a 0,50 x 0,50 m, wooden grid was made with several nylon lines forming small 5 cm square strips on each side, which was used to estimate the root size and area. For the analysis, 1.0 x 0.6 m depth trenches were opened for each treatment, where soybean roots were exposed in parallel rows by trench. Thus, the roots were exposed for evaluation, and, with the squared grid placed in front of the root, the measurements of the soybean roots were carried out, profile method (Böhm, 1979).

The soybean harvest occurred on February 10, 2016 using a combine harvester (*Winter steiger Classic*®) with three 0.45 m rows. Productivity was determined by the useful area, 30 m², transformed in kg ha⁻¹ and corrected to 13% moisture.

Data were submitted to analysis of variance and the effect of the agricultural gypsum

doses evaluated by regression analysis. The model based on the coefficient significance of the adjusted regression equation as well as on the coefficient of determination (R^2) associated with each model, using the Assistat software version 7.7 beta (SILVA, 2016).

RESULTS AND DISCUSSION

The significant results with the application of the gypsum doses on the physical properties of the soil occurred only in the layers of 0.1 to 0.2 m for all attributes worked. These results are usually expected in this layer, due to the pressures of the machines, agricultural implements and the influence of the chemical reactions of the soil in the presence of the gypsum.

The area with the system of direct manipulation with the gypsum has contributed to the results of the processes of comparison with the root systems of the soybean crop, with the use of gypsum improved physical soil properties. When applying 3 t ha^{-1} gypsum, the best result of productivity corresponds to the recommendation of Embrapa (2015), which had a better effect. Thus, as a result, we can see Figures 2, 3 and 4 attributes.

Soil density is the property representing the soil compaction state of the soil where, generally, in areas handled with NTS and agricultural gypsum, the highest values occur in the 0.1 - 0.2 m layer. In addition, the pressure imposed by agricultural machines and implements on the surface soils may negatively impact the root growth of soybeans.

Soil density in the 0.0 - 0.1 m and 0.2 - 0.3 m layers did not differ significantly, whereas for the 0.1 to 0.2 m layer a significant difference occurred (Figure 2A, B e C). Soil density had an average value of 1.02 Mg m^{-3} . Treatments on the 0.0 - 0.1 m and 0.2 - 0.3 m layers showed results close to the general average. For the 0.0 - 0.1 m layer, due to higher organic matter, root and biopor content, and because of greater soil rotation by seeder furrows, compacted layer is not formed. For the 0.1 m - 0.2 m layer, there was a significant increase in relation to the other layers, because agricultural gypsum improved the roots of the previous crops (Figure 2B). Pressures exerted by the machines and agricultural implements that promote deformation, compaction and root debris from previous crops promote increased soil density by occupying and pressing the soil porous spaces. The 0.2 - 0.3 m layer has not changed, because the tire pressure of the agricultural machinery would not reach this layer.

According to Reichert et al. (2003) the restrictive value of density for Haplortox with clay contents greater than 70% is close to 1.40 Mg m^{-3} . For Reichert et al. (2003) soil density values clayey soils of 1.35 Mg m^{-3} and for sandy soils of 1.55 Mg m^{-3} indicate compaction, which may hinder the root system development.

In the present study soil density values were below those reported as limiting or potentially causing root growth difficulties. These values are similar to those reported by Araújo et al. (2007) found value 0.84 in between 1, 3 Mg m^{-3} .

For soil macroporosity in the 0.0 - 0.1 m and 0.2 - 0.3 m layers there was no significant difference (Figure 3A and 3C) depending on the gypsum doses. For the 0.1 to 0.2 m layer, significant difference occurred (Figure 3B).

In this study, the average macroporosity values were 16.46% for the 0.0 - 0.1 m layer and 15.19% for the 0.2 - 0.3 m layer. These values were higher than those considered critical to the crop development according to Jong Van Lier (2010). In the 0.1 - 0.2 m layer, the value was 17.79 %, which is above the critical value. Therefore, root growth of the previous cultures improved, which were benefited with the agricultural gypsum allowing an increase of macropores in this layer. Critical are 10% Reichert et al (2009).

According to Jong Van Lier (2010), the critical value for the agricultural cultivation development is around 10% for soil macroporosity. Thus, all treatments present adequate amount of macropores (Figures 2, 3, 4).

The saturated hydraulic conductivity in the 0.0 - 0.1 m and 0.2 - 0.3 m layers did not differ significantly. For the 0.1 to 0.2 m layer, the difference was significant (Figure 4B). As soil macroporosity was favored with the organic matter of the previous crops roots in this layer, the saturated hydraulic conductivity also had a significant effect. This higher K_{gs} value associates with the higher volume of macropores in this layer (Figure 4C).

There is a possible tendency for saturated hydraulic conductivity (K_{gs}) to increase in depth (Figure 4B). The results did not show significant differences between the 0.0 - 0.1 m and 0.2 - 0.3 m layers, whereas for the 0.1 - 0.2 m layer a significant difference occurred.

Regarding the root growth, a root evaluation was performed at stage R8 (full maturation) for gypsum dose responses, in which there was no positive response to vertical and lateral root growth in the application of agricultural gypsum doses in the soybean crop (Figure 5).

Caires et al. (2008) explains that the absence of soybean response to gypsum application may occur because of the growth of its soybean root system, in the absence of water deficit (Figure 2), not being influenced by the reduction of AI saturation in the soil subsurface. However, according to Raji (2008), applying agricultural gypsum allows better adequate conditions to the subsoil, and thus it can reduce the soil compaction, which is usually favorable to the roots.

In the periods between 2015 and 2016, climatic conditions allied to management practices in the no-tillage system with surface layer rich with organic matter and a year with a good rain distribution during the entire vegetative cycle, without mechanical restriction, good soil structure in satisfactory physical conditions, for having a larger number of porous space allowed the root system to explore the studied soil layers. Good crop development is possible with no effect on the application of the agricultural gypsum.

No significant differences between treatments for grain productivity were observed (Figure 6).

There were probably no significant differences between the gypsum doses for the

grain productivity of soybean because of climatic conditions favorable to crop development, such as good fertility and structural conditions of the soil, good rainfall distribution, and presence of organic matter under the no-tillage system.

Other authors also found no effect on grain productivity compared to gypsum doses, as in the works of Neis et al. (2010); Souza et al. (2010); Caires et al. (2011a); Caires et al. (2011b). There were probably no significant differences between the gypsum doses for the grain yield of soybean because of climatic conditions favorable to crop development, such as good fertility and structural conditions of the soil, good rainfall distribution (Figure 2), and presence of organic matter under the no-tillage system, as demonstrated by Rampim et al. (2011).

In an application experiment of gypsum in the soybean crop, conducted in a dystrophic Red Latosol, Cardoso et al. (2014) observed the absence of soybean response to gypsum application, pointing to the non-occurrence of water deficit as a limiting factor to the gypsum action for this culture.

Likewise, Caires et al. (2011a) did not obtain increase of grain productivity in the soybean crop when applying 9 t ha⁻¹ gypsum in a dystrophic Red Latosol with clay texture, both in no-tillage system and in conventional tillage.

CONCLUSIONS

Were often evaluated to respond to the application of gypsum in this layer only the 0.1 - 0.2 m layer presented a statistical difference for all the soil physical attributes.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Capes for granting scholarship to the first author.

REFERENCES

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; PINTO, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188p.

BROCH, D. L.; NOLLA, A.; QUIQUI, E. M. D.; POSSENTI, J. C. Influência no rendimento de plantas de soja pela aplicação de fósforo, calcário e gesso em um latossolo sob plantio direto. *RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 10, n. 2, p. 211-220, 2008.

BROCH, D.L.; PAVINATO, P.S.; POSSENTI, J.C.; MARTIN, T.N.; QUIQUI, E.M.D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.3, p.791-796, 2011.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use and Management*, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2011a.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. *Scientia Agricola*, v. 68, n. 2, p. 209-216, 2011b.

CAMARGO, O. A.; MUNIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Boletim106.pdf>> Acesso em: 8 set. 2017.

CARDOSO, J. A. E.; PERES, G. C. M.; LAMBERT, R. A. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista Enciclopédia Biosfera*, v. 10, n. 18, p. 1980-1987, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: v 10 Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab/item/2898-compendio-de-estudos-da-conab-v-10-pordutividade-da-soja>> Acesso em: 23 abril 2018.

COSTA, M. J. ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011. 230 p.

_____. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Cartas Climáticas do Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 2011. Disponível em: <<http://www.iapar.br/pagina-677.html>> Acesso em: 8 set. 2017.

JONG VAN LIER, Q. *Física do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

LEITE, E. M.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, A. A.; SANTOS, R. V.; ALVES, G. S.; CAVALCANTE, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. *Irriga*, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, J. E. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 131-179

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

- NORA, D. D. AMADO, T. J. C.; BORTOLOTTTO, R. P.; FERREIRA, A. O.; KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. *Magistra*, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.
- PAULETTI, V.; PIERRI, L. de.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.
- RAIJ, B. V. *Gesso na agricultura*. Campinas, Brasil: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 2008. 233 p.
- RAMPIM, L. Atributos químicos de um latossolo vermelho eutroférico submetido à gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência Ambiental*, v. 27, p. 29-48, 2003.
- SANCHEZ, E.; GENÚ, A. M.; MAGGI, M. F.; MULLER, M. L. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Revista Magistra*, v. 26, n. 3, p. 262-271, 2014.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32 n. 2, p. 675-688, 2008a.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 38, p. 928-935, 2008b.
- SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; ROSA, Y. B. C. J. Atributos físicos e desempenho agrônomo da cultura da soja em um Latossolo vermelho distroférico submetido a dois sistemas de manejos. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, 2010.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007a.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Nutrient concentration in soil water extracts and soybean nutrition in response to lime and gypsum applications to an acid Oxisol under no-till system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 79, n. 2, p. 169-179, 2007b.
- ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

Layers	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V	m
cm	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----	
0-10	0.68	4.20	1.03	0.25	36.09	11.21
10-20	1.20	3.09	0.92	0.22	28.31	23.36
20-40	1.33	2.14	0.91	0.19	23.28	30.62
40-60	1.03	1.97	0.99	0.18	25.48	25.53
60-80	0.36	1.82	1.30	0.19	33.83	9.37

Table 1. Content of Al, Ca, Mg, K, base saturation (V) and aluminum (m) at different soil layers

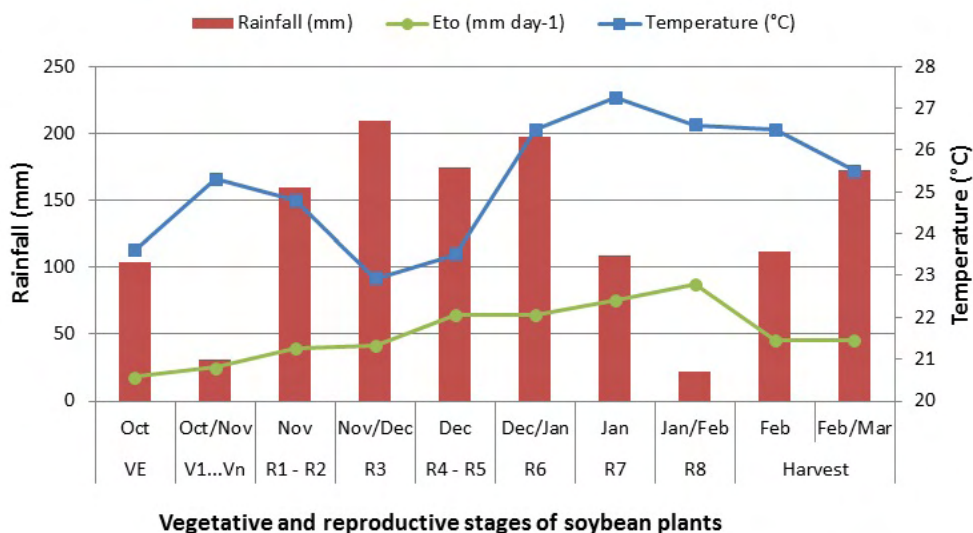


Figure 1. Rainfall, temperature and evapotranspiration (ETc) of the crop in the soybean vegetative cycle from October 2015 to February 2016 in the western region - PR.

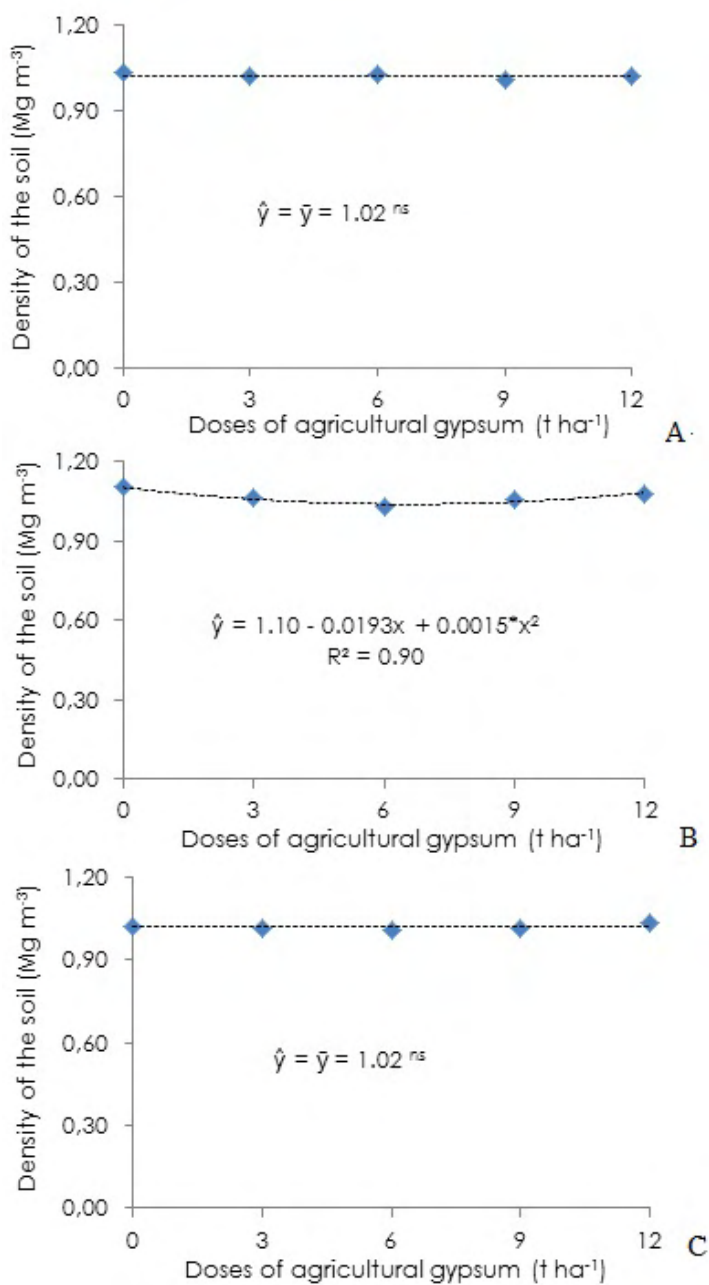


Figure 2. Density of the soil in the layers 0.0 - 0.1 (A), 0.1 - 0.2 (B) and 0.2 - 0.3 m (C) as a function of agricultural gypsum doses.

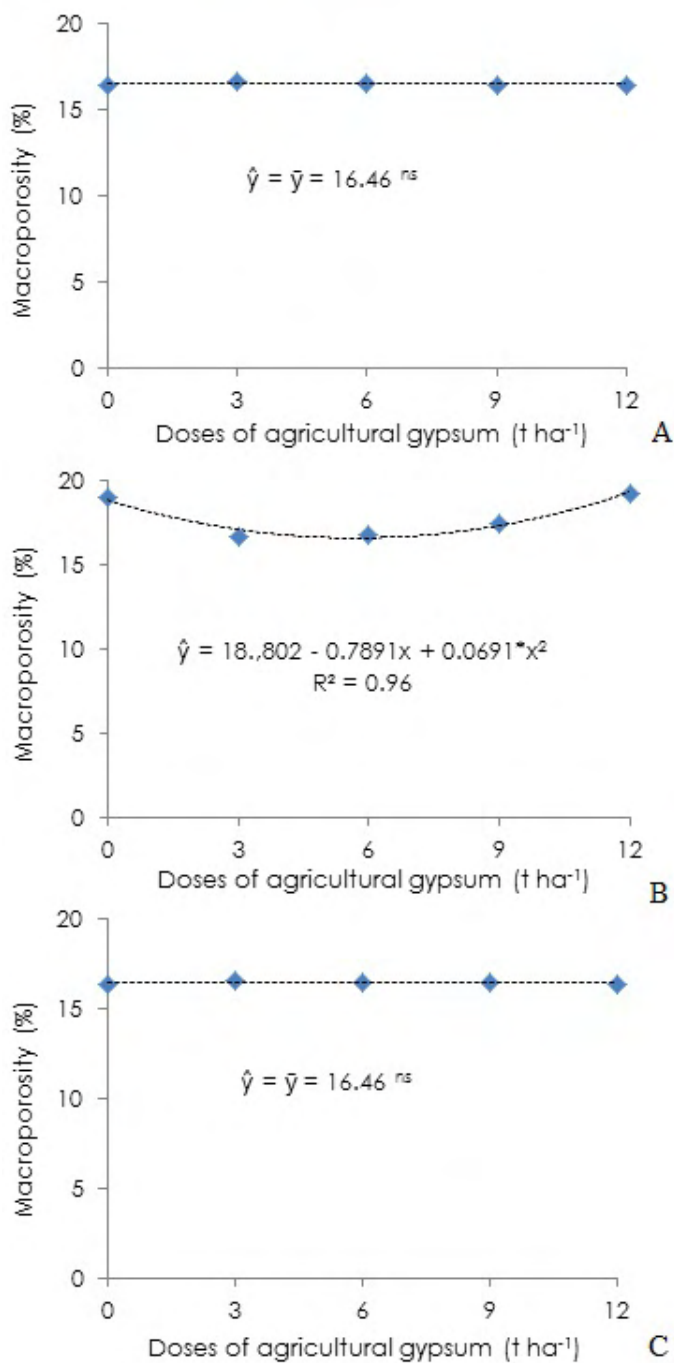


Figure 3. Macroporosity of the soil in the layers 0.0 - 0.1 (A), 0.1 - 0.2 (B) and 0.2 - 0.3 m (C) as a function of agricultural gypsum doses.

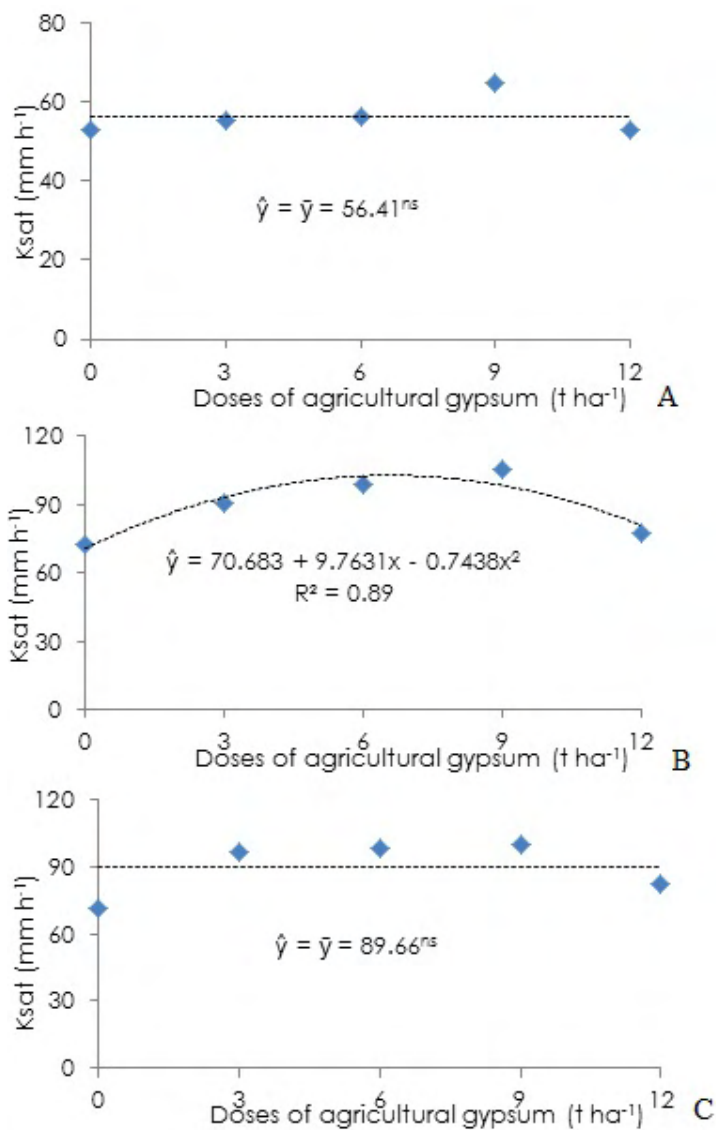


Figure 4. Soil hydraulic conductivity (K_{sat}) in the layers 0.0 - 0.1 (A), 0.1 - 0.2 (B) and 0.2 - 0.3 m (C) as a function of agricultural gypsum doses.

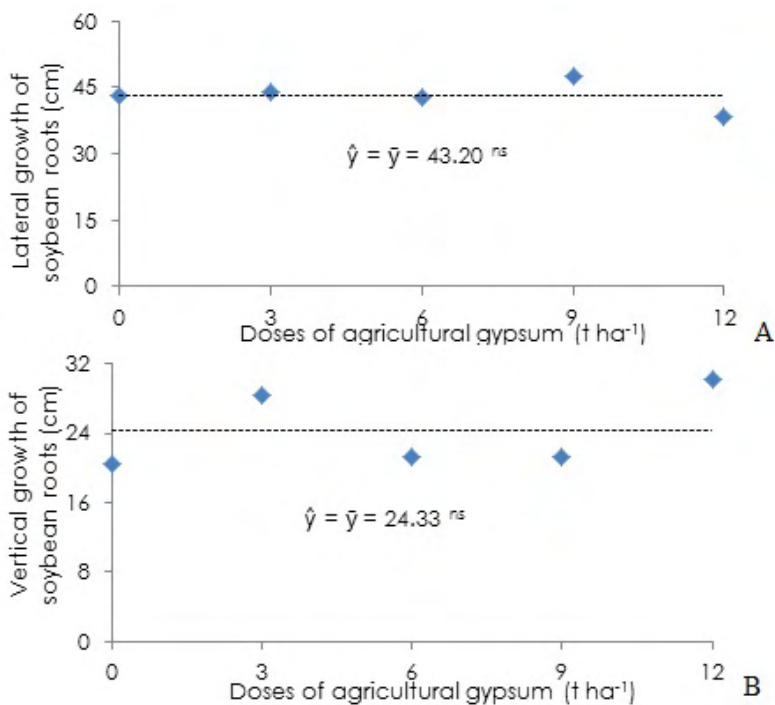


Figure 5. Lateral and vertical growth of soybean roots as a function of agricultural gypsum doses.

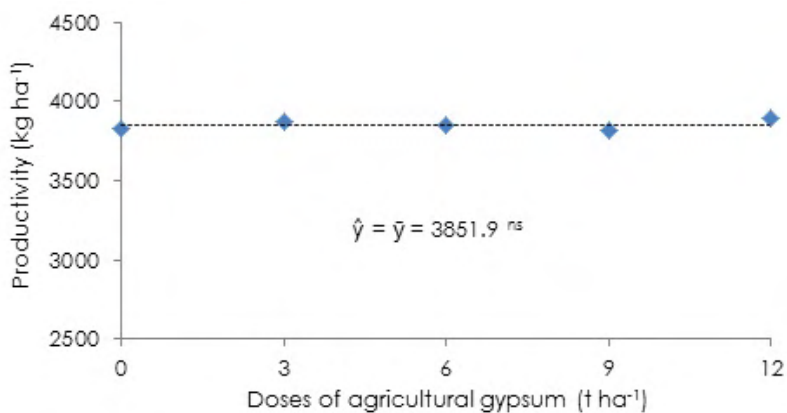


Figure 6. Grain productivity in relation to agricultural gypsum dosages applied in the soybean crop.

ÁCIDOS FÚLVICOS, HÚMICOS E HUMINA EM LATOSSOLO SOB USO EM SISTEMA AGROFLORESTAL, POUSIO E PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Data de aceite: 28/04/2021

Allana Pereira Moura da Silva

Bolsista do ICV/UFPI

Julian Junio de Jesus Lacerda

Departamento de Engenharia Agrônômica,
UFPI

Caio de Meneses Cabral

Departamento de Engenharia Agrônômica,
UFPI/CPCE

RESUMO: As substâncias húmicas (SHs) são compostos da matéria orgânica (MOS), que constituem uma parte significativa do C e N orgânico total do solo. Pode haver uma diminuição progressiva nas concentrações de SHs em solos que foram convertidos de mata nativa para sistemas de produção convencionais. Portanto, é fundamental que se adote sistemas conservacionistas de manejo do solo, como os sistemas agroflorestais (SAFs), a fim de promover a manutenção da qualidade do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características da MOS influenciadas pelo uso do solo: sistema agroflorestal (SAF), pousio e mata nativa, no município de Bom Jesus, estado do Piauí. O sistema agroflorestal (SAF) regenerativo, do tipo quintal agroflorestal, foi implantado em outubro de 2016 em uma área experimental na Universidade Federal do Piauí, Campus de Bom Jesus-PI. Adjacente à área de implantação do SAF, foi mantida um área com vegetação nativa e outra deixada em

pousio. A vegetação nativa predominante são espécies florestais do bioma Cerrado. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, textura média. A amostragem do solo foi feita em quatro profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, e quatro repetições. Foi realizado o fracionamento químico da MOS pela técnica da solubilidade diferencial para obter as frações húmica (HU), ácido húmico (AH), e ácido fúlvico (AF). Não houve interação entre o tipo de uso e profundidade do solo para nenhuma das SHs da matéria orgânica e para o carbono orgânico total do solo ($P > 0,05$). Para a fração HU foi observado efeito simples ($P < 0,05$) tanto para o tipo de uso quanto para a profundidade avaliada, enquanto para o carbono orgânico total a variação dos dados foi significativa somente em função da profundidade. Considerando somente a profundidade do solo não foi observada variação das frações AF e AH até a profundidade de 40 cm. Já a camada superficial (0-10 cm) do solo apresentou maior percentual da fração HU, seguida das profundidades de 10-20 e 20-30 cm, enquanto a 30-40 cm a proporção desta fração foi significativamente menor. Conclui-se que a distribuição de carbono entre as diferentes frações pouco variou entre os diferentes usos do solo e profundidade. As frações, AF e AH foram estáveis e semelhantes para os três usos e profundidades. Por outro lado, a fração HU discriminou as mudanças no uso do solo. Em comparação com o solo da mata nativa, os usos SAF e pousio mantiveram praticamente os mesmos percentuais de SHs e carbono orgânico total, indicando que ambas as práticas são eficientes em manter a estabilidade da matéria

orgânica do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura conservacionista, Sistemas Agroflorestais (SAFs), Substâncias húmicas.

ABSTRACT: Humic substances (SHs) are composed of organic matter (MOS), which make up a significant part of the total organic C and N of the soil. There may be a progressive decrease in the concentrations of SHs in soils that have been converted from native forest to conventional production systems. Therefore, it is essential to adopt conservationist soil management systems, such as agroforestry systems (SAFs), in order to promote the maintenance of soil quality. This study aimed to evaluate the characteristics of MOS influenced by land use: agroforestry system (SAF), fallow and native forest, in the municipality of Bom Jesus, state of Piauí. The regenerative agroforestry system (SAF), of the agroforestry type, was implemented in October 2016 in an experimental area at the Federal University of Piauí, Campus de Bom Jesus-PI. Adjacent to the SAF implantation area, an area with native vegetation and another one that was set aside were maintained. The predominant native vegetation are forest species from the Cerrado biome. The soil was classified as a typical dystrophic Yellow Latosol, medium texture. The soil sampling was done at four depths: 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm, and four replications. The chemical fractionation of the MOS was performed by the differential solubility technique to obtain the fractions humine (HU), humic acid (AH), and fulvic acid (AF). There was no interaction between the type of use and depth of the soil for any of the SHs of organic matter and for the total organic carbon of the soil ($P > 0.05$). For the HU fraction, a simple effect ($P < 0.05$) was observed for both the type of use and the depth assessed, while for the total organic carbon the variation in the data was significant only as a function of depth. Considering only the depth of the soil, no variation of the AF and AH fractions was observed up to a depth of 40 cm. The superficial layer (0-10 cm) of the soil presented a higher percentage of the HU fraction, followed by depths of 10-20 and 20-30 cm, while at 30-40 cm the proportion of this fraction was significantly lower. It is concluded that the carbon distribution among the different fractions varied little between the different uses of the soil and depth. The fractions, AF and AH were stable and similar for the three uses and depths. On the other hand, the HU fraction discriminated against changes in land use. Compared to the native forest soil, the SAF and fallow uses maintained practically the same percentages of SHs and total organic carbon, indicating that both practices are efficient in maintaining the stability of the soil's organic matter.

KEYWORDS: Conservation Agriculture; Agroforestry Systems (SAFs); Humic substances.

1 | INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha papel fundamental na manutenção da produtividade dos solos tropicais. Fazem parte da MOS substâncias húmicas e não-húmicas. Substâncias não húmicas são compostos lábeis com ciclagem relativamente rápida no solo (SCHMIDT et al., 2011). As substâncias húmicas (SHs) são compostos da matéria orgânica mais estáveis, que constituem uma parte significativa do C e N orgânico total do solo (MILORI et al., 2002). As SHs podem melhorar a capacidade de tamponamento do solo, aumentar a retenção de umidade e fornecer micronutrientes disponíveis às

plantas. Além disso, esses compostos também podem se ligar a metais, atenuando tanto a toxicidade dos metais pesados quanto a deficiência de metais nos solos (McCARTHY, 2001).

As SHs incluem três frações distintas: fração humina é a fração insolúvel das SHs; o ácido húmico (AH) é a fração solúvel em condições alcalinas; e o ácido fúlvico (AF) é a fração solúvel em condições alcalinas e ácidas (SUTTON; SPOSITO, 2005).

Diferentes usos do solo podem alterar as propriedades químicas das SHs do solo (SANTOS et al., 2013). Em geral, estudos relatam uma diminuição progressiva nas concentrações de SHs em solos que foram convertidos de mata nativa para sistemas de produção convencionais. Portanto, é fundamental que se adote sistemas de manejo do solo conservacionistas, como os sistemas agroflorestais (SAFs), que se assemelham as condições de mata nativa, a fim de promover a manutenção da qualidade do solo.

No Nordeste do Brasil, principalmente na região do semi-árido, devido as altas temperaturas, o teor de MOS nos solos cultivados é baixo. Nesta região, existem poucos estudos que abordam o impacto da mudança do uso do solo nos níveis de SHs nos solos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características da MOS como influenciadas pelo uso do solo: sistema agroflorestal (SAF), pousio e mata nativa, em um Latossolo Amarelo no município de Bom Jesus, estado do Piauí.

2 | METODOLOGIA

A área avaliada consiste de um experimento com sistema agroflorestal (SAF) regenerativo implantado em outubro de 2016 em uma área experimental na Universidade Federal do Piauí, *Campus* de Bom Jesus, estado do Piauí (09° 04' 26" S e 44° 21' 32" O). O SAF segue o princípio de um quintal agroflorestal, ou seja, composto por várias espécies agrícolas e florestais. Na mesma área de implementação do SAF, parte foi mantida com vegetação nativa e outra deixada em pousio. A vegetação nativa predominante são espécies florestais do bioma Cerrado.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, textura média. O clima da região é do tipo Aw (Köppen) com temperatura média anual de 26,5°C, precipitação média anual de 945 mm, com estação chuvosa de outubro a abril, sendo de janeiro a março o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de veranicos (PRAGANA, 2011).

A amostragem do solo foi feita em quatro profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Foi realizado o fracionamento químico da MOS pela técnica da solubilidade diferencial para obter as frações humina (HU), ácido húmico (AH), e ácido fúlvico (AF), com base na solubilidade em meio ácido e alcalino. A determinação quantitativa de carbono nos extratos AF, AH e HU foram realizadas conforme Yeomans e Bremner (1988).

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se teste F, e quando o F foi significativo, as médias foram comparadas entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de

probabilidade. As análises foram realizadas no programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre o tipo de uso e profundidade do solo para nenhuma das substâncias húmicas (SHs) da matéria orgânica e para o carbono orgânico total do solo ($P>0,05$). Para a fração humina (HU) foi observado efeito simples ($P<0,05$) tanto para o tipo de uso quanto para a profundidade avaliada, enquanto para o carbono orgânico total a variação dos dados foi significativa somente em função da profundidade.

A fração HU foi a única que apresentou efeito significativo do tipo de uso do solo (Figura 1). A igualdade no conteúdo de carbono orgânico total no solo, para os três tipos de uso, justifica as similaridades entre os percentuais de SHs observadas. A maior expressão da fração HU pode ser verificada na Figura 1 onde observa-se também que as frações ácido fúlvico (AF) e ácido húmico (AH) contribuem de forma equivalente.

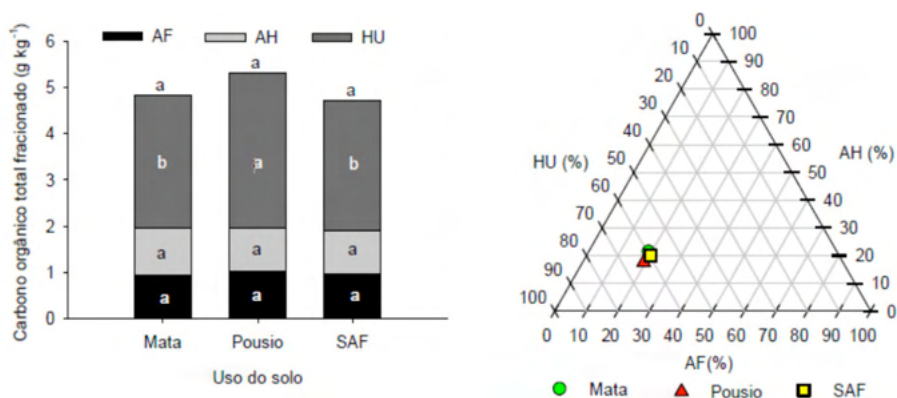


Figura 1. Média das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e carbono orgânico total para três tipos de uso do solo no município de Bom Jesus-PI.

Considerando somente a profundidade do solo não foi observada variação das frações AF e AH até a profundidade de 40 cm (Figura 2). Já a camada superficial (0-10 cm) do solo apresentou maior percentual da fração HU, seguida das profundidades de 10-20 e 20-30 cm, enquanto à 30-40 cm a proporção desta fração foi significativamente menor. E, uma vez que a maior parte do carbono orgânico do solo é constituída por HU, o carbono orgânico total do solo exibiu variação proporcional. No entanto, a profundidade de 0-10 cm não diferiu da subsequente (10-20 cm), mas, estas duas possuem conteúdo de carbono orgânico significativamente maior que a profundidade de 20 a 40 cm (Figura 2).

Pode-se dizer que o processo de humificação depende do uso do solo à medida que este determina a quantidade de resíduos vegetais mantidos na superfície do solo.

Podemos inferir, portanto, que os três tipos de uso avaliados neste trabalho resultaram em processos similares de transformação dos resíduos orgânicos, levando a formação de percentuais equivalentes de SHs e carbono orgânico total.

Uma das principais finalidades da avaliação das frações da MOS é com relação a modificação na fertilidade do solo. As SHs atuam significativamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas em consequência da sua capacidade de se ligar à fração mineral do solo através de cátions polivalentes (CANELLAS et al., 1999).

Por fim, conclui-se que o uso do solo com o SAF está sendo uma alternativa sustentável, uma vez que está mantendo o conteúdo de carbono orgânico do solo análogo ao da área de mata. Uma outra alternativa viável é o pousio, que também apresentou percentuais de substâncias húmicas e de carbono orgânico similares tanto à mata quanto ao SAF. No entanto, essa condição foi alcançada após um período de quatro anos e, na prática, dificilmente deixa-se uma área passível de produção ociosa por tanto tempo.

A camada superficial de 0 a 20 cm foi a mais modificada com o processo de humificação, verificado pelo maior conteúdo de carbono orgânico e, conseqüentemente da fração HU. Isto se deve ao maior aporte de resíduos orgânicos sob a superfície do solo e maior atividade biológica nesta camada.

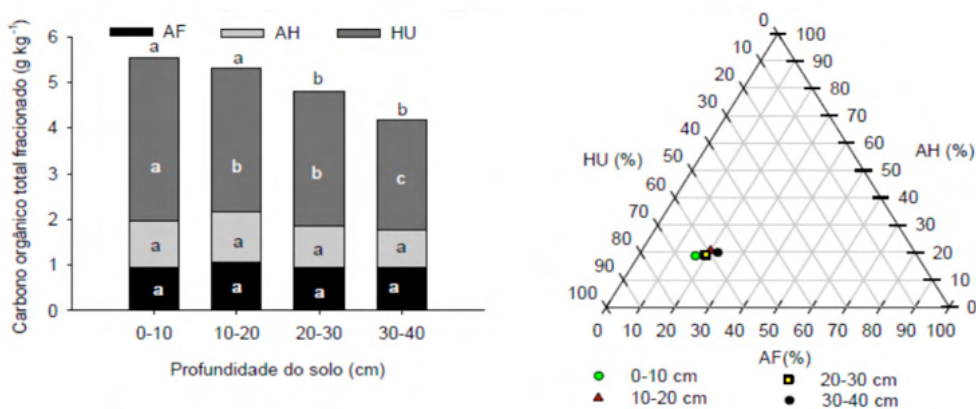


Figura 2. Média das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e carbono orgânico total para quatro profundidades do solo no município de Bom Jesus-PI.

4 | CONCLUSÃO

A distribuição de carbono entre as diferentes frações pouco mudou nos diferentes usos do solo e profundidade. As frações ácido fúlvico e ácido húmico foram estáveis e semelhantes para os três usos e as todas as profundidades. Por outro lado, a fração húmica foi mais eficaz em discriminar mudanças no uso do solo, devido à sua labilidade

característica. Em comparação com o solo da mata nativa, os usos SAF e pousio mantiveram praticamente os mesmos percentuais de substâncias húmicas e carbono orgânico total mostrando que ambas as práticas são eficientes em manter a estabilidade da matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. **Reações da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese: Porto Alegre, 1999.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

MCCARTHY, P. The principles of humic substances. **Soil Science**, v. 166, p. 738–751, 2001.

MILORI, D.M.B.P., MARTIN-NETO, L., BAYER, C., MIELNICZUK, J., BAGNATO, V.S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, v.167, p. 739–749, 2002.

PRAGANA, R. B. **Reconhecimento de solos da serra do quilombo no município de Bom Jesus-Piauí e diagnóstico da qualidade destes solos cultivados sob o sistema plantio direto**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SANTOS, L. L.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 955-968, 2013.

SCHMIDT, M.W.I., TORN, M.S., ABIVE, S., DITTIMAR, T., GUGGENBERGER, G., JANSSENS, I.A., KLEBER, M., KOGEL-KNABNER, I., LEHMANN, J., MANNING, D.A.C., NANNIPIERI, P., RASSE, D.P., WEINER, S., TRUMBORE, S.E. Persistence of soil organic matter as na ecosystem property. **Nature**, v. 478, p. 49–56, 2011.

SUTTON, R., SPOSITO, G. Molecular structure in soil humic substance: new view. **Environmental Science and Technology**, v. 39, p. 9009–9016, 2005.

CAPÍTULO 6

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE DISSIPAÇÃO TÉRMICA NA MEDIDA DO FLUXO DE SEIVA EM PINHÃO-MANSO

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Ana Daniela Lopes

Universidade Paranaense
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/7007947329837035>

Vinicius Melo Rocha

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/0048316834651296>

Daniel Haraguchi Santos

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/5856344844936696>

Rafael Corradini

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/3435310100180223>

José Júnior Severino

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6485627325519360>

João Paulo Francisco

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6390892655943052>

Leonardo Duarte Batista da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica - RJ

<http://lattes.cnpq.br/1665042657360760>

Marcos Vinicius Folegatti

Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz” – ESALQ/USP

Piracicaba – SP

<http://lattes.cnpq.br/0610853022324361>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi calibrar o método de dissipação térmica na estimativa da transpiração de plantas de pinhão manso. Plantas de pinhão manso foram cultivadas em quatro lisímetros de pesagem, sendo que estes tiveram sua superfície coberta por lona plástica para que a única saída de água do sistema fosse por transpiração. Sondas de dissipação térmica foram inseridas nas plantas a 20 cm da superfície do solo e aquecidas com uma potência de 0,1 W. Para o aquecimento foram construídas fontes de corrente ajustáveis, com possibilidade de conexão de até seis SDT, com os elementos aquecedores conectados em série. As plantas de pinhão-manso foram submetidas a 15 dias com fornecimento de água até a capacidade de campo do solo, 60 dias de supressão da irrigação e retorno da irrigação por mais 15 dias. Verificou-se desvio médio entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária para a equação geral de Granier de 5,04%, e o desvio para a equação modificada foi de 4,88%. Diante dos resultados, conclui-se que o método de dissipação térmica pode ser utilizado para a determinação da transpiração de pinhão-manso.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, agricultura irrigada, potencial hídrico.

CALIBRATION OF THE THERMAL DISSIPATION METHOD IN THE MEASUREMENT OF SAP FLOW IN PINHÃO-MANSO

ABSTRACT: The objective of this work was to calibrate the thermal dissipation method to estimate the transpiration of physic nut plants. *Jatropha* plants were grown in four weighing lysimeters, and their surface was covered with plastic tarpaulin so that the only water outlet in the system was through transpiration. Thermal dissipation probes were inserted into the plants at 20 cm from the soil surface and heated with a power of 0.1 W. For heating, adjustable current sources were built, with the possibility of connecting up to six SDT, with the heating elements connected in series. *Jatropha* plants were submitted to 15 days with water supply until the field capacity of the soil, 60 days of suppression of irrigation and return of irrigation for another 15 days. There was an average deviation between sap flow and transpiration on a daily scale for the general Granier equation of 5.04%, and the deviation for the modified equation was 4.88%. In view of the results, it is concluded that the thermal dissipation method can be used to determine the physic nut sweat.

KEYWORDS: Evapotranspiration, irrigated agriculture, water potential.

INTRODUÇÃO

A transpiração é o processo pelo qual a água é absorvida pelo sistema radicular das plantas, atravessando-as pelos vasos condutores (xilema) e chega até as folhas onde ocorre sua saída para a atmosfera através dos estômatos. De forma resumida, é a difusão da água através dos estômatos para a atmosfera (TAIZ et al., 2017). A estimativa da transpiração pode ser realizada por meio do método de dissipação térmica, ou simplesmente Granier (GRANIER, 1985). envolve a inserção perpendicular de duas sondas na mesma linha axial do ramo ou tronco, sendo que uma delas, a superior, é aquecida de forma constante com fornecimento de potência elétrica de aproximadamente 0,2 watt. A variação da temperatura em cada instante entre as duas sondas (a aquecida e a não aquecida) é ocasionada pelo transporte convectivo de calor por meio da seiva.

A máxima diferença de temperatura entre as duas sondas significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, enquanto que a mínima diferença significa uma taxa máxima de fluxo de seiva através da área de transporte (xilema).

O método de Granier é amplamente utilizado para determinação da transpiração das mais diversas culturas. O método de Granier é amplamente utilizada para determinação da transpiração das mais diversas culturas. Em cultivo de manga (LU; CHACKO, 1998) encontraram boa concordância entre os valores de transpiração medidas por gravimétrica e o fluxo de seiva em escala diária pelo método de dissipação térmica.

O método de Granier fundamenta-se em uma calibração para se ter o valor do fluxo de seiva, ao contrário dos outros métodos térmicos que se baseiam em um tratamento teórico, embora no método de pulso de calor possa haver uma calibração adicional ao tratamento teórico. Inicialmente o método foi desenvolvido para espécies florestais. O próprio Granier; Gross (1987) encontrou relações próximas à do seu primeiro trabalho para

outras espécies florestais, o que levou à proposta de que, pela proximidade dos valores entre os diferentes trabalhos, a equação de Granier poderia ser adotada como universal, pelo menos para plantas lenhosas.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o de calibrar o método de dissipação térmica para estimativa da transpiração de plantas de pinhão-manso.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento estudo conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (casa de vegetação), localizada no município de Piracicaba - SP (latitude 22°43’31”; longitude 47°38’57”; altitude 547 m). A transpiração das plantas foi estimada por medidas de fluxo de seiva, onde optou-se pelo uso do método de dissipação térmica, ou comumente conhecido como Método de Granier Granier (1985). O motivo da escolha do método se baseia no baixo custo de obtenção dos sensores e também por exigir um menor número de canais de saída dos sistemas automático de aquisição de dados, dessa forma, o método viabiliza a medição simultânea de um maior número de plantas. Para coleta e armazenamento dos dados, utilizou-se um sistema automático de aquisição de dados, com leituras armazenadas a cada um segundo e armazenadas as médias a cada 15 min.

Método de dissipação térmica

O método de dissipação de térmica envolve a inserção perpendicular de duas sondas (Figura 1) na mesma linha axial do ramo ou tronco, sendo que uma delas, a superior, é aquecida de a uma potência constante. A variação da temperatura em cada instante entre as duas sondas (a aquecida e a não aquecida) é ocasionada pelo transporte convectivo de calor através da seiva. A máxima diferença de temperatura entre as duas sondas significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, enquanto que a mínima diferença significa uma taxa máxima de fluxo de seiva através da área de transporte (xilema).

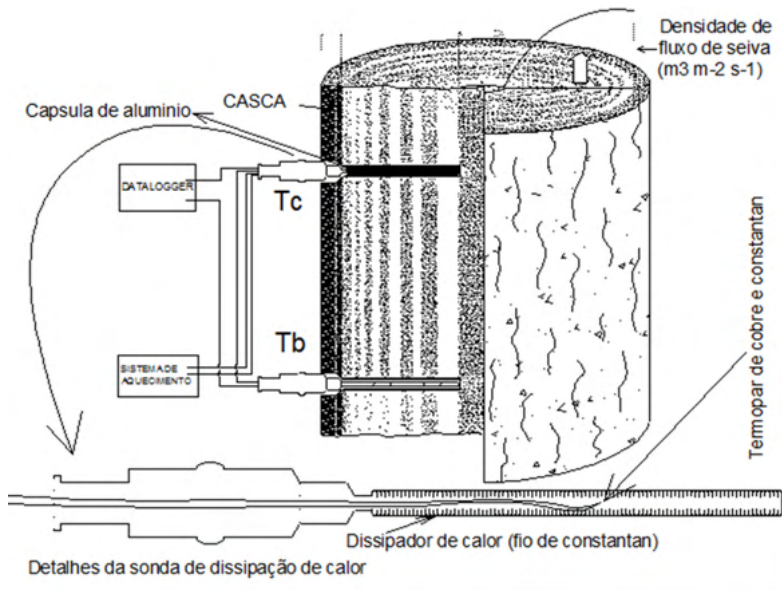


Figura 1. Esquema do sensor de Granier inserida perpendicularmente no tronco de uma árvore. Observa-se a conexão dos termopares ao sistema de aquisição de dados e da sonda superior a uma fonte de energia.

O fluxo de seiva foi determinado pela equação proposta por Granier (1985), apresentada na equação 1:

$$F = 118,99 \times 10^{-6} \times k^{1,231} \times SA \quad (1)$$

sendo: SA a área do lenho condutor da seiva bruta, dada em m², normalmente considerada a área ocupada pelo xilema e k é o índice de fluxo calculado por meio da equação 2, a partir das medidas térmicas registradas por meio do sensor.

$$k = \frac{(\Delta TM - \Delta T)}{\Delta T} \quad (2)$$

sendo: ΔTM (°C) a diferença máxima de temperatura entre os dois pontos de medida e ΔT (°C) a diferença de temperatura real.

Construção e calibração das sondas de dissipação térmica (SDT)

A sonda dissipadora de calor foi confeccionada com fio de constantan de 50 μ m de diâmetro enrolado em volta de uma agulha de aço inoxidável de 0,9x25 mm, de tal forma que após o enrolamento formasse um cilindro de 1,2 mm de diâmetro e um comprimento de 10 mm. Em cada agulha foi inserido, em sua parte interior média, uma junção de termopar feita da união de fios de cobre e com o fio de constantan. Os dois termopares, unidos em série e espaçados em 10 cm são responsáveis pelo fornecimento da diferença de temperatura

(Tc-Tb), a qual foi registrada por um sistema automático de aquisição de dados.

As SDT foram inseridas a 20 cm do nível do solo e espaçadas (as agulhas) em 10 cm. Os furos para inserção da cápsula de alumínio foram feitos com furadeira, utilizando-se uma broca de 1,7 mm. Tomou-se o cuidado de utilizar calda bordalesa para evitar a infecção do interior da planta com qualquer tipo de fungo.

Para inserir as sondas no tronco, previamente foi introduzida uma cápsula de alumínio com diâmetro de 1,67 mm e comprimento de 12 mm. Esta foi inserida duas semanas antes da instalação das sondas, afim de que a seção do caule perfurada tivesse tempo suficiente para cicatrização e eliminação do estresse causado por esse procedimento. Antes da instalação das SDT, foi pincelado nas agulhas uma pasta térmica para auxiliar na dissipação e uniformização do calor em volta da mesma. Para garantir que uma boa inserção da SDT foi aplicada uma camada de silicone externamente. Após a instalação das sondas um papel alumínio foi utilizado para cobrir a maior parte do tronco afim de minimizar o efeito da incidência da radiação eletromagnética sobre as medidas.

O aquecimento da sonda superior ocorreu por meio da resistência criada pelo fio de constantan enrolado na parte externa da agulha. Para o aquecimento foram construídas fontes de corrente ajustáveis, com possibilidade de conexão de até seis SDT, com os elementos aquecedores conectados em série. A resistência elétrica total das sondas foi medida por meio de um multímetro e calculada a tensão a ser aplicada de acordo com, a lei de Ohm, de modo a se obter uma potência 0,1 W.

As fontes de corrente foram montadas em uma caixa PB203, onde colocou-se a placa de circuito elétrico com os componentes necessários para funcionamento da fonte de corrente. Para que fosse possível a montagem de uma fonte de corrente com seis saídas em série, foram utilizados seis LM317 TO-220, seis dissipadores DM812 MD, seis trimpots MV 2K, seis resistores 1W 22R, um diodo 1N4007, um fusível, um resistor 1/4W 1K2, um led 5MM vermelho, dois conectores PTR doze vias, sendo seis machos e seis fêmeas catorze e dois conectores PTR 2 vias, sendo um macho e um fêmea. A fonte de corrente foi alimentada com voltagem de 12V.

Calibração das sondas de dissipação térmica e avaliação das plantas

Plantas de pinhão-manso utilizadas na calibração das SDT foram cultivadas em quatro lisímetros de pesagem. Os lisímetros foram confeccionados em vasos com capacidade para 250 L, com 0,75 m², com sistema de pesagem direta, utilizando-se células de carga que suportavam diretamente todo o peso do sistema. Estes foram preenchidos com camada de pedra brita (em torno de 8 cm), seguida de manta geotêxtil e, por fim, o volume restante foi completado com solo. Para evitar perdas por evaporação, os lisímetros foram cobertos com lona plástica, de modo que a única saída de água seria por transpiração das plantas.

As plantas localizadas nos quatro lisímetros foram utilizadas para monitorar a

transpiração durante 60 dias. Durante os primeiros 15 dias o solo foi mantido com umidade próxima da condição de capacidade de vaso (CV) por meio de irrigações frequentes. Posteriormente, durante 30 dias a aplicação de água via sistema de irrigação foi suspensa e, por fim, os 15 dias finais tiveram retorno da irrigação para a recuperação da hidratação das plantas. Todos os dados foram coletados por um sistema de aquisição de dados automático.

Após a calibração das sondas, as mesmas foram instaladas em área experimental cultivada com pinhão-manso. Sendo então avaliado o efeito da poda na transpiração das plantas de pinhão-manso, com adoção de três diferentes podas de topo, com variações na altura de corte e no diâmetro de copa, dessa forma, os tratamentos adotados foram: Tratamento 1 (P1) – sem poda; Tratamento 2 (P2) – poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa e; Tratamento 3 (P3) – poda a 1,0 m de altura e 1,0 m de diâmetro de copa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração do fluxo de seiva

Como padrão na calibração do método de dissipação térmica foram utilizados os lisímetros de pesagem descritos anteriormente. Para facilitar os cálculos, utilizou-se os dados de saída dos lisímetros em escala horária, dessa forma, optou-se por modificar o coeficiente linear da equação de Granier, apresentada na equação 1, obtendo-se a seguinte equação:

$$FS=0,000594 \times K^{1,231} \times AS \quad (3)$$

Na Figura 2 é apresentada a relação entre a transpiração determinada por meio dos lisímetros e o fluxo de seiva calculado pela equação geral de Granier e a equação modificada (Eq. 3). O desvio médio entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária para a equação geral de Granier foi de 5,04%, e o desvio para a equação modificada foi de 4,88%. Os desvios obtidos são aceitáveis, uma vez que a transpiração é um processo dinâmico, apresentando grande variabilidade espacial. De maneira geral, considera-se que, quando se está de posse de grande número de dados, desvios da ordem de 10% são perfeitamente aceitáveis (JUNIOR, 2012).

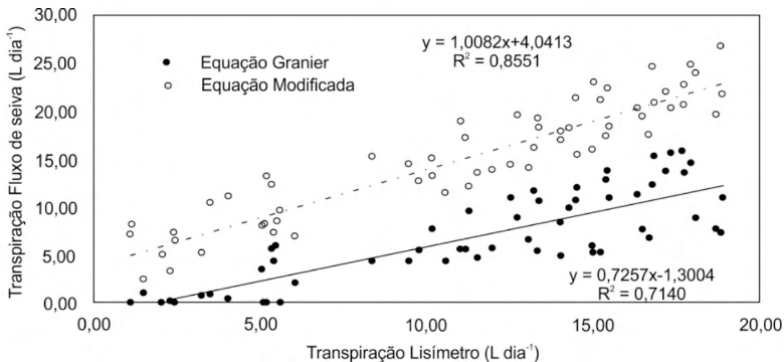


Figura 2. Relação entre as medidas de transpiração realizadas com os lisímetros e as determinação do fluxo de seiva diário pela sonda de dissipação térmica.

Silva et al. (2004) verificaram em plantas de kiwi que a equação geral de Granier apresentou uma forte subestimativa dos valores de fluxo de seiva principalmente em condições de maior fluxo. Os autores ajustaram uma equação polinomial de grau 2 aos valores de k em relação a densidade de fluxo calculada com base em medidas lisimétricas e na área da secção condutora do caule, obtendo um coeficiente de determinação de 0,8252. Rojas (2003) também baseado em medidas lisimétricas verificou que o fluxo de seiva pelo método da dissipação térmica subestimou na ordem de 3% a transpiração em plantas cítricas. Ferreira; Silvestre (2004) ajustaram uma equação potencial com os valores de fluxo de seiva obtidos com os parâmetros originais da equação de Granier e a evapotranspiração para vinha em condições de evaporação do solo desprezível, estimada pelo método meteorológico da covariância de fluxos turbulentos, obtendo uma boa correlação ($R^2 = 0,84$). Vellame (2010) constataram que o método da sonda de dissipação térmica, utilizando-se os coeficientes originais da equação de Granier (1985) subestimou em média 31% os valores de fluxo de seiva em escala diária.

Transpiração das plantas

Na Figura 3 é apresentado o curso do fluxo de seiva estimado pela sonda de dissipação térmica e a radiação solar global ao longo de cinco dias, nos diferentes tratamentos de poda adotados.

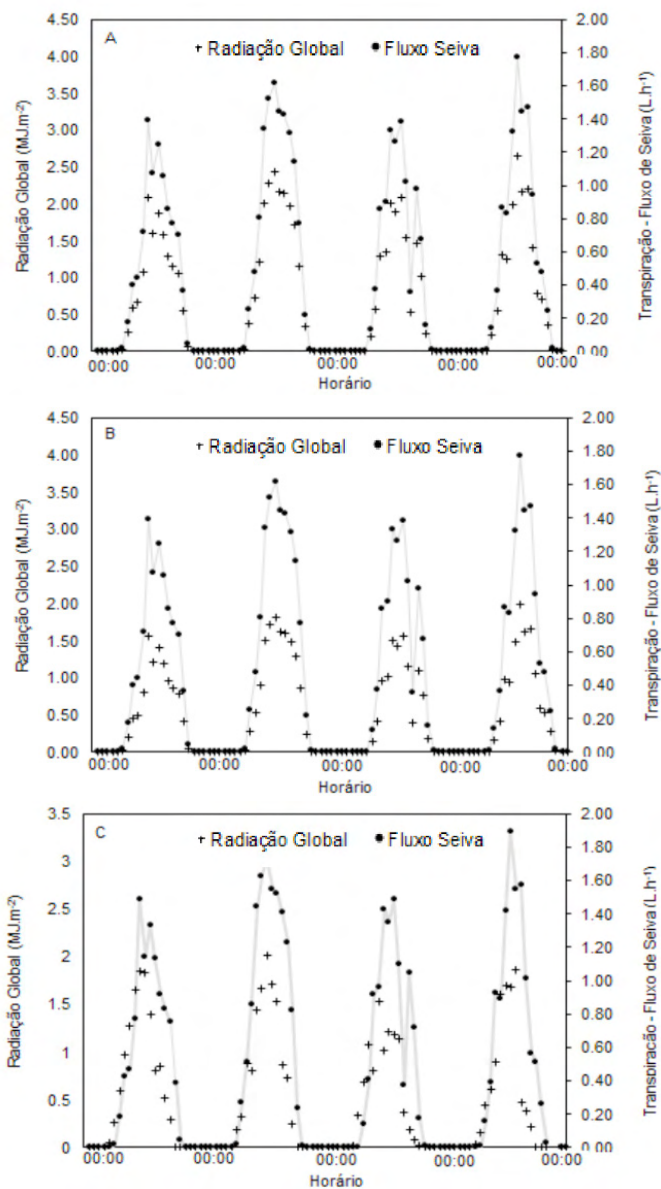


Figura 3. Transpiração estimada pela sonda de dissipação térmica e radiação solar global ao longo de cinco dias de avaliação nos tratamentos de poda P1 (A), P3 (B) e P2(C).

Nota-se que a transpiração apresenta uma variabilidade entre os tratamentos de poda, sendo maior para as plantas com o tratamento de poda 2 (poda de 1,5 m de altura por 1,5 m de largura).

O tratamento de poda P2, por ser o de poda menos drástica, pode ter apresentado maior área foliar, este fato explica uma maior transpiração por parte das plantas deste

tratamento, pois há uma maior superfície evaporante da planta voltada para atmosfera. Aliada à área foliar, a poda aumenta a turbulência da folha com a atmosfera, promovendo uma diminuição da camada limítrofe e conseqüente aumento na perda de água.

Gush (2008) estudou a transpiração de plantas de pinhão-mansão conduzidas sem irrigação e em áreas com solos pouco férteis. O autor obteve medidas do fluxo de seiva de plantas jovens (4 anos) e maduras (12 anos) para avaliar o consumo hídrico destas. As medidas foram realizadas por período de 17 meses usando o método da razão de calor (BURGESS et al., 2001). Segundo Gush (2008), esse método foi escolhido devido a sua habilidade para medir taxas pequenas de fluxo, o que costuma ser característico das plantas que crescem sem irrigação nesses locais avaliados. Considerando um período de um ano, o autor encontrou fluxo de seiva de, aproximadamente, 1 940 L pl⁻¹ para plantas jovens e 4 460 L pl⁻¹ para plantas maduras. Esses valores foram extrapolados da escala de uma planta para de lavoura considerando população de 740 pl ha⁻¹, o que representou consumo hídrico de, aproximadamente, 144 e 330 mm ano⁻¹ para plantas jovens e maduras, respectivamente. O autor considerou que o fluxo de seiva variou com o tempo devido em grande parte a natureza decidual da espécie, embora também haja influência da duração do dia e da precipitação. Valores diários foram bastante influenciados pela disponibilidade energética (radiação solar), pelo déficit de pressão de vapor atmosférico e pelos eventos de chuva que restituíam a umidade do solo. Para plantas jovens, o maior valor de fluxo de seiva diário foi de 32,9 L dia⁻¹ (2,4 mm dia⁻¹), enquanto que a média diária ao longo do ano foi de, aproximadamente, 5,3 L dia⁻¹ (0,4 mm dia⁻¹). Para plantas maduras, esses valores foram 79,6 e 12,3 L dia⁻¹ (5,9 e 0,9 mm dia⁻¹), respectivamente.

Na Figura 4, o valor máximo do fluxo de seiva foi alcançado quando o déficit de pressão de vapor atingiu 1,47 kPa. Apesar da máxima transpiração não ter sido verificada com o máximo DPV, percebe-se uma característica de proporcionalidade direta entre as curvas, ou seja, à medida que o DPV aumenta ocorre um aumento na transpiração das plantas, sendo a transpiração diminuída com a diminuição do DPV. Sendo a planta de pinhão manso bastante resistente à seca, possivelmente, com boa disponibilidade de água no solo, a mesma continua com os estômatos abertos, mesmo nos períodos mais quentes do dia.

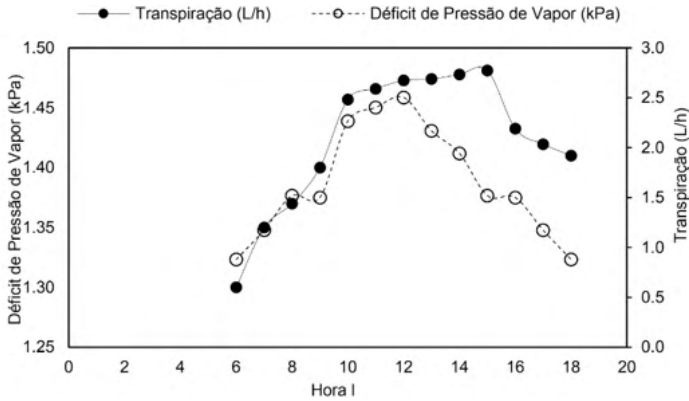


Figura 4. Comportamento diário da transpiração e DPV (da planta de pinhão manso).

Os valores de fluxo de seiva ao longo do dia em função do DPV podem ser observados na Figura 52, por meio das setas.

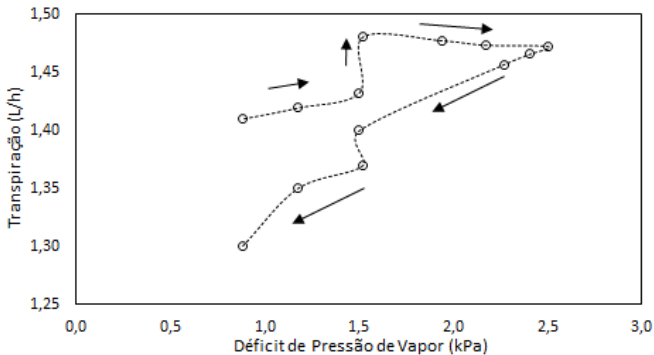


Figura 5. Relação entre transpiração e DPV para a planta de pinhão manso.

Analisando a Figura 5 percebe-se que a transpiração após a ascensão se normaliza e posteriormente decresce, sendo possível verificar uma tendência de histerese na curva. Possivelmente com a avaliação sendo feita para todo o dia, a curva se fecharia. Verificou-se valor máximo de transpiração de $2,5 \text{ L h}^{-1}$ ocorrendo ao meio dia com DPV de $1,47 \text{ kPa}$ e valor mínimo de transpiração de $1,3 \text{ L h}^{-1}$, verificado às seis horas da manhã e DPV de $0,9 \text{ kPa}$.

CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi realizado, conclui-se que o método de dissipação térmica pode ser utilizado para a determinação da transpiração de pinhão-manso.

REFERÊNCIAS

GRANIER, A.; GROSS, P. **Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique.** Annales des Sciences Forestières, 1987, EDP Sciences. p.1-14.

LU, P.; CHACKO, E. **Evaluation of Granier's sap flux sensor in young mango trees.** Agronomie, v. 18, n. 7, p. 461-471, 1998. ISSN 0249-5627.

FERREIRA, M. I. F. R.; SILVESTRE, J. C. **Medição da transpiração em cobertos descontínuos: vinha em diferentes declives na região do oeste.** 7º Congresso da Água, p. 11, 2004.

GRANIER, A. **A new method of sap flow measurement in tree stems.** Annales des Sciences Forestieres, v. 42, n. 2, 1985.

ROJAS, J. S. D. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação.** 2003. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, R.; OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, M.; AJUDA, T. **Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do entre douro e minho.** 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora, 2017.

VELLAME, L. M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo Piracicaba.** Doutorado, 2010. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

GUSH, M. B. **Measurement of water-use by *Jatropha curcas* L. using the heat-pulse velocity technique.** Water SA, v.34, n.5, p.1-5, 2008. ISSN 1816-7950

BURGESS, S. S. O. et al. **An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants.** Tree Physiology, v.21, n.9, p.589-598, 2001.

CAPÍTULO 7

CLASSIFICAÇÃO EM PENEIRA DE GRÃOS DO CAFEIRO CONILON SOB MANEJO IRRIGADO E SEQUEIRO

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Matheus Gaspar Schwan

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Engenharia Rural Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/1545052815412092>

Pedro Henrique Steill de Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Engenharia Rural Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/6239015773884711>

Jussara Oliveira Gervasio

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Engenharia Rural Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/9053400054430634>

Joab Luhan Ferreira Pedrosa

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Agronomia Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/2092444642938737>

Ralph Bonandi Barreiros

Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias – CCA - UFV/ Departamento de Fitotecnia Viçosa- Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/4748374536970054>

Lucas Rosa Pereira

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Engenharia Rural Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/3503162082403841>

Edvaldo Fialho dos Reis

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – CCAE -UFES/ Departamento de Engenharia Rural Alegre- Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/2317496014692033>

RESUMO: O desenvolvimento dos grãos do cafeeiro pode vir a ser prejudicado em função das condições climáticas e hídricas. Com isso, objetivou-se nesse trabalho, avaliar o tamanho de grãos de cafeeiro conilon 'Vitória', em diferentes manejos de irrigação. O experimento foi conduzido em um esquema de parcela subdividida 3 x 13, em um delineamento em blocos casualizados com três repetições. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey para comparações entre o fator manejo e Scott-Knott para comparações entre o fator clone. A irrigação influenciou no tamanho dos grãos, sendo os maiores valores de grãos retidos em peneira 13 e superiores, encontrados nos manejos irrigados e os maiores valores fundagem em plantas sem irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea Canephora*, água, tamanho, déficit hídrico, qualidade física.

CLASSIFICATION OF CONILON COFFEE GRAINS IN SIEVE UNDER IRRIGATED MANAGEMENT AND DRYLAND

ABSTRACT: The development of coffee beans may be impaired due to climatic and water conditions. Thus, the objective of this work was to evaluate the size of conilon coffee beans 'Vitória', in different irrigation managements. The experiment was carried out in a 3 x 13 split plot scheme, in a randomized block design with three replications. The experimental data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test for comparisons between the management factor and Scott-Knott for comparisons between the clone factor. Irrigation influenced the size of the grains, with the highest values of grains retained in sieve 13 and higher, found in irrigated managements and the highest values founding in plants without irrigation.

KEYWORDS: *Coffea Canephora*, water, size, water deficit, physical quality.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um principal produtor e exportadores de cafés do mundo, sendo o segundo maior consumidor da bebida no mundo. A produção de café conilon, serve como base para o preparo de cafés solúveis que são consumidos em vários países, tornando este produto extremamente importante no mercado nacional e internacional (USDA, 2017; USDA, 2018; CONAB, 2019).

O estado do Espírito Santo possui um grande destaque nesse cenário, pois além de ser o segundo maior produtor de café do país com 22,3% da produção, destaca-se também, como o responsável por 63,4% de todo o café conilon brasileiro (CONAB, 2019). Entretanto, devido à má distribuição de chuvas, condições climáticas não favoráveis e restrições hídricas, o desenvolvimento do café conilon pode vir a ser prejudicado, principalmente na fase de floração e enchimento dos grãos.

O déficit hídrico é um dos principais fatores responsáveis pela queda produção, sendo também, responsável pela queda da qualidade, pois o déficit hídrico no cafeeiro, após a fecundação pode prejudicar o crescimento dos frutos (CAMARGO, 2010). Sendo assim, muitos produtores têm adotado a prática da irrigação com o intuito de fornecimento de água para melhor desenvolvimento da cultura. Sendo essa prática, quando bem adotada e implementada, pode vir a melhorar a produção e a qualidade da produção (FERRÃO et al., 2012). Porém, em muitas das áreas cultivadas, não é feito um manejo correto da irrigação, o que pode resultar em aplicações insuficientes ou excessivas de água, podendo fazer com que as plantas apresentem respostas diferentes do esperado.

O tamanho do grão é fortemente influenciado pelas condições hídricas da planta, visto que em condições adequadas, ocorre a maior expansão do fruto, resultando em maior tamanho e melhor tipo (REZENDE et al., 2006). Entretanto, são poucos os estudos disponíveis que associem o manejo da irrigação com a classificação física dos grãos de café.

O presente trabalho teve por objetivo, realizar a classificação física via peneira dos grãos de cafeeiro conilon variedade 'Vitória, em diferentes manejos de irrigação.

2 I METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma lavoura de 0,42 ha cultivada de *Coffea canephora Pierre, variedade 'Conilon Vitória Incaper 8142'*, constituída por treze clones, localizada no Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Fazenda Caixa D'Água, distrito de Rive, localizado na latitude 20°25'53" S e longitude 41°27'25" W, altitude média de 137 m e precipitação média anual de 1250 mm. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilo-arenosa.

O experimento foi montado em um esquema de parcela subdividida 3 x 13, sendo nas parcelas o fator manejo de irrigação em três níveis (irrigado com 100% da ETc, irrigado com 50 % da ETc e sem irrigação) e nas subparcelas o fator clone em treze níveis (V1; V2; V3; V4; V5; V6; V7; V8; V9; V10; V11; V12 e V13), em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Para realização da irrigação, foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão convencional, constituído por três linhas laterais, apresentando cada uma, quatro aspersores setoriais, espaçados por 18 x 18 m, com bocais 5,6 x 3,2 mm e vazão de 2,66 m³ h⁻¹, sendo o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 81,0%.

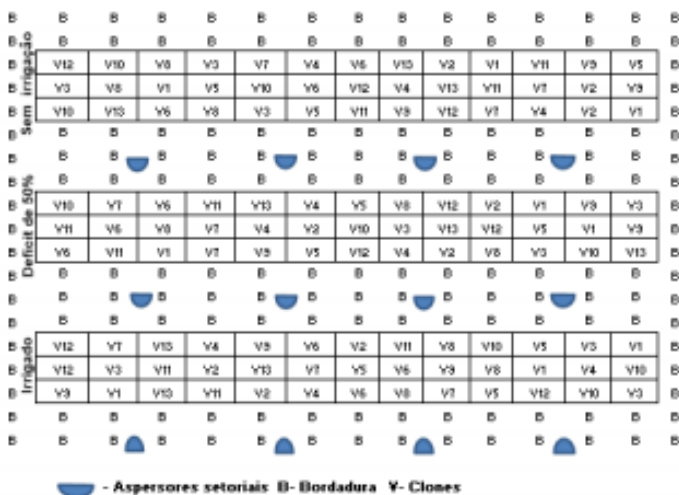


Figura 1- Esquema do Experimento.

Fonte: Pereira (2015)

Para a realização do manejo da irrigação, foi adotado o manejo via clima. Sendo

a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1985). Para obtenção da ET_c (Evapotranspiração da Cultura) foi utilizado um K_c de 1,1. Na figura abaixo (Figura 2) é possível observar o gráfico com os valores de evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura, precipitação e lâminas de irrigação aplicadas no período de outubro de 2019 a fevereiro de 2020.

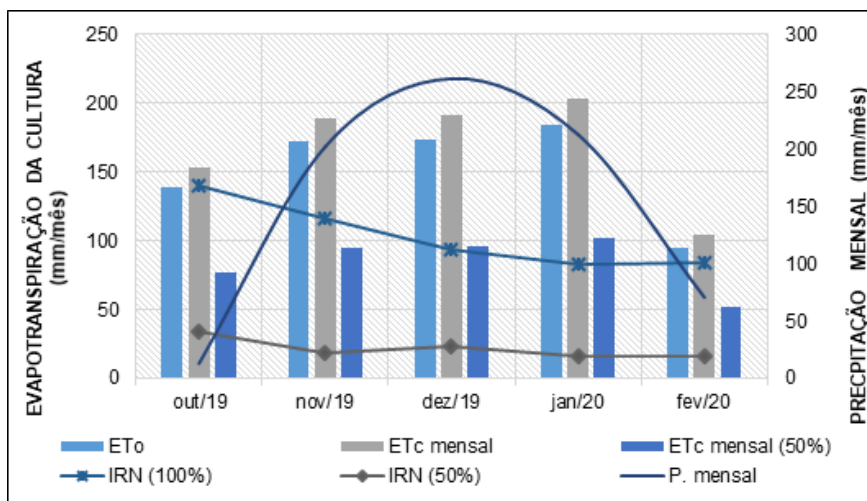


Figura 2 – Precipitações (P), evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) e lâminas de irrigação (IRN) aplicadas no período de outubro/2019 a fevereiro/2020.

A classificação por peneira foi realizada a partir de 300 g de amostra de café beneficiado, segundo as dimensões dos crivos, sendo numeradas de 10, 11 e 12 para grãos moça, sendo determinados os percentuais de grãos retidos nas respectivas peneiras, seguindo-se a Instrução Normativa N° 8, de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003).

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott para comparação entre o fator clone e Tukey para o fator manejo, ambos em 5% de probabilidade, utilizando o *software* R (R CORE TEAM, 2020) com auxílio do pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância para as variáveis: moça, peneira 13 e superiores e fundagem. Verificou-se que houve efeito significativo para a interação manejo x clone, em nível de 5% de probabilidade, devendo-se proceder à análise de forma desdobrada.

Nas Figuras abaixo, encontram-se o percentual de grãos moça, peneiras 13 e

superiores e fundagem, em função do manejo de irrigação e clone da variedade 'Conilon Vitória'.

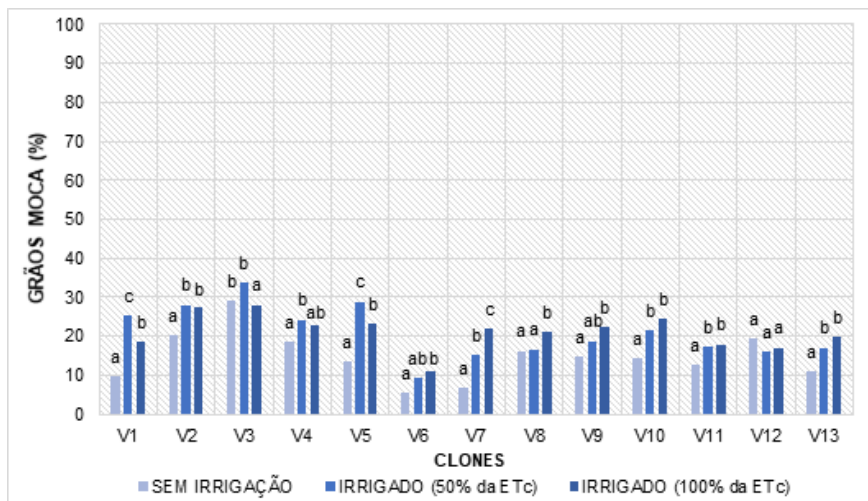


Figura 3 - Percentual de grãos moca em função dos manejos de irrigação para cada clone do cafeeiro 'Conilon Vitória'

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

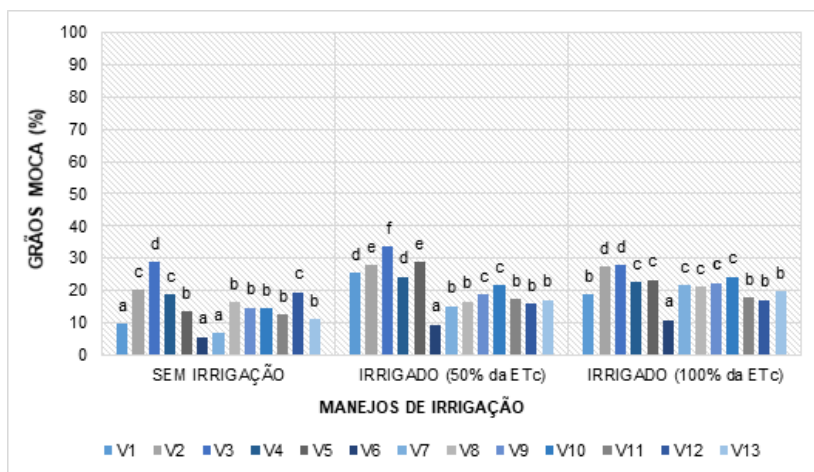


Figura 4 - Percentual de grãos moca em função dos treze clones do cafeeiro 'Conilon Vitória' para cada manejo (irrigado com 100% da ETC, irrigado 50% da ETC e sem irrigação).

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Analisando-se a Figura 3, é possível observar que comparando os níveis de manejo da irrigação, as plantas do nível com 100% da ETc e nível com 50% da ETc, apresentaram os maiores percentuais de grãos moca. O clone V12, não apresentou diferenças estatísticas quando comparados os manejos, entretanto, quando se analisa o comportamento do clone dentro dos níveis de manejo da irrigação, é possível observar que o nível sem irrigação, apresentou o maior percentual de grãos moca para este clone. Esses resultados vão de acordo com resultados obtidos por Pereira (2015), estudando o efeito de diferentes manejos de irrigação sobre o tamanho dos grãos de conilon 'Vitória', foi observado que o clone V3, apresentou a maior porcentagem de grãos do tipo moca.

A média obtida da variedade em condições irrigadas para o nível de 100% da ETc, 21,20%, em condições irrigadas para o nível de 50% da ETc, apresentou 20,95% e em condições para o nível de sem irrigação, a média da variedade foi de 14,75%. Em condições irrigadas tanto com o nível de 100% da ETc ou com o nível de 50% da ETc, os valores foram próximos ao de 21,40% obtido por Fonseca et al. (2004) como valor médio da variedade 'Conilon Vitória'.

O conhecimento desse tipo de grãos dentro é necessário, pois a mistura de grãos tipo chato e moca influenciam de forma negativa na qualidade da bebida, pois durante a torra do café, os grãos maiores torram lentamente, enquanto os menores torram rapidamente e queimam, diminuindo a qualidade da bebida (SILVEIRA et al., 2015).

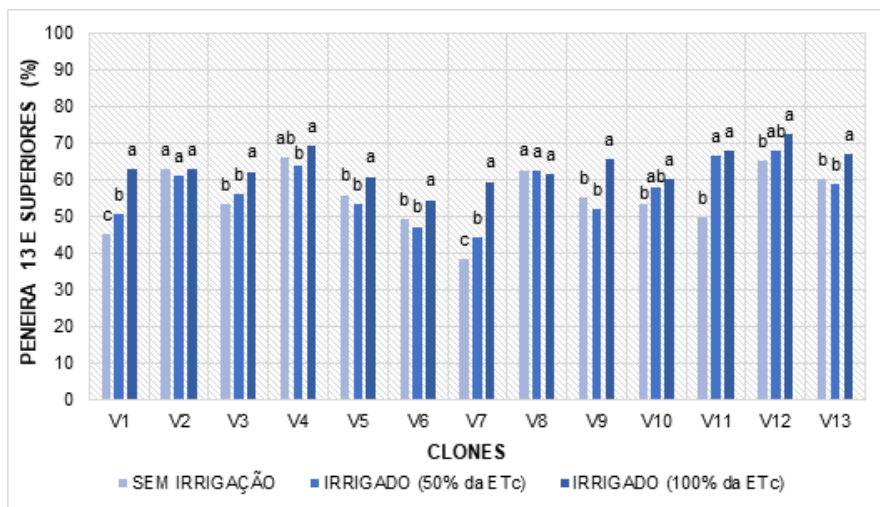


Figura 5 - Percentual de grãos retidos em peneira 13 e superiores para cada manejo de irrigação nos clones do cafeeiro 'Conilon Vitória'

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (A) e Scott-Knott (B) em nível de 5% de probabilidade.

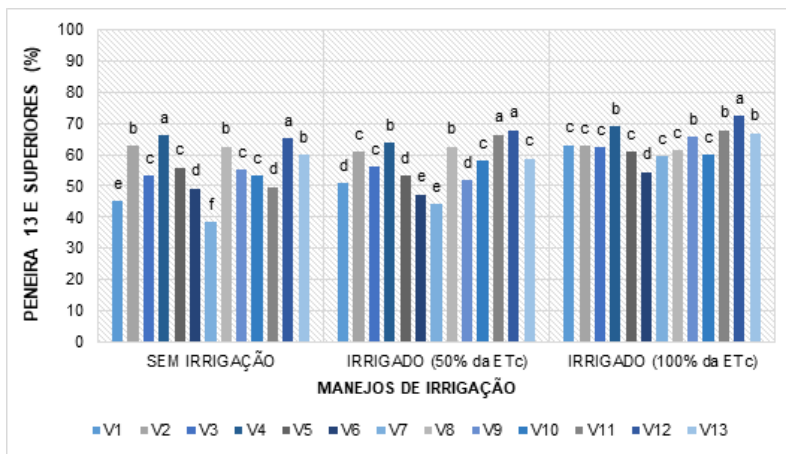


Figura 6 - Percentual de grãos retidos em peneira 13 e superiores em função dos treze clones do cafeeiro ‘Conilon Vitória’ para cada manejo (irrigado com 100% da ETc, irrigado 50% da ETc e sem irrigação).

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (A) e Scott-Knott (B) em nível de 5% de probabilidade.

Analisando-se a Figura 5, tem-se o percentual de grãos retidos em peneira 13 e superiores. Observa-se que os maiores percentuais foram obtidos em plantas irrigadas para o nível de 100% da ETc e plantas irrigadas para o nível de 50% da ETc. Quando comparado os níveis do manejo de irrigação, é possível observar que as plantas do nível irrigado de 100% da ETc, apresentaram maior percentual, não ocorrendo diferença estatística para os clones V2 e V8. Quando se estuda o comportamento do clone dentro de cada nível manejo, é possível observar que os maiores valores de grãos retidos em peneira 13 e superiores foram obtidos no manejo irrigado de 100% da ETc, sendo o V12, o clone que obteve o maior percentual do nível de manejo irrigado com 100% da ETc e no nível de manejo irrigado com 50% da ETc.

Analisando a Figura 6, é possível observar que no manejo do nível sem irrigação, os clones V4 e V12, diferiram estatisticamente dos demais. O clone V7 apresentou o menor percentual da variedade em condições sem irrigação. Porém, quando se compara o clone V1 e V7 com o nível de 100% da ETc é possível observar que o clone apresentou uma melhor resposta. Enquanto o V1 em condições sem irrigadas apresenta 45,20% dos grãos retidos em peneira 13 e superiores, para o nível de 100% da ETc, ele apresentou um valor de 63,08%. O clone V7, para o nível sem irrigação apresentou um percentual de 38,55% de grãos retidos em peneira 13 e superiores, enquanto para o nível de 100% da ETc apresentou um percentual de 59,49%, mostrando o efeito benéfico da irrigação sobre a cultura. Para alguns autores como Dardengo et al (2018), lavouras irrigadas apresentam maior percentual de grãos retidos em peneira 13 e superiores, em relação as de sequeiro,

isso demonstra maior granação do café irrigado. De acordo Rena e Maestri (2000), o tamanho do grão de café é determinado no período compreendido entre a 10ª e 17ª semanas após a florada, quando o fruto expande rapidamente, sendo a água a responsável por esse aumento de volume, o que justifica a diferença entre o tamanho dos grãos em plantas em condições sem irrigação e irrigadas.

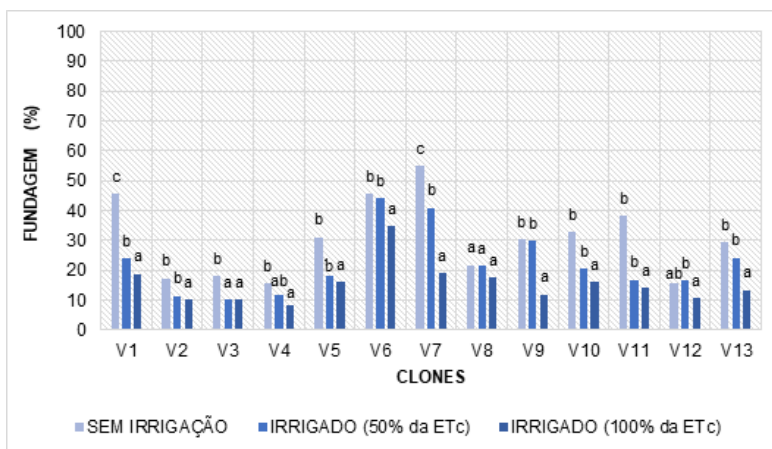


Figura 7 - Percentual de grãos retidos em fundagem para cada manejo de irrigação nos clones do cafeeiro 'Conilon Vitória'

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (A) e Scott-Knott (B) em nível de 5% de probabilidade.

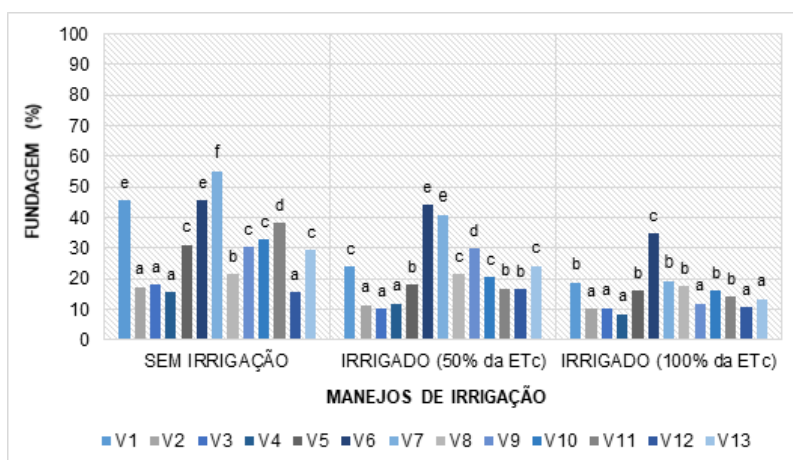


Figura 8 - Percentual de grãos retidos em fundagem em função dos treze clones do cafeeiro 'Conilon Vitória' para cada manejo (irrigado com 100% da ETC, irrigado 50% da ETC e sem irrigação).

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (A) e Scott-Knott (B) em nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 7, observam-se os valores de grãos retidos em fundagem. Comparando-se os valores obtidos entre plantas irrigadas para o nível de 100% da ETc, irrigadas para o nível de 50% da ETc e para o nível sem irrigação, é possível observar que para o nível sem irrigação, apresentou em média o maior valor de fundagem. Quando se compara os clones dentro de cada nível do manejo irrigado, observa-se que os clones V1 e V7 apresentaram os maiores valores de grãos retidos em fundagem. Para o clone V8 não ocorreu diferença estatística entre os níveis de manejos. Quando se analisa os clones em cada nível de manejo, é possível observar, que as plantas sem irrigação, apresentaram os maiores valores de grãos retidos em fundagem. Os clones V1 e V7, apresentaram os maiores valores retidos em fundagem em condições sem irrigadas, porém, quando se compara esses clones com os manejos irrigado com nível de 100% da ETc e irrigado com o nível de 50% da ETc, foram obtidos valores menores. O clone V1 em condições sem irrigação apresentou 45.65% de grãos em fundagem, quando comparado com o nível do manejo irrigado com 50% da ETc, apresentou 24,13% e 18.81% quando irrigado com o nível de 100% da ETc. O clone V7 para o nível sem irrigação apresentou 55,06% de grãos em fundagem, para o nível de 50% da ETc, apresenta 40,97% e para o nível de 100% da ETc, 19,07%. O menor valor de grãos em fundagem obtidos em plantas irrigadas está relacionado à nutrição das plantas que é favorecida pelo fornecimento adequado de água, melhor granação e menor proporção de grãos chochos e conseqüentemente, maior retenção em peneira 13 e superiores.

4 | CONCLUSÕES

A irrigação influenciou no tamanho dos grãos, plantas irrigadas apresentaram o maior valor retido em peneira 13 e superiores.

Os maiores percentuais de grãos em fundagem podem ser observados em plantas não irrigadas.

Os maiores percentuais de grãos do tipo moca podem ser observados em plantas irrigadas com 50% da ETc e sem irrigação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Instrução normativa Nº 8, de 11 junho de 2003**. 11 p.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 239-247, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: café – primeiro levantamento safra 2019. Brasília: CONAB, 2019. v.5, n.1, 62p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-cafe/boletim-dasafra-de-cafe>>.

DARDENGO, Maria Christina Junger Delôgo et al. YIELD, QUALITY AND WATER CONSUMPTION OF CONILON COFFEE UNDER Dardengo, M. C. J. D. et al. IRRIGATED AND DRYLAND MANagements. **Coffee Science**, Lavras, p. 272, 19 mar. 2018.

FERRÃO, Romário Gava et al. **CAFÉ CONILON TÉCNICAS DE PRODUÇÃO COM VARIEDADES MELHORADAS**. 4ª Ed. Vitória/ES: Incaper, 2012.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.0. 2018.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

PEREIRA, L. R. CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E RENDIMENTO DOS CLONES DA VARIEDADE 'CONILON VITÓRIA' EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO E IRRIGADO. 2015. Ano de obtenção: 2015. **Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)** – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2015.

R Core Team (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RENA, A. B.; MAESTRI, R. Relações hídricas no cafeeiro. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 48, n. 1, p. 34-41, 2000.

REZENDE, F. C.; OLIVEIRA, S.R.; FARIA, M. A.; ARANTES, K. R. Característica produtiva do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv., Topázio MG - 1190), recepado e irrigado por gotejamento. **Coffe Science**, Lavras, v.1, n.2, p.103-110, 2006.

SILVEIRA, J. M. C.; DE LIMA JÚNIOR, S.; NASSER, M. D.; CORREIA, E. A.; JANOSKI, S. L. Produção e tamanho de grãos de café *Coffea Arabica* L (CV OBATÁ) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n. 4, p.204. 2015.

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Supply and Distribution Online. United States Department of Agriculture 2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>.

VACARELLI, V. N.; MEDINA FILHO, H.P.; FAZUOLI, L.C. Avaliação de frutos chochos e de sementes do tipo moca no rendimento de híbridos arabustas tetraploides (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v.9, n.3, p 155-165, 2003.

CAPÍTULO 8

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM PYTHON PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE THORNTHWAITE

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

João Pedro dos Santos Verçosa

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/3979763280514620>

Victor Rodrigues Nascimento

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/3278958657730958>

André Luiz de Carvalho

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/0566251028412547>

Arthur Costa Falcão Tavares

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/1057849427075216>

Guilherme Bastos Lyra

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/1815395937563072>

Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
(CECA)

Rio Largo – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/1182262725256210>

RESUMO: Entre os métodos para estimar a Evapotranspiração Potencial (ET_0), o de Thornthwaite é o menos exigente em relação às variáveis de entrada, requerendo, apenas, dados de temperatura média do local. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um software em linguagem Python para viabilizar o planejamento e o manejo da irrigação para regiões de difícil acesso a dados climáticos, obtidos de estações meteorológicas, com apenas a temperatura média mensal como dado de entrada, além da informação referente a latitude do local. O estudo teve como base os dados oriundos de uma estação meteorológica do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), localizada em Rio Largo, AL. Para avaliar o desempenho do software foi realizada a comparação entre os dados de ET_0 obtidos pelos métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith, através dos parâmetros estatísticos: coeficientes de determinação (R^2), correlação de Pearson (r); Erro padrão da Estimativa (EPE) e os índices de concordância (d) e confiança (C). A correlação entre os valores obtidos apresentou os seguintes valores de r , d e c , respectivamente: 0,77; 0,82 e 0,63. Os resultados permitiram classificar o software como “regular” e indicou a viabilidade

para seu uso no planejamento e manejo da irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Água no solo; necessidade hídrica; modelagem; Python.

DEVELOPMENT OF A PYTHON SOFTWARE TO ESTIMATE THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION THROUGH THE THORNTHWAITE METHOD

ABSTRACT: Among methods to estimate Potential Evapotranspiration (ET_0), Thornthwaite methods has minor exigency in relation to input variables, requiring only average temperature data. In view of this, the present work aimed to develop software in Python language to enable the planning and management of irrigation for regions with difficult access to climatic data, obtained from weather stations, with only the average monthly temperature as input, besides latitude of the place information. The study was based on data from a meteorological station at the Laboratory of Irrigation and Agrometeorology (LIA), at the Federal University of Alagoas (UFAL), located in Rio Largo, AL. To evaluate the performance of the software, a comparison was made between the ET_0 data obtained by Thornthwaite and Penman-Monteith methods, using the statistical parameters: coefficients of determination (R^2), Pearson correlation (r); Standard error of the Estimate (EPE) and the agreement (d) and confidence (C) indices. The correlation between the values obtained showed the following r , d and c values, respectively: 0.77, 0.82 and 0.63. The results allowed to classify the software as “regular” and indicates its feasibility for irrigation planning and management using.

KEYWORDS: Water in the soil; water need; modeling; Python.

1 | INTRODUÇÃO

Para um planejamento, dimensionamento e manejo de um sistema de irrigação eficaz é necessário, a priori, um estudo sobre a água no solo. O conhecimento da demanda de água é fundamental uma vez que a necessidade de irrigação é, preliminarmente, determinada pelo balanço entre a precipitação e a evapotranspiração da cultura (ET_c), sendo essa, o produto entre a evapotranspiração potencial (ET_0) e o coeficiente de cultura (k_c). (PEREIRA *et al.*, 2007).

Utilizado por Thornthwaite, o termo “Evapotranspiração” expressa a ocorrência simultânea dos processos de perda da água do solo para a atmosfera e da transpiração das plantas. Doorenbos e Pruitt (1977) definiram o termo “Evapotranspiração de referência (ET_0)” como a que ocorre em uma superfície vegetada, com crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem deficiência hídrica.

As estimativas de ET_0 podem ser calculadas a partir de fórmulas empíricas, denominadas de método indireto, baseadas em elementos agrometeorológicos disponibilizados através de estações meteorológicas. Dentre as fórmulas empíricas utilizadas, a recomendada, conforme a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), está a do método de Penman-Monteith, utilizada para avaliação de outros métodos (ALLEN *et al.*, 1998). Entre os métodos para estimar a ET_0 , o de Thornthwaite é o menos exigente em relação às variáveis de entrada, requerendo, apenas,

dados de temperatura média do local.

Com o avanço tecnológico, linguagens e programas estão sendo utilizados na obtenção de resultados, a partir da possibilidade de armazenar e processar dados. Gocic & Trajkovic (2010) ao utilizar a linguagem de programação C#, desenvolveram um software que apresenta estimativas da evapotranspiração calculadas usando dados meteorológicos limitados.

Dentre as linguagens de programação existentes, Python destaca-se pela facilidade de aprendizado e velocidade nos resultados. O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um software em Python 3, para disponibilizar informações aos produtores e interessados, acerca da ET_0 em regiões com dados agrometeorológicos limitados. Os resultados gerados pelo software são fundamentais ao estabelecimento de alternativas de planejamento mais eficazes para utilização de água para a irrigação.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As variáveis agrometeorológicas utilizadas para calcular as estimativas de ET_0 e, concomitantemente, inseridas no aplicativo, foram obtidas de uma estação meteorológica automática pertencente ao Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizada no município de Rio Largo - AL (9°28" S, 35°49" W e 127 metros de altitude), situado na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O clima é $B_2sB'_4b'_3$ Mesotérmico Úmido, conforme classificação de Thornthwaite. A precipitação pluvial anual média é de 1.800 mm, com o período chuvoso iniciando na primeira quinzena de abril e terminando na segunda quinzena de outubro. A temperatura média da região, com uma probabilidade de 80%, é de 23,14°. Os dados meteorológicos utilizados nesse trabalho correspondem aos valores mensais do ano de 2019.

A ET_0 padrão foi calculada pelo método de Penman-Monteith (FAO56) (Equação 1), e denominada de ET_{0PM} seguindo a metodologia proposta por Allen *et al.* (1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 s (R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Onde ET_0 – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_n - saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G - fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); U_2 - velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s - pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa); e_a - pressão do vapor d'água do ar (kPa); T - temperatura média diária do ar (°C); s - inclinação da curva da pressão de vapor saturado versus temperatura (kPa °C⁻¹); γ - coeficiente psicrométrico (0,063 kPa °C⁻¹).

A R_n foi calculada como fração da irradiação solar (Hg) ($R_n = 0,572 Hg$; com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,927), feita com medições em grama em condições padrão, conforme Allen *et al.* (1998), realizadas pelo LIA da UFAL.

O método de Thornthwaite, empregado no script do programa (ET_pT), foi aplicado de acordo com Pereira *et al.* (2007):

$$ET_pT = 16(10 \frac{T_n}{I})^a \quad 0 \leq T_n \leq 26,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$ET_pT = -415,85 + 32,24 T_n - 0,43 T_n^2 \quad T_n > 26,0 \quad (3)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_n)^{1,514} \quad (4)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (5)$$

Onde ET_pT – evapotranspiração potencial (mm mês^{-1}); T_n – temperatura média do mês ($^\circ\text{C}$); I – índice que expressão nível de calor na região; a – expoente função do índice.

Para obter-se a ET_0 do mês correspondente, o valor de ET_pT é corrigido em função do fotoperíodo e do número de dias do mês, portanto:

$$ET_0t = ET_pT \text{ Cor} \quad (6)$$

$$\text{Cor} = (ND/30)(N/12) \quad (7)$$

Onde ND – número de dias do mês em questão; N – fotoperíodo daquele mês.

Para entrada de dados, foi desenvolvida uma interface interativa para o software, visando facilitar a manipulação dos dados e agilizando a interpretação dos resultados, conforme Figura 1.

Figura 1 - Interface gráfica do software para entrada de dados

Fonte: Os Autores (2021)

Os resultados da estimativa de ET_0 aparecem, para o usuário, de forma intuitiva e de simples visualização e manipulação. Foi realizada a análise dos valores estimados pelo método padrão (ET_{0PM}) e os estimados através dos cálculos do software a fim de se obter a correlação entre eles, baseando-se nos seguintes indicadores estatísticos: coeficiente linear (a); coeficiente angular (b); coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (R^2); índice de concordância (d) de Willmott; erro padrão da estimativa (EPE) e pelo coeficiente de confiança ou desempenho (c). O erro padrão da estimativa (EPE) (mm mes^{-1}), descrito por Allen *et al.* (1986), foi determinado conforme Equação 8:

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad (8)$$

O índice de Willmott (d), proposto por Willmott *et al.* (1985), foi determinado conforme Equação 9:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (9)$$

Onde P_i – ET_{Pt} (mm mês^{-1}); O_i – ET_{oPM} (mm mês^{-1}); O – média dos valores de ET_{oPM} (mm mês^{-1}).

Os valores para “d” podem variar de 0, para nenhuma concordância, a 1, para maior concordância. O índice “c”, proposto por Camargo & Sentelhas (1997), é obtido através do produto entre o índice de Willmott (d) e o coeficiente de correlação (r). A interpretação do resultado deve estar de acordo com os referidos autores, conforme a Tabela 1:

Índice de desempenho (c)	Classificação
> 0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Regular
0,41 – 0,50	Mal
≤ 40	Péssimo

Tabela 1 - Critério de interpretação do desempenho do método pelo índice “c”

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos e os resultados do índice classificatório de desempenho da análise feita a partir da comparação dos resultados da ET_0 , calculados pelo modelo padrão (ET_{0PM}), com as variáveis obtidas através da

estação meteorológica, e os resultados obtidos através do software, utilizando o modelo de Thornthwaite. Os resultados da estimativa da ET_0 são apresentados pelo software através de sua interface gráfica (Figura 2).

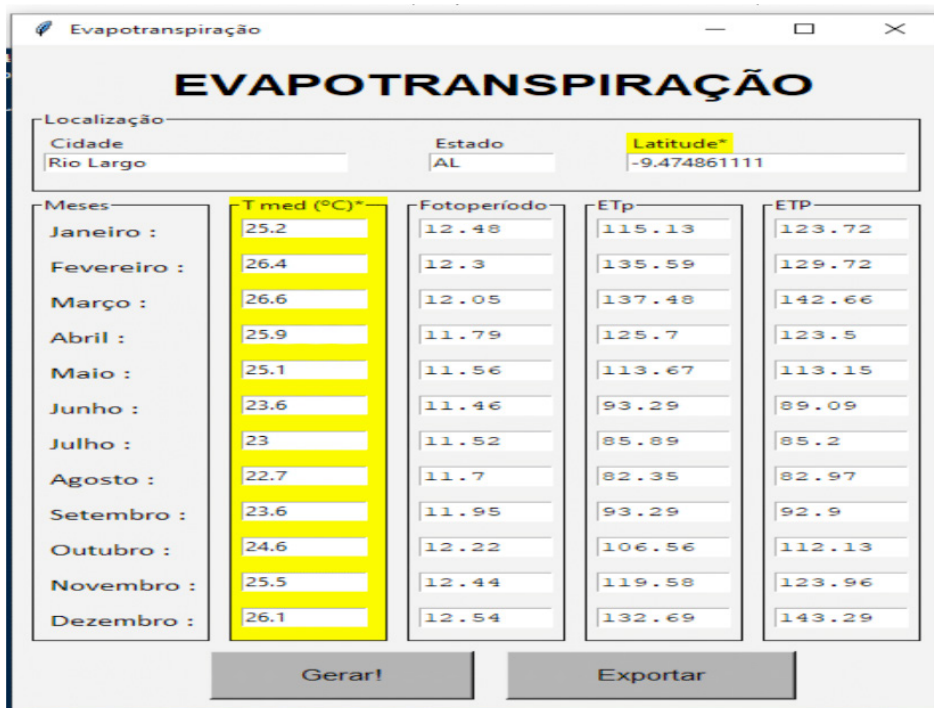


Figura 2 - Interface gráfica do software, com as entradas, nos widgets destacados em amarelo e as saídas (fotoperíodo médio do mês e ET_0)

Fonte: Os Autores (2021)

Ao analisar os coeficientes linear (a) e angular (b) do método utilizado pelo software, observa-se que foram estatisticamente significativos ($P > 0,01$, teste t). O método utilizado pelo software (ET_0T) apresentou apenas um desempenho “regular”, conforme Camargo & Sentelhas (1977b), porém, obteve boa correlação entre os resultados. Conceição & Mandelli (2005) avaliando o desempenho dos métodos que utilizam a temperatura do ar como variável de entrada e comparando os resultados aos valores obtidos através do método padrão-FAO, observaram que os valores de (d) e (c) para o método de Thornthwaite foram, respectivamente, 0,79 e 0,58. Esses valores são ligeiramente inferiores ao observados neste trabalho, essa divergência ocorre em virtude das diferenças climáticas entre as regiões estudadas. Camargo *et al.* (1999) constataram que, para regiões de clima seco, usando a temperatura média convencional (T_{med}) como variável de entrada, os valores da

ET_0 foram superestimados. Porém, ao utilizar a temperatura média efetiva (Tef) observou-se melhora no desempenho da equação.

Método	R ²	EPE	a	b	d	c	Desempenho***
ET_0T (software)	0,60	14,18	0,8381**	10,68**	0,82	0,63	Regular

Tabela 2 - Índice de Concordância de Willmott (d) e desempenho (c) para valores mensais de ET_0 calculada pelo software e comparados com o método padrão de Penman-Monteith. Período de janeiro a dezembro de 2019, Rio Largo, AL (WILLMOTT *et al.*,1985).

** Significativo a nível de 1% de probabilidade pelo teste t; *** Classificação do desempenho, conforme Índice c, de acordo com Camargo & Sentelhas (1997a).

Fonte: Os Autores (2021)

A correlação linear entre as variáveis, ET_0T e ET_0PM (Figura 3) é classificada, de acordo com Ferreira (2018) como correlação positiva alta, com um coeficiente de correlação de Pearson igual a 0,78. Gocic & Trajkovic (2010), ao analisar os resultados, encontraram uma concordância muito boa, em relação ao método padrão (ET_0PM), utilizando apenas a temperatura do ar como variável de entrada. O que mostra concordância com os resultados deste trabalho.

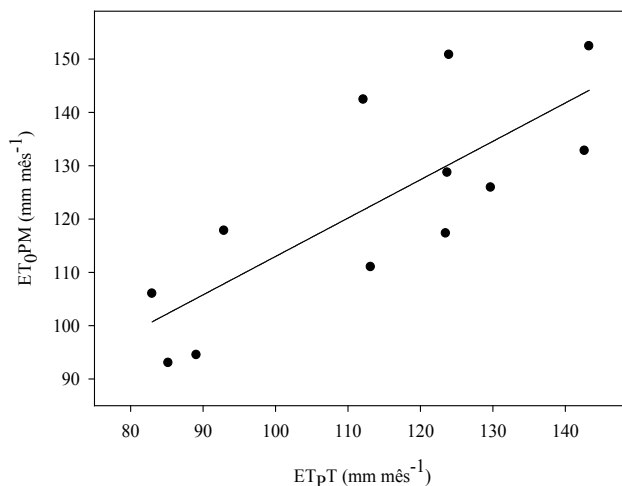


Figura 3 - Análise de regressão linear para Evapotranspiração Potencial pelo método de Thornthwite (ET_{0T}) e Evapotranspiração de Referência, calculada pelo método padrão, Penman-Monteith (FAO56) (ET_{0PM}), do ano de 2019 em Rio Largo, Alagoas.

Fonte: Os Autores (2021)

4 | CONCLUSÕES

Para regiões onde as variáveis meteorológicas são limitadas, o uso do software através do método de Thornthwaite, mostrou-se viável como uma ferramenta eficaz para uso no planejamento e manejo da irrigação.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 301p

CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. **Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n.2, p.251-257, 1999.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n.1, p.89-97, 1997.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Campinas, v.13, n.2, p. 303-307, 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO (Irrigation and Drainage Paper 24).

FERREIRA P. V. **Estatística experimental aplicada às Ciências Agrárias**. IV ed. UFV. Viçosa. 588p. 2018.

GOCIC M.; TRAJKOVIC S. **Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data**. Computers and Electronics in Agriculture, v.71, n.2, p. 158-162, 2010.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DNNELL, J.; ROWE, C. M. **Statistics for the evaluation and comparison of models**. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

CAPÍTULO 9

CONSTRUÇÃO, CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Ana Daniela Lopes

Universidade Paranaense
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/7007947329837035>

Vinicius Melo Rocha

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/0048316834651296>

Daniel Haraguchi Santos

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/5856344844936696>

Rafael Corradini

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/3435310100180223>

José Júnior Severino

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6485627325519360>

João Paulo Francisco

Universidade Estadual de Maringá
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6390892655943052>

Leonardo Duarte Batista da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica - RJ

<http://lattes.cnpq.br/1665042657360760>

Marcos Vinicius Folegatti

Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz” – ESALQ/USP

Piracicaba – SP

<http://lattes.cnpq.br/0610853022324361>

RESUMO: A determinação do real consumo hídrico das culturas agrícolas é fundamental para um manejo eficiente da irrigação, nesse sentido, a determinação da evapotranspiração das culturas torna-se peça chave. Dessa forma, objetivou-se a construção e calibração de quatro lisímetros de pesagem no interior de casa de vegetação. Os lisímetros foram constituídos por um vaso de 250 L, com área de 0,75 m². O sistema de pesagem dos lisímetros foi construído utilizando células de carga da marca HBM®, modelo Z6FC3 200kg, sendo utilizadas três células de carga, em disposição triangular, por lisímetro. A calibração foi realizada com 29 massas padrão que foram assumidas como referência, sendo sete de 0,47 kg (0,15 mm), sete de 1,57 kg (0,50 mm), oito de 6,28 kg (2,00 mm) e sete de 15,7 kg (5,00 mm). Os coeficientes angulares encontrados nos diferentes lisímetros apresentaram valores de 305,02; 305,42; 306,35 e 305,85 (kg·(mV·V-1)-1), para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Verificou-se que os lisímetros apresentaram altos valores de coeficiente de determinação após a calibração e baixos erros foram observados, confirmando que o uso de lisímetros de pesagem em casa de vegetação é uma boa opção para determinação da evapotranspiração de cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração, agricultura irrigada, conteúdo de água no solo.

CONSTRUCTION, CALIBRATION AND PERFORMANCE OF WEIGHING LYSIMETERS TO DETERMINE THE EVAPOTRANSPIRATION OF CULTURE

ABSTRACT: The determination of the real water consumption of crops is essential for efficient management of irrigation, in this sense, the determination of the evapotranspiration of the crops becomes a key part. Thus, the aim was to build and calibrate four weighing lysimeters inside the greenhouse. The lysimeters were constituted by a 250 L vessel, with an area of 0.75 m². The weighing system of the lysimeters was built using load cells of the brand HBM®, model Z6FC3 200kg, using three load cells, in a triangular arrangement, per lysimeter. Calibration was performed with 29 standard masses that were taken as reference, seven of 0.47 kg (0.15 mm), seven of 1.57 kg (0.50 mm), eight of 6.28 kg (2. Mm) and seven of 15.7 kg (5.00 mm). The angular coefficients found in the different lysimeters showed values of 305.02; 305.42; 306.35 and 305.85 (kg·(mV·V-1)-1), for lysimeters 1, 2, 3 and 4, respectively. It was found that the lysimeters showed high values of determination coefficient after calibration and low errors were observed, confirming that the use of weighing lysimeters in the greenhouse is a good option for determining the culture evapotranspiration.

KEYWORDS: Evapotranspiration, irrigated agriculture, soil water content.

1 | INTRODUÇÃO

A determinação da evapotranspiração (ET) é fundamental para o correto manejo da irrigação, sendo que a demanda hídrica de uma cultura pode ser obtida com maior precisão utilizando-se lisímetros. As principais vantagens do seu uso estão relacionadas à calibração, que pode ser validada mecanicamente; ao requerimento de bordadura, que é menor quando comparada a outros métodos, como micrometeorológicos, por exemplo; a possibilidade de completa automação e a facilidade de inspeções, pois o sistema é quase totalmente visível (Allen *et al.*, 2011).

Na literatura são descritos diferentes tipos de lisímetros, sendo que o tamanho e o projeto de montagem de cada um são baseados no requerimento específico do estudo e das condições de construção e custos envolvidos (Faria, Campeche e Chibana, 2006). Os lisímetros de pesagem, cujo sistema de medição é baseado em células de carga são considerados os de maior confiabilidade nas medições (Cruz-Blanco *et al.*, 2014), sendo utilizados para calibração dos demais métodos de estimativa de evapotranspiração.

Talvez o maior fator limitante para o emprego de lisímetros, principalmente os de pesagem, são os custos relativamente altos envolvidos em sua construção (Flumignan, 2012), o que fazem com que esses equipamentos sejam utilizados exclusivamente por instituições de ensino e/ou pesquisa. No entanto, a utilização desses equipamentos irão fornecer subsídios para que o manejo da irrigação seja realizado de forma o mais precisa possível, uma vez que como resultado de saída de um lisímetro bem montado e construído são os valores de coeficiente de cultivo (Allen *et al.*, 1998; Allen e Pereira, 2009; Taylor *et al.*, 2014).

É importante destacar que o coeficiente de cultivo de uma determinada cultura diz

respeito às características fenológicas e fisiológicas da cultura em questão (Marin, Jones e Boote, 2017), sendo, portanto o elo de ligação de conceitos físicos, uma vez que o K_c é determinado por meio da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência, com a biologia da planta. A grande limitação em se fazer o manejo da irrigação por meio da determinação de K_c está no fato de que o mesmo tem que ser um valor que represente as condições locais de cultivo, sendo o mesmo totalmente dependente das condições meteorológicas decorrentes da estimativa da evapotranspiração de referência.

Essa afirmativa é verdadeira quando (Doorenbos e Pruitt, 1975) afirmaram que existe, obrigatoriamente, a necessidade de calibração dos coeficientes de cultivo para as condições locais, além das determinações serem realizadas ao longo de todos os estádios de desenvolvimento das culturas. Outros pesquisadores já confirmaram essa afirmação (Allen *et al.*, 2011; Payero e Irmak, 2013; Pereira *et al.*, 2003; Silva, Da *et al.*, 2016; Taylor *et al.*, 2014), e quando se pensa em diminuição de riscos nas safras agrícolas principalmente no que diz respeito a culturas que não necessitam de grandes áreas de cultivos, a construção e avaliação de lisímetros para serem utilizados no interior de casas de vegetação se tornam uma realidade. Entender o comportamento das diferentes espécies vegetais, quando submetidas às condições micrometeorológicas no interior de casas de vegetação, se mostra fundamental para essa nova fase da agricultura que podemos viver futuramente.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar a construção, calibração e avaliação de quatro lisímetros de pesagem operando no interior de uma casa de vegetação.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental e do material solo

O experimento estudo conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (casa de vegetação), localizada no município de Piracicaba - SP (latitude 22°43'31"; longitude 47°38'57"; altitude 547 m).

O solo utilizado para preenchimento dos lisímetros foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho-amarelo distrófico (Embrapa, 2013), obtido na profundidade de 0,30 m da camada agricultável, proveniente do campus da ESALQ/USP. As propriedades físicas do solo foram determinadas realizando-se análise granulométrica, conforme metodologia proposta por (BOUYOUCOS, 1951): densidade das partículas, utilizando o método do picnômetro e densidade do solo, determinada pelo método da proveta, os quais são recomendados pela (Embrapa, 1997) (Tabela 1).

Camada (cm)	CC	PMP	CAD (mm)	Ds	Dp	PT (%)	Frações granulométricas		
	cm ³ cm ⁻³			g cm ⁻³			Areia	Silte	Argila
							%		
0-20	0,226	0,104	24,4	1,48	2,65	44,7	75,1	7,8	17,1
20-40	0,234	0,109	25,0	1,49	2,65	46,9	74,5	8,6	17,0

CC – Capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; CAD – capacidade de água disponível; Ds – Densidade do solo; Dp – Densidade das partículas; PT – Porosidade Total.

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica do solo utilizado para preenchimentos dos lisímetros

O controle de umidade do solo foi realizado por meio da utilização de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,30 m, com as leituras de tensão sendo realizadas por meio de transdutores de pressão, devidamente calibrados para as condições de operação. A partir dos valores de tensão obtidos, a umidade foi estimada por meio da equação de Van Genuchten (Genuchten, Van, 1980), utilizando os parâmetros de ajustes apresentados na . Os parâmetros de ajuste do modelo foram determinados por meio do software RETC, desenvolvido pelo US Salinity Laboratory – USDA (Genuchten, Van, Leij e Yates, 1991), utilizando os pares de dados obtidos na curva de retenção de água no solo.

Camada (cm)	θ_s (m ³ m ⁻³)	θ_r (m ³ m ⁻³)	α (kPa ⁻¹)	n	m
0-20	0,4736	0,0928	0,0817	1,4918	0,329669
20-40	0,4737	0,0998	0,0657	1,5326	0,347514

Tabela 2. Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r) e dos parâmetros empíricos (α , n e m) do modelo de Van Genuchten, utilizados para estimativa da umidade do solo.

2.2 Construção dos lisímetros

Foram construídos quatro lisímetros a partir de vasos com capacidade para 250 L, área de 0,75 m², com sistema de pesagem direta, utilizando-se células de carga que suportavam diretamente todo o peso do sistema. Estes foram preenchidos com camada de pedra brita (em torno de 8 cm), seguida de manta geotêxtil e, por fim, o volume restante foi completado com solo descrito no item 2.1. Dessa forma, considerando que todo o sistema apresentava peso aproximado de 550 kg (vaso preenchido com solo, planta, água, sistema de apoio e drenagem), cada lisímetro foi composto por três células de carga com capacidade nominal para 200 kg, as quais quando combinadas resultaram num total de 600 kg.

O sistema de pesagem dos lisímetros foi construído utilizando células de carga da marca HBM®, modelo Z6FC3 200kg. Conforme especificações da célula de carga, a mesma suporta uma carga máxima de 300 kg sem que haja ruptura em seu mecanismo de pesagem. Construiu-se uma estrutura triangular, fixando-se uma célula de carga em

cada vértice para compor o mecanismo de pesagem. A estrutura foi colocada sobre piso de concreto tomando-se o devido cuidado para que a mesma permitisse que as três células ficassem em nível. Posteriormente, sobre as células foi colocado uma base que serviu de suporte para o acomodamento do vaso.

Para obtenção do sinal de saída das células de carga e a metodologia de ligação no sistema de aquisição de dados, resulta na necessidade de se ligar cada célula de carga em um canal diferencial e uma porta de excitação para conexão com o sistema automático de aquisição de dados, dessa forma optou-se por fazer uma caixa de junção, unindo-se as três células de carga, assim foi possível utilizar apenas um canal diferencial por lisímetro.

2.3 Calibração dos lisímetros

Com base na análise dos dados de solo, e considerando o solo totalmente seco, seriam necessários cerca de 165 L de água para elevar a umidade do solo para além da capacidade de campo, ou seja, preencher os espaços porosos. Desta forma, utilizou-se 175 kg para representar a CAD do solo durante a calibração. Os 175 kg foram divididos em 29 massas padrão que foram assumidas como referência, sendo sete de 0,47 kg (0,15 mm), sete de 1,57 kg (0,50 mm), oito de 6,28 kg (2,00 mm) e sete de 15,7 kg (5,00 mm). Os vasos sobre o lisímetro tiveram sua superfície coberta com lona plástica para evitar a evaporação da água do solo durante o procedimento de calibração. Sabe-se que ventos laterais podem resultar em erros de leituras das células de carga, por exercerem uma força vetorial longitudinal ao lisímetro. No entanto, como os mesmos foram construídos e instalados no interior de casa de vegetação, desprezou-se os efeitos dos ventos laterais na calibração e operação. A disposição das massas durante a calibração foi realizada da maneira mais distribuída possível pela área dos lisímetros, procurando-se não as concentrar somente em um ponto.

A sequência de adição e retirada das massas nos lisímetros foi realizada intercalando-as, sendo adicionadas as massas de nº1 a 29, visando explorar melhor as características das células em cada faixa de utilização das mesmas. Posteriormente estas foram retiradas no sentido inverso. A calibração foi realizada em um lisímetro por vez. A calibração foi realizada em um lisímetro por vez. Na programação feita para o sistema de aquisição de dados foi adicionado uma chave para ligar e desligar a leitura e o armazenamento dos dados. Desta forma, sempre antes de se adicionar ou retirar uma massa, a coleta e armazenamento eram desligadas, para evitar a interferência das oscilações à adição ou retirada das massas.

Após coleta dos dados de calibração, os pares formados pela média do sinal das duas células de carga e a massa acumulada no lisímetro, foram utilizados para ajustar um modelo de regressão da calibração. Para a avaliação do desempenho dos modelos dos lisímetros, obtidos na calibração, na comparação das estimativas, adotou-se os indicadores estatísticos índice de concordância de Willmott “d” (WILLMOTT et al., 1985), índice de

concordância e desempenho “c” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), os coeficientes de correlação de Person (r) e de determinação (R²) entre os sinais de saída das células de carga (Ŷ_i) e os somatórios dos valores das massas padrão (Y_i), o erro absoluto (EA), o erro médio absoluto (ERA) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME).

2.4 Evapotranspiração e coeficiente de cultivo

No interior de cada lisímetro foi cultivado a cultura do pinhão manso, sendo que a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada por meio da utilização dos lisímetros de pesagem. Os valores de evapotranspiração foram determinados por meio da contabilização das entradas e saídas de água no sistema lisimétrico. De posse dos dados de evapotranspiração, os valores de coeficiente de cultivo (K_c) foram determinados de acordo com apresentado em (Allen *et al.*, 1998). Sendo assim, os valores horários de ET_o foram calculados no programa REF-ET (Pereira *et al.*, 2015) e acumulados para o total diário. Para isso foram utilizados os dados obtidos do monitoramento meteorológico no interior da casa de vegetação realizado por meio da instalação, no centro do experimento, de sensores de radiação global modelo CM3 Kipp & Zonen®; temperatura e umidade relativa do ar – termohigrômetro modelo HMP45C da Vaisala®, com os dados coletados a cada segundo e média a cada quinze minutos (Figura 1B). Para coleta e armazenamento dos dados, utilizou-se um sistema automático de aquisição de dados. Os sensores foram instalados a 2 m de altura. A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada pelo método Penman-Monteith, conforme a padronização disposta em (Snyder e O’Connell, 2007).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Calibração dos lisímetros

Durante a calibração dos lisímetros, realizado à noite, a temperatura do ar variou entre 22,9 e 24,2°C e a umidade relativa entre 66,2 e 72,3%. Por se encontrar em casa de vegetação a velocidade do vento foi considerada nula.

Os coeficientes angulares encontrados nos diferentes lisímetros apresentaram valores de 305,02; 305,42; 306,35 e 305,85 (kg (mV·V⁻¹)⁻¹), para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A comparação de similaridade dos coeficientes angulares entre pares de retas não mostrou diferenças estatisticamente significativas pelo teste t (p ≤ 0,05).

Considerando-se os altos coeficientes de determinação obtidos (Figura 1), o modelo de regressão linear foi ajustado para relação entre a massa acumulada e a média do sinal de saída das células de carga, evidenciando o comportamento linear existente entre estas variáveis. Entretanto, embora tenha sido comprovada a linearidade, isso não necessariamente indica que os mesmos sejam exatos ou acurados. Esses conceitos, os quais são sinônimos, são diferentes do de linearidade, pois representam a capacidade que

o modelo ajustado tem de determinar o valor verdadeiro da massa. Assim, alguns erros ocorreram entre a massa determinada por estes e a acumulada sobre os mesmos durante a calibração, implicando em diferentes acurácias entre os lisímetros. Estas acurácias são representadas pelo erro padrão da estimativa do modelo de regressão ajustado.

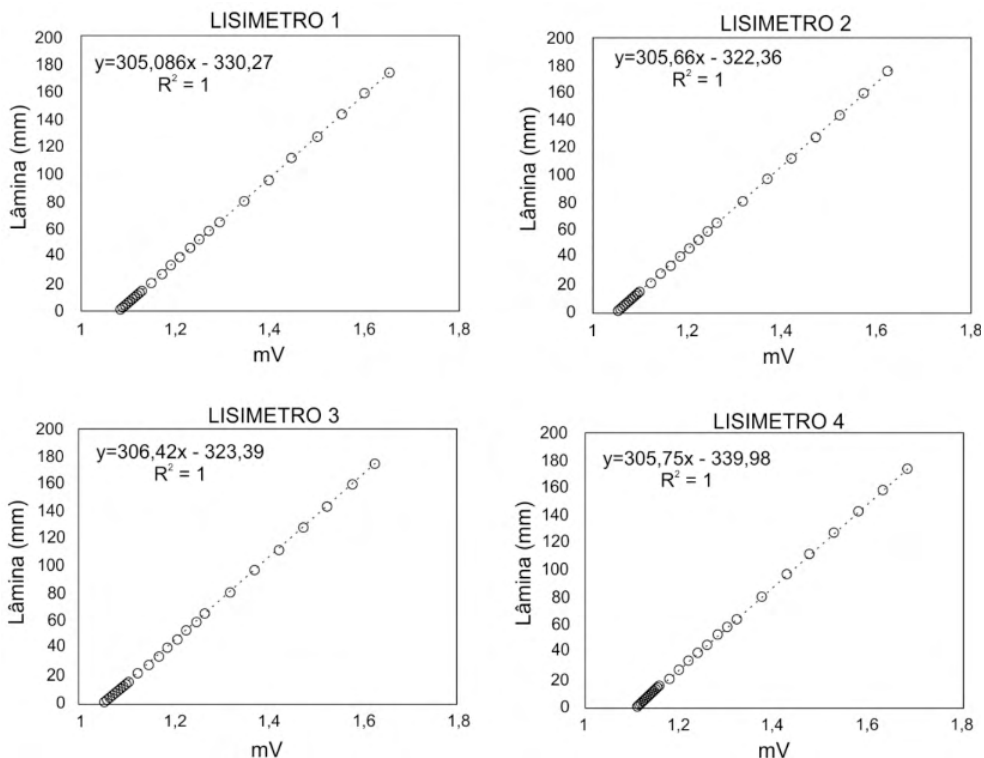


Figura 1. Equações de ajustes dos dados de calibração dos lisímetros de pesagem por meio da adição e retirada das massas padrão

Na calibração de lisímetros sempre espera-se encontrar equações lineares com elevados coeficientes de determinação, uma vez que estas irão resultar em um menor efeito da histerese, equações dessa natureza também foram observadas por (Amaral *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2006; Flumignan, 2012; Silva, Da *et al.*, 2016). A histerese diz respeito ao erro que se obtém entre o sinal que é obtido pelo sistema de aquisição de dados para uma mesma quantidade de massa, sempre considerando a adição e a retirada da mesma massa.

A presença da histerese, em alguns pontos da faixa de calibração é inevitável e até aceitável, porém há a necessidade de se realizar a avaliação dos erros, para obtenção da real capacidade do lisímetro em fornecer valores de massa que represente realmente a variação de umidade de água no solo. Para este trabalho, verificou-se que os erros foram

pouco dispersos em torno do zero, sendo observada variação de -0,21 até 0,23 kg, para o lisímetro 1. Valores de erro variando entre -0,42 a 0,57 kg foram observados para o lisímetro 2, para o lisímetro 3 os erros foram de -0,46 a 0,42 kg e valores de erro entre 0,39 a ,48 kg foram verificados no lisímetro 4. As dispersões dos erros em torno do zero podem ser observadas na Figura 2.

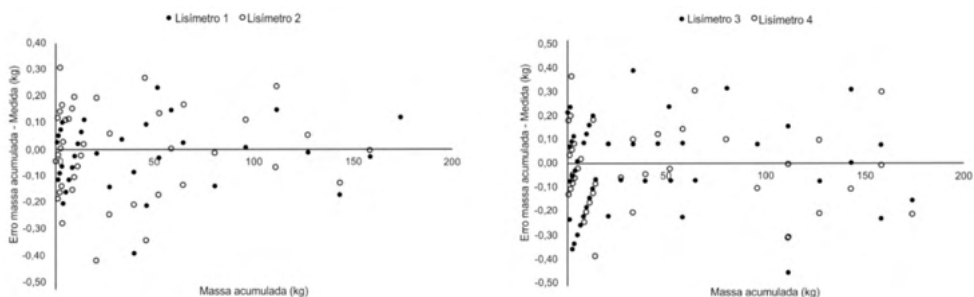


Figura 2. Erros entre a massa acumulada e a massa determinada durante a calibração dos lisímetros.

Os erros encontrados neste trabalho podem ser considerados baixos, o que pode ser comprovado pela análise da Tabela 2 onde estão apresentados o coeficiente de determinação e correlação linear de Pearson, além dos índices de concordância de Willmott e de concordância de desempenho de (Camargo e Sentelhas, 1997), bem como o erro absoluto (EA), erro médio absoluto (ERA) e raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Os indicadores de desempenho apresentados na Tabela 2 confirmam que o modelo linear apresentou os melhores ajustes, resultando em baixos valores de EA, ERA e RQME. De acordo com (Janssen e Heiberger, 1995), quanto mais o valor de R^2 e r se aproximarem de 1,0 e quanto mais os valores de erro (EA, ERA e RQME) se aproximaram de zero, maior é a precisão do modelo ajustado.

Lisímetros	R^2	r	d	c	EA (%)	ERA (%)	RQME (%)
1	1,0000	1,0000	0,9970	0,9970	1,6300	0,0016	0,0021
2	1,0000	1,0000	0,9967	0,9966	2,2600	0,0020	0,0026
3	1,0000	1,0000	0,9962	0,9961	3,9800	0,0026	0,0032
4	1,0000	1,0000	0,9967	0,9967	2,7900	0,0021	0,0026

Tabela 3. Valores de coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação linear de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), índice de concordância e desempenho (c), erro absoluto (EA), erro médio absoluto (ERA) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) obtidos por meio da análise dos dados de calibração dos quatro lisímetros de pesagem

3.2 Evapotranspiração e coeficiente de cultivo

Na Figura 3 estão apresentados os valores de evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura do pinhão manso, obtidos pelo método de Penman-Monteith e por lisímetros, respectivamente, obtidos ao longo de 350 dias de avaliação.

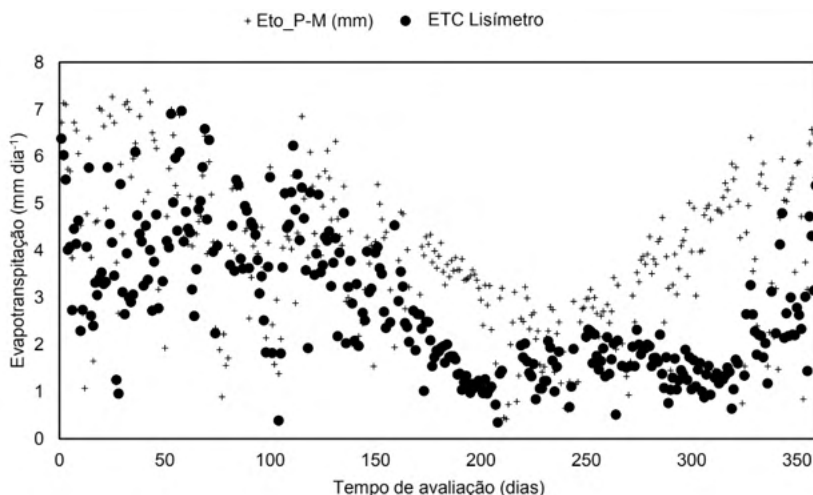


Figura 3. Evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência, ambas em mm dia⁻¹, com os lisímetros em funcionamento por um período de 350 dias.

A ETC e ETo máxima calculada para o período foram de 6,96 e 7,54 mm·d⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar que o pinhão-manso é uma planta caducifólia, ou seja, ocorre a queda das folhas no inverno, com recuperação das mesmas a partir do mês de setembro. Durante essa fase a evapotranspiração da cultura é praticamente governada pela evaporação do solo. Observando atentamente Figura 3 percebe-se uma diminuição da ETC, a partir do dia 180 após, que se caracteriza pelo início da senescência foliar do pinhão-manso. Após as plantas começarem a formar novos ramos e folhas (período vegetativo), os valores atingiram um patamar variando entre 4 mm·d⁻¹ até aproximadamente 8 mm·d⁻¹.

Os valores de coeficiente de cultivo (kc) médio de 0,75 (Figura 4). Porém, nota-se que no dia 157, foi observado um valor de Kc de 2,37, o que pode representar um erro na medida desse valor, quer seja por dados inconsistentes obtidos na estação meteorológica ou algum erro na obtenção do sinal das células de carga. O que se percebe, é que valores de Kc acima de 2,0 é muito raro de se observar, independente da cultura que se está avaliando (Carvalho *et al.*, 2016; Ruiz-Peñalver *et al.*, 2015; Silva, Da *et al.*, 2016; Taylor *et al.*, 2014).

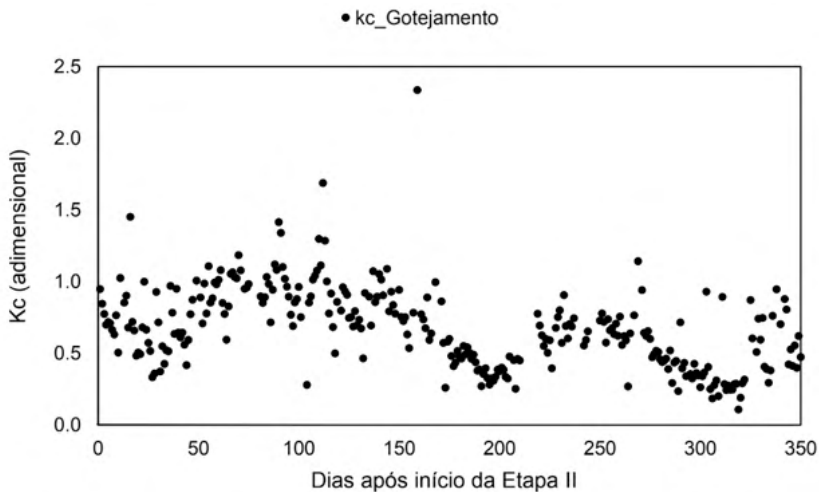


Figura 4. Coeficiente de cultivo (K_c , adimensional) obtido ao longo do período de avaliação dos lisímetros.

Rajaona; Sutterer; Asch (2012) encontraram valores de ET_c de $1,9 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ nos períodos inicial e final e $5,5 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ no período médio utilizando valores de K_c adaptados conforme dados encontrados na literatura. Os valores de K_c encontrados foram de 0,6, 1,2 e 0,4 para os estádios inicial (vegetativo), médio (reprodutivo) e final (senescência), respectivamente. Vale ressaltar que os valores de evapotranspiração são totalmente dependes das condições atmosféricas locais, portanto os períodos de avaliação influenciam nos resultados, o que torna importante a determinação desses valores in loco. Diante disso, o máximo valor de ET_o obtido por Rajaona; Sutterer; Asch (2012) foi da ordem de $4,7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, ao passo que neste trabalho o máximo valor foi de $7,54 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, indicando que as condições de cultivo das plantas de pinhão manso se apresentava diante de uma atmosfera com um potencial muito mais turbulento.

4 | CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi realizado, pode-se concluir que, os lisímetros de pesagem construídos resultaram em equações de ajustadas que apresentaram alto coeficiente de determinação e correlação de Pearson, com baixos valores de erros verificados, tendo, portanto, se ajustado adequadamente aos dados amostrais. Os baixos erros e o período de avaliação, demonstra que os lisímetros podem ser utilizados, de forma confiável, para a obtenção da evapotranspiração de cultura e, conseqüentemente, de coeficiente de cultivo em culturas cultivadas no interior de casas de vegetação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.; AB, W. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Irrigation and Drainage**, v. 300, n. 56, p. 1–15, 1998.
- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, v. 28, n. 1, p. 17–34, 2009.
- AMARAL, A. M.; VELLAME, L. M.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CAZUZA NETO, A. Construção e calibração de lisímetros de pesagem em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2740–2748, 28 ago. 2018.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, maio 1997.
- CARVALHO, D. F. DE; OLIVEIRA NETO, D. H. DE; FELIX, L. F.; GUERRA, J. G. M.; SALVADOR, C. A. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1145–1150, 5 abr. 2016.
- CARVALHO, D. F. DE; SILVA, L. D. B. DA; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. DA. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 108–116, 2006.
- CRUZ-BLANCO, M.; GAVILÁN, P.; SANTOS, C.; LORITE, I. J. Assessment of reference evapotranspiration using remote sensing and forecasting tools under semi-arid conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 280–289, 1 dez. 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements crop water requirements**. Rome: FAO, 1975.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, p. 20, 2013.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão Construction and calibration of high precision lysimeters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237–242, 2006.
- FLUMIGNAN, D. L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (Jatropha curcas L.)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 7 fev. 2012.
- GENUCHTEN, M. T. VAN. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.
- GENUCHTEN, M. T. VAN; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. 1991.

JANSSEN, P. H. M.; HEIBERGER, P. S. C. Calibration of process: oriented models. **Ecological Modelling**, v. 83, n. 1, p. 55–56, 1995.

MARIN, F.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. A stochastic method for crop models: Including uncertainty in a sugarcane model. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 2, p. 483–495, 2017.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, v. 129, p. 31–43, nov. 2013.

PEREIRA, A. R.; MARIN, Á. R.; ANGELOCCI, L. R.; AUGUSTO, N.; NOVA, V.; SENTELHAS, P. C. DI .. ICULTIES WITH MICROMETEOROLOGICAL METHODS TO ESTIMATE EVAPOTRANSPIRATION IN A SMALL CITRUS ORCHARD 1 Extracted from the MS Thesis of the 2 nd author . Departamento de Ciências Exatas , Esalq / USP , Piracicaba , SP 13418-900 arpereir@carpa.ciagri.u. p. 13–20, 2003.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4–20, 2015.

RAJAONA, A. M.; SUTTERER, N.; ASCH, F. Potential of waste water use for jatropha cultivation in arid environments. **Agriculture (Switzerland)**, v. 2, n. 4, p. 376–392, 2012.

RUIZ-PEÑALVER, L.; VERA-REPULLO, J. A.; JIMÉNEZ-BUENDÍA, M.; GUZMÁN, I.; MOLINA-MARTÍNEZ, J. M. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. **Agricultural Water Management**, v. 151, p. 103–113, 2015.

SILVA, L. D. B. DA; LYRA, G. B.; SILVA, J. B. G.; PINHO, C. F. DE; NASCENTES, A. L.; ALMEIDA, G. V. DE; FOLEGATTI, M. V. Desempenho do método do balanço de energia-razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 516–529, 2016.

SNYDER, R. L.; O'CONNELL, N. V. Crop Coefficients for Microsprinkler-Irrigated, Clean-Cultivated, Mature Citrus in an Arid Climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 1, p. 43–52, fev. 2007.

TAYLOR, N. J.; MAHOHOMA, W.; VAHRMEIJER, J. T.; GUSH, M. B.; ALLEN, R. G.; ANNANDALE, J. G. Crop coefficient approaches based on fixed estimates of leaf resistance are not appropriate for estimating water use of citrus. **Irrigation Science**, v. 33, n. 2, p. 153–166, 2014.

BALANCE DE MATERIA ORGANICA Y CAPACIDAD DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO DE DISTINTOS SUELOS CON FERTILIZACIÓN CONTINUA

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 04/02/2021

Liliana Vega Jara

Fac. Agronomía, Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-9692-0105>

RESUMEN: En los últimos años se ha intensificado el uso agrícola del suelo y con ello la práctica de fertilización de los cultivos de granos. Con el objetivo de evaluar el efecto de los distintos regímenes de fertilización de largo plazo sobre: (a) los contenidos de materia orgánica de suelos (MOS) y nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) en el suelo y, (b) la relación entre Nan y MOS, se llevó a cabo la siguiente experiencia. Se analizaron las concentraciones de MOS y Nan en suelo de tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm) de cinco sitios de la Red de Nutrición CREA-IPNI de la Región Sur de Santa Fe instalados en la campaña 2000-2001. Estos ensayos se instalaron en siembra directa (SD) bajo dos sistemas de rotación, maíz-trigo/soja (M-T/S) (Balducchi y San Alfredo) y maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) (La Blanca, La Hansa y Lambaré), seis tratamientos de fertilización: testigo, PS, NS, NP, NPS y completo (NPS+micronutrientes). La fertilización con N, P y S provocó aumento en los contenidos de MOS (sólo en el estrato de 0-5 cm de profundidad) pero no afectaron a los contenidos de Nan en el suelo. Las rotaciones

no afectaron a los contenidos de MOS y Nan. Se determinaron relaciones positivas entre el Nan y la MOS y sus variaciones fueron atribuibles a las diferencias en otras características además del contenido de MOS total entre los sitios. Se concluye que solo la MOS total no es un buen predictor de la capacidad de mineralización de N de los suelos.

PALABRAS CLAVE: Fertilización de cultivos – relación Nan: MOS - capacidad de mineralización de suelos.

BALANCE OF ORGANIC MATTER AND NITROGEN MINERALIZATION CAPACITY OF DIFERENT SOILS WITH CONTINUOUS FERTILIZATION

ABSTRACT: In recent years, the agricultural use of the soil has intensified and with it the practice of fertilizing grain crops. With the objective of evaluating the effect of the different long-term fertilization regimes on: (a) the contents of soil organic matter (SOM) and potentially mineralizable nitrogen (Nan) in the soil and, (b) the relationship between Nan and MOS, the following experience was carried out. The concentrations of MOS and Nan in soil from three depth strata (0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm) of five sites of the CREA-IPNI Nutrition Network of the South Region of Santa Fe installed in the 2000-2001 campaign. These trials were installed in direct sowing (SD) under two rotation systems, corn-wheat / soybean (MT / S) (Balducchi and San Alfredo) and corn-soybean-wheat / soybean (MST / S) (La Blanca, La Hansa and Lambaré), six fertilization treatments: control, PS, NS, NP, NPS and complete (NPS + micronutrients). The

fertilization with N, P and S caused an increase in the SOM contents (only in the 0-5 cm deep stratum) but did not affect the Nan contents in the soil. The rotations did not affect the contents of MOS and Nan. Positive relationships between Nan and MOS were determined and their variations were attributable to differences in other characteristics in addition to total MOS content between sites. It is concluded that only the total SOM is not a good predictor of the mineralization capacity of N of the soils.

KEYWORDS: Crop fertilization - Nan: MOS ratio - soil mineralization capacity.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de alimentos debe aumentar en un 70% en 2050 para seguir el ritmo de la creciente demanda (Bruinsma, 2009). Para alcanzar este objetivo, la fertilización surge como una herramienta para aliviar el efecto de la continua exportación de nutrientes, debido a su capacidad para reponer la fertilidad del suelo y mejorar la producción agrícola (Wu & Ma, 2015). Esa necesidad de producir más alimentos y el deterioro de la fertilidad natural de los suelos ha impulsado a la fertilización en forma continua por parte de los productores. En la agricultura Argentina también se ha intensificado el uso de fertilizantes para cultivos extensivos. El consumo de fertilizantes tuvo un gran aumento en los últimos 20 años, pasando de 300 mil toneladas en 1990 a más de 3 millones de toneladas en el 2013 (Fertilizar, 2014a).

La fertilización continua pareciera ser eficaz en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo (MOS) (Wu *et al.*, 2003) y enriquecimiento con carbono (C) principalmente de las fracciones lábiles (Yang *et al.*, 2012). En el suelo se hallan dos fracciones de C con distinta dinámica de descomposición. Una fracción lenta o estable y otra fracción activa o lábil (Ciampitti *et al.*, 2011b). A su vez, estos pooles actúan como fuente primaria de nitrógeno (N) para las plantas (Haynes, 2005). Las plantas toman nutrientes de la fracción lábil, la cual se renueva constantemente a partir de la fracción estable. Una forma de evaluar la fracción lábil de N en el suelo es midiendo el amonio liberado durante una incubación anaeróbica corta (Nan). Varios estudios mostraron que el Nan estuvo relacionado con la capacidad del suelo de proveer N a cultivos de granos (Sharifi *et al.*, 2008; Genovese, 2009; Reussi Calvo *et al.*, 2014). La posibilidad de contar con experimentos a largo plazo de fertilización con secuencias de cultivos en distintos sitios, pueden proveer de información valiosa para conocer el impacto del agregado continuo de nutrientes como fertilizantes sobre las concentraciones de la MOS y Nan.

En la campaña 2000-2001, la Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, en conjunto con IPNI y Agroservicios Pampeanos (ASP), instalaron una red de ensayos a largo plazo. Uno de sus objetivos comunes desde un principio fue determinar las respuestas directas y residuales de los cultivos a la aplicación de N, P y azufre (S) y así complementar a los métodos de diagnóstico de la fertilidad de suelos. En este trabajo se sintetizan los resultados obtenidos de análisis de suelos de tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10

cm, 10-20 cm) después de 14 años de fertilización continuada. Los objetivos fueron evaluar el efecto de los distintos regímenes de fertilización de largo plazo en los distintos suelos y rotaciones de la región pampeana sobre: a. los contenidos de MOS y Nan y, b. la relación entre el Nan y la MOS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de suelo de tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm) de los cinco sitios de la Red de Nutrición del CREA de la Región Sur de Santa Fe (Tabla 1), durante la campaña 2013-2014. Las características de los ensayos son: dos sitios con rotación maíz-trigo-soja (M-T/S) (Balducci y San Alfredo) y tres sitios con rotación maíz-soja-trigo-soja (M-S-T/S) (La Blanca, La Hansa y Lambaré). Se evaluaron los seis tratamientos de la red: testigo sin fertilizar, NP, NS, PS, NPS y completo (NPS+micronutrientes). El diseño es en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones en cuatro sitios, y dos en San Alfredo. El tamaño de las parcelas es de 25-30 m de ancho y 65-70 m de largo. Se utiliza maquinaria del productor y labranza en siembra directa (SD) en todos los casos. La dosis de fertilización se estima a partir de los rendimientos esperados más un 5-10% de fertilización de enriquecimiento con P y S a la siembra de soja y, a partir de modelos zonales para cultivos de alto rendimiento en el caso del N. En la campaña 2013/2014 se aplicaron 30 y 18 kg de P y S respectivamente al cultivo de soja de primera en la rotación M-S-T/S y, en la rotación M-T/S se aplicaron 102, 44 y 21 kg de N, P y S al cultivo de trigo (Boxler *et al.*, 2014).

Se determinó el N potencialmente mineralizable (Nan) por incubación anaeróbica a 40°C por 7 días, método descrito por Keeney & Bremner (1966) seguido de una colorimetría. La MO se determinó por la metodología propuesta por Walkley & Black (1934). Los resultados se analizaron mediante ANOVA, comparación múltiple de LSD y regresión. Los ANOVA de concentración de MOS y Nan se analizaron para cada estrato por separado. Las diferencias significativas fueron determinadas a un nivel de significancia del 95%. La relación entre Nan y MOS se analizó mediante regresión lineal. Se compararon las distintas regresiones mediante test de F y, en los casos en que no fueron diferentes, las líneas de regresión para esos tratamientos se representaron con una sola función.

Sitio	Balducchi	San Alfredo	La Blanca	La Hansa	Lambaré	
Suelo	Hapludol típico	Arguidol típico	Hapludol típico	Arguidol típico	Argialbol típico	
Serie	Santa Isabel	Hughes	La Bélgica	Bustinza	El Trébol	
Labranza	siembra directa					
Años agricultura previo a la instalación del ensayo	+ 60	15	12	+20	6	
Rotación	M-T/S		M-S-T/S			
Antecesor	Trigo		Maíz			
Textura de los suelos (0-20 cm de profundidad)						
Análisis	Unidad					
Arcilla	%	11,8	18,0	15,5	18,0	20,5
Limo	%	53,2	62,0	56,4	78,9	76,5
Arena	%	35,1	20,0	28,1	3,1	3,0

Tabla 1. Información de manejo y de sitio. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja. Campaña 2013/14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de MOS y Nan en el suelo

Los catorce años de fertilización continua con N, P y S tuvieron un efecto sobre la MOS sólo en el estrato de 0-5 cm de profundidad, mientras que en el resto del perfil no hubo diferencia entre los tratamientos de fertilización (Figura 1). La disminución de la concentración de MOS por no fertilizar (testigo) fue del 12% en la capa de 0-5 cm respecto del tratamiento completo (Figura 1). La mayoría de autores han informado que los cambios en MOS se producen por efectos de manejo y por los años de agricultura (Fabrizzi *et al.*, 2003; Reussi Calvo, 2013; Genovese *et al.*, 2009). Sin embargo, nuestros resultados sugieren que la fertilización también puede ser un factor importante para la regulación de los contenidos de MO y por consiguiente para mantener la fertilidad de los suelos en el largo plazo. Se han visto disminuciones de los rendimientos con las pérdidas de MOS (Ladha *et al.*, 2003), ya que son fuente importante de nutrientes y sustrato de la actividad microbiana. En este trabajo, las mayores concentraciones de MOS se vieron en el estrato de 0-5 cm en todos los sitios (Figuras 1 y 2) concordante con Wander (2004); Diovisalvi *et al.* (2008) y (Diaz Zorita, 1999).

San Alfredo y Lambaré presentaron los valores más altos de MOS en todo el perfil (promedio 31,5 g kg⁻¹ y 30,2 g kg⁻¹ respectivamente) y Balducchi fue el más pobre en MOS (promedio 23,5 g kg⁻¹) (Figura 2). Estas diferencias entre sitios son previas a la instalación de los experimentos en el año 2000 (Boxler *et al.*, 2014) y se podrían atribuir a las diferencias en años de agricultura y a las diferencias texturales en los sitios (Tabla 1). La información

de los sitios previo a la implementación de los ensayos indican que Balducchi tenía más de 60 años de agricultura continua mientras que Lambaré y San Alfredo tenían 12 y 8 años respectivamente (Tabla 1). Por lo tanto, los contenidos de MOS y los años de agricultura en los sitios guardan relación inversa entre sí y, son visibles en el largo plazo (Genovese *et al.*, 2009, Reussi Calvo *et al.*, 2013 y Eiza *et al.*, 2005; Divito *et al.*, 2011). Por otro lado, Lambaré es el sitio más rico en arcillas y Balducchi el más arenoso. En cuanto a los contenidos de (arcilla+limo), Lambaré tiene un 97%, mientras que Balducchi posee un 68% de dicha fracción (Tabla 1). Está documentado que la fracción (arcilla+limo) guarda relación positiva con los contenidos de COT de los suelos (Galantini *et al.*, 2004), porque en suelos más finos el tamaño pequeño de los poros del suelo protegen a la MO de la acción de los microorganismos (Van Veen & Kuikman, 1990). Hassink *et al.* (1993a) indicaron que en suelos arenosos, la presencia de grandes poros disminuye la capacidad de retener agua y de mantener la humedad para el crecimiento bacteriano. Los cuales explican las mayores concentraciones de MOS total en suelos de texturas finas y menos laboreadas en este estudio.

La fertilización con N, P y S durante 14 años no cambió el contenido de N potencialmente mineralizable (Nan) en ninguno de los tres estratos de profundidad (Figura 3). Fabrizio *et al.* (2003) también informaron que el Nan no fue afectado por la fertilización con N en dos experimentos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, pero variaba con la MOS por efecto de los sistemas de labranza. Diovisalvi *et al.* (2008) también informaron que la fertilización no afectó los contenidos de Nan en un ensayo de largo plazo. Tang *et al.* (2006) vieron resultados similares en un ensayo de fertilización continua de 15 años en el norte de China, pero aplicaciones orgánicas aumentaban la MOS, y consecuentemente el N total y el N como amonio. Manna *et al.* (2007) también sugieren que se debe incrementar la MO si se desea aumentar la disponibilidad de N. En este estudio, el tipo de labranza homogénea (SD) en todos los sitios, y la ausencia de aplicación de N al cultivo de soja sumado a la alta frecuencia de este cultivo en las rotaciones pudo haber causado que las diferencias en los aportes de C al suelo entre los tratamientos no hayan sido lo suficientemente grandes como para provocar una diferencia en el Nan.

El Nan varió con la profundidad y con los sitios (Figuras 3 y 4). Los mayores contenidos de este nutriente se vieron en el estrato de 0 a 5 cm y disminuyeron con la profundidad (Figuras 3 y 4). Esto puede atribuirse a la incorporación de residuos con el sistema de SD cerca de la superficie, lo cual aumentó la MOS y consiguio el Nan en este estrato. Según West & Post (2002) la SD generalmente incrementa la MOS en comparación con la LC y es más notorio en el estrato superficial. Los valores más bajos en los 3 estratos de profundidad correspondieron a Balducchi (promedio 33,85 mg kg⁻¹) y Lambaré (promedio 65,13 mg kg⁻¹) fue el más rico en concentración de Nan (Figura 4). Vale aclarar que los contenidos de COT siguen el mismo patrón (Figura 2, Tabla 1). Nuestros resultados sugieren que el Nan está relacionado con la MOS, ya que proviene de mineralización del N orgánico. Esto puede

atribuirse a los contenidos de MO sumado a las condiciones ambientales favorables para la actividad microbiana que favorecieron a la mineralización y disponibilidad de N (Manna *et al.*, 2007).

La secuencia de cultivos de ambas rotaciones tampoco afectó a las concentraciones de Nan (Figura 2), coincidiendo con lo reportado por Gregorutti *et al.* (2014) en varias rotaciones que incluyeron a los cultivos de soja, maíz y trigo. Las Figuras 3 y 4 incluyen valores de Nan entre 7,32 y 128,44 mg kg⁻¹. Estos valores son consistentes con aquellos reportados por Reussi Calvo *et al.* (2014) quienes mostraron valores de Nan entre 12 y 260 mg kg⁻¹ siendo mayores en el este que en el oeste de la provincia de Buenos Aires. Benitende *et al.* (2007) también reportaron valores de Nan promedio de 183 mg kg⁻¹ y 104 mg kg⁻¹ para suelos Argiudoles ácuicos y vérticos de Entre Ríos. Fabrizzi *et al.* (2003) informaron concentraciones de Nan bajo el sistema SD en promedio de 61,5 mg kg⁻¹ y bajo labranza convencional (LC) de 24,2 mg kg⁻¹, lo cual indica que tanto la MOS como el Nan son afectados por el manejo del suelo. Se han visto que las prácticas de labranza afectan principalmente al pool de N en el suelo (Sharifi *et al.*, 2008), pero el agregado de N como fertilizante no tiene efectos sobre el Nan (Diovisalvi *et al.*, 2008). Sin embargo, en situaciones de altos niveles de fertilización con N pueden ocurrir disminuciones de Nan debido al incremento del reciclaje de la MO sugiriendo pérdidas de N por inmovilización (Genovese *et al.*, 2009) lo cual no ocurrió en este estudio. Por lo tanto, la estimación de Nan a partir de la MOS podría ser un indicador de la capacidad del suelo de mineralizar N que varía ampliamente en los suelos. En las evaluaciones del Nan se deben considerar otras características como las historias agrícolas de cada lote, sistema de labranza, fertilización, textura y cantidad así como la calidad de residuos de cosecha que se incorporan.

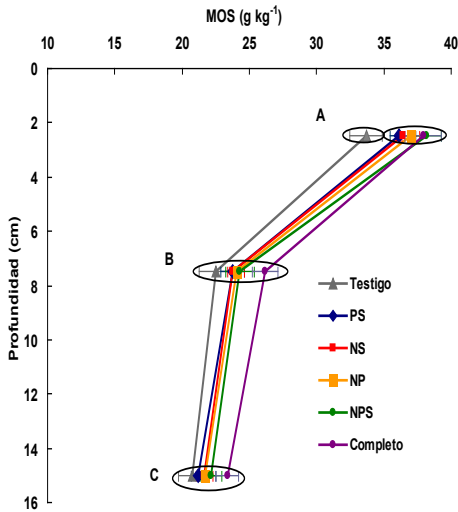


Figura 1: Distribución de la concentración de MOS a 0-20 cm en los tratamientos de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran tratamientos que no son diferentes significativamente ($p>0,05$) y las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia significativa entre estratos de profundidad.

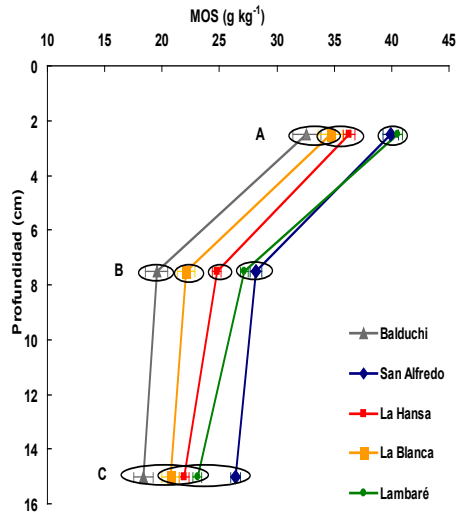


Figura 2: Distribución de la concentración de MOS a 0-20 cm en los sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran sitios que no son diferentes significativamente ($p>0,05$) y las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia significativa entre estratos de profundidad.

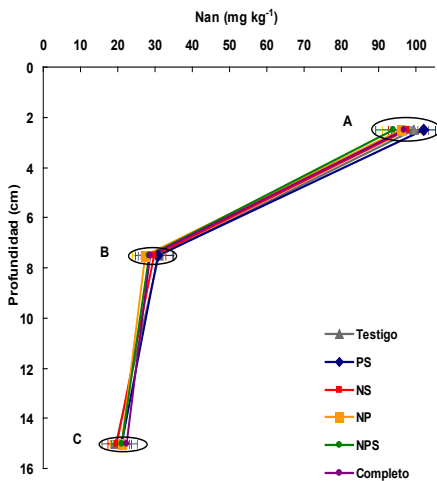


Figura 3: Distribución de la concentración de Nan a 0-20 cm en los tratamientos de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran tratamientos que no son diferentes significativamente ($p>0,05$) y las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia significativa entre estratos de profundidad.

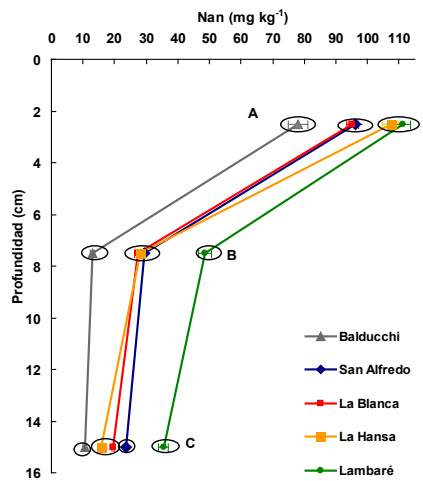


Figura 4: Distribución de la concentración de Nan a 0-20 cm en los sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran sitios que no son diferentes significativamente ($p>0,05$) y las barras son el error estándar. Los cambios de letra indican diferencia significativa entre estratos de profundidad.

Relación entre Nan y MOS

La Figura 5 muestra la relación entre el Nan y la MOS ($p < 0.01$). Fabrizio *et al.* (2003) afirmaron que el C de la MOP está altamente relacionado con el Nan, sus resultados sugieren que el Nan proviene de la mineralización de la MOS. Otros autores también han reportado la asociación entre MOS y el Nan (Sharifi *et al.*, 2008; Genovese, 2009; Reussi Calvo *et al.*, 2014). Contrariamente, Sainz Rosas *et al.* (2008) estudiaron 26 suelos de tipo Argiudol típico y Paleudol petrocálcico (3 sitios) en Balcarce e informaron que el COT no se relacionaba con el Nan, por lo cual indicaron que el COT no sería un indicador sensible de la capacidad de mineralización de N del suelo. Nuestros resultados también muestran que existe diferencias en la relación Nan: MOS entre los sitios. Pese a que los sitios más ricos en MOS fueron San Alfredo y Lambaré (Figura 2) no se vieron los mayores contenidos de Nan en San Alfredo, sino sólo en Lambaré (Figura 4). Lo cual se refleja en la relación Nan: MOS en la Figura 5, donde Lambaré tuvo los mayores valores de la relación Nan:MOS, Balducchi los valores menores y los otros 3 sitios presentaron relaciones Nan:MOS intermedias y estadísticamente no distintas entre sí. Estos resultados sugieren que el contenido de MOS no es un indicador suficiente para predecir la capacidad de proveer N disponible en los suelos. Existirían otros factores como la textura, pH, y el contenido de MO lábil que juegan papeles importantes en la mineralización de la MOS más allá de los contenidos totales de MOS (Baath & Anderson, 2003). Petersen *et al.* (2013) mostraron una relación positiva y muy estrecha entre el Nan y la biomasa microbiana en el suelo. Por otro lado, Diovsalvi *et al.* (2010a) reportaron que existe menor asociación entre el Nan y la MOS en suelos de textura fina. Sin embargo, nuestros resultados indican lo contrario, Lambaré pese a ser un sitio de textura fina mostró mayor correlación entre el Nan y MOS (Figura 5, $r^2: 0,46$). Esto podría ser explicado por las condiciones favorables para la actividad microbiana en Lambaré más allá de su riqueza en MO. Además, Kanazawa & Filip (1986) también informaron que la mayor parte de los microorganismos se acumulan en la fracción arcillo+limo.

Los regímenes de fertilización con N, P y S no afectaron a la relación entre el Nan y la MOS (Figura 5). Esto podría ser explicado porque no hubo grandes efectos de la fertilización sobre los contenidos de MOS. Esto sucedió sólo en el estrato de 0-5 cm, donde el testigo fue inferior en MO (Figura 1), dicho efecto no fue significativo sobre la relación Nan:MOS. Está documentado que los cambios más notables en contenido de MOS y Nan se pueden ver por efectos de manejo y años de agricultura (Genovese *et al.*, 2009, Reussi Calvo *et al.*, 2013 y Eiza *et al.*, 2005; Divito *et al.*, 2011), por el contrario no hay reportes de los efectos puros de la fertilización sobre la MO y por consiguiente sobre el Nan. En este estudio, el sistema de labranza fue SD en todos los sitios y la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones pudieron haber impedido las diferencias significativas del contenido del Nan con los tratamientos. Por lo cual, coincidimos con lo que afirmaron Marriott & Wander (2006) y Sainz Rosas *et al.* (2008) que el Nan no es una fracción que varía en paralelo con

los contenidos de MOS, sino que existe diferencias dependiendo de las potencialidades de mineralización de los suelos y condiciones favorables para la biomasa microbiana. Por lo cual no se pueden predecir la capacidad de un suelo de mineralizar N sólo a partir de los análisis de MOS total.

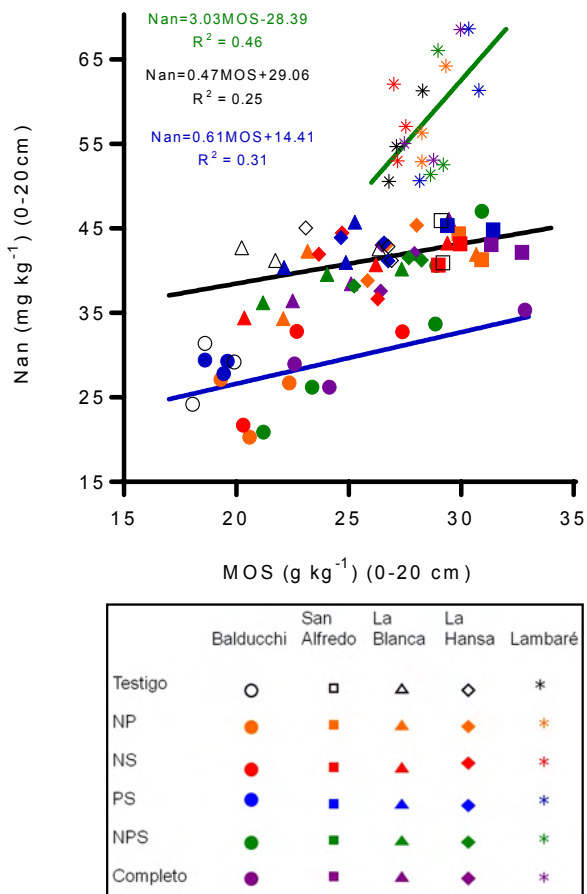


Figura 5: Relación entre concentración de Nan y la MOS. La línea verde corresponde a la función de Nan:MOS en Lambaré, la línea negra a San Alfredo, La Blanca y La Hansa, y la línea azul corresponde a Balducchi.

CONCLUSIONES

Las fuentes de variación evaluadas en estos experimentos (*i. e.* fertilización con N, P y S) mostraron diferencias en los contenidos de MOS sólo en el estrato de 0-5 cm de profundidad. Sin embargo, no afectaron a los contenidos de Nan en el suelo. Las rotaciones no afectaron a los contenidos de MOS y Nan.

Se determinaron relaciones positivas entre el Nan y la MOS y sus variaciones fueron atribuibles a las diferencias en otras características además del contenido de MOS total entre los sitios. Por lo tanto, solo la MOS total no es un buen predictor de la capacidad de mineralización de N de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a F. Permingeat por la colaboración en el muestreo a campo de los ensayos y la recolección de muestras. La financiación del presente trabajo provino de UBA, CONICET y ANPCYT.

REFERENCIAS

Baath, E & T H Anderson. 2003. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and plfa-based techniques. *Soil Biol. Biochem.* 35: 955–963.

Benintende, M C; S M Benintende; M A Sterren; C Musante; M Saluzzio & J J De Battista. 2007. Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. *Agriscientia* 24:97-101.

Boxler, M; F O García; A Correndo; S Gallo; R Pozzi; F Bauschen; N Reussi Calvo & A Berardo. 2014. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2013/2014. IPNI. Disponible on-line en: <http://lacs.ipni.net/topic/research>. Fecha de consulta 01/2016.

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: by howmuch do land, water, and crop yields need to increase by 2050? In: Bruinsma, J (Ed.), *Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*. FAO, Rome, Italy (Available at [www.fao.org/fileadmin/ templates/](http://www.fao.org/fileadmin/templates/)).

Ciampitti, I A, F O Garcia, L E Piccone & G Rubio. 2011b. Soil Carbon and Phosphorus Pools in Field Crop Rotations in Pampean Soils of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 616-625.

Díaz Zorita, M. 1999. Efectos de seis años de labranza en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Cienc Suelo* 17: 31-36.

Diovisalvi N, G A Studdert; N I Reussi Calvo & G F Domínguez. 2010a. Relación entre el contenido de carbono orgánico particulado y total en suelos con diferente textura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas 2 pág. Rosario, Santa Fe, Argentina.

Diovisalvi, N V; G A Studdert; G F Domínguez & M J Eiza. 2008. Fracciones de Carbono y Nitrógeno orgánicos y Nitrógeno anaeróbicos bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Cienc suelo* 26(1):1-11.

Divito, G A; H R Sainz Rozas; H E Echeverría; G A Studdert & N Wyngaard. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil propriety changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil & Tillage Research.* 114: 117-126.

Eiza, M J, N Fioriti, G A Studdert & H E Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: Efecto de los sistemas de cultivo and de la fertilización nitrogenada. *Cienc Suelo* 23:59–67.

Fabrizzi, K P, A Morón, & F O García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1831–1841.

Fertilizar AC. 2014a. Evolución del Consumo de Fertilizantes en Argentina. 1p. (www.fertilizar.org.ar).

Galantini, J A; N Senesi; G Brunetti & R Rosell. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma* 123: 143-152.

Genovese, F, H E Echeverría, G A Studdert, & H Sainz Rozas. 2009. Amino-sugar nitrogen in soils: calibration and relationship with anaerobically incubated soil nitrogen. (In Spanish, with English abstract.) *Cienc. Suelo* 27:225–236.

Gregorutti, V C; L E Novelli; R J Miguel; M V Ormaechea & O P Caviglia. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y su relación con el nitrógeno orgánico en diferentes fracciones. *Ciencia del Suelo*. 32(1):41-51.

Hassink, J, L A Bouwman, K B Zwart, J Bloem & L Brussaard. 1993b. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57: 105–128.

Haynes, R J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*. 85: 221-268.

Kanazawa, S & Z Filip. 1986. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil. *Microbiol. Ecol.* 12:205–215.

Keeney, D R, and J M Bremner. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agron. J.* 58:498–503.

Ladha, J K, D Dawe, H. Pathak, A T Padre, R L Yadav, B Singh, Y Singh, P Singh, A L Kundu, R Sakal, N Ram, A P Regni, S K Gami, A L Bhandari, R Amin, C R Yadav, E M Bhattarai, S Das, H P Aggrawal, R K Gupta & P R Hobbs. 2003. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asia?. *Field Crops Res.* 81: 159–180.

Manna, M C, A Swarup, R H Wanjari, B Mishra & D K Shahi. 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil Tillage Res.* 94 (2): 397–409.

Marriott, E E & M M Wander. 2006. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 950-959.

Petersen, S O; P Schojning; J E Olesen; S Christensen & B T Christensen. 2013. Sources of nitrogen for winter wheat in organic cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:155-165.

Reussi Calvo, N I; H Sainz Rozas, H Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of anaerobically incubated Nitrogen to the diagnosis of Nitrogen Status in spring wheat. *Soil Fertility & Crop Nutrition. Agron. J.* 105:321–328.

Reussi Calvo, N; M Calandroni; G Studdert; F Cabria; N Diovisalvi & A Berardo. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de Buenos Aires. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas 9 pág. Bahía Blanca, Argentina 5-9 de mayo.

Robinson, C A; R M Cruse & M Ghaffarzadeh. 1996. Cropping system and nitrogen effects on Mollisol organic carbón. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 264-269.

Sainz Rosas, H; P A Calviño; H E Echeverría; P A Barbieri & M Redolatti. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100:1020-1025.

Sharifi, B & J Zebarth. 2008. Response of potentially mineralizable soil Nitrogen and Indices of Nitrogen Available to tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1124-1131.

Tang, J X; X J Liu; F S Zhang & P Christie. 2006. Effect of Long-Term Fertilization on Organic Nitrogen Forms in a Calcareous Alluvial Soil on the North China Plain. *Pedosphere.* 16(2):224-229. p. 67-102.

Van Veen, J A & P J Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeo- chemistry* 11: 213–233.

Walkley, A & I A Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.

Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. Pp. 67-102. In: K Magdoff & RR Weil (eds.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE.UU.

West, T O & W M Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930–1946.

Wu, T; J J Schoenau; F Li; P Qian; S S Malhi; Y Shi & F Xu et al. 2003. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research.* 77: 59–68.

Wu, W & B Ma. 2015. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of the Total Environment.* 512: 415-427.

Yang, X; W Ren; B Sun & S Zhang. 2012. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma.* 177: 49–56.

AGREGAÇÃO SOB DIFERENTES PEDOFORMAS EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, NO SUDESTE DO BRASIL

Data de aceite: 28/04/2021

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Vanessa Aparecida Freo

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Marcos Gervasio Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Alexandre Santos Medeiros

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Cristiane Figueira da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Otávio Augusto Queiroz dos Santos

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Renato Sinquini de Souza

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

RESUMO: O objetivo desse estudo foi determinar o diâmetro médio ponderado, os atributos químicos do solo, o carbono orgânico total e das frações granulométricas e químicas da matéria orgânica do solo (MOS) de agregados fisiogênicos e biogênicos formados em fragmentos florestais em distintas condições de relevo (pedoforma

convexa e côncava) no município de Pinheiral-RJ. Foram selecionadas duas pedoformas, a saber: convexo (convexa-divergente) (CX) e côncavo (côncava-convergente) (CC), em Floresta Estacional Semidecidual Submontana. Foram coletadas seis pseudorepetições (torrões) na camada de 0,00-0,10 m. As amostras foram secas ao ar, submetidas a tamisação, utilizando-se um conjunto de peneiras de 9,7 e 8,0 mm de malha, selecionando-se somente os agregados retidos neste intervalo, sendo separados em fisiogênicos e biogênicos. Nestes foram determinados o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, os atributos químicos (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al, K e P), os valores do complexo sortivo (S, T e V), o carbono orgânico total (COT) e o das frações granulométricas (COP, particulado; e COAM, associado aos minerais) e químicas (C-FAF, ácido fúlvico; C-FAH, ácido húmico; C-FHUM, humina; e %SH: porcentagem de carbono das substâncias húmicas) da MOS. De maneira geral, a maior variabilidade entre os atributos foi verificada em CX, principalmente nos agregados biogênicos, com destaque para os relacionados a MOS. O estudo quantitativo da MOS a partir da compartimentalização do carbono orgânico nos diferentes tipos de agregados, pode ser uma técnica eficaz na mensuração da qualidade do solo mesmo em ambientes mais estáveis e equilibrados.

PALAVRAS-CHAVE: Vias de formação de agregados, compartimentalização do carbono orgânico, qualidade do solo.

AGGREGATION UNDER DIFFERENT LANDFORMS IN SEMIDECIDUOUS FOREST IN SOUTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT: The objective of this study was to determine the weighted average diameter, the soil chemical attributes, the total organic carbon and the organic carbon of the granulometric and chemical fractions of soil organic matter (SOM) in physicogenic and biogenic aggregates formed in forest fragments in different relief conditions (convex and concave pedoform) in the municipality of Pinheiral-RJ. Two pedoforms were selected, namely: convex (convex-divergent) (CX) and concave (concave-convergent) (CC), in Submontane Semideciduous Seasonal Forest. Six pseudo-repetitions (clods) were collected in the 0.00-0.10 m layer. After collection, the samples were dried in the air and subsequently subjected to sieving, using a set of sieves of 9.7 and 8.0 mm mesh, selecting only the aggregates retained in this interval. These were identified and separated into biogenic and physicogenic. Subsequently, the weighted average diameter (DMP), the chemical attributes (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al , K^+ and P), the values of the sortive complex (S, T and V), the total organic carbon were determined (TOC) and organic carbon of particle size (COP, particulate; and COAM, associated with minerals) and chemical (C-FAF, fulvic acid; C-FAH, humic acid; C-FHUM, humine; and % SH: percentage carbon from humic substances) from soil organic matter (SOM). In general, most of the variability between the attributes evaluated was verified in CX, mainly in biogenic aggregates, with emphasis on those related to SOM. The quantitative study of SOM from the compartmentalization of organic carbon in the different morphological types of aggregates, can be an effective technique in measuring soil quality even in more stable and balanced environments.

KEYWORDS: Aggregation formation pathways, compartmentalization of organic carbon, soil quality.

1 | INTRODUÇÃO

Na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral – RJ, a Floresta Atlântica é representada pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana que historicamente foi de grande importância para o desenvolvimento econômico do país (Santos et al., 2016). Atualmente encontra-se com extensas áreas ocupadas por pastagens degradadas e de baixa produtividade.

A região é caracterizada por apresentar um relevo declivoso com diferentes feições topográficas denominadas de pedoformas (côncavas, retilíneas e convexas). Associadas a outros fatores bióticos e abióticos, essas feições, produzem uma variedade de condições ambientais, tais como: solos, transporte de sedimentos, precipitação e gradiente de umidade, luminosidade, organização vertical do dossel e geração de aspectos de degraus no estrato arbóreo (Santos et al., 2017), levando à formação de diversos microambientes na paisagem.

Nesses microambientes, considerados mais equilibrados e estáveis, em virtude das características topográficas específicas e das classes de solos, a dinâmica (deposição, acúmulo e decomposição) do material orgânico formador de serapilheira acontece de forma

diferenciada, influenciando nos atributos físicos (estrutura), químicas (fertilidade natural) e biológicas (biomassa microbiana) do solo.

Para avaliar tais ambientes, alguns atributos edáficos têm sido utilizados como indicadores de qualidade do solo. Nesse sentido, destacam-se a agregação (estabilidade, gênese ou vias de formação) e a matéria orgânica do solo (MOS) (acúmulo, proteção ou compartimentos). Os mecanismos de formação dos agregados envolvem processos físicos e químicos (agregados fisiogênicos), e biológicos (agregados biogênicos) (Loss et al., 2014).

A diferenciação entre esses tipos de agregados é realizada de acordo com sua gênese ou vias de formação a partir de padrões morfológicos já pré-estabelecidos (Bullock et al., 1985; Pulleman et al., 2005; Batista et al., 2013). A MOS é considerada o indicador chave na avaliação da qualidade do solo, e apresenta uma correlação positiva com os mecanismos de formação e estabilização dos agregados do solo.

A partir do exposto, este estudo teve como hipótese testada que diferentes pedoformas influenciam nas vias de formação dos agregados, assim como no seu grau de estabilidade, na sua composição química e no conteúdo de carbono orgânico em seus diferentes compartimentos. Desta forma, objetivou-se avaliar o diâmetro médio ponderado, os atributos químicos, o carbono orgânico total e das frações granulométricas e húmicas da MOS em agregados fisiogênicos e biogênicos formados em fragmentos florestais em distintas condições de relevo (pedoforma convexa e côncava) no município de Pinheiral-RJ.

2 | MATERIAL & MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Pinheiral, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil, na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, localizado entre as coordenadas 22°29'03" S a 22°35'27" S e 43°54'49" W a 44°04'05" W.

A área de estudo está inserida em um fragmento florestal com aproximadamente 204 ha, em área de relevo que varia de ondulado a forte ondulado e altitudes variando de 360 a 720 m. Segundo Köppen o clima da região pode ser classificado como Cwa – clima temperado de inverno seco e verão chuvoso e Am – clima tropical chuvoso com inverno seco. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1,117 mm e 20,9° C, respectivamente e o solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico (Santos et al., 2018).

Foram selecionadas duas pedoformas adjacentes com formato do tipo convexo (convexa-divergente) (CX) e côncavo (côncava-convergente) (CC), com orientação da vertente predominante a sudeste e cobertura vegetal tipo Floresta Estacional Semidecidual Submontana. Cada pedoforma foi subdividida em três terços (superior, médio e inferior), sendo em cada um destes coletadas duas amostras compostas indeformadas

(pseudorepetições), formadas a partir de três amostras indeformadas simples (torrões) na camada de 0,00-0,10 m de profundidade mediante abertura de trincheiras, totalizando seis pseudorepetições por pedoforma.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e, submetidas a tamisação, sendo utilizado um conjunto de peneiras de 9,7 e 8,0 mm de malha, selecionando-se somente os agregados retidos neste intervalo. Os agregados foram examinados sob lupa e separados em frações morfológicas, identificando-se duas classes (fisiogênicos e biogênicos) mediante método adaptado de Pulleman et al. (2005) a partir dos padrões morfológicos estabelecidos por Bullock et al. (1985) e validados por outros autores (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014, 2017).

A diferenciação foi feita através de padrões morfológicos, obedecendo aos seguintes critérios: agregados biogênicos - aqueles em que é possível a visualização de formas arredondadas, providas do trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo, principalmente Oligochaeta (minhocas) e/ou aqueles em que é possível visualizar a presença e atividade de raízes; e agregados fisiogênicos - aqueles que possuem formas angulares resultantes da interação entre carbono, argila, cátions e ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Após a identificação e separação, os diferentes tipos de agregados foram submetidos à análise de estabilidade via úmida, utilizando-se tamisação vertical, com conjunto de peneiras com malha decrescente, a saber: 2,00, 1,00, 0,50, 0,250 e 0,105 mm, por 15 min, no aparelho de Yooder. O material retido em cada peneira foi transferido para placas de Petri, e seco em estufa, a 105 °C, até obtenção de massa constante. A partir dos dados de massa de agregados, foi calculado seu diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de acordo com Teixeira et al. (2017).

Para a realização das demais análises, uma outra amostra de agregados foi destorroada e passada por peneira de 2,00 mm de malha, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA). A partir da TFSA dos diferentes tipos de agregados foram realizadas as análises dos atributos químicos, carbono orgânico total (COT) e das frações granulométricas e húmicas da MOS. A quantificação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , $\text{H}+\text{Al}$, P, pH em água, sendo calculados a soma de bases (S), a saturação por bases (V%) e a capacidade de troca catiônica (T) segundo Teixeira et al. (2017) e o COT foi determinado conforme Yeomans & Bremner (1988).

Para o fracionamento físico granulométrico foi utilizado o método proposto por Cambardella & Elliot (1992), separando a MOS em duas frações, fração particulada (relacionada à fração areia do solo) e fração associada aos minerais (relativa às frações argila e silte). A determinação do carbono orgânico da fração particulada (COP) foi realizada segundo Yeomans & Bremner (1988) e o carbono orgânico da fração associada aos minerais (COAM) da MOS foi quantificado pela diferença entre o COT e o COP.

As substâncias húmicas (SHs) foram obtidas pela extração e separação por meio

da solubilidade diferencial da matéria orgânica em meio básico ou ácido (ácidos fúlvicos e húmicos) e o resíduo (humina) (Benites et al., 2003). A determinação do carbono orgânico em cada uma das frações húmicas, ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-FHUM), também foi realizada de acordo com Yeomans & Bremner (1988).

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade dos dados pelos testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os resultados foram analisados como delineamento inteiramente casualizado, sendo submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa R 3.3.1.

Também foi realizada a análise de componentes principais (ACP), utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise por meio do gráfico do círculo de correlações, fornecendo com isso uma melhor interpretação do padrão dos agregados em função dos atributos avaliados por meio do programa PAST, e análise de correlação de Pearson pelo programa Excel.

3 | RESULTADOS & DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os resultados de diâmetro médio ponderados (DMP) dos agregados, sendo observadas diferenças somente entre as pedoformas. Em CX para os agregados fisiogênicos foram quantificados os maiores valores de DMP em comparação a CC.

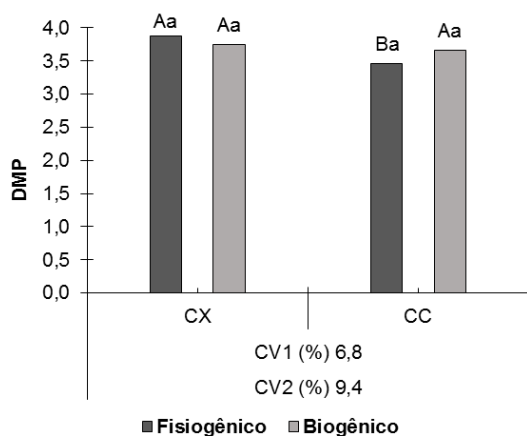


Figura 1. Diâmetro médio ponderado de agregados fisiogênicos e biogênicos sob pedoforma convexa (CX) e cônica (CC) em Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Sudeste do Brasil, Pinheiral – RJ, na camada 0,00-0,10 m.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem as pedoformas para o mesmo tipo de agregado, mesma letra minúscula não diferem os tipos de agregados para a mesma pedoforma avaliada (Teste de Tukey, $p < 0,05$). CV1: Coeficiente de variação entre os tipos de agregados; e CV2: Coeficiente de variação entre as pedoformas.

Em estudo envolvendo agregados biogênicos e fisiogênicos de diferentes classes de solos do Estado da Paraíba sob cana-de-açúcar e pastagem de capim braquiária, Silva Neto et al. (2010) verificaram que os biogênicos apresentaram maior estabilidade física em comparação aos agregados fisiogênicos, como um reflexo da atividade biológica na gênese dos agregados biogênicos. Em áreas de floresta secundária em estágio avançado de sucessão (FSEA) e pasto misto manejado (PMM) em Pinheiral - RJ, Silva Neto et al. (2016) quantificaram maiores valores de DMP em agregados biogênicos quando comparados aos intermediários e fisiogênicos.

Também em Pinheiral - RJ, Fernandes et al. (2017) verificaram maiores valores de DMP para agregados biogênicos em área de FSEA em relação aos demais tipos de agregados estudados. Mergen Junior et al. (2019 a) observaram que os agregados biogênicos em área de sistema plantio direto com aplicação de cama sobreposta de suínos na camada de 0,05-0,10 m apresentaram maiores valores de DMP em comparação aos fisiogênicos.

Para Silva Neto et al. (2010), as maiores proporções de argila, cátions e matéria orgânica geralmente encontradas em agregados biogênicos (coprólitos) podem favorecer interações mais intensas, comparativamente aos agregados fisiogênicos, aumentando sua estabilidade.

As gramíneas quando presentes, também contribuem nos processos de formação e estabilização dos agregados, devido, principalmente, à elevada densidade de suas raízes, que promove a aproximação de partículas pela constante absorção de água do solo, bem como, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudados orgânicos ao solo (Mergen Junior et al., 2019 a). Estes fatores, estimulam a atividade microbiana edáfica, cujos subprodutos produzidos também atuam na estabilização dos agregados (Brandão & Silva, 2012; Mergen Junior et al., 2019 a).

Os maiores valores de DMP observados nos agregados fisiogênicos em CX em comparação à CC (Figura 1), podem estar relacionados às condições ambientais da pedoforma (maior incidência de radiação solar e ventos) em época chuvosa (maior oferta de umidade) associada a diversidade e estruturação do sistema radicular das espécies vegetais do ambiente (Santos et al., 2017). Visto que a absorção de água continuamente pelas raízes promove uma secagem local, contribuindo para aumentar a coesão entre as partículas do solo (Brandão & Silva, 2012), favorecendo a gênese de agregados fisiogênicos.

Em estudo realizado em áreas sob diferentes sistemas de manejo agroecológico em Seropédica - RJ, Rossi et al. (2016) observaram que os resultados de DMP foram influenciados apenas nos sistemas manejo e não dos diferentes tipos de agregados avaliados. Também nesse sistema de manejo, Schultz et al. (2019) não observaram diferenças nos valores de DMP entre as vias de formação avaliadas.

Os resultados da caracterização dos atributos químicos nos diferentes tipos de agregados são apresentados na Tabela 1. As maiores variações foram verificadas com

maior expressão entre as pedoformas do que entre as vias de formação, principalmente para Ca^{2+} , soma de bases trocáveis (S), total de cátions adsorvidos (T) e saturação por bases (V).

Na comparação entre as pedoformas, em CX foram quantificados os maiores teores de Ca^{2+} e valores S, T e V em agregados fisiogênicos. Quanto aos tipos de agregados, verificou-se que nos biogênicos foram observados os maiores valores S e V em CC, e nos fisiogênicos maiores valores T em CX (Tabela 1).

Pedoformas	pH (H_2O)		Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	
	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio
CX	4,81 ^{NS ns}	4,85 ^{NS ns}	4,16 ^{A ns}	4,52 ^{NS ns}	3,20 ^{NS ns}	3,78 ^{NS ns}
CC	4,61 ^{NS ns}	4,60 ^{NS ns}	1,96 ^{B ns}	2,85 ^{NS ns}	3,26 ^{NS ns}	3,90 ^{NS ns}
CV1%		6,5		42,4		32,4
CV2%		14,6		53,5		35,7

Pedoformas	Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	
	Fis	Bio	Fis	Bio
CX	0,86 ^{NS ns}	0,81 ^{NS ns}	8,34 ^{NS ns}	7,24 ^{NS ns}
CC	1,05 ^{NS ns}	0,95 ^{NS ns}	9,12 ^{NS ns}	8,21 ^{NS ns}
CV1%		68,5		19,8
CV2%		84,1		38,5

Pedoformas	K^+ (mg dm^{-3})		P (mg dm^{-3})	
	Fis	Bio	Fis	Bio
CX	103 ^{NS ns}	118 ^{NS ns}	2,72 ^{NS ns}	2,25 ^{NS ns}
CC	97 ^{NS ns}	106 ^{NS ns}	2,24 ^{NS ns}	2,62 ^{NS ns}
CV1%		21,6		30,2
CV2%		53,6		34,0

Pedoformas	S ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		T ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		V (%)	
	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio
CX	8,05 ^{A ns}	8,62 ^{NS ns}	18,09 ^{A a}	15,86 ^{NS b}	54 ^{A ns}	59 ^{NS ns}
CC	4,74 ^{B b}	7,72 ^{NS a}	15,42 ^{B ns}	14,24 ^{NS ns}	35 ^{B b}	50 ^{NS a}
CV1%		24,1		9,8		20,9
CV2%		20,3		16,2		20,8

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem as pedoformas para o mesmo tipo de agregado, mesma letra minúscula na linha não diferem os tipos de agregados para a mesma pedoforma avaliado (teste de Tukey, a 5% de probabilidade) e ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade. S: Soma de bases trocáveis; T: Total de cátions adsorvidos, corresponde a CTC à pH 7,0; V: Saturação por bases; CV1: Coeficiente de variação entre os tipos de agregados; e CV2: Coeficiente de variação entre as pedoformas.

Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos de agregados fisiogênicos (Fis) e biogênicos (Bio) sob pedoforma convexa (CX) e côncavo (CC) em Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Sudeste do Brasil, Pinheiral – RJ, na camada 0,00-0,10 m.

Em relação aos atributos químicos (Tabela 1), os maiores teores de Ca^{2+} e valores S, T e V nos agregados fisiogênicos em CX estão relacionados as condições ambientais da pedoforma. Avaliando a influência da curvatura da superfície na variabilidade espacial dos atributos químicos do solo na região de Mar de Morros, Pinheiral - RJ, Santos et al. (2016) quantificaram maiores valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^+ na pedoforma côncava e teores mais elevados de Al^{3+} na convexa. Esses resultados diferem dos verificados nesse estudo.

Quanto aos tipos de agregados, para os resultados dos valores S e V entre as vias de formação (Figura 1) verificou-se padrão semelhante ao observado nos trabalhos de Silva Neto et al. (2010) e Melo et al. (2019). Os agregados biogênicos, são formados por processos biológicos, o que contribui para diferenças nos atributos químicos quando comparados aos agregados formados por outros mecanismos (Silva Neto et al., 2010), consequentemente influenciando nos valores do complexo sortivo desses agregados. Para Mergen Junior et al. (2019 b), os agregados biogênicos apresentam-se como sítios potenciais de acúmulo de nutrientes, fruto da maior atividade biológica e presença de sistema radicular.

Na Tabela 2 são apresentados os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), na qual não foram verificadas diferenças na comparação entre CX e CC. Em relação as vias de formação, foram observadas diferenças somente para COT, sendo nos agregados biogênicos em CX quantificados os teores mais elevados de carbono em comparação a via fisiogênica.

Mesmo com a ausência de significância estatística encontrada nos resultados das frações COP e COAM nos agregados, pode-se observar tendência de aumento nos teores de carbono nessas frações em agregados biogênicos em relação aos fisiogênicos nas duas pedoformas avaliadas (Tabela 2). Para COP, o aumento nos teores de carbono nos agregados biogênicos foi de 25 e 24% em CX e CC, respectivamente. Já para COAM, o aumento foi de 15 e 9% em CX e CC, em sequência.

Para o conteúdo de COT (Tabela 2), os resultados corroboram aos encontrados por Silva Neto et al. (2010), Batista et al. (2013), Loss et al. (2014; 2017), Ventura et al. (2018), Melo et al. (2019) e Schultz et al. (2019). Silva Neto et al. (2016) e Fernandes et al. (2017) quantificaram maiores teores de COT nos agregados biogênicos quando comparados aos fisiogênicos em áreas de floresta secundária em estádios médio (FSEM) e inicial (FSEI) e PMM.

Em área de floresta nativa, no município de Guaíra - PR, Ferreira et al. (2020) verificaram maiores teores de COT em agregados biogênicos em relação aos agregados intermediários e fisiogênicos. De modo geral, nas áreas sob vegetação nativa, em virtude da maior estabilidade do ambiente, pressupõem-se uma maior atividade dos microorganismos, plantas e animais edáficos responsáveis pela gênese de agregados biogênicos. Tais resultados sugerem que esses agregados, além de indicarem maior atividade biológica,

também auxiliam no acúmulo de carbono no solo.

Pedoformas	COT (g kg ⁻¹)	
	Fisiogênicos	Biogênicos
CX	36,65 ^{NS b}	44,32 ^{NS a}
CC	38,56 ^{NS ns}	43,94 ^{NS ns}
CV1%	12,7	
CV2%	23,4	

Pedoformas	COP (g kg ⁻¹)		COAM (g kg ⁻¹)	
	Fisiogênicos	Biogênicos	Fisiogênicos	Biogênicos
CX	6,33 ^{NS ns}	8,51 ^{NS ns}	30,23 ^{NS ns}	35,77 ^{NS ns}
CC	5,45 ^{NS ns}	7,20 ^{NS ns}	33,11 ^{NS ns}	36,73 ^{NS ns}
CV1%	37,6		19,9	
CV2%	30,2		30,1	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem as pedoformas para o mesmo tipo de agregado, mesma letra minúscula na linha não diferem os tipos de agregados para a mesma pedoforma avaliado (teste de Tukey, a 5% de probabilidade) e ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade. COT: Carbono orgânico total; COP: Carbono orgânico particulado; COAM: Carbono orgânico associado aos minerais; CV1: Coeficiente de variação entre os tipos de agregados; e CV2: Coeficiente de variação entre as pedoformas.

Tabela 2. Carbono orgânico total e das frações granulométricas da MOS de agregados fisiogênicos e biogênicos sob pedoforma convexa (CX) e côncava (CC) em Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Sudeste do Brasil, Pinheiral – RJ, na camada de 0,00-0,10 m.

O aumento de carbono em estruturas biogênicas indica seletiva alimentação do material orgânico por organismos do solo, elevando as concentrações de carbono nesses agregados (Pulleman et al., 2005), fato este observado com os maiores valores de COT quantificados nos agregados biogênicos em CX (Tabela 2). Do exposto, é possível inferir que os agregados de origem biológica contribuem mais efetivamente na proteção da MOS, diminuindo as taxas de decomposição e elevando o potencial de sequestro de carbono pelo solo (Silva Neto et al., 2010).

Dentre as frações granulométricas, o COP é considerado um dos compartimentos mais lábeis, altamente sensível a práticas de revolvimento do solo e facilmente mineralizável caso o manejo ou uso não esteja dentro dos preceitos da agricultura conservacionista (Rossi et al., 2016), podendo assim ser apontado como um potencial indicador da qualidade da MOS em diferentes ambientes edáficos. Todavia em ambientes mais equilibrados e estáveis, variações significativas no conteúdo de COP podem ser menos frequentes, como observado nesse estudo.

Já a fração COAM nem sempre funciona como um indicador sensível e eficiente na

avaliação da qualidade edáfica, uma vez que alterações no estoque desse compartimento da matéria orgânica demoram muitos anos para serem detectados (Carmo et al., 2012), em virtude do elevado grau de estabilidade dessa fração física da MOS.

Os resultados de carbono orgânico das substâncias húmicas da MOS variaram em função das pedoformas e das vias de formação em todas as frações estudadas (Tabela 3).

Pedoformas	C-FAF (g kg ⁻¹)		C-FAH (g kg ⁻¹)	
	Fisiogênicos	Biogênicos	Fisiogênicos	Biogênicos
CX	3,20 ^{NS b}	5,13 A a	2,61 ^{NS b}	5,05 A a
CC	3,44 ^{NS NS}	3,29 B ^{NS}	3,20 ^{NS NS}	2,53 B ^{NS}
CV1%		18,5		26,4
CV2%		22,7		38,6

Pedoformas	C-FHUM (g kg ⁻¹)		SH (%)	
	Fisiogênicos	Biogênicos	Fisiogênicos	Biogênicos
CX	12,80 B b	19,93 A a	52 ^{NS b}	70 A a
CC	17,79 A ^{NS}	14,62 B ^{NS}	64 ^{NS a}	48 B b
CV1%		17,5		17,6
CV2%		18,8		22,9

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem as pedoformas para o mesmo tipo de agregado, mesma letra minúscula na linha não diferem os tipos de agregados para a mesma pedoforma avaliado (teste de Tukey, a 5% de probabilidade) e^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade. C-FAF: Carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: Carbono da fração ácido húmico; C-FHUM: Carbono da fração humina; SH: Porcentagem de carbono nas substâncias húmicas; CV1: Coeficiente de variação entre os tipos de agregados; e CV2: Coeficiente de variação entre as pedoformas.

Tabela 3. Carbono orgânico das frações húmicas da MOS de agregados fisiogênicos e biogênicos sob pedoforma convexa (CX) e côncavo (CC) em Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Sudeste do Brasil, Pinheiral – RJ, na camada de 0,00-0,10 m.

No que tange às pedoformas, em CX nos agregados biogênicos foram quantificados os maiores teores de carbono orgânico nas frações ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH), humina (C-FHUM) e na porcentagem de carbono nas substâncias húmicas (SH) em relação a CC. Entretanto nos agregados fisiogênicos em CC foram verificados os teores mais elevados de C-FHUM em comparação a CX.

Para as vias de formação, foram observados que nos agregados biogênicos foram quantificados os maiores teores de C-FAF, C-FAH, C-FHUM e SH em CX quando comparados aos fisiogênicos, exceto em CC, na qual nos fisiogênicos foram quantificados os maiores valores de SH (Tabela 3).

De maneira geral, foi verificado que nos agregados biogênicos da pedoforma convexa os maiores teores de carbono orgânico das frações húmicas da MOS (C-FAF,

C-FAH e C-FHUM) e no total de carbono humificado (SH), tanto entre as pedoformas quanto entre as vias de formação, corroborando aos valores de COT observados. Outros autores observaram resultados semelhantes para a agregação biogênica (Loss et al., 2014; Mergen Junior et al., 2014; Fernandes et al., 2017; Ventura et al., 2018; Melo et al., 2019 e Ferreira et al., 2020). Apontando a mesma como uma potencial indicadora na avaliação da qualidade do solo, justamente por sua maior sensibilidade as diferentes condições edafo-ambientais (Silva Neto et al., 2010; Loss et al., 2014; e Fernandes et al., 2017).

Em relação as frações C-FAF e C-FAH, Loss et al. (2014), no estado do Paraná, em áreas de sistema de preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD), pastagem e floresta secundária, verificaram que os agregados biogênicos propiciam um ambiente mais favorável para a formação de substâncias húmicas. Os autores atribuem este padrão à atuação dos fatores como fauna do solo (macro e microfauna) e sistema radicular.

Para Ferreira et al. (2020), as frações ácido fúlvico e ácido húmico, são os compartimentos mais importantes das frações húmicas da MOS em termos de reatividade e ocorrência em ecossistemas. Sendo assim, os elevados teores de C-FAF e C-FAH em agregados biogênicos nesse estudo, demonstram a sua importância na qualidade química do solo.

Para o C-FHUM, a maior concentração de carbono nessa fração em agregados biogênicos pode ser atribuída a ação das raízes, e principalmente pela fauna edáfica. Nas diferentes vias de formação dos agregados, Ferreira et al. (2020) quantificaram maiores teores de C-HUM em áreas de floresta nativa e SPD com 23 anos de implantação em comparação aos SPDs com 7 e 14 anos de instalação. Para Fernandes et al. (2017), a presença da macrofauna edáfica, principalmente as minhocas, têm ação direta sobre a ciclagem biogeoquímica no solo (Jouquet et al., 2006), influenciando positivamente a ecologia do processo de humificação.

Os maiores teores de C-FAF, C-FAH, C-FHUM e SH em agregados formados pelos agentes biológicos do solo, podem estar relacionados a capacidade que esses agregados têm de proteção e estabilização das substâncias húmicas, favorecendo assim o acúmulo dessas frações. Silva Neto et al. (2016), sugerem que essa via de formação é mais eficiente em termos de estabilidade estrutural do solo e sequestro de carbono.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a partir das interpretações feitas na distribuição dos valores de DMP, atributos químicos, COT e carbono das frações granulométricas e húmicas da MOS nas vias de formação dos agregados (Figura 2).

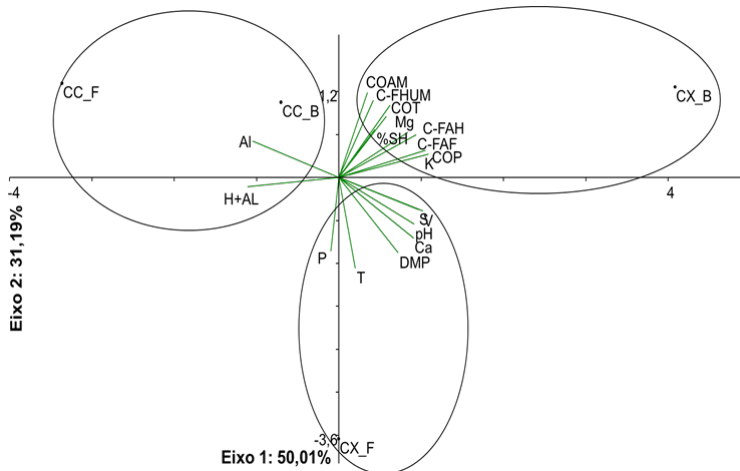


Figura 2. Gráfico bipolar da análise de componentes principais (ACP) da estabilidade, atributos químicos e conteúdo de carbono orgânico total e das frações granulométricas e químicas da MOS de agregados fisiogênicos (F) e biogênicos (B), sob pedoforma convexa (CX) e côncava (CC) em Floresta Estacional Semidecidual Submontana no Sudeste do Brasil, Pinheiral – RJ, na camada de 0,00-0,10 m.

DMP: Diâmetro médio ponderado; Ca: Cálcio trocável; Mg: Magnésio trocável; Al: Alumínio trocável; K: Potássio trocável; P: Fósforo trocável; H+Al: Acidez potencial; S: Soma de bases trocáveis; T: Total de cátions adsorvidos, corresponde a CTC à pH 7,0; V: Saturação de bases; COT: Carbono orgânico total; COP: Carbono orgânico particulado; COAM: Carbono orgânico associado aos minerais; C-FAF: Carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: Carbono da fração ácido húmico; C-FHUM: Carbono da fração humina; e %SH: Porcentagem de carbono nas substâncias húmicas.

Para essa análise, os atributos avaliados são representados por setas, que indicam a direção do gradiente máximo, em que o comprimento da seta é proporcional à correlação do atributo com os eixos e à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo. Verificou-se que as distribuições dos atributos apresentaram variância acumulada para os eixos 1 e 2 de 81,20%.

Através da ACP verifica-se a formação de três grupos, sendo os agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) na pedoforma convexa (CX_B e CX_F, respectivamente) separados dos agregados da pedoforma côncava (CC), ao longo do eixo 1, que melhor explica a dissimilaridade entre as diferentes condições topográficas e vias de formação avaliadas (50,01%). Enquanto o eixo 2, com menos relevância, separou CX_B de CX_F (31,19%).

A maioria das variáveis correlacionaram-se positivamente (>0,8) ao eixo 1 e estiveram mais associadas aos agregados da pedoforma CX. Ou seja, o Mg^{2+} , K^+ , COT, COP, COAM, C-FAF, C-FAH, C-FHUM e %SH estão relacionados a via biogênica; e DMP, pH, Ca^{2+} , S, T e V a via fisiogênica. Verificou-se também que os agregados em CC apresentaram-se

próximos dos autovetores Al^{3+} e $H+Al$, e distante dos agregados da pedoforma CX.

Com o emprego da ACP, os diferentes tipos de agregados e pedoformas puderam ser separados de acordo com os atributos avaliados. Houve clara separação entre as pedoformas CX e CC, e tendo a CC para ambas as vias de formação, correlação positiva somente com Al^{3+} e $H+Al$. O agrupamento dos autovetores (Mg^{2+} , K^+ , COT, COP, COAM, C-FAF, C-FAH, C-FHUM e %SH) próximos aos agregados biogênicos em CX demonstra que essa condição de relevo, favorece a decomposição do material orgânico. Conseqüentemente aumenta os teores de carbono orgânico, contribuindo na formação de agregados biogênicos.

Segundo Melo et al. (2019), quanto maior a entrada de carbono ao sistema, mais intensa será a formação de agregados biogênicos. O padrão observado na APC associado aos testes estatísticos aplicados evidenciam o favorecimento da agregação biogênica nas diferentes frações da matéria orgânica do solo.

4 | CONCLUSÕES

As diferentes condições de relevo influenciaram nas vias de formação dos agregados, com destaque para a composição química e partição dos teores de carbono orgânico total e das substâncias húmicas da MOS encontrados nos mesmos.

Na pedoforma convexa foram observados os maiores valores de diâmetro médio ponderado nos agregados fisiogênicos.

Nos agregados biogênicos foram verificados melhor qualidade dos atributos químicos, representada por maiores valores do complexo sortivo, carbono orgânico total e das frações húmicas da MOS em comparação aos agregados fisiogênicos.

O estudo quantitativo da MOS a partir da compartimentalização do carbono orgânico nos diferentes tipos de agregados, pode ser uma técnica eficaz na mensuração da qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.; MELLO, N. A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1535-1548, 2013.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 7p, 2003.

BRANDÃO, E. & SILVA, I. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**. 42(7): 1193-1199, 2012.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A. Handbook for Soil Thin Section Description.

Albrighton: Waive Research Publications, 152p, 1985.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; RIBEIRA FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. Interferência dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência da transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 527-535, 2010.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

FERNANDES, J.C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA NETO, E.C.D.A.; CORREA NETO, T. A. Characterization of biogenic, intermediate and physcogenic soil aggregates of areas in the Brazilian Atlantic Forest. **Revista Caatinga**, v. 30, n.1, p.59-67. 2017.

FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil Till. Res.**, 198, 2020.

LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; DOS SANTOS, E.; MERGEN, C. A.; BENEDET, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in biogenic and physcogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil and Tillage Research**, 166, p.52–58, 2017.

LOSS, A.; PEREIRA M.G.; COSTA, E.M.; BEUTLER, S.J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ¹³C and ¹⁵N abundance in biogenic and physcogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, n.7, p.85–697, 2014.

MELO, T. R.; PEREIRA, M. G.; BARBOSA, G. M. C.; SILVA NETO, E. C., ANDRELLO, A. C.; FILHO, J. T. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manures. **Soil Till. Res.**, v.190, p.186-193, 2019.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; BRUNETTO, G. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.**, Recife, v.14, n.1, e5620, 2019 b.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; GIUMBELLI, L. D.; PINHO, D.; ABREU, L.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. Caracterização física de agregados do solo submetido a 10 anos de aplicação de dejetos suínos. **Revista de Ciências Agrícolas**, v. 36, n. 1, p. 79-92, 2019 a.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; COMIN, J. J.; FREO, V. A.; PEREIRA, M. G.; BRUNETTO, G. Carbono das substâncias húmicas em agregados biogênicos e fisiogênicos sob aplicação continuada de dejetos suínos. In: **Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo**, 10º, 2014, Pelotas-RS. Anais Pelotas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014.

PULLEMAN, M. M.; SIX, J.; MARINISSEN, J. C. Y.; JONGMANS, A. G.; Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology Amsterdam**, v. 29, n. 1, p. 1-15, 2005.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T.; ALMEIDA, A. P. C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.51, n.9, p.1677-1685, 2016.

SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; LIMA, S. S.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA, V. M. M.; DELGADO, R. C. Landform curvature and its effect on the spatial variability of soil attributes, Pinheiral - RJ/BR. **Revista Cerne**, v. 22, n. 4, p. 431-438, 2016.

SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; MORAES, L. F. D. Padrões da Regeneração Natural na Região de Mar de Morros, Pinheiral-RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 11 p., 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHULTZ, N.; PINTO, L. A. S. R.; LIMA, S. S.; ZIVIANI, M. M.; ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G. Agregação do solo e atributos químicos em áreas com diferentes coberturas vegetais In: **Características do Solo e sua Interação com as Plantas 2.2 ed.**: Atena Editora, v.2, p. 1-12, 2019.

SILVA NETO, L. F.; PEREIRA, M.G.; FERNANDES, J. C. F.; CORRÊA NETO, T. A. Aggregate formation and soil organic matter under different vegetation types in Atlantic Forest from Southeastern Brazil. **Semina: Ciência agrárias**. Londrina, v. 37, n. 6, p. 3927-3940, 2016.

SILVA NETO, L. F.; SILVA, I. F.; INDA, A. V.; NASCIMENTO, P. C.; BORTOLO, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência agrotécnica**. v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 573p, 2017.

VENTURA, B. S.; LOSS, A.; GIUMBELLI, L. D.; FERREIRA, G. W.; BUENO, A. C.; LOURENZI, C. R.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. Carbon, nitrogen and humic substances in biogenic and physycogenic aggregates of a soil with a 10-year history of successive applications of swine waste. **Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.21, p.329 – 343, 2018.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p.1467-1476, New York 1988.

USO DE TENSÍOMETROS NA DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PLANTAS ORNAMENTAIS

Data de aceite: 28/04/2021

Fátima Cibele Soares

Universidade Federal do Pampa
Alegrete – Rio Grande do Sul

Giordana Trindade de Abreu

Universidade Federal do Pampa
Alegrete – Rio Grande do Sul

Jumar Luís Russi

Universidade Federal do Pampa
Alegrete – Rio Grande do Sul

RESUMO: A curva de retenção de água do substrato é importante instrumento na eficiência das irrigações. Entretanto, no Brasil, ainda não existe um método padrão, confiável, para a determinação da curva de retenção de água em substratos, destinados para o cultivo de ornamentais. Assim, neste trabalho, o objetivo foi obter a curva de retenção de água em substratos, para o cultivo de ornamental, utilizando tensiômetro. O trabalho foi realizado no laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Pampa-Campus de Alegrete/RS. Foram testadas diferentes misturas, entre solo e substrato da marca Carolina Soil®, sendo essas: T1 (100% substrato); T2 (100% Solo); T3 (90% solo+10% substrato); T4 (80% solo+20% substrato); T5 (70% solo+30% substrato); T6 (60% solo+40% substrato); T7 (50% solo+50% substrato), T8 (40% solo+50% substrato); T9 (30% solo+70% substrato) e T10 (20% solo+80% substrato). O procedimento

adotado foi a determinação conjunta da tensão de água nos substratos, pela equação proposta por Brito et al. (2009), e a pesagem dos vasos para, por diferença, determinar a quantidade de água correspondente. Os dados de tensão e quantidade de água do substrato foram usados para a confecção das curvas de retenção de água pelo substrato. Os resultados obtidos indicam a possibilidade do uso de tensiômetros para determinar as curvas de retenção de água nos substratos testados.

PALAVRAS-CHAVE: Potencial mátrico, água no solo, tensiômetro, substratos, irrigação.

ABSTRACT: The substrate water retention curve is an important instrument in the irrigation efficiency. However, in Brazil, there is still no standard (and reliable) method for determining the water retention curve in substrates, intended for the cultivation of ornamentals. Thus, in this work, the objective was to obtain the water retention curve in substrates, for ornamental cultivation, using a tensiometer. The work was carried out in the hydraulics laboratory of the Federal University of Pampa-Campus of Alegrete / RS. Different mixtures were tested, between soil and substrate of the Carolina Soil® brand, these being: T1 (100% substrate); T2 (100% Solo); T3 (90% soil + 10% substrate); T4 (80% soil + 20% substrate); T5 (70% soil + 30% substrate); T6 (60% soil + 40% substrate); T7 (50% soil + 50% substrate), T8 (40% soil + 50% substrate); T9 (30% soil + 70% substrate) and T10 (20% soil + 80% substrate). The adopted procedure was the joint determination of the water tension in the substrates, by the equation proposed by Brito et

al., (2009), and the weighing of the vessels to (by difference) determine the corresponding amount of water. The data of tension and quantity of water of the substrate were used for the preparation of the water retention curves by the substrate. The results obtained indicate that it is possible to use tensiometers to determine the water retention curves in the tested substrates.

KEYWORDS: Potential, soil water, tensiometer, substrates, irrigation.

1 | INTRODUÇÃO

O solo apresenta gênese, perfil e densidades característicos, com processos de formação envolvendo milênios, estando fortemente relacionado com a paisagem e as condições ambientais circundantes (Kampf, 2000). É fato a ser considerado, também, que as plantas quando cultivadas no solo *in situ* têm a sua disposição, volumes de solo de dimensões praticamente ilimitadas para explorar.

No cultivo em recipientes, independentes do substrato utilizado, observa-se uma limitação de espaço para a expansão das raízes. A limitação deste exige que o substrato seja capaz de manter um volume de água facilmente disponível às plantas sem, no entanto, comprometer a concentração de oxigênio no meio (Bunt, 1961).

Conhecer o comportamento da água no substrato é essencial para a tomada de decisões referentes ao manejo racional dos cultivos irrigados. Nesse aspecto, uma importante variável a ser mensurada é a energia com que a água está retida pela fração sólida do substrato, conhecida na literatura que trata do tema por potencial mátrico. Sendo chamada de curva de retenção de água no substrato, o gráfico que relaciona o potencial mátrico de água no substrato com a umidade a base de volume do mesmo.

Conhecer somente os valores totais de água contidos em um substrato, ou seja, sua capacidade de retenção de água, não é suficiente, pois esta pode apresentar-se retida com uma força superior a da sucção exercida pelas plantas, e não estar acessível.

A água deve estar disponível às plantas em baixas tensões, para que não ocorra estresse hídrico ou desvio de energia que seria utilizada para o crescimento e produção de biomassa, para a absorção de água. Isso significa que a sucção no substrato não deve exceder uma tensão correspondente a 100 cm de coluna de água. De Boodt & Verdonck, (1972) estabeleceram como referência os pontos de sucção de 0, 10, 50, e 100 cm de coluna de água, na construção da curva de retenção de água. No ponto de sucção zero, o substrato encontra-se totalmente saturado, sendo que o volume de água presente indica a porosidade total. A sucção de 10 cm foi escolhida por corresponder à altura média da camada de substrato em que as raízes das plantas ornamentais se desenvolvem em casa de vegetação. O ponto 100 cm foi considerado o limite superior da disponibilidade de água, de forma a se evitar limitações sobre o crescimento das plantas (BELLÉ & KÄMPF, 1994).

O volume liberado entre 10 e 100 cm de sucção é considerado como água disponível, sendo este dividido em água facilmente disponível (10 e 50 cm) e água tamponante ou

de reserva (50 e 100 cm). Um substrato ideal possui água disponível e água tamponante em torno de 20 a 30%, e 4 a 10%, respectivamente (DE BOODT & VERDONCK, 1972). A escolha adequada das matérias-primas e o correto manejo dos substratos é fundamental em sistemas de cultivo sem solo, pois diferentes substratos apresentam 17 diferentes proporções entre a água fracamente e a fortemente retida pelo meio, o que é de extrema importância em um programa de irrigação (MARTINEZ, 1992). Portanto, o fornecimento de água às culturas deve ocorrer com intensidade e frequência apropriados para cada tipo de substrato, de forma a maximizar o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Na determinação da curva de retenção de água em substratos agrícolas, entre outros, têm sido utilizados métodos que envolvem equipamentos de pressão e placas porosas. Também se utilizam funis de “Buchener”, equipados com placas porosas ou outros materiais, por exemplo, gesso. Uma das limitações desses métodos, tema de discussões, é o problema do contato da amostra com a placa porosa e com outros tipos de materiais.

Vieira e Castro (1987) afirmam que em relação a outros métodos o uso de cápsulas porosas para determinação de curvas de retenção de água em componentes é bastante vantajoso, tanto em termos de equipamentos necessários, tempo de obtenção de pontos, número de pontos possíveis e, principalmente, quanto à proximidade de curvas determinadas por outros métodos. Esses mesmos autores determinaram curvas de retenção de água em componentes bastante contrastantes em granulometria, usando cápsulas porosas de 10 mm de diâmetro. Os resultados que obtiveram foram bons e comparáveis a métodos tradicionais, como o da câmara de Richards.

Segundo Vieira e Castro (1987), com a utilização do método da cápsula porosa foram necessários cerca de 40 dias para cada curva de retenção enquanto que a determinação em câmara de Richards se estendeu por 150 dias. Estes, relataram que quando usaram cápsula porosa de 10 mm na determinação da curva de retenção de água em Latossolo Roxo Distrófico, Podzólico Vermelho Amarelo de textura média argilosa e de textura arenosa média também não tiveram problemas com o contato entre as amostras de solo e os meios de tensão.

No entanto, em relação à curva de retenção de água, percebe-se que existe variabilidade nos resultados encontrados por diferentes autores. Possivelmente porque vários são os fatores que influenciam na determinação dessa variável física em substratos agrícolas, como por exemplo o equipamento utilizado nas determinações.

No Brasil, a determinação da curva de retenção de água em substratos agrícolas ainda não é padronizada e os métodos mais utilizados demandam muito tempo, são tediosos e necessitam de equipamentos caros.

Neste contexto, esse trabalho teve por objetivo mensurar a tensão de água em diferentes substratos, por meio do uso de tensiometria, para determinar a curva de retenção de água nos mesmos.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Pampa/Campus de Alegrete-RS, com solo coletado na localidade do Capivari, no referido município, e com substrato comercial da marca Carolina Soil®.

O solo utilizado possui classificação de Argissolo (Streck et al., 2008). A amostragem do mesmo foi feita por meio da abertura de uma mini trincheira, na qual retirou-se uma amostra deformada de solo na camada de 0,00-0,20 m. de profundidade. As amostras de solo e substrato foram passadas em peneira de 2 mm e seca ao ar, caracterizando terra fina seca ao ar.

Foram testadas diferentes misturas de solo com substrato comercial. As misturas testadas foram: S1 (100% substrato); S2 (100% solo); S3 (90% solo + 10% substrato); S4 (80% solo + 20% substrato); S5 (70% solo+30% substrato); S6 (60% + 40% de substrato); S7 (50% solo + 50% substrato); S8 (40% solo + 60% substrato); S9 (30% solo+70% substrato) e S10 (20% solo+80% substrato). Estas misturas foram alocadas em vasos de plásticos na cor preta com diâmetro de 0,3 m, altura de 0,2 m e capacidade de 2,6 L.

Cada recipiente foi preenchido com a mistura seca ao ar, até um limite, de modo que uma borda do vaso ficou acima do nível do solo. A mistura foi colocada suavemente solto no vaso em camadas de 0,05m, onde uma leve compressão foi aplicada. Em seguida os vasos foram postos para saturar em água no período de 24 horas, logo após foram instalados os tensiômetros.

Os tensiômetros foram preparados para instalação, segundo a metodologia da Embrapa (1999). Estes foram instalados no centro do vaso a 5 cm de distância do fundo do recipiente plástico, ficando com 12 cm de profundidade dentro do solo.

Os vasos, recipiente contendo a mistura e o tensiômetro, foram colocados sobre uma bancada no laboratório e pesados diariamente, em horário fixo no turno da manhã, até que a variação de massa dos mesmos fosse insignificante, utilizando-se uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g. Concomitante a leitura da massa era realizada a leitura do tensiômetro. O experimento teve duração de 70 dias.

Após encerradas as pesagens e as leituras de potencial de água no solo (kPa). O solo foi retirado dos recipientes, levado para secagem em estufa a 105 °C por 24 h e pesado novamente para determinação da massa de solo seco.

A massa de água presente no solo em cada pesagem foi determinada pela diferença entre as leituras diárias da balança e a massa do vaso (recipiente contendo a mistura seca e tensiômetro). A umidade volumétrica do solo foi obtida pela relação entre o volume de água em cada pesagem (considerando a densidade da água de 1000 kg.m⁻³) e o volume de mistura em cada recipiente.

A determinação do potencial mátrico da água no solo para os tensiômetros, com vacuômetro de Bourdon, foi realizada, pela equação 1, proposta por Brito et al., (2009):

$$\phi_m = -(L \times 0,0136) - h + h_c + Z) \times 9,8066 \quad (1)$$

Em que:

ϕ_m = potencial mátrico da água no solo (kPa); L = leitura no visor analógico (mmHg); h = altura da coluna de água acima do ponto de inserção do manômetro (mca); h_c = altura de inserção, em relação à superfície do solo, do manômetro de Bourdon no tubo de PVC (mca); Z = distância entre o centro da cápsula e a superfície do solo (mca).

Após a obtenção da umidade do solo com os respectivos valores de tensão, ajustou-se os dados por meio do modelo de Van Genuchten (1980), a partir da equação 2.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

Em que:

Θ = a umidade volumétrica ($m^3.m^{-3}$); θ_r = umidade residual ($m^3.m^{-3}$); θ_s = umidade de saturação ($m^3.m^{-3}$); ϕ_m = potencial mátrico (kPa); α = escalonador do ϕ_m ; m e n = parâmetros do modelo.

O ajuste da curva de retenção de água no solo foi realizado por meio do software Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990), optando-se pelo modelo de Van Genuchten (1980).

A partir dos valores de umidade volumétrica, obtidos pelo modelo de Van Genuchten, obtiveram-se as variáveis água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água residual (AR), onde o valor de AR será igual ao obtido pela umidade volumétrica a 10 kPa, AFD equivale a subtração de umidade volumétrica na tensão 1kPa pela umidade volumétrica na tensão 5kPa e o valor de AT obtém-se a partir da redução do valor da umidade volumétrica na tensão 5kPa pela umidade volumétrica em 10kPa, conforme De Boodt e Verdonck (1972) e Wilson (1983).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de ajuste dos pares de dados de umidade e tensão ao modelo de Van Genuchten (1980), para as diferentes misturas, estão apresentados na Tabela 1.

Mistura	θ_s^*	θ_r^{**}	α	n	m	r^2
S1***	0,243	0,000	0,009	0,693	0,009	0,947
S2	0,199	0,025	0,089	29,670	0,032	0,954
S3	0,223	0,000	0,230	2,726	0,184	0,963
S4	0,230	0,000	0,158	11,039	0,052	0,981
S5	1,019	0,023	0,238	4,603	0,261	0,966
S6	1,019	0,003	1,025	2,674	0,262	0,989
S7	1,056	0,023	0,507	3,587	0,260	0,971
S8	0,256	0,000	0,141	0,862	0,705	0,945
S9	0,265	0,042	0,161	10,920	0,081	0,943
S10	0,253	0,000	0,001	0,485	6,993	0,824

* θ_r – umidade residual; ** θ_s – umidade de saturação; ***S1 - 100% substrato); S2 - 100% solo; S3 - 90% solo + 10% substrato; S4 - 80% solo + 20% substrato; S5 - 70% solo+30% substrato; S6 - 60% solo + 40% de substrato; S7 - 50% solo + 50% substrato; S8 - 40% solo + 60% substrato; S9 - 30% solo+70% substrato e S10 - 20% solo+80% substrato.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste ao modelo de Van Genuchten (1980) para curvas de retenção de água no solo, elaboradas para diferentes tipos de misturas de solo e substrato.

Observa-se, na Tabela 1, que o ajuste obtido (r^2) para a equação de Van Genuchten (1980) foi próximo a 1, em todas as misturas estudadas. Segundo GARCIA (1989), valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70 indicam bons ajustes, ou seja, com estes resultados, pode-se usar o modelo testado para estimar a umidade volumétrica destas misturas, para potenciais matriciais entre 0 e 80 kPa.

Não observa-se relação entre umidade residual com as diferentes porcentagens de solo e substrato, estes resultados corroboram com os encontrados por Gonçalves (2012). Esta autora estudou curvas de retenção e condutividades hidráulicas, publicadas na literatura, para diferentes tipos de solos e quantificou a variação dos parâmetros de Van Genuchten (1980) com a distribuição granulométrica desses solos. Ainda, Schaap et al. (2001) assumiu que θ_r é zero para uma grande quantidade das classes texturais estudadas, para solos sedimentares da América do Norte e Europa.

Os maiores valores de umidade de saturação foram observados nas misturas que contém em sua composição valores entre 50 a 70% de solo com porcentagens entre 30 a 50% de substrato comercial. Isso, segundo Silva (2005), do ponto de vista capilar, significa a presença de poros menores.

As curvas de retenção de água, para as diferentes misturas, obtidas com tensiômetros, no laboratório, e determinadas por secamento, são apresentadas na Figura 1. Nota-se, que os tensiômetros foram eficientes para a obtenção da curva de retenção de água, para as diferentes misturas. Conseguindo-se obter a umidade volumétrica para o

potencial matricial de até aproximadamente 80 kPa, exceto para a mistura composta por 20% solo+80% substrato. Observando-se, assim, a eficiência do uso de tensiômetros, na estimativa da curva de retenção de água em substratos, uma vez que a faixa de tensão de trabalho, dos tensiômetros, para maioria das culturas fica entre 0 até 75 kPa (LIBARDI, 1999).

Nos maiores potenciais matriciais ocorreram as maiores variações de umidade volumétrica. Resultado semelhante foi observado por Farias, et al. (2004), estes para substrato constituído de 30% de solo+30% de pó de xaxim+40% de casca de pinus, registraram uma redução de aproximadamente 3% da umidade volumétrica nos potenciais inferiores a 10 kPa, com posterior tendência a estabilização, da umidade, até o potencial matricial de 100 kPa.

Segundo Diaz (2010) a sucção no substrato não deve exceder uma tensão correspondente a 100 cm de coluna de água (9,8 kPa). De Boodt & Verdonck, (1972) estabeleceram como referência os pontos de sucção de 0, 10, 50, e 100 cm de coluna de água, na construção da curva de retenção de água, para substratos.

Observa-se, ainda, na Figura 1 que a umidade volumétrica quando o potencial matricial estava próximo de zero, tensão inicial, variou de $0,223 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ na mistura S3 a $0,256 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ na composição S8. Na mistura com 100% de solo, na tensão de 78,7 kPa, foi registrado o menor valor de umidade, $0,053 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.

Fermino (2003) determinou a curva de retenção, através do uso de mesa de tensão, funil de tensão e cilindros de pressão, para diferentes substratos comerciais, encontrou umidade volumétrica média de $0,6 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, na tensão inicial de 10 hPa, e de $0,34 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, para a tensão final de 100 hPa.

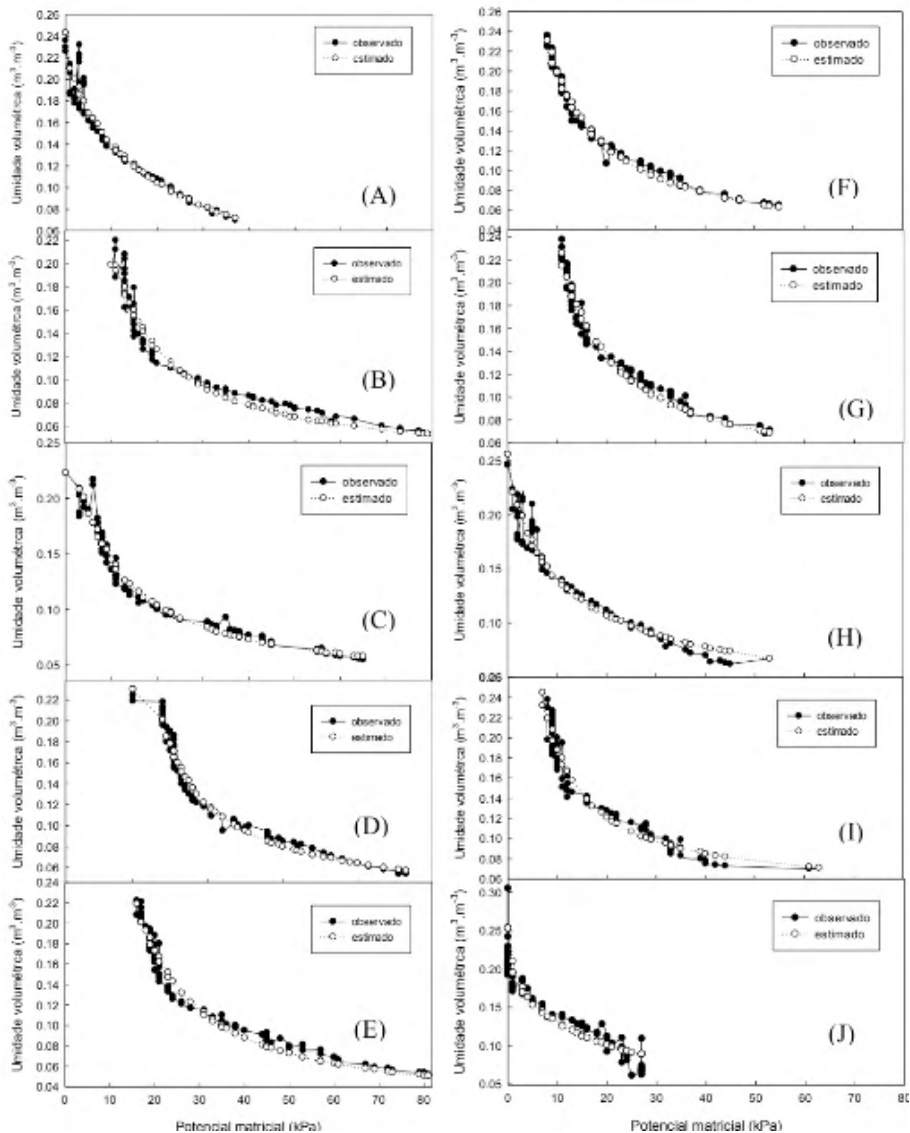


Figura 1. Curva de retenção de água para os substratos preparados com 100% substrato (A), 100% solo (B), 90% solo + 10% substrato (C); 80% solo + 20% substrato (D); 70% solo + 30% substrato (E); 60% solo + 40% de substrato (F); 50% solo + 50% substrato (G); 40% solo + 60% substrato (H); 30% solo + 70% substrato (I) e 20% solo + 80% substrato (J).

Segundo Andriess (1988) a retenção de água das turfas pode chegar até 20 vezes a sua massa. Também as cascas, como as de Pinus (Handreck e Black, 1999) e a vermiculita (Burés, 1997), têm alta capacidade de retenção de água.

O volume de água retida pelos substratos em diferentes tensões é apresentado na Tabela 2, observa-se que apenas os substratos S5, S6 e S7, têm valores de água facilmente

disponível (AFD), entre 26,16 e 58,01%, superiores ao de referência (25% de AFD) segundo De Boodt et al. (1974). Assim, os substratos com valores de AFD inferiores ao de referência não apresentam condições satisfatórias para o desenvolvimento das plantas, uma vez que segundo Klein et al. (2000), o importante para o bom desenvolvimento das plantas é a água facilmente disponível.

Manfron et al. (2005), avaliando a disponibilidade de água, que o substrato composto por 60% de húmus e 40% de casca de arroz natural, disponibiliza para as plantas de alface, observou valores de água facilmente disponível, inferior a faixa ideal, em média de 10,46%

Substrato	AR (%)	AFD (%)	AT (%)
S1	14,09	4,43	3,07
S2	19,88	0,00	0,02
S3	14,43	3,33	4,47
S4	17,72	0,08	5,19
S5	37,27	26,16	38,43
S6	20,24	51,72	12,35
S7	25,07	58,01	20,30
S8	14,05	5,39	3,29
S9	18,80	0,16	7,53
S10	12,86	4,63	2,64

Tabela 2. Água residual (AR), água facilmente disponível (AFD) e água tamponante (AT) as plantas para os substratos avaliados nas diferentes tensões.

Azevedo et al. (2014) caracterizando as propriedades físico-hídricas de diferentes substratos, observaram que os substratos de casca de pinus e misto artesanal, apresentaram valores de AFD abaixo do considerado satisfatório por Fermino et al. (2014) e Cadahia (1998), com valores de 12,21 e 15,50%, respectivamente.

Costa et al. (2017) em estudo, com distintos substratos, registraram, para a água facilmente disponível, um modelo quadrático, com o ponto de mínima de 0,6% com a utilização de 37,23% de casca de arroz carbonizada. Estes, observaram apenas para o substrato formado pela mistura de 75% de casca de arroz carbonizada + 25% composto orgânico, valores compatíveis com os de referência, proposto por Fermino (2003) e Cadahia (1998).

De acordo com Costa et al. (2017) a AFD é liberada sob baixas tensões, indicando que é rapidamente perdida, não se constituindo um reservatório de água para as plantas. Desta forma, quando no substrato há grande percentual de AFD, faz-se necessário o prolongamento nas regas. Para Zorzeto et al. (2014) valores críticos, ou seja, abaixo do considerado ideal, podem inibir o crescimento vegetal na falta de irrigações frequentes.

Ainda, Schafer (2004) observou que substratos com valores abaixo do recomendado, tanto para AFD como para a AT, apresentam limitações quanto ao suprimento adequado de água de fácil absorção para as plantas, indicando que, as regas devem ter durações mais curtas com intervalos de tempo menores.

Avaliando os valores de água residual (AR), que é a água que não será disponibilizada às plantas, o maior e menor valor foram observados nos substratos S5 (37,27 %) e S10 (12,86%), respectivamente (Tabela 2), ou seja, esses percentuais de água não estão disponíveis para absorção das raízes. Esses resultados corroboram com os observados por Feraz et al. (2005), estes, trabalhando com diferentes substratos comerciais, encontraram valores de AR variando de 14 % para o substrato Germina (10%) e 26 % para o substrato de turfa.

Azevedo et al. (2014) encontraram valores para AR variando de 36,37 a 86,68 %, para fibra de coco e vermiculita, respectivamente, em estudo das características físico-hídricas de diferentes substratos encontrados para comercialização,

Costa et al. (2017) observou, para a variável AR, comportamento linear decrescente e as composições S3 (50% CAC + 50% CO) e S4 (75% CAC+ 25% CO) atingiram valores de 31,09% e 19,95%, respectivamente.

Nota-se, na Tabela 2, para água tamponante (AT) que os substratos S3, S4, S5, S6, S7 e S9, apresentaram valores acima do valor ideal. De Boot & Verdonck (1972) e Haynes & Gohg (1978) estimaram que entre 4 a 10% seria um valor de referência para água tamponante. De acordo com os autores substratos com valores iguais ou próximos ao recomendado proporcionam suprimento hídrico adequado para as plantas. Já, os demais substratos apresentam valores inferiores a referência, portanto estes não proporcionariam um possível suprimento hídrico as plantas nele estabelecidas caso haja stress hídrico. Para os mesmos autores o volume liberado acima desta tensão é considerado água dificilmente disponível, remanescente ou residual, portanto, desconsiderada.

Estes resultados são semelhantes aos observados por Costa et. al. (2014), os mesmos observaram valores de AT inferior a 5% para os substratos compostos por: 100% composto orgânico; 25% casca de arroz carbonizada + 75% composto orgânico; 50% casca de arroz carbonizada + 50% composto orgânico; 75% casca de arroz carbonizada + 25% composto orgânico e 100% casca de arroz carbonizada. Manfron et al. (2005) observou para as amostras de substratos volume de água tamponante em média de 1,30%.

As diferenças de resultados encontrados no trabalho e na literatura, certamente ocorrem devido a grande variabilidade existente entre os substratos, nas suas composições e estruturas, bem como, no arranjo de suas partículas no decorrer do tempo, resultando em efeitos diversos para as plantas.

4 | CONCLUSÃO

A determinação da curva de retenção de água de substratos através do método do tensiômetro, pelos resultados deste estudo, apresenta-se como uma alternativa potencialmente viável aos métodos tradicionais, da mesa de tensão e da câmara de pressão de Richards.

O substrato composto por 70% solo e 30% substrato apresenta a melhor qualidade físico-hídrica, sendo uma interessante alternativa para produção de flores ornamentais com qualidade e baixo custo.

As diferentes composições dos substratos revelam o contraste do comportamento físico-hídrico dos mesmos, mostrando a importância de sua caracterização, podendo assim definir a frequência e quantidade das irrigações.

REFERÊNCIAS

ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peatsoils**. Roma: FAO, 1988. 165p. (FAO Soils Bulletin, 59).

AZEVEDO, G. TORTELLI, G. M.; VIEIRA, M. L. Diferentes níveis de retenção de água em substratos comerciais para uso agrícola. In.: X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo Fatos e Mitos em Ciência do Solo, 2014. Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas. 2014.

BELLÉ, S.; KÄMPF, A.N. Utilização de casca de arroz carbonizada como condicionador hortícola para um solo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.29, n.8, p.1265-1271, 1994.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 17-24, 2009.

BUNT AC. Some physical properties of pot-plant composts and their affect on plant growth. *Plant and Soil* 12: 322-332. 1961.

BURÉS, S. **Substratos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1997. 341p.

CADAHIA, C. **Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales**. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. 475p.

COSTA, J. C. F da.; MENDONÇA; R. M. N.; FERNANDES, L. F.; OLIVEIRA, F. P. da.; Santos, D. Caracterização física de substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v.7, n. 2, p.16-23. 2017.

COSTA, L. F. dos S.; FERREIRA, E. de M.; VELLAME, L.; GARCIA, A.; SILVA, A. R. da. Calibração de sensor dielétrico em diferentes tipos de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 726. 2014.

De BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p.37-44, 1972.

DE BOOT, M. O.; VERDONCK. The physical properties of substrates in horticulture. **Acta Horticulture**, 26:337 - 344, 1972.

DECAGON DEVICES. **EC-5 – Sensor de umidade do solo**. São José dos Campos, SP: 2018. Disponível em: < <http://www.decagon.com.br/solos/sensores-umidade/ec-5/>> Acesso em: 21 ago. 2018.

DOURADO NETO, D; JONG-VAN-LIES, Q; BOTREL, T. A; LIBARDI, P. L. Programa para confecção de curva de retenção de água no solo, utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural** 1: 92-202. 1990.

EMBRAPA, **Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças**, Gama, DF, 2007. Disponível em: . Acesso em 13 de junho de 2019.

FARIAS, M. de.; SAAD, J. C. C.; VILLAS BÔAS, R. L. Manejo da irrigação na cultura do crisântemo em vaso, cultivar Rage, cultivado em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.51-56. 2004.

FERMINO M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análises**. Guaíba: Agrolivros, 112p, 2014.

FERMINO, M.H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 2003. 89f. Tese (Doutorado em Horticultura) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERRAZ, M.V.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N. et al. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientia Agronômica**, v.27, n.2, p.209-214, 2005.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1989. 12p. (Circular técnica, 171).

GONÇALVES, F. V. **Estudo das curvas de retenção e condutividade hidráulica estimadas pela equação de Van Genuchten (1980) para diferentes tipos de solos**. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). Espírito Santo, 2012. 138p.

HANDRECK, K. A.; BLACK, N. D. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney: Unsw Press, 1999. 448p.

HAYNES, R. J.; GOH, K.M. Evaluation of potting media for commercial nursery production of container-grow plants: IV – Physical properties of a range amendment peat-based media. N. Z. **Journal of Agricultural Research**. 21:449-456, 1978.

KÄMPF, A.N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (Ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.139-145.

KLEIN, V. A.; SIOTA, T. A.; ANESI, A. L.; BARBOZA, R. Propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas comerciais. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.3, 2000.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: o autor. 1999. 501p.

MANFRON, P. A et al. Água disponível para plantas de alface após cultivos sucessivos em estufa plástica available water for lettuce plants after successive growth in plastic greenhouse. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.12, n.1, p. 1-13. 2005.

MARTÍNEZ FARRÉ, F. X. Propuesta de Metodologia para la Determinacion de las Propiedades físicas de los Substratos. **Actas de Horticultura** - I Jornadas de Substratos, Espanha, n.11, p.55-66, 1992.

SCHAAP, M. G., LEIJ, F. J., VAN GENUCHTEN, M. Th. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, v. 251, pp. 163-176. 2001.

SCHAFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado (Fitotecnia). Porto Alegre, 2004. 144p.

SILVA, F. M. et al. Enxertia de mesa de *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* deg. sobre *Passiflora alata* Curtis, em ambiente de nebulização intermitente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 98-101, 2005.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VIEIRA, S. R; CASTRO, O. M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 11. p. 87-90. 1987.

ZORZETO, T.Q.; DECHEN, S.C.F.; ABREU, M.F. et al. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v.73, n.3, p.300-311, 2014.

SOBRE A ORGANIZADORA

TAMARA ROCHA DOS SANTOS - Possui graduação em Agroecologia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2015), mestrado em Agroecologia pela Universidade Federal de Viçosa (2017) e doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás (2020). Tem experiência na área de Ciências Agrárias, com ênfase em Agroecologia, atuando principalmente na área de agricultura familiar, produção orgânica, educação ambiental, conservação e manejo do solo, bioenergia.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura irrigada 1, 2, 5, 6, 12, 14, 59, 79, 88, 98

Água 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 32, 34, 35, 37, 38, 59, 60, 63, 64, 67, 69, 70, 71, 72, 77, 78, 81, 82, 88, 91, 92, 93, 94, 115, 116, 117, 122, 124, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Água no solo 4, 28, 67, 81, 88, 91, 94, 134, 137, 138, 139, 145

Alumínio 40, 63, 115, 130

Atributos físico-hídricos 39

C

Capacidade de mineralización de suelos 100

Chuva de projeto 15, 17, 28, 29

Coefficiente de uso consuntivo da irrigação 1, 3, 6

Compartimentalização do carbono orgânico 119, 131

Compostos nitrogenados 34

Condutividade hidráulica 39, 145

D

Déficit hídrico 6, 7, 47, 70, 71, 79

Dissipação térmica 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68

E

Economia circular 34

Enchentes 15, 18, 22, 30

Erosão hídrica 15, 16, 17, 25, 32, 33

Estrutura do solo 40

Evapotranspiração 3, 8, 10, 59, 65, 73, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 97, 98, 99

Evapotranspiração potencial 8, 80, 81, 83, 86, 87, 98

F

Fator R 15, 16, 17, 18, 22, 29

Fertilización de cultivos 100

Fertirrigação 34, 35, 36, 79

L

Latossolo amarelo 53, 55, 112

Latossolo vermelho distroférico típico 39

M

Manejo da irrigação 11, 12, 71, 72, 75, 80, 81, 87, 89, 90, 145

Manejos irrigados 70

Modelagem 81

N

Necessidade hídrica 81

P

Potencial hídrico 59

Produtividade econômica da água 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11

Produtividade física da água 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11

Profundidade 36, 53, 56, 57, 90, 112, 115, 116, 122, 137

Python 80, 81, 82

Q

Qualidade do solo 53, 55, 112, 113, 118, 119, 121, 129, 131

Qualidade física 70

R

Recursos hídricos 1, 2, 16

Restrições hídricas 1, 12, 71

Reuso 34

S

Segurança hídrica 1, 6, 12

Solo 1, 3, 4, 11, 12, 16, 17, 21, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 46, 47, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 67, 69, 72, 81, 82, 88, 90, 91, 92, 94, 96, 100, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 124, 126, 127, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 144, 145, 146, 147

T

Transpiração 3, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 81

V





Vias de formação de agregados 119

Volume de água 1, 6, 7, 11, 12, 135, 137, 141, 143

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br