

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais

eISSN 2316-1817

Indexada em

AGRIS - Information System for the Agricultural Sciences and Technology
SUMÁRIOS.ORG
LATINDEX
REDIB
DOAJ
GOOGLE ACADÊMICO

Afiliada à Associação Brasileira de Editores Científicos (ABEC)

Revista

AGROGEOAMBIENTAL

Publicação Trimestral Científica e Tecnológica - IFSULDEMINAS

v.12 – n.4 – dezembro / 2020

Pouso Alegre – Minas Gerais – Brasil



Ministério da Educação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais

Presidente da República
Jair Messias Bolsonaro

Ministro da Educação
Milton Ribeiro

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica
Wandemberg Venceslau Rosendo Dos Santos

Reitor do IFSULDEMINAS
Marcelo Bregagnoli

Pró-Reitor de Administração e Planejamento
Honório José de Moraes Neto

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas
Luiz Ricardo de Moura Gissoni

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Sindynara Ferreira

Pró-Reitor de Ensino
Giovane José da Silva

Pró-Reitor de Extensão
Cléber Ávila Barbosa

Ficha Catalográfica

R454	Revista Agrogeoambiental / Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS). Vol. 12, n.4 (dez. 2020) -. - Pouso Alegre (MG) : IFSULDEMINAS, 2020 - . Trimestral. Endereço eletrônico < https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/ > e-ISSN 2316-1817 versão eletrônica. 1. Meio ambiente. 2. Agrárias. 3. Agronomia. 4. Engenharia agrícola. 5. Geomática. 6. Geologia. 7. Silvicultura. 8. Zootecnia. 9. Ecologia. I. Instituto Federal do Sul de Minas.
------	--

Revista

AGROGEOAMBIENTAL

e-ISSN 2316-1817 – Indexação: AGRIS – DOAJ - Sumários.org - REDIB – Latindex – Google Acadêmico

Expediente

Editora-chefe
Sindynara Ferreira

Bibliotecária
Rosimeire Ribeiro

Assistentes editoriais
Kélica Andréa Campos de Souza
Alan Silva Fialho

Revisão
Monalisa Aparecida Pereira

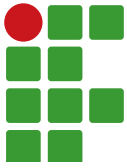
Comissão editorial
Cristiane Fortes Gris
Jane Piton Serra Sanches
Wellington Marota Barbosa

Diagramação
Pamela Silva | Tikinet

Comissão editorial

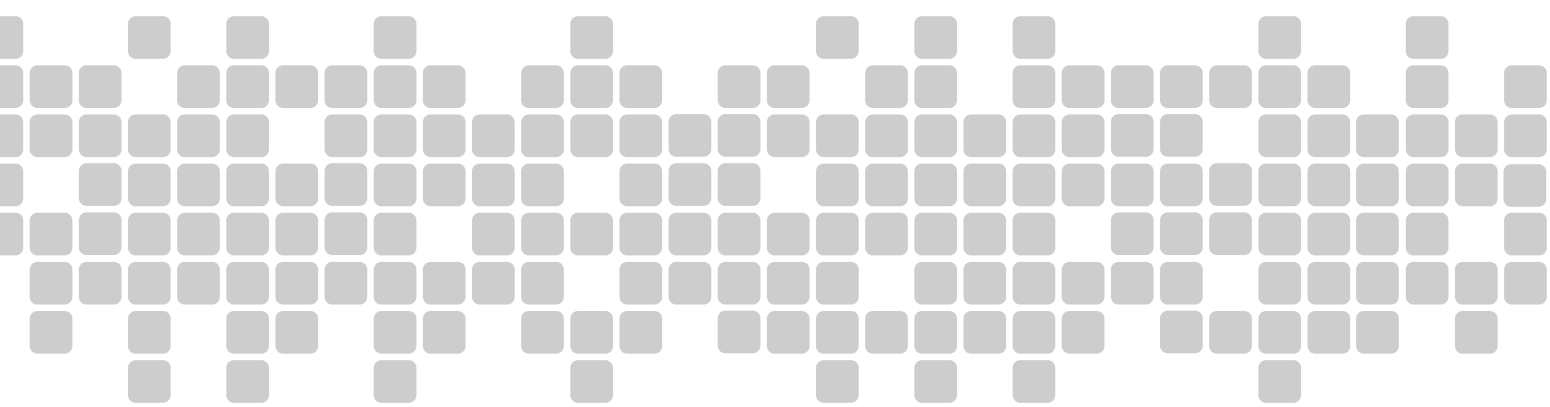
Abdon Santos Nogueira	IFBAIANO	Bruno Corrêa Barbosa	UFJF
Ademir Fontana	EMBRAPA	Caio de Teves Inácio	EMBRAPA
Aderlan Gomes da Silva	IFMG	Carlos Andres Leguizamón Rojas	UNA - Paraguai
Alan Silva Fialho	IFSULDEMINAS	Carlos Cezar da Silva	IFSULDEMINAS
Alessandro Salles Carvalho	UFJF	Carlos Edward de Carvalho Freitas	UFAM
Ana Cristina Ferreira Moreira da Silva	IFSULDEMINAS	Carolina Mariane Moreira	IFSULDEMINAS
Ana Paula Dias Turetta	EMBRAPA	Claudino Ortigara	IFSULDEMINAS
Anderson Ricardo Trevizam	UFLA	Cleber Kouri de Souza	IFSULDEMINAS
André Delly Veiga	IFSULDEMINAS	Cleber Lázaro Rodas	UFLA
André Luis da Silva Castro	IFG	Cleiton Lourenço de Oliveira	IFSULDEMINAS
Anita Cristina Costa da Silva	IFSUDESTE - MG	Cristiane Fortes Gris Baldan	IFSULDEMINAS
Antônio Sérgio da Costa	IFSULDEMINAS	Daniel Fernandes da Silva	UFLA
Arcângelo Loss	UFSC	Danielle Martins Duarte Costa	IFSULDEMINAS / UNIFEI
Ariana Vieira Silva	IFSULDEMINAS	Diego César Terra de Andrade	IFSULDEMINAS
Arionaldo Sá Júnior	IFSULDEMINAS	Diego Maia Zacardi	UFOPA
Aureliano de Albuquerque Ribeiro	UFC	Dulcimara Carvalho Nannetti	IFSULDEMINAS
Aurélio Ferreira Borges	IFRO	Éder Clementino dos Santos	IFSULDEMINAS
Brígida Monteiro Vilas Boas	IFSULDEMINAS	Edu Max da Silva	IFSULDEMINAS

Eduardo Ferreira Molina	UNIFRAN	Lilian Vilela Andrade Pinto	IFSULDEMINAS
Eliana Fortes Gris	UnB	Luciana Faria	IFSULDEMINAS
Elisa de Souza Junqueira Rezende	UNICAMP	Luciana Maria Vieira Lopes Mendonça	IFSULDEMINAS
Eugênio José Gonçalves	IFSULDEMINAS	Luiz Eugenio Veneziani Pasin	UNIFEI
Everton Vinicius Zambiazzi	UFLA	Marcelo Bregagnoli	IFSULDEMINAS
Fábio Janoni Carvalho	IFTM	Marcos Caldeira Ribeiro	IFSUDESTE - MG
Fábio Luiz Albarici	IFSULDEMINAS	Marcos Magalhães de Souza	IFSULDEMINAS
Fábio Mesquita de Souza	IFMA	Marcos Valério Gebra da Silva	UNIFAJ
Fábio Oseias dos Reis Silva	UFLA	Mário de Oliveira Rebouças Neto	IFPI
Fabricio Gomes Gonçalves	UFES	Mireile Reis Santos	IFSULDEMINAS
Felipe Santana Machado	UFLA	Michael Silveira Thebaldi	UNIFOR
Flávia Monteiro Coelho Ferreira	IFSUDESTE - MG	Nara Cristina de Lima Silva	IFTM
Franciane Diniz Cogo	UFLA	Narayana de Deus Nogueira	IFSULDEMINAS
Francisco César Gonçalves	IFSUDESTE - MG	Patrícia de Oliveira Alvim Veiga	IFSULDEMINAS
Givago Coutinho	UNICERRADO	Paulo Oswaldo Garcia	IFSULDEMINAS
Guilherme Oberlender	IFSULDEMINAS	Pedro Luiz Terra Lima	LANCASTER UNIVERSITY - UK
Hugo Renan Bolzani	IFSULDEMINAS	Rafael Nogueira Scoriza	UFRRJ
Igor Souza Pereira	IFTM	Raphael Antônio Prado Dias	IFSULDEMINAS
Inêz Pereira da Silva	EPAMIG	Raphael Maia Aveiro Cessa	IFMT
Iran Dias Borges	UFSJ	Raphael Nogueira Rezende	IFSULDEMINAS
Isabel Ribeiro do Valle Teixeira	IFSULDEMINAS	Raul Henrique Sartori	IFSULDEMINAS
Ivelize Cunha Tannure Nascimento	IFSULDEMINAS	Renata Brito	UFRRJ
Jader Ribeiro Pinto	IFSul	Renata Mara de Souza	IFSULDEMINAS
Jamil de Moraes Pereira	IFSULDEMINAS	Roger Nabeyama Michels	UTFPR
Jane Piton Serra Sanches	IFSULDEMINAS	Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto	EMBRAPA
João Antônio Granja	UFLA	Rosângela F. de Paula	UFLA
João Batista Tavares Júnior	IFG	Vitor Marques	
João Célio de Araújo	IFC	Rosival Barros de Andrade Lima	UFRPE
João Mateus de Amorim	IFTM	Sanderley Simões da Cruz	IFPA
João Olympio de Araújo Neto	IFSULDEMINAS	Saul Jorge Pinto de Carvalho	IFSULDEMINAS
João Vieira Monteiro	FATEC	Silvio Henrique Delleposte Andolfato	UTFPR
José Alves Junqueira Junior	IF SUDESTE MG	Sindynara Ferreira	IFSULDEMINAS
José Antonio Dias Garcia	IFSULDEMINAS	Tatiana de Oliveira Ramos	IFSULDEMINAS
José Luiz de Andrade Rezende Pereira	IFSULDEMINAS	Vanessa Leite Rezende	UNESP
José Mauro Costa Monteiro	IFSULDEMINAS	UFMG	UFMG
Joice Fernanda Lübke Bonow	UFPelotas	Tatiane Tagliatti Maciel	UFJF
Juan Jose Bonnin Acosta	UNA - Paraguai	Vanessa Martins	UFPI
Käthery Brennecke	UNICASTELO / USP	Verônica Soares de Paula Morais	IFSULDEMINAS
Kátia Regina de Carvalho Balieiro	IFSULDEMINAS	Walbert Júnior Reis dos Santos	IFSULDEMINAS
Leandro Campos Pinto	UFLA	Walnir Gomes Ferreira Júnior	IFSULDEMINAS
Leonardo Rubim Reis	IFSULDEMINAS	Wellington Marota Barbosa	IFSULDEMINAS
Lilian Karla de Oliveira	UNIFRAN		



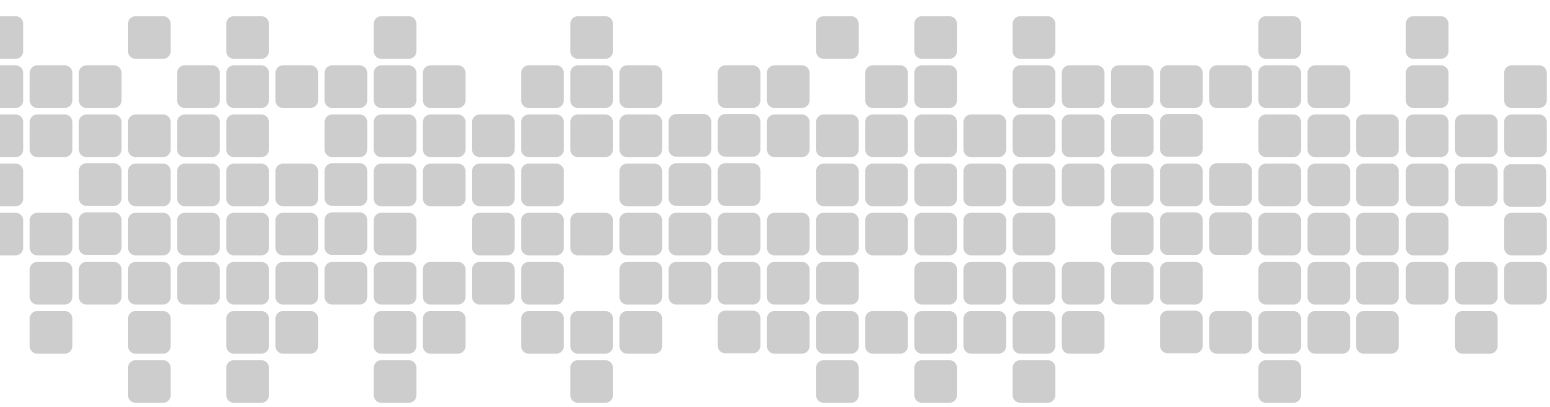
Summary

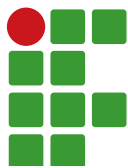
Micropropagation of <i>Dalbergia nigra</i> , an endangered Brazilian forest tree.....	9
Rodrigo Oliveira Almeida, Sarah Santos da Silva, Ana Catarina Monteiro Carvalho Mori da Cunha	
Concept and simulation of an unmanned agricultural spraying aircraft	19
João Carlos Teles Ribeiro da Silva, Kamal A. R. Ismail	
Prediction of water erosion in a watershed located in southeastern Brazil	35
Guilherme Henrique Expedito Lense, Fernanda Almeida Bócoli, Rodrigo Santos Moreira, Ronaldo Luiz Mincato	
The effect of fragmentation on spider richness (Arachnida: Araneae) in montane semideciduous seasonal forest	45
Flávio Eduardo Vilas Boas Junior, Amanda da Silva Ferreira, Marcos Magalhães de Souza	
Comparison of nonlinear models in the description of carbon mineralization in litter soil	58
Edilson Marcelino Silva, Ariana Campos Frühauf, Sérgio Alberto Jane, Édipo Menezes da Silva, Joel Augusto Muniz, Tales Jesus Fernandes	
Quality of <i>Coffea arabica</i> seedlings produced in different nurseries in southern Minas Gerais, Brazil.....	70
Anderson Barreto dos Passos, Bruno Manoel Rezende de Melo, Sindynara Ferreira, Douglas Goulart Castro, Telma Miranda dos Santos, Leonardo Alves Guedes	
Inventory, colony fluctuation, and wasp nesting social habits in IFSULDEMINAS - Machado Campus	83
Elenice Aparecida Fortes, Alice dos Reis Fortes, Letícia Cruz de Almeida, Lêda Gonçalves Fernandes	
Viability of a terrace covered with porous concrete paving blocks for coffee bean drying	98
João Pedro Junqueira, Alisson Pinto Soares Ponzo, Alisson Souza de Oliveira	
Arboreal community of an Atlantic Forest hillside fragment in São Sebastião/SP.....	110
Ana Beatriz Carvalho Terra, Gabriele Calle Bouças, Marco Antônio Alves Garcia	
Efficacy of tank mixtures of post-emergence herbicides in common bean.....	122
Júlia Carvalho Costa, Silvino Guimarães Moreira, Antonio Henrique Fonseca de Carvalho, Guilherme Vieira Pimentel, Diego Rafael Quispe Torres, Junior César Resende Silva	





Artigos científicos





Micropropagation of *Dalbergia nigra*, an endangered Brazilian forest tree

Rodrigo Oliveira Almeida¹

Sarah Santos da Silva²

Ana Catarina Monteiro Carvalho Mori da Cunha³

Abstract

We report in this work an *in vitro* propagation method for *Dalbergia nigra* using nodal segments from germinated seeds *in vitro*. Plant material was cultivated on MS medium supplemented with 6-benzyladeninepurine (BAP: 0 μM , 1.11 μM and 2.22 μM) and Naphthaleneacetic acid (NAA: 0.27 μM), combined with different amounts of subcultures for induction of shoot multiplication. Multiplied shoots were inoculated in MS and $\frac{1}{2}$ MS medium (half strength of MS salts) to root, supplemented with NAA (0 μM and 4 μM). Data were analyzed by non-parametric statistical Kruskal-Wallis test. Best results to shoot multiplication were obtained using 1.11 μM or 2.22 μM of BAP combined 0.27 μM of NAA in multiplication medium and performing three subcultures, providing higher rates of shoots production per explant (average of 2.24) and high survival rate. Best results for rooting of shoots generated were obtained using a rooting medium containing $\frac{1}{2}$ MS supplemented with 4 μM of NAA, providing a higher percentage of shoot rooting (average of 68%).

Keywords: Jacarandá-da-Bahia. *In vitro* propagation. Organogenesis.

Introduction

Dalbergia nigra, also known as jacarandá-da-bahia, has originated in the Brazilian Atlantic Forest biome. This biome has already undergone several phases of exploration, with logging being one of the main responsible causes of severe damage, destroying large areas of forest (FEARNSIDE, 2006; GONZAGA, 2006). Due to the exploitation and the great difficulty of natural regeneration, the species *D. nigra* was classified as vulnerable, being present in official documents of the Brazilian government (MMA, 2014). Although forest reminders continue to suffer devastation, the Brazilian government has required from the logging companies more dedication to recover these degraded areas. Considering the reforestation need, some Brazilian native species have shown great potential in projects with an environmental focus, as forest restoration in degraded areas and landscape recomposition, being better adapted to the edaphoclimatic conditions and acting on the soil recovery (NIETSCHKE *et al.*, 2004). In this context, *D. nigra* presents great potential to be used in this process previously cited (GONÇALVES *et al.*, 2014). Seedlings of native woody species to be used in reforestation projects must have characteristics of resistance, vigor, and phytosanitary quality (MARTINS, 2010). Nevertheless, the amount of *D. nigra* seedling produced in many plant nursery is insufficient to perform a degraded area recovery project, due to the few amount of seed collected. To overcome this bottleneck, biotechnological tools such as

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF SUDESTE MG) – Campus Muriaé. Doutor em Biotecnologia. rodrigo.almeida@ifsudestemg.edu.br. Muriaé, Minas Gerais, Brasil, CEP 36884-036

2 IF SUDESTE MG – Campus Rio Pomba. Bacharela em Agroecologia. sarahs2209@hotmail.com.

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Alagoas. Doutora em Ciência Florestal. catarina_mori@yahoo.com.br.

plant micropropagation have shown great utility in the production of seedlings of several economically important or endangered forest species (MARTIN *et al.*, 2006, SANJAYA; RATHORE; RAI, 2006, TRIPATHI; KUMARI, 2010), where *in vitro* periodic subcultures of a single explant can generate numerous forest seedlings (BONGA; VON ADERKAS, 1992). Nevertheless, a well-formed micropropagation protocol to *D. nigra* is absent. *In vitro* propagation of Brazilian native forest species is still very early, with some works using species such as *Amburana acreana* (Ducke) A.C. Smith (FERMINO JUNIOR; SCHERWINSKI-PEREIRA, 2012), *Aspidosperma ramiflorum* Muell. Arg. (HUBNER *et al.*, 2007), *Aspidosperma polyneuron* (RIBAS *et al.*, 2005) and *Albizia niopoides* (ROSSI; SARTORETTO, 2013).

Therefore, the present work aimed to define a rapid and reproducible method for the *in vitro* propagation and multiplication of *Dalbergia nigra* for seedling production.

Materials and methods

The present research was conducted in the plant tissue culture laboratory at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais. The *D. nigra* seeds were collected in Rio Pomba town - Minas Gerais state - Brazil (21° 16' 30" S 43° 10' 44" O).

Plant material and surface sterilization

The seeds were disinfected with 70 % ethanol (1 min), sodium hypochlorite (NaOCl) 2% (15 min), washed 3 times with autoclaved distilled water in a laminar air flow cabinet, and then inoculated in 250 ml vials (with polypropylene cap) containing autoclaved sand and maintained at 25 ± 2 °C, 16 hours of photoperiod and light intensity of $50 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Establishment of nodal segments

Nodal segments collected from seedlings previously germinated in autoclaved sand were disinfested (same process described above for seeds). Then, the plant material was inoculated into test tubes (20 mm x 150 mm) containing 10 mL of semi-solid MS medium (MURASHIGE; SKOOG, 1962), supplemented with 30 g L of sucrose, 7 g L of agar, and 1.5 g L of PVP (polyvinylpyrrolidone), with pH adjusted to 5.8 before autoclaving (120 °C for 15 minutes) and maintained under the same conditions described above for the seeds.

Multiplication of shoots

Previously established nodal segments were inoculated into test tubes (20 mm x 150 mm) containing 10 mL of semi-solid MS medium supplemented with $0.27 \mu\text{M}$ of NAA (naphthaleneacetic acid) and BAP (6-benzylaminopurine) at concentrations $0 \mu\text{M}$, $1.11 \mu\text{M}$, and $2.22 \mu\text{M}$ (Treatment 1, 2 and 3) and maintained at 25 ± 2 °C, 16 hours of photoperiod and light intensity of $50 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Every 30 days, the explants were evaluated and subcultured (Subculture 1, 2, and 3) in a fresh multiplication medium. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme, with 10 replicates per treatment and five explants per replicate. The survival rate (shoots with healthy tissue), the number of buds formed, and the number of leaves formed were evaluated at each subculture time.

Rooting of shoots multiplied

Shoots from the multiplication process were inoculated in test tubes (20 mm x 150 mm) containing 10 mL of semi-solid complete MS medium and $\frac{1}{2}$ MS (half strength of MS salts), with and without supplementation of NAA (MS + $0 \mu\text{M}$ NAA; MS + $4 \mu\text{M}$ NAA; $\frac{1}{2}$ MS + $0 \mu\text{M}$ NAA and

½ MS + 4 µM NAA), all containing 30 g L of sucrose, 7 g L of agar, 1.5 g L of PVP (polyvinylpyrrolidone). All material was maintained at 25 ± 2 °C, in the absence of light. After 5 days, the explants were subcultured in test tubes (20 mm x 150 mm) containing 10 mL of semi-solid MS medium, at 25 ± 2 °C, 16 hours of photoperiod and light intensity of 50 µmoles m⁻² s⁻¹. The experimental design was completely randomized with five replicates (5 explants per replicate) per treatment. The number of rooted multiplied shoots was evaluated after 45 days.

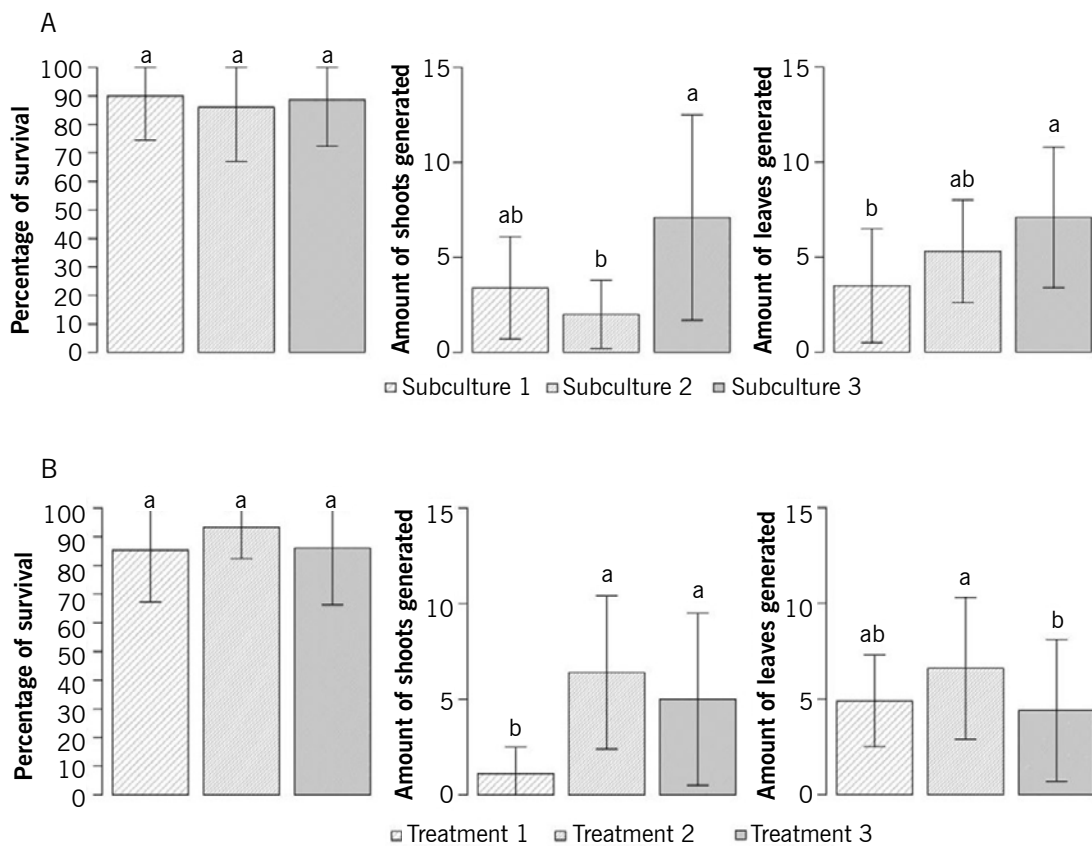
Statistical analysis

The data were analyzed using R language (R Core Team, 2018) version 3.4.1 alongside the package agricolae (DE MENDIBURU, 2014) to perform the statistical tests (ANOVA or Kruskal-Wallis).

Results and discussion

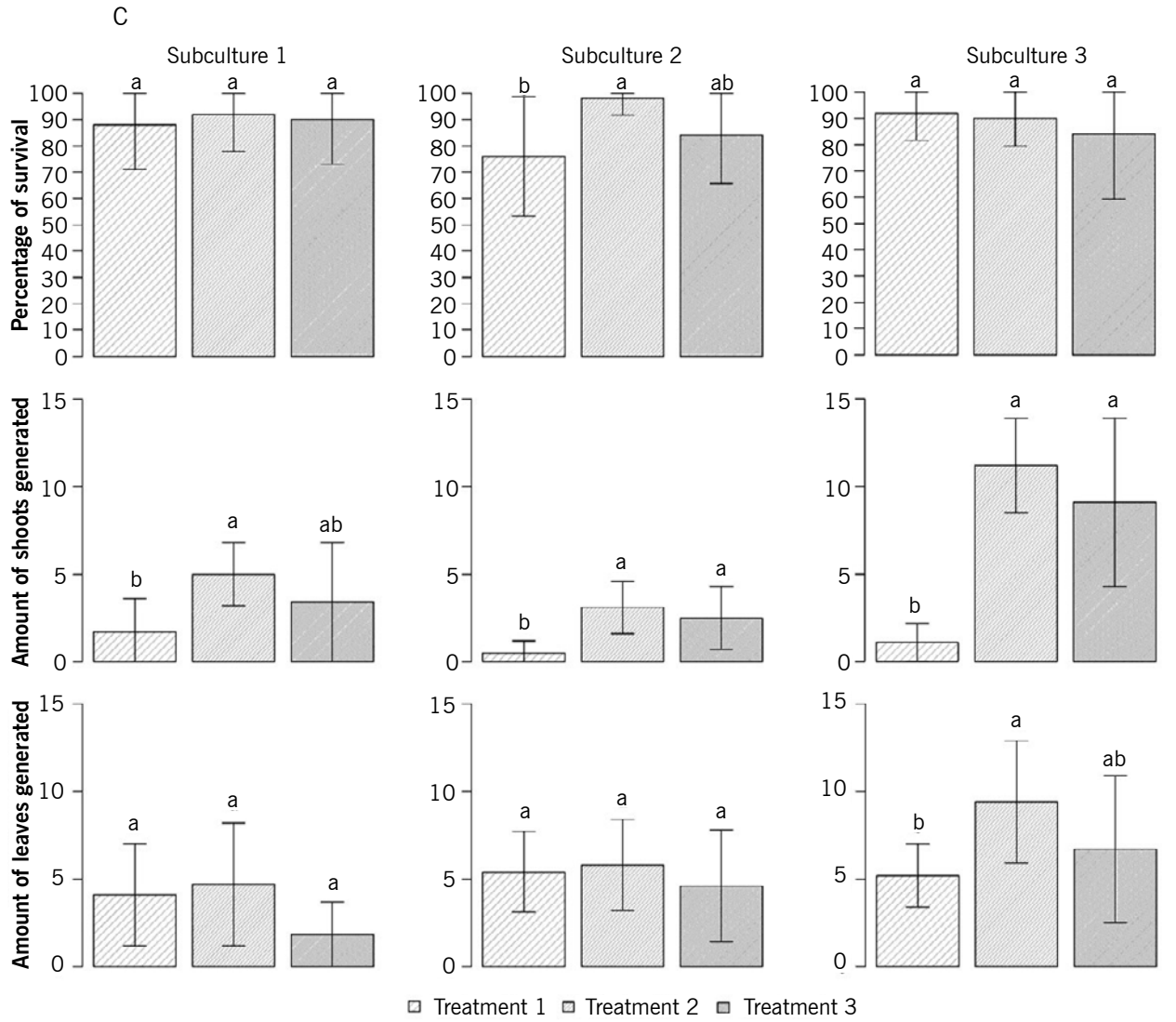
Normality and homogeneity of variances tests were performed using Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) and Bartlett (BARTLETT, 1937) tests, respectively (data not shown). Since the data did not meet the statistical assumptions of an ANOVA, the non-parametric Kruskal-Wallis test was performed. Shoots multiplication data were analyzed in relation to subcultures independent of the treatments (FIGURE 1A), treatments independent of the number of subcultures (FIGURE 1B), treatments within each subculture (FIGURE 1C), and subcultures within each treatment (FIGURE 1D).

Figure 1 – Explants of *D. nigra* under action of different treatments and amount of subculture to shoot multiplication.



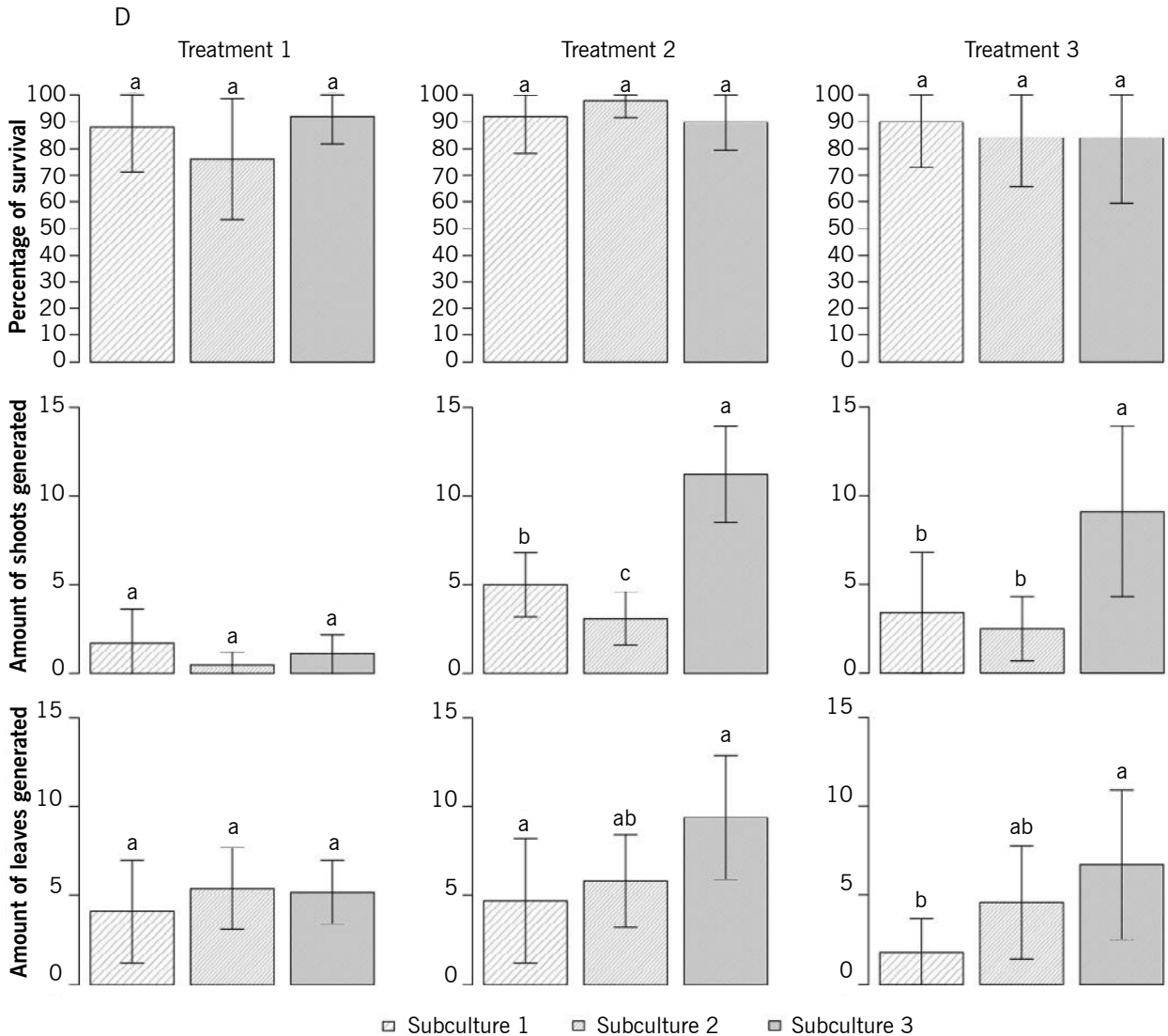
(continue...)

Figure 1 – Continuation



(continue...)

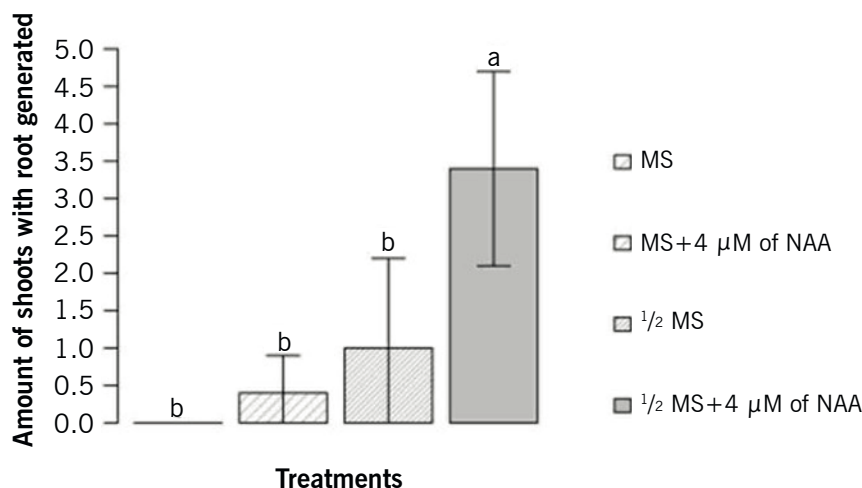
Figure 1 – Continuation



A. Subculture effect independent of the treatments; **B.** Treatments effect independent of the amount of subculture; **C.** Treatments within each subculture; **D.** Subculture effect within each multiplication treatments. Subculture 1: after 30 days of inoculation; Subculture 2: after 60 days of inoculation; Subculture 3: after 90 days of inoculation. Treatment 1: MS medium without supplementation of BAP; Treatment 2: MS medium supplemented with 1.11 μM of BAP; Treatment 3: MS medium supplemented with 2.22 μM of BAP. Averages followed by the same letter do not differ by the Kruskal-Wallis test followed by the *post hoc* test Fisher's Least Significant Difference ($p \leq 0.05$).

Source: Elaborated by the authors (2019).

Best results are observed using 1.11 μM and 2.22 μM of BAP (treatment 2 and 3, respectively) and performing three subcultures, obtaining an average of 11.2 shoots and 9.4 leaves (using 1.11 μM of BAP) and an average of 9.1 shoots and 6.7 leaves (using 2.22 μM of BAP). However, the survival rate of the explants does not show a significant difference, being an exception only when the data are compared between treatments and performing two subcultures. Data of rooting rate of the multiplied shoots show best results using treatment $\frac{1}{2}$ MS + 4 μM of NAA (Treatment 4) (FIGURE 2).

Figure 2 – Shoots of *D. nigra* from multiplication medium under the action of the rooting medium after 45 days.

Averages followed by the same letter do not differ by the Kruskal-Wallis test followed by the *post hoc* test Fisher's Least Significant Difference ($p \leq 0.05$).

Source: Elaborated by the authors (2019).

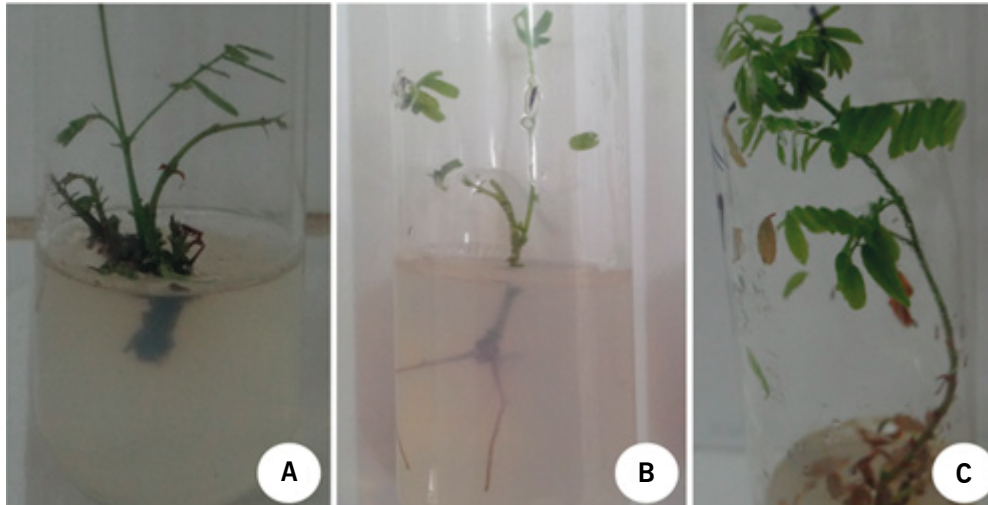
High survival rates of nodal segments in the *Dalbergia nigra* multiplication phase shows high vigor of the selected tissues after the establishment phase. However, the manipulation of explants at each cultivation may influence the survival rate, and may decrease the number of surviving explants, since the excision of new shoots to posterior subculture leaves explants subject to stress, generating phenolic compounds and thus increasing the explant oxidation (PHULWARIA *et al.*, 2011). Another factor of important contribution to greater vigor of the explants and consequently reaching a higher rate of survival is the maintenance of the nutritional balance offered. Once the culture medium was renewed at each subculture, the explants vigor was maintained, and shoot multiplication increase (PHULWARIA *et al.*, 2011). Even without having BAP growth regulator in the culture medium, small amounts of shoots were produced by treatment without BAP (treatment 1), probably due to the endogenous concentrations of growth regulators in the explants. The same was reported in explants of *Amburana acreana* (FERMINO JÚNIOR; SCHERWINSKI-PEREIRA, 2012) and *Aspidosperma polyneuron* (RIBAS *et al.*, 2005). In our present study, the multiplication rate of the plant material reached a maximum value of 2.4 shoots (average of treatment) per explant (Supplemented material T1). Fermino Júnior, Nagao and Scherwinski-Pereira (2009) were able to obtain 1.75 shoots per explant, working with *Tectona grandis*, while Hubner *et al.* (2007) reached from 1.8 to 3.0 shoots per explant, working with *Aspidosperma ramiflorum*.

The rooting rate reached a maximum value of 3.4 roots (average of treatment) per replicate (Supplemented material - Table 2). The high concentration of salts that make up the MS basic medium, even in presence of auxins, may inhibit *in vitro* rooting (LLOYD; McCOWN, 1981). The responses of *D. nigra* explant were high using MS semi-solid medium supplemented with 1.11 μM and 2.22 μM of BAP (multiplication medium) and $1/2$ MS semi-solid medium supplemented with 4 μM of NAA (rooting medium) (FIGURE 3).

Kruskal-Wallis test results show no significant difference only to survival rate data. It is usual for researches to use the ANOVA statistic test (sometimes, without performing a test of normality and homogeneity of variances) to analyse the plant tissue culture data, followed by *post hoc* test of

Duncan (PHULWARIA *et al.*, 2012), SNK (FERMINO JUNIOR; SCHERWINSKI-PEREIRA, 2012), Tukey (ROSSI, SARTORETTO, 2013) or t-test and deviance analysis (generalized linear model - GLM) followed by the post *hoc test* of Tukey (ZANELLA *et al.*, 2018). Nevertheless, this kind of data generally does not belong to a Gaussian distribution, but to Poison distribution. Thus, Kruskal-Wallis test can be applied in plant tissue culture data.

Figure 3 – Explants of *D. nigra* under action of multiplication and rooting medium.



A. Multiplication of shoots in MS medium supplemented with 1.11 μM of BAP, after three subcultures (90 days). **B.** Rooting of shoots in $\frac{1}{2}$ MS medium supplemented with 4 μM of NAA after 45 days. **C.** Development of shoots in MS medium.

Source: Elaborated by the authors (2019).

Conclusion

To use 1.11 μM of BAP combined with 0.27 μM of NAA in multiplication medium and performing three subcultures provides higher rates of shoot production per explant (2.24) and with high survival rate. Rooting medium containing 4 μM of NAA and half of the concentrations of MS salts provided a higher percentage of rooting of the shoots (68 %).

Acknowledgments

We thank the IF SUDESTE MG, for the support and funding of this project.

Micropropagação de *Dalbergia nigra*, uma espécie florestal brasileira ameaçada de extinção

Resumo

Apresentamos neste trabalho a micropropagação de *Dalbergia nigra*, utilizando segmentos nodais oriundos de sementes germinadas *in vitro*. O material vegetal foi cultivado em meio MS suplementado com 6-benziladeninapurina (BAP: 0, 1,11 e 2,22 μM) e ácido naftalenoacético (ANA: 0.27 μM),

combinado com diferentes quantidades de subcultivo para indução de multiplicação de brotos. Brotos multiplicados foram cultivados em meio MS e 1/2 MS (meia-força) para enraizamento, suplementado com ANA (0 e 4 μM). Os dados foram submetidos à análise não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis. Os melhores resultados para multiplicação de brotos foram obtidos utilizando 1,11 ou 2,22 μM de BAP, combinado com 0,27 μM de ANA (meio de multiplicação) e realizando três subcultivos, fornecendo altas taxas de produção de brotos por explante (média de 2,24) e alta taxa de sobrevivência. Melhores resultados para enraizamento foram obtidos utilizando meio 1/2 MS suplementado com 4 μM de ANA, fornecendo uma alta porcentagem de enraizamento dos brotos (média de 68 %).

Palavras-chave: Jacarandá-da-Bahia. Propagação *in vitro*. Organogêneses.

References

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 160, p. 268-282, 1937. Available at: <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>. Access on: 09 sep. 2019.

BONGA, J. M.; VON ADERKAS, P. **In vitro culture of trees**. Kluwer, Dordrecht. 1992 . 236p.

DE MENDIBURU, F. Agricolae: statistical procedures for agricultural research. R package version 1.2–1. 2014. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. Access on: 09 sep. 2019.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, v. 36, p. 395-400, 2006. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>. Access on: 09 sep. 2019.

FERMINO JUNIOR, P. C. P.; NAGAO, E. O.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Estabelecimento, germinação e multiplicação *in vitro* de teca (*Tectona grandis* L.f.) a partir de genótipos da Amazônia Sul-Occidental. **Scientia Forestalis**, v. 37, p. 427-435, 2009. Available at: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap10.pdf>. Access on: 09 sep. 2019.

FERMINO JUNIOR, P. C. P.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Germinação e propagação *in vitro* de cerejeira (*Amburana acreana* (Ducke) A.C. Smith - Fabaceae). **Ciência Florestal**, v. 22, p. 1-9, 2012. Available at: <http://dx.doi.org/10.5902/198050985074>. Access on: 09 sep. 2019.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; KLIPPEL, V. H.; CALDEIRA, M. V. W. Crescimento de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth sob diferentes doses de cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Árvore**, v. 38, p. 251-260, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200005>. Access on: 09 sep. 19.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília, IPHAN, MONUMENTA, 2006. Available at: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6_MadeiraUsoEConservacao.pdf. Access on: 09 sep. 19.

HUBNER, I. H.; SILVA, L. V. DA; CAPATTI, I.; FUMAGALI, E.; SOUTO, E. R. DE; GONÇALVES, R. A. C.; OLIVEIRA, A. J. B. DE. Multiplicação *in vitro* de *Aspidosperma ramiflorum* Muell. Arg. (Apocynaceae).

Acta Scientiarum Health Sciences, v. 29, p. 63-66, 2007. Available at: <http://dx.doi.org/10.4025/actascihealthsci.v29i1.108>. Access on: 09 sep. 19.

LLOYD, G.; MCCOWN, B. Commercially feasible micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture. **International Plant Propagators Society**, v. 30, p. 421-427, 1981. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19830315515>. Access on: 09 sep. 19.

MARTIN, G.; GEETHA, S. P.; RAJA, S. S.; RAGHU, A. V.; BALACHANDRAN, I.; RAVINDRAN, P. N. An efficient micropropagation system for *Celastrus paniculatus* Willd.: a vulnerable medicinal plant. **Journal of Forest Research**, v. 11, p. 461-465, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10310-006-0237-4>. Access on: 09 sep. 19.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviário e de mineração**. Aprenda Fácil: Viçosa. 2. ed., 2010, 270p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Portaria n. 443, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União, 18/12/2014, Seção 1, p. 110-121, 2014. Available at: https://dados.gov.br/dataset/portaria_443. Access on: 25 jan. 2021.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 437-496, 1962. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>. Access on: 09 sep. 2019.

NIETSCHE, S.; GONÇALVES, V. D.; ABREU, S. C.; PEREIRA, M. C. T.; SANTOS, F. A.; ABREU, S. C. DE; MOTA, W. F. DA. Tamanho da semente e substratos na germinação e crescimento inicial de mudas de cagaiteira. **Revista Ciências Agrotécnicas**, v. 28, p. 1321-1325, 2004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000600014>. Access on: 09 sep. 2019.

PHULWARIA, M.; RAM, K.; GAHLOT, P.; SHEKHAWAT, N. S. Micropropagation of *Salvadora persica* - a tree of arid horticulture and forestry. **New Forest**, v. 42, p. 317-327, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9254-z>. Access on: 09 sep. 2019.

PHULWARIA, M.; RAM, K.; HARISH, G. A. K.; SHEKHAWAT, N. S. Micropropagation of mature *Terminalia catappa* (Indian Almond), a medicinally important forest tree. **Journal of Forest Research**, v. 17, p. 202-207, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10310-011-0295-0>. Access on: 09 sep. 2019.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria. 2018. Available at: <http://www.R-project.org/>. Access on: 09 sep. 2019.

RIBAS, L. L. F.; ZANETTE, F.; KULCHETSKI, L.; GUERRA, M. P. Micropropagação de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) a partir de segmentos nodais de mudas juvenis. **Revista Árvore**, v. 29, p. 517-524, 2005. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000400003>. Access on: 09 sep. 2019.

ROSSI, E.; SARTORETTO, L. M. Propagação *in vitro* da farinha-seca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 45-52, 2013. Available at: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.361>. Access on: 09 sep. 2019.

SANJAYA, M. B.; RATHORE, T. S.; RAI, V. R. Micropropagation of an endangered Indian sandalwood (*Santalum album* L.). **Journal of Forest Research**, v. 11, p. 203-209, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10310-006-0207-x>. Access on: 09 sep. 2019.

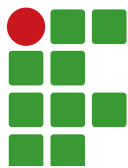
SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965. Available at: <https://doi.org/10.2307/2333709>. Access on: 09 sep. 2019.

TRIPATHI, M.; KUMARI, N. Micropropagation of a tropical fruit tree *Spondias mangifera* Willd. through direct organogenesis. **Acta Physiology Plant**, v. 32, p. 1011-1015, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0484-z>. Access on: 09 sep. 2019.

ZANELLA, L. B.; FRANCISCON, L.; GRUNENVALDT, R. L.; TOMASI, J. C.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J. Micropropagation of *Pinus tecunumanii*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 651-660, 2018. Available at: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832058>. Access on: 09 sep. 2019.

Received: September 10, 2019.

Accepted: May 29, 2020.



Concept and simulation of an unmanned agricultural spraying aircraft

João Carlos Teles Ribeiro da Silva¹

Kamal A. R. Ismail²

Abstract

In recent years, the Brazilian agriculture production expanded by 900 % over 1990, while the cultivated areas increased at a rate of 2 % per year. Due to this expansion, pulverization turned from manual to mechanical using ground equipment and aircraft. As a result of the new tendencies, recent statistics show the negative impacts on the health of pilots and operators of terrestrial machinery and on the environment. The present study evaluates the concept of an unmanned aerial vehicle (UAV) for pulverization of defensive products, named here as AVANT. In this study, new airfoils are evaluated, lifting line technique, vortex and panels method are used to define the geometry of the wings, fuselage and tail elements. Simulations were realized to verify the performance of the AVANT during operational shots and maneuvers. The basic parameters of the proposed AVANT are, Wingspan: 6 m; Monoplane; High wing; Piston engine (gasoline); Propeller; Tractor type; Installed power: 18 hp; Length: 5.5 m; Height: 1.477 m; Tail dragger type; Tail width: 2.6 m; Empty weight: 108.585 kg; Gross weight: 150 kg; Maximum Endurance: 9 h; Fuel capacity: 28 L; Agrochemicals capacity: 20 L; The results show that the AVANT is adequate for the proposed application.

Keywords: Aerodynamics. Agriculture. Pesticides. UAV.

Introduction

Cases of intoxication among rural workers have increased due to the inappropriate use of pesticides; domestic animals are also affected by this. Also, the considerable waste of the chemicals creates serious risks to the environment in general. Food contamination is also a concern in this regard (PALLADINI, 2019).

In contrast, Huang *et al.* (2009) indicated that the application of defensives for crop production is a crucial component in the high productivity of developed countries' agriculture, suggesting a Vertical Take-Off and Landing (VTOL) unmanned autonomous helicopter (SR200) powered by a two-stroke gasoline engine. SR200 UAV helicopter had a gross weight of 22.7 kg, a low volume spray rate of 0.3 L ha⁻¹, two nozzles, and two gasoline tanks with a volume of 7.56 L each required spraying 14 ha.

The agricultural production system focused on obtaining high rates of productivity has used routinely the practice of applying phytosanitary products, which is an essential practice in the current system. However, the persistent occurrence of poorly regulated agricultural sprayers with worn or improperly selected nozzles, and pesticides with dosages calculated and executed erroneously,

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Muzambinho. joao.silva@muz.ifsulde Minas.edu.br

2 Universidade de Campinas (UNICAMP). kamal@fem.unicamp.br

make this practice inefficient and with harmful impacts on the environment (SCHMIDT; ZANELLA, 2017; CHAIM, 2019). Thousands of cases of diseases and health problems of rural workers who have long direct contact with pesticides and fertilizers have long been known. Manual spraying can bring damage to the worker's health (MOGILI; DEEPAK, 2018), however, either for tractor spraying or even aerial spraying, the damages to the health of the tractor drivers and pilots is equally serious and dangerous due to the long direct contact with these products and the high rates of fatal accidents.

Agrochemicals application is one of the most critical issues of the current agricultural production system (SILVA *et al.*, 2015; YANAGIHARA; BRAGAGNOLO, 2018), being an obstacle that raises the production cost and can lead to direct and indirect damages to the environment (WACHTEL *et al.*, 2019) and the agriculture workers (JUNQUEIRA; CONTRERA, 2018).

Moreover, despite the great worldwide concern regarding the use of suitable pesticides and fertilizers, what happens in the real world is neglect, especially in developing countries, leading to contamination and health damage of rural workers (MARCELINO; WACHTEL; GHISI, 2019). Apart from that, contamination of rivers and groundwater reduces fauna and flora not only in the surrounding areas but reaching forests and cities. The inappropriate use of agrochemicals can contaminate underlying soils and groundwater (ABUBAKAR *et al.*, 2015; KELLY; COHEN, 2018).

According to Reeves *et al.* (2019), understanding the magnitude and impact of dietary pesticide exposures is a concern for some consumers and rural workers and their families (OJO, 2016). Sena *et al.* (2018) indicated that in the work environments, different physical and chemical agents coexist and may pose a risk to workers' health and their families. Buralli *et al.* (2018) reported the respiratory condition of farmers' families exposed to pesticides in the State of Rio de Janeiro, Brazil. They also claim that pesticide exposure is a growing public health concern.

The World Health Organization (WHO) estimates the order of one million cases of human health problems caused by manual spraying. Thus, the unmanned aerial vehicle (UAV) is the alternative solution to be used to spray agrochemicals to avoid the thousands of cases of health problems, humanizing this agricultural operation (MOGILI; DEEPAK, 2018).

UAVs are more maneuverable, cheaper to operate, and require fewer capital costs, which may serve to address this need in agricultural operation (HUANG *et al.* 2009).

The literature review highlights the need to develop the aerodynamic concept of an unmanned agricultural aircraft suitable for spraying. Therefore, the present study has the objective of contributing to this area of application to make it more adequate and less harmful to the environment and workers. For this purpose, the work of Matsuo and Ismail (2010) was used as a basis and starting point.

Recent scientific research demonstrates the use of spray UAVs (FAIÇAL *et al.*, 2014; FAIÇAL *et al.*, 2017; LING *et al.*, 2018; XUE *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2010). However, most of these UAVs are configured as quadcopters or octocopters, with few studies focusing on unmanned monoplane for the pulverization applications, with a large number of studies focused on electronic modeling, not on the aerodynamic concept. Matsuo and Ismail (2010) proposed an unmanned monoplane for spray application.

On electronic modeling, a new technology in the fields of plant protection and pest control in China, a plant protection UAV variable spray system based on neural networks, the UAV code was validated with wind tunnel tests and the factors affecting droplet deposition including ambient temperature, ambient humidity, wind speed, flight speed, flight altitude, propeller pitch and nozzles pitch (WEN *et al.*, 2019).

Several researches pointed out the necessity to provide data support to spray drift control and to the establishment of aviation spray standards (WANG *et al.*, 2017). Under these conditions, Meivel *et al.* (2016) proposed a quadcopter UAV based fertilizer and pesticide spraying system for Indian agriculture, denoting that a remote-controlled UAV, to spray the pesticide as well as fertilizer to avoid the humans' health hazards. Yongjun *et al.* (2017) proposed a six-rotor UAV operated at different heights and velocities to test pesticides spray effects for corns at different growth stages.

Wang *et al.* (2019) indicated that UAVs are a recently developed aerial spraying technology and they assessed the effect of spray volume variation on deposition and pesticide control efficacy.

For the modeling of any aerodynamic system, it is appropriate to apply the panel method (YU; GUAN, 2015). The panel method can also be used to optimize airfoils as well as to calculate, before and after optimization, the coefficients of lift and pressure. Therefore, the optimization of the NACA 0012 aerodynamic profile was performed by the researchers Jafarimoghaddam and Aberoumand (2016) through the vortex panels method, resulting in a new aerodynamic that presents a greater aerodynamic efficiency for high or low-speed flights.

There is another largely used method, the Vortex Lattice Method (VLM). A new nonlinear formulation of the classic VLM method has been used to modify the wing of the UAV to increase its aerodynamic efficiency and to calculate the reductions in the drag, this method was proposed by Gabor, Koreanschi and Botez (2016).

Finally, the main objective of this work is the aerodynamic concept of an unmanned agricultural spraying aircraft and computational simulation of its operation surveying its velocity variance, the center of gravity variation, fuel consumption, endurance and range.

Therewith the present study is based on the technical rules of the Brazilian Regulation of Aeronautical Homologation (RBHA), which refer to the Federal Aviation Administration of the United States of America (FAA), and the European JAR (Joint Aviation Requirements) from the EASA agency, European Aviation Safety Agency.

The notable innovation of this paper is the analysis of the aerodynamic behavior of the aircraft in each spray shot, aiming at the stability and the operability throughout the agricultural task. Besides, this mathematical model focuses on an airplane that has a minor impact on the environment and therewithal the humanization of the spraying operation.

Thereby, the calculation methodology was presented first, followed by the spray tank volume and flow values, spray nozzle specifications, flight and operating conditions, and finally the mission layout. From this, aircraft loading, aircraft design parameters, power versus velocity curves, AVANT's three-view diagram, full-scale pressure coefficient distribution and the final characteristics of AVANT were presented.

Withal the aerodynamic concept of the spraying monoplane, total spray flow variation for each spray shot was surveyed, thereupon; it being regarded the position variance of the AVANT's center of gravity throughout the agricultural task.

It is noteworthy that there was no product built, since the present work aimed at mathematical modeling, calculations and computer simulations.

Material and methods

The routines used in the mathematical modeling for the aerodynamic calculations of the AVANT were implemented in Fortran. The lift coefficients of the complete aircraft were calculated for the wing

and tail by the VLM, modeled as non-thickened surfaces, and for the fuselage, the calculations were done by the Panel Method.

The method of the panels (JAFARIMOGHADDAM; ABEROUMAND, 2016; RAMOS-GARCÍA; SØRENSEN; SHEN, 2016; YU; GUAN, 2015) is widely used in the calculation of aerodynamic coefficients for various applications, such as design of wings, turbines, propellers, fuselages, and complete aircrafts, among others. Another method widely diffused in aerodynamic calculations is VLM (GABOR; KOREANSCHI; BOTEZ, 2016).

The Vortex Lattice Method is suitable for the calculations of lifting surfaces such as wing and tail stabilizers. The potential flow definition used in the VLM is analogous to electrical potential theory. In the case of fluid dynamics, the field is defined as an incompressible flow (Eq. 1), at which the velocity field depends on the gradient between the equipotential (Eq. 2), and irrotational lines (Eq.3), being governed by the equations:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = \nabla \phi \quad (2)$$

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (3)$$

In which: \vec{V} = field velocity vector [m s^{-1}]; ϕ = equipotential lines.

Infinite vortices line induces a flow field around a line with the induced flux perpendicular to the radius and the force inversely proportional to the radius. For a vortex segment, the induced field is defined by the Biot and Savart law (Eq. 4), at which the elemental of V , in this case, refers to the induced velocity:

$$d\vec{V}_{ind} = \frac{\vec{\Gamma} \cdot (d\vec{l} \times \vec{r})}{4\pi |\vec{r}|^2} \quad (4)$$

In which: $\vec{\Gamma}$ = vorticity [m s^{-1}]; \vec{l} = length of the vortex segment [m]; \vec{r} = radius between the vortex line and the induced flow line [m].

Accordingly, Eq. 4 must be integrated to calculate the induced velocity, and the pressure depends on this value and can then be calculated by Bernoulli's Theorem.

This induced flow can be used to obtain the force acting on each panel using the Kutta-Zhukovsky's theorem, Eq. 5 (MATSUO; ISMAIL, 2010).

$$\vec{L} = \rho (\vec{V}_{ind} \times \vec{\Gamma}) \cdot \vec{l} \quad (5)$$

In which: ρ = specific mass of the free air stream [kg m^{-3}]; \vec{L} = lifting force [N].

An arbitrary finite number of panels, in the Vortex Lattice Method, results in the system represented by Eq. 6, in which, Γ is unknown, w is the parameterization of each vortex of each panel and b is the parameterization of flight conditions (like attack angle, slippage, among others) of each panel.

$$\begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

As for the Panel Method, the panel discretization was done in which, a normal unitary vector, is assigned a pressure differential transformed in the same direction as the normal unitary vector, depending on the velocity of the free stream, the specific air mass and the Mach number.

Each panel has a point (x_0, y_0) on the lifting surface in which is applied. The local load applied at (x_0, y_0) induces a velocity w over an arbitrary point (x, y) . As a simplification, the integral is discretized by a constant approach by parts as in Eq 7.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \vdots \\ \rho_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

In which: w = velocity induced by each panel [$m\ s^{-1}$]; c = elements of the coefficient matrix of all panels; ρ = load vector elements on all panels [$N\ m^{-2}$].

The coefficient matrix was calculated by Eq. 8 for each δs panel, and this equation integrates K , from the Kernel Function Method.

$$c = \iint_{\delta s} K(x - x_0, y - y_0) dx_0 dy_0 \quad (8)$$

The operation site for the UAV aircraft was the rural area of the municipality of Muzambinho/MG, Brazil, location: $21^\circ 22' 33''$ S, $46^\circ 31' 33''$ W; Meso-region: Southern of Minas Gerais. Therefore, the physical characteristics of this air were considered (Table 4). The total drag coefficient of the aircraft is given by:

$$C_D = C_{D,0} + C_{D,i} \quad (9)$$

In which: C_D = total drag coefficient, dimensionless; $C_{D,0}$ = zero lift drag coefficient, dimensionless; $C_{D,i}$ = induced drag coefficient, dimensionless.

The aerodynamic efficiency is the ratio of the lifting force and the drag force, and its maximum value given by:

$$\left(\frac{C_L}{C_D} \right)_{\max} = \frac{(C_{D,0} \pi e A)^{\frac{1}{2}}}{2C_{D,0}} \quad (10)$$

In which: C_L = lift coefficient, dimensionless; e = Oswald's factor, dimensionless; A = aspect ratio, dimensionless.

For propeller-powered aircraft, another important parameter related to aerodynamic efficiency is the lift coefficient raised to three means on the drag coefficient, given by:

$$\left(\frac{C_L}{C_D}\right)_{\max}^3 = \frac{(3C_{D,0}\pi eA)^{\frac{3}{2}}}{4C_{D,0}} \quad (11)$$

With the drag force value, the power required is given by:

$$P_R = WV \left(\frac{C_L}{C_D}\right)^{-1} \quad (12)$$

In which: P_R = power required [W], known as 1.0 hp is equal to 745.7 W; W = aircraft weight [N]; V = aircraft velocity [m s^{-1}].

With the value of the required power, the value of the engine power was calculated. The engine is designed to allow the aircraft to perform maneuvers. Thus, the available power is given by:

$$P_A = \eta P \quad (13)$$

In which: P_A = available power [W]; P = engine shaft power [W]; η = propeller efficiency, dimensionless.

The aircraft's range is given by:

$$R = \frac{\eta}{c} \left(\frac{C_L}{C_D}\right) \ln \left(\frac{W_0}{W_1}\right) \quad (14)$$

In which: R = aircraft range [m]; c = specific fuel consumption [m^{-1}]; W_0 = gross weight of the aircraft (at the beginning of the mission) [N]; W_i = weight of the aircraft at a given point in the mission [N];

$\frac{W_i}{W_{i+1}}$ = weight fraction of the segment of the mission, dimensionless.

The aircraft's autonomy (endurance) is given by:

$$E = \frac{\eta}{c} \left(\frac{C_L}{C_D}\right) (2\rho_\infty S)^{\frac{1}{2}} \left(W_1^{-\frac{1}{2}} - W_0^{-\frac{1}{2}}\right) \quad (15)$$

In which: E = aircraft endurance [s]; ρ_∞ = specific air mass [kg m^{-3}].

The gross weight of an unmanned aircraft is given by:

$$W_0 = \frac{W_{\text{payload}}}{1 - (W_f / W_0) - (W_e / W_0)} \quad (16)$$

In which: W_0 = aircraft gross weight [N]; W_{payload} = aircraft payload [N]; W_f = aircraft fuel weight [N]; W_e = aircraft empty weight [N].

The weight of the fuel by the gross weight ratio, considering a reserve of 6 % in the fuel tank, is given by:

$$\frac{W_f}{W_0} = 1.06 \left[1 - \prod_i \left(\frac{W_i}{W_{i-1}} \right) \right] \quad (17)$$

Finally, the values assumed for the application of a pesticide for aerial spraying are presented in Table 1.

Table 1 – Initial Spraying Parameters.

Spray volume applied per hectare ⁽¹⁾	20.0	Dosage of the phytosanitary product ⁽¹⁾	2.0
Band treated by nozzle ⁽²⁾	2.5	Total spraying width ⁽²⁾	5.0

⁽¹⁾ [L ha⁻¹]. ⁽²⁾ [m].

Source: Elaborated by the authors (2020).

Results and discussion

With the values in Table 1, the flow rates to be used and the capacity of the spray tank are determined (TABLE 2). The aircraft has only two spray nozzles whose specifications are presented in Table 3.

Table 2 – Flow rate and volume of the spray tank.

Flow by nozzle ⁽¹⁾	8.82	Total spraying flow ⁽¹⁾	17.64
Amount of phytosanitary product ⁽²⁾	2.00	Tank Capacity ⁽²⁾	20.00

⁽¹⁾[L min⁻¹] (International System). ⁽²⁾ [L].

Source: Elaborated by the authors (2020).

The spray nozzle is formed by the cover, tip, filter and body and the characteristics of the tips selected for the proposed AVANT are listed in Table 3.

Table 3 – Spray nozzle specifications.

Nomenclature	3023	Manufacturing Material	Polyethylene
Minimum flow per nozzle ⁽¹⁾	1.6	Maximum flow per nozzle ⁽¹⁾	3.0
Spray angle	30°	Suitable filter <i>Mesh</i>	35
Work pressure ⁽²⁾	39.23	Jet Shape	Rotary Conical

⁽¹⁾ [gal min⁻¹] (American system, where 1.0 gal_{USA} = 3.785 L). ⁽²⁾ [kPa].

Source: Elaborated by the authors (2020).

According to the computational simulation, in the first spray shot (first pass), the aircraft is operated at an angle of attack of 3° and velocity of 37.4 m s⁻¹, the speed decreases with each spray shot until the aircraft reaches the value of 21.4 m s⁻¹ at an attack angle of 5°. Thus, in the first sprays, the flow per nozzle is 3.0 gal min⁻¹ (approximately 11.3 L min⁻¹), and decreases linearly, track by track, down to 1.7 gal min⁻¹ (approximately 6.5 L min⁻¹) in the 20th spray shot (last pass). The average flow

per nozzle is 2.3 gal min^{-1} (approximately 8.8 L min^{-1}) at an average velocity of 29.4 m s^{-1} . The aircraft weight varied from 143.8 kg in the first spray shot to 112.2 kg in the 20th spray shot.

Table 4 – Flight and operation conditions.

	Value	Unit
Local altitude	1100	m
Specific air mass	1.1008	kg m^{-3}
Kinematic air viscosity	1.5111×10^{-5}	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
Operating velocity	37.4 to 21.4	m s^{-1}
Operational capacity	17	ha h^{-1}
Number of passes	20	[-]
Time for each pass	3.4	s
Number of maneuvers	19	[-]
Average maneuver time	6.0	s
Time to spray one hectare	3.5	min

Source: Elaborated by the authors (2020).

Moreover, in the computational routines, the aircraft operates close to the ground and its operating altitude is very close to the local altitude. The particular flight conditions were presented in Table 4 and they are subsequently used.

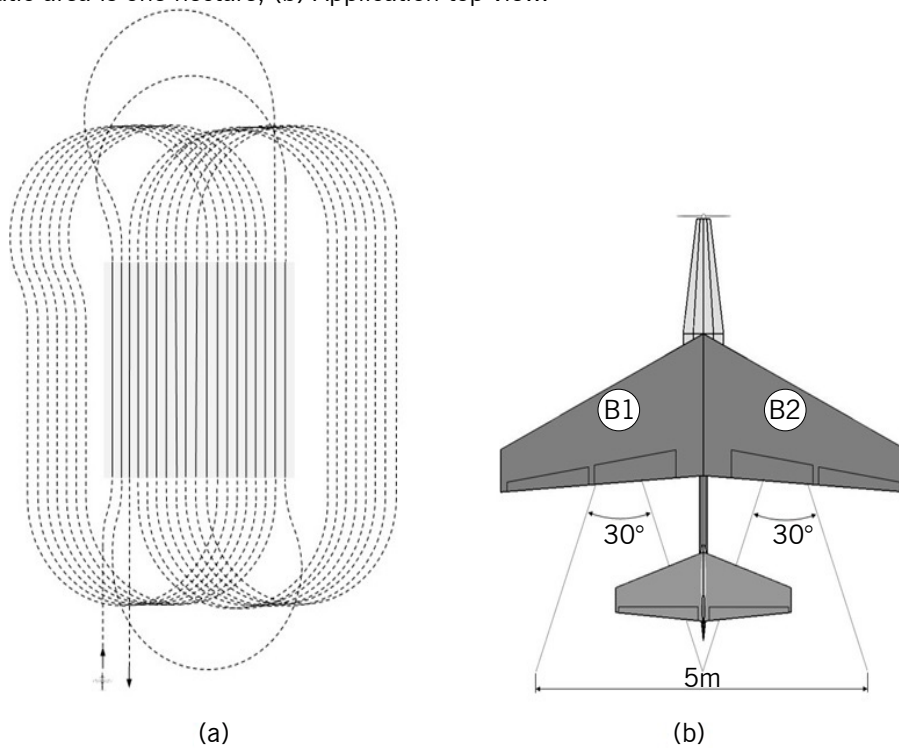
As a result, with the parameters established for the spraying and the flight altitude defined, it is possible to determine that the operating speed should be around one hundred and thirty kilometers per hour. With this value of operational velocity, the aircraft is set to spray one hectare per mission.

The layout of the mission is presented in Figure 1a. This representation is scaled and the performance data of the AVANT in the spray shots and in the maneuvers are used. Figure 1b shows the spraying area where the spray nozzles are schematized by “B1” and “B2”. Figure 2 shows a side view of the application.

As for the overlap, Figure 1b demonstrates a simulated case for a simple overlapping, with the AVANT at a height of 3 m from the target. To ensure the transverse uniformity of liquid distribution, the AVANT must be operated at a height of 6 m from the target for a double overlapping, or at a height of 9 m from the target for a triple overlapping.

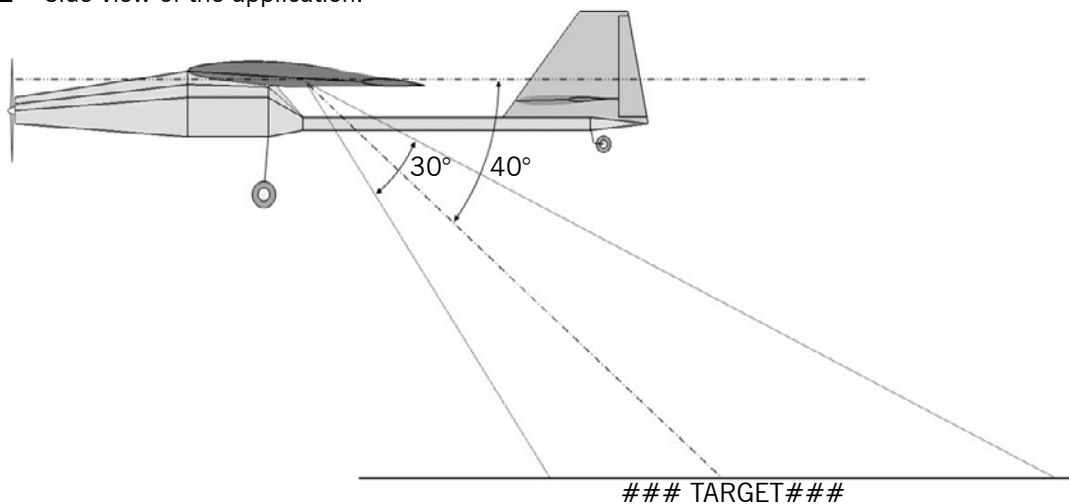
In the present case, it is recommended to use double overlapping with the aircraft at a flight height of 6 m, to ensure uniform distribution of the product. At this height of the flight, there might be a risk of recirculation.

Figure 1 – (a) Flight plane, in which the solid line represents the Spray Shot, the dashed line the maneuver, and the quadratic area is one hectare, (b) Application top view.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 2 – Side view of the application.



Source: Elaborated by the authors (2020).

The wing has the following characteristics: wingspan of 6 m, root chord of 1.850 m, tip chord of 0.555 m, wing load of 204 N m⁻², a taper ratio of 0.3, aspect ratio of 5, and NACA 65-210 aerodynamic profile. The geometry characteristics of the horizontal tail are: wingspan of 2.6 m, root chord of 0.90 m, tip chord of 0.32 m, an aspect ratio of 4.26, a taper ratio of 0.36, and NACA 0009 profile. The characteristics of the vertical tail are: wingspan of 0.8595 m, root chord of 1.300 m, tip chord of 0.419 m, an aspect ratio of 2, a taper ratio of 0.32, and NACA 0009 profile. Additional details are shown in Table 5.

Table 5 – Aircraft loading.

	Symbology	Value	Unit
Gross weight	W_0	150	kg
Payload	$W_{payload}$	20	kg
Empty weight	W_e	108.585	kg
Fuel weight	W_f	21.415	kg
Empty weight by gross weight ratio	W_e / W_0	0.72	[-]
Fuel weight by gross weight ratio	W_f / W_0	0.14	[-]

Source: Elaborated by the authors (2020).

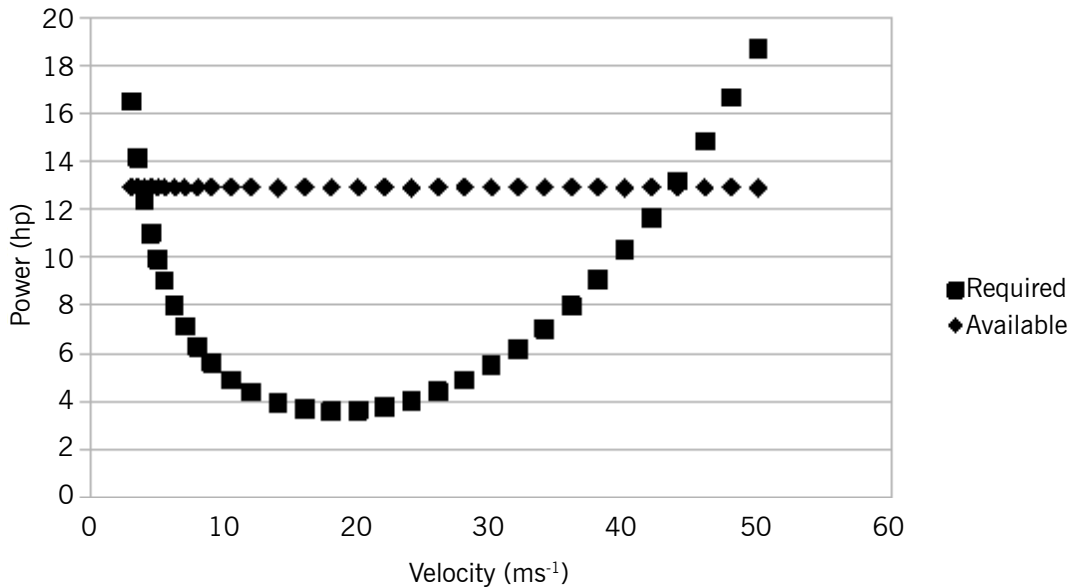
The selected fuel is gasoline and, because of its density, it resulted in a tank with 28 liters to complete the entire mission. Table 6 presents the project parameters of the spraying UAV. Therefore, by selecting the aircraft conventional/propeller engine set, it was possible to draw the power curves against the velocity as shown in Figure 3. With the aerodynamic parameters defined, the agricultural UAV is shown in Figure 4 and the general characteristics are presented in Table 7.

Table 6 – Aircraft project parameters.

Zero lift drag coefficient (C_{D0})	0.0266	Oswald Factor (e)	0.94
Maximum aerodynamic efficiency $\left(\frac{C_L}{C_D}\right)_{max}$	12.2	$\left(\frac{C_L^{\frac{3}{2}}}{C_D}\right)_{max}$	10.6

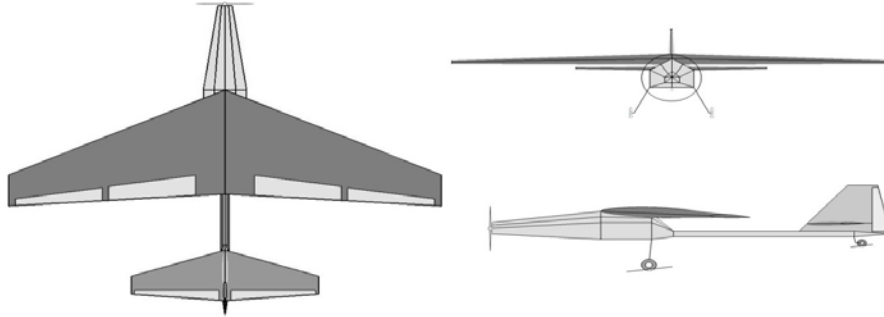
Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 3 – Power vs. velocity Curves.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 4 – Diagram of three views of the AVANT.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Table 7 – Final characteristics of the AVANT.

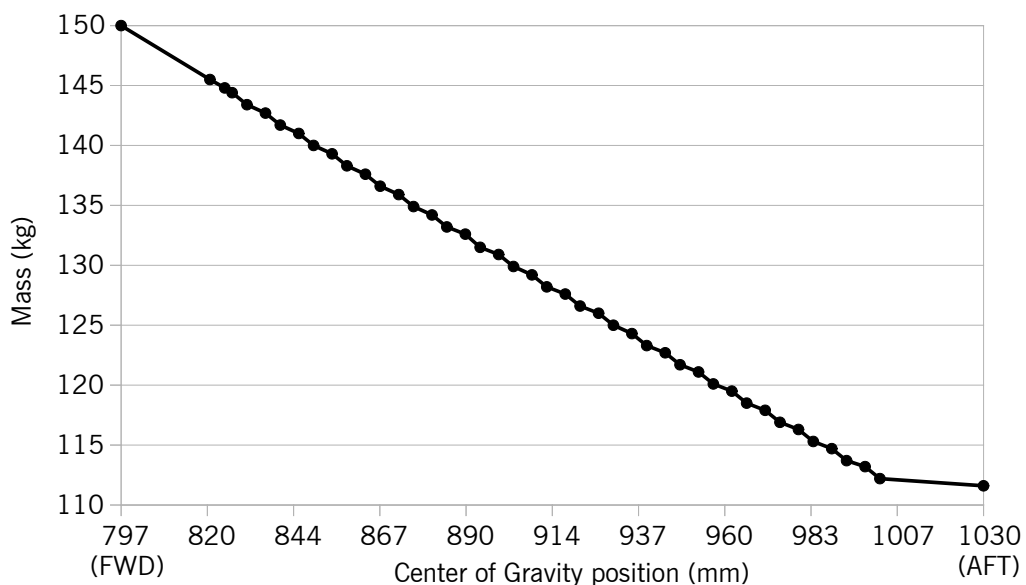
Wingspan ⁽¹⁾	6.0	Length ⁽¹⁾	5.5
Height ⁽¹⁾	1.477	Wheel base ⁽¹⁾	2.955
Gear tread ⁽¹⁾	1.108	Wing configuration	High wing
Engine ⁽²⁾	Single-engine propeller /ICE	Installed power ⁽⁴⁾	18.0
Type of landing gear	<i>Taildragger</i>	Maximum endurance ⁽⁵⁾	9.0
Maximum range ⁽³⁾	690	Runway length ⁽⁶⁾	150

⁽¹⁾ [m]. ⁽²⁾ ICE: internal combustion engine (Conventional radial engine). ⁽³⁾ [km], Typical configuration of simple cruise (approximately). ⁽⁴⁾ [hp]. ⁽⁵⁾ [h], Typical configuration of simple cruise (approximately) ⁽⁶⁾ [m], it is the amount required with maximum weight for takeoff at an altitude of 1100 m at a temperature of 15° C (approximately).

Source: Elaborated by the authors (2020).

The aerodynamic project resulted in an aircraft with adequate aerodynamic efficiency, stability, and controllability, being an agricultural machine that needs a low installed power, which provides low fuel consumption when related to its load capacity and operational field.

Figure 5 – Center of Gravity Tour in the longitudinal axis of the aircraft.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 5 shows the forward position of the center of gravity (CG) at the beginning of the mission, called FWD (forward) and the reverse position of the center of gravity at the end of the mission, called AFT (afterward). Finally, the tour of the center of gravity of the Agricultural UAV is presented. The position of the center of gravity started at 13.4 % of Mean Aerodynamic Chord (MAC), FWD, and ended at 31.5 % MAC (AFT), having the mean value of 22.5 % of MAC, a value very close to the value of 24 % of MAC found by Liu *et al.* (2018) for the Boeing B737-800. The neutral point was 36.4 % of MAC (FIGURE 6). Due to the variation in the position of the center of gravity, there is variation in the operation velocity, resulting in variation of the total flow of the two nozzles to maintain a constant and invariable value of the application rate. Accordingly, the aircraft angle of attack is 0.3° in the first simulated pass and 4.8° for the last pass linear with the spray shot (TABLE 8).

Table 8 – Total spray flow variation for each spray shot.

	Velocity ⁽¹⁾	Total Flow ⁽²⁾		Velocity ⁽¹⁾	Total Flow ⁽²⁾
1 st Shot	37.4	3.0	11 th Shot	29.0	2.3
2 nd Shot	36.6	2.9	12 th Shot	28.1	2.2
3 rd Shot	35.7	2.9	13 th Shot	27.3	2.2
4 th Shot	34.9	2.8	14 th Shot	26.5	2.1
5 th Shot	34.0	2.7	15 th Shot	25.6	2.0
6 th Shot	33.2	2.7	16 th Shot	24.8	2.0
7 th Shot	32.3	2.6	17 th Shot	23.9	1.9
8 th Shot	31.5	2.5	18 th Shot	23.1	1.8
9 th Shot	30.7	2.5	19 th Shot	22.2	1.8
10 th Shot	29.8	2.4	20 th Shot	21.4	1.7

⁽¹⁾ [m s⁻¹]. ⁽²⁾ [gal min⁻¹], considering the two nozzles (1 gal = 3.785 L).

Source: Elaborated by the authors (2020).

In the case of a Tail dragger, the agricultural UAV due to its project, at the beginning of the takeoff and with all the wheels of the main and auxiliary landing gear in contact with the runway, the aircraft attack angle was 8° . After the takeoff, the aircraft starts the mission with an operational speed of 40.2 m s^{-1} .

It should be emphasized that Ribeiro *et al.* (2017) presented the results of a modeling study of a civil aircraft to increase its aerodynamic efficiency and reached numerical results similar to the results achieved by the present Agricultural UAV (AVANT), having an aerodynamic efficiency of 12 and a drag coefficient of 0.3.

The comparison of the proposed UAV with a commercial manned agricultural airplane shows a lower fuel consumption (5 L h^{-1} against 65 L h^{-1}), a shorter take-off distance (132 m against 564 m), a lower cost for farmers (due to the initial investment around one-tenth of the current airplane) and the humanization of agricultural spray operation. Due to its relatively small dimensions, approximately five aircraft of the proposed design are required to perform the same task as the commercial manned aircraft.

Conclusion

The results of computational simulations show that the proposed aircraft (a monoplane, called AVANT by the authors) is adequate for the proposed application and performance. Simulations

were realized to verify the performance of the airplane during the operational shots and maneuvers. Operational fuel costs and other operational parameters were compared and evaluated, resulting in an aircraft adequate for the conditions of spraying.

With the computer simulation, AVANT's wing aerodynamic profile and its agricultural spraying operation were selected, to enable the AVANT wing, fuselage, landing gear and tail to be designed to suit the speed, altitude and loading required. Still in the simulation, the behavior and stability of the aircraft were evaluated shot by shot throughout the spraying operation.

AVANT has fuel consumption approximately 20 % lower compared to currently available agricultural monoplanes. AVANT also has an adequate aerodynamic efficiency of 12. However, the most important feature of the AVANT is aiming at the humanization of agricultural operations.

After all, the geometry and aerodynamic performance of the proposed AVANT resulted in a low-cost aircraft with low-fuel consumption, because of its fuselage geometry and installed power, respectively. There was no product built, the final product of this work is the numerical results of the computer simulations.

Acknowledgments

The authors wish to thank the National Council for Scientific and Technological Development – CNPq for the PQ Research Grant 304372/2016-1. In the same way, the authors wish to thank the UNICAMP and IFSULDEMINAS.

Conceito e simulação de uma aeronave de pulverização agrícola não tripulada

Resumo

Nos últimos anos, a produção agrícola brasileira cresceu 900 % em relação a 1990, enquanto as áreas cultivadas aumentaram a uma taxa de 2 % ao ano. Devido a essa expansão, a pulverização passou de manual para mecânica utilizando equipamentos de solo e aeronaves. Como resultado dessas novas tendências, estatísticas recentes mostram que há impactos negativos na saúde dos pilotos e operadores de máquinas terrestres e no meio ambiente. O presente estudo avalia o conceito de veículo aéreo não tripulado (VANT) para pulverização de produtos defensivos, aqui denominado AVANT. Neste estudo, novos aerofólios são avaliados, a teoria da linha de sustentação, o método da malha de vórtices e o método dos painéis são usados para definir a geometria da asa, fuselagem e elementos da cauda. Simulações foram realizadas para verificar o desempenho do AVANT durante as linhas de pulverização e manobras operacionais. Os parâmetros básicos do AVANT propostos são: Envergadura: 6 m; Monoplano; Asa alta; Motor de pistão (gasolina); Hélice; Tipo Tractor; Potência instalada: 18 cv; Comprimento: 5,5 m; Altura: 1,477 m; Tipo Taildragger; Largura da cauda: 2,6 m; Peso vazio: 108,585 kg; Peso bruto: 150 kg; Autonomia máxima: 9 h; Capacidade do tanque de combustível: 28 L; Capacidade do tanque de agroquímicos: 20 L. Os resultados mostram que o AVANT é adequado para a aplicação proposta.

Palavras-chave: Aerodinâmica. Agricultura. Pesticidas. UAV.

References

- ABUBAKAR, M.; MALA, M.; MUMIN, A.; ZAINAB, T.; FATIMA, A. Perceptions of environmental effects of pesticides use in vegetable production by farmers along River Ngadda of Maiduguri, Nigeria. **J Agric Environ Sci [Internet]**, v. 4, n. 1, p. 212-5, 2015. <https://dx.doi.org/10.15640/jaes.v4n1a26>.
- BURALLI, R.J.; RIBEIRO, H.; MAUAD, T.; AMATO-LOURENÇO, L.F.; SALGE, J.M.; DIAZ-QUIJANO, F.A.; LEÃO, R.S.; MARQUES, R.C.; SILVA, D.S.; GUIMARÃES, J.R.D. Respiratory condition of family farmers exposed to pesticides in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 6, p. 1203, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061203>.
- CHAIM, A. Eficiência de aplicação. Embrapa de Informação Tecnológica.(2019) Available at: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_44_210200792814.html. Accessed on: 12 dec. 2019.
- FAIÇAL, B. S.; COSTA, F. G.; PESSIN, G.; UEYAMA, J.; FREITAS, H.; COLOMBO, A.; FINI, P. H.; VILLAS, L.; OSÓRIO, F. S.; VARGAS, P. A.; BRAUN, T. The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides. **Journal of Systems Architecture**, v. 60, n. 4, p. 393-404, 2014.
- FAIÇAL, B. S.; FREITAS, H.; GOMES, P. H.; MANO, L. Y.; PESSIN, G.; DE CARVALHO, A. C.; KRISHNA MACHARI, B.; UEYAMA, J. An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 138, p. 210-223, 2017.
- GABOR, O. Ş.; KOREANSCHI, A.; BOTEZ, R. M. A new non-linear vortex lattice method: Applications to wing aerodynamic optimizations. **Chinese Journal of Aeronautics**, v. 29, n. 5, p. 1178-1195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2016.08.001>.
- HUANG, Y.; HOFFMANN, W. C.; LAN, Y.; WU, W.; FRITZ, B. K. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 6, p. 803-809, 2009. <https://doi.org/10.13031/2013.29229>.
- JAFARIMOGHADDAM, A.; ABEROUMAND, S. Introducing an optimized airfoil shape using panel method, a short report. **Eur. J. Adv. Eng. Technol**, v. 3, n. 7, p. 47-52, 2016. <http://www.ejaet.com/PDF/3-7/EJAET-3-7-47-52.pdf>.
- JUNQUEIRA, L. E. A. R.; CONTRERA, L. Occupational Exposure to Agrochemicals: A Literature Review. In: **Congress of the International Ergonomics Association**. Springer, Cham, 2018. p. 31-34. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96098-2_5.
- KELLY, M. R.; COHEN, R. A. The Effects of an Herbicide and Antibiotic Mixture on Aquatic Primary Producers and Grazers. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 101, n. 5, p. 556-561, 2018.
- LING, W.; DU, C.; ZE, Y.; SHUMAO, W. Research on the prediction model and its influencing factors of droplet deposition area in the wind tunnel environment based on UAV spraying. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 17, p. 274-279, 2018.

LIU, Y.; YANG, Z.; DENG, J.; ZHU, J. Investigation of fuel savings for an aircraft due to optimization of the center of gravity. In: **International Symposium on Application of Materials Science and Energy Materials (SAMSE)**. Shanghai, 2018.

MARCELINO, A. F.; WACHTEL, C. C.; GHISI, N. C. Are Our Farm Workers in Danger? Genetic Damage in Farmers Exposed to Pesticides. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 3, p. 358, 2019.

MATSUO, C. A. S.; ISMAIL, K. A. R. Otimização do aerofólio NACA para um veículo aéreo não tripulado com aplicação agrícola. **Mecânica Computacional**, v. 29, n. 1, p. 3657-69, 2010. <https://dx.doi.org/10.13140/2.1.3845.4562>.

MEIVEL, S. M. E.; MAGUTEESWARAN, R.; GANDHIRAJ, N. B. E.; SRINIVASAN, G. Quadcopter UAV based fertilizer and pesticide spraying system. **Journal Engineering Science**, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2016.

MOGILI, U. R.; DEEPAK, B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. **Procedia Computer Science**, v. 133, p. 502-509, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>.

OJO, J. Pesticides use and health in Nigeria. **Ife J of Sci**, v. 18, n. 4, p. 981-991, 2016.

PALLADINI, L. A. **Aplicação de Agrotóxicos, Riscos, Legislação de Aplicação de Agrotóxicos**. 2019. Available at: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/aplicacao-de-agrotoxicos/>. Accessed on: 23 Apr. 2019.

RAMOS – GARCÍA, N.; SØRENSEN, J. N.; SHEN, W. Z. Three-dimensional viscous-inviscid coupling method for wind turbine computations. **Wind Energy**, v. 19, n. 1, p. 67-93, 2016. <https://doi.org/10.1002/we.1821>.

REEVES, W. R.; MCGUIRE, M. K.; STOKES, M.; VICINI, J. L. Assessing the Safety of Pesticides in Food: How Current Regulations Protect Human Health. **Advances in Nutrition**, v. 10, n. 1, p. 80-88, 2019. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy061>.

RIBEIRO, F. C.; PAULA, A. A.; SCHOLZ, D.; SILVA, R. G. A. Wing geometric parameter studies of a box wing aircraft configuration for subsonic flight. In: **7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS 2017)**, Milan.

SENA, T. R. R.; DOURADO, S. S. F.; LIMA, L. V.; ANTONIOLLI, Â. R. The hearing of rural workers exposed to noise and pesticides. **Noise & health**, v. 20, n. 92, p. 23, 2018.

SCHMIDT, F.; ZANELLA, S. J. Avaliações qualitativas de pulverizadores agrícolas em propriedades rurais na região de Erechim-RS. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, p. 633-652, 2017. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n3p633-652>.

SILVA, S. A.; ALVARENGA, C. B.; LIMA, J. S. S.; SILVA, M. A. Spatial quality assessment of pesticide applications using a cannon sprayer. **Engenharia na Agricultura**. v. 23, n. 5, p. 418-427, 2015. <https://doi.org/10.13083/reveng.v23i5.527>.

WACHTEL, C. C.; OLIVEIRA, E. C.; MANIGLIA, T. C.; SMITH-JOHANNSEN, A.; ROQUE, A. A., GHISI, N. C. Waterborn Genotoxicity in Southern Brazil Using *Astyanax bifasciatus* (Pisces: Teleostei). **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 102, n. 1, p. 59-65, 2019.

WANG, G.; LAN, Y.; QI, H.; CHEN, P.; HEWITT, A.; HAN, Y. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. **Pest management science**, v. 75, n. 6, p. 1546-1555, 2019. <https://doi.org/10.1002/ps.5321>.

WANG, X.; HE, X.; WANG, C.; WANG, Z.; LI, L.; WANG, S.; WANG, Z. Spray drift characteristics of fuel powered single-rotor UAV for plant protection. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 33, n. 1, p. 117-123, 2017.

WEN, S.; ZHANG, Q.; YIN, X.; LAN, Y.; ZHANG, J.; GE, Y. Design of Plant Protection UAV Variable Spray System Based on Neural Networks. **Sensors**, v. 19, n. 5, p. 1112, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19051112>.

XUE, X.; LAN, Y.; SUN, Z.; CHANG, C.; HOFFMANN, W.C. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. **Computers and electronics in agriculture**, v. 128, p. 58-66, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.022>.

YANAGIHARA, D.; BRAGAGNOLO, C. Cost-benefit of the reverse logistics of empty packaging of agrochemicals in Brazil. **Revista iPecege**, v. 4, n. 2, p. 16-24, 2018. <http://dx.doi.org/10.22167/r.ipecege.2018.2.16>.

YONGJUN, Z.; SHENGHUI, Y.; CHUNJIANG, Z.; LIPING, C.; LAN, Y.; YU, T. Modelling operation parameters of UAV on spray effects at different growth stages of corns. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 57-66, 2017.

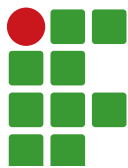
YU, Y.; GUAN, Z. Learning from bat: aerodynamics of actively morphing wing. **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, v. 5, n. 1, p. 13-15, 2015.

ZHANG, Y.; LI, Y.; HE, Y.; LIU, F.; CEN, H.; FANG, H. Near ground platform development to simulate UAV aerial spraying and its spraying test under different conditions. **Computers and electronics in agriculture**, v. 148, p. 8-18, 2018.

ZHU, H.; LAN, Y.; WU, W.; HOFFMANN, W. C.; HUANG, Y.; XUE, X.; LIANG, J.; FRITZ, B. Development of a PWM precision spraying controller for unmanned aerial vehicles. **Journal of Bionic Engineering**, v. 7, n. 3, p. 276-283, 2010.

Received: December 13, 2019

Accepted: June 8, 2020.



Prediction of water erosion in a watershed located in southeastern Brazil

Guilherme Henrique Expedito Lense¹

Fernanda Almeida Bócoli²

Rodrigo Santos Moreira³

Ronaldo Luiz Mincato⁴

Abstract

Water erosion modeling is a fast and accurate way to estimate erosion potential in watersheds. Among the models, we have the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) which has a simple structure, low implementation cost and can be used with readily available information, contributing to the planning of soil conservation practices. In this context, the objective of the work was to apply RUSLE to estimate water erosion in the Córrego da Laje watershed affluent directly from the reservoir of the Furnas Hydroelectric Plant, located in the south of Minas Gerais, a region of southeastern Brazil. In this region, water erosion is a serious problem that has caused the silting up of the hydroelectric reservoir and the depreciation of water quality. Soil losses were calculated in Geographic Information System based on topographic, edaphoclimatic characteristics, soil cover, and management practices. The average soil loss of the watershed was 26.80 Mg ha⁻¹ year⁻¹ with the predominance of high-intensity erosive rates (> 15 Mg ha⁻¹ year⁻¹). Considering the basin use classes, sediment generation was higher in pasture areas (35.87 Mg ha⁻¹ year⁻¹), and in areas under maize cultivation (32.05 Mg ha⁻¹ year⁻¹). As areas with severe erosion are distributed throughout the watershed, a comprehensive water erosion mitigation plan should be adopted to reduce the environmental damage of the process.

Keywords: Soil conservation. Soil coverage. RUSLE.

Introduction

Water erosion is the main process of degradation of tropical soils, generating negative environmental impacts such as the reduction of soil productive potential, loss of soil microbiota, and emission of greenhouse gases (DECHEN *et al.*, 2015). In the region surrounding the Furnas Hydroelectric Plant (FHP), in southern Minas Gerais, erosion mitigation is one of the greatest challenges for the sustainable management of the area (IGAM, 2013).

In addition to causing silting up of the FHP reservoir, reducing its useful life, water erosion also causes a depreciation of water quality and contamination with mineral fertilizers, since the vast majority of eroded sediments that reach the watercourses of the region are provided with areas with crops (IGAM, 2013). Thus, effective soil conservation measures are needed to control water erosion in the FHP region.

1 Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. guilherme.lense@unifal-mg.edu.br. Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, 37130-000, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. fernanda.muz@hotmail.com.

3 Instituto Agrônomo de Campinas. Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical. rodrigomagro@yahoo.com.br.

4 UNIFAL-MG. Professor no Instituto de Ciências da Natureza. ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br.

Modeling is a quick and accurate way to assess quantitatively and qualitatively the erosive potential. This technique can be used to design and target effective soil and water conservation measures (OLIVEIRA *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2019). Also, the application of modeling improves the interpretation of soil erosion processes and facilitates the understanding of ecosystem dynamics (ALEWELL *et al.*, 2019).

Among the initially developed models to evaluate the erosive rate, there is the Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) and latter its enhanced version, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997). The RUSLE presents a simple structure, with low implementation costs and can be used with readily available information. Because of it, this model is the most used worldwide when talking about the water basin (RENSCHLERA; MANNAERTS; DIEKKRÜGER, 1999; GANASRI; RAMESH, 2016).

The combination of RUSLE with Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing, facilitates its use and provides a diagnosis on the spatial distribution of water erosion. The GIS makes it possible to regroup and superimpose several thematic maps, as well as apply mathematical equations for different erosive factors. Using satellite images, digital terrain elevation models and other data, GIS can generate effective results simply and inexpensively (HAIDARA *et al.*, 2019). These results contribute significantly to the planning of soil conservation practices, erosion control and management of areas affected by the erosion process (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2012).

In this context, the objective of the work was to apply the Revised Universal Soil Loss Equation to quantify water erosion in the Córrego da Laje watershed tributary directly from the Furnas Hydroelectric Plant reservoir. The study will make it possible to identify the areas most susceptible to erosion, to contribute to the adoption of conservationist soil management.

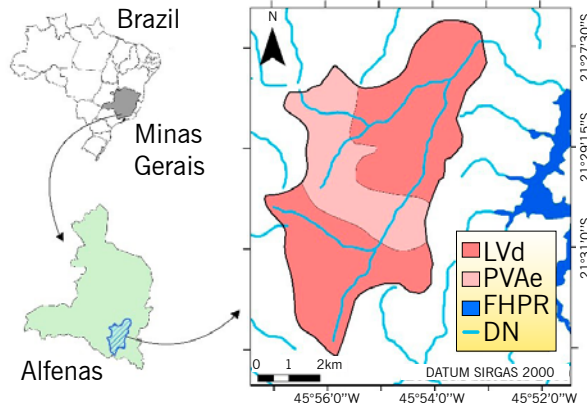
Material and methods

Study area

The Córrego da Laje watershed has an area of 3,951.30 ha, located in the municipality of Alfenas, south of Minas Gerais, the southeastern region of Brazil, at coordinates 45°57'7" to 45°54'3" O and 21°26'59" at 21°32'54" S (FIGURE 1). The area's climate according to the Köppen classification is Tropical Mesothermal (Cwb), with dry winter and temperate summer. The average annual precipitation is 1,500 mm and the average annual temperature is 22 ° C (ALVARES *et al.*, 2013; INMET, 2019). The soils of the watershed are dystrophic Red Latosols - LVd (71 %) and eutrophic Red-Yellow Argisol - PVAe (29 %). The digital soil map was prepared based on the soil map of the state of Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010) (FIGURE 1).

The land use and occupation map (FIGURE 2A) was based on images from the Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) satellite, orbit/point 219/75, selected in the Image Generation Division (INPE, 2019) on May 29, 2019 and, based on high-resolution images from the Basemap tool (ESRI, 2015). The watershed is occupied by: maize – 1,120.74 ha (28.4 %), pasture - 1,085.25 ha (27.47 %), coffee - 911.93 ha (23.08 %), native forest – 701.46 ha (17.75 %), eucalyptus - 72.84 ha (1.8 %), facilities 31.65 ha (0.8 %) and water - 27.43 ha (0.7 %).

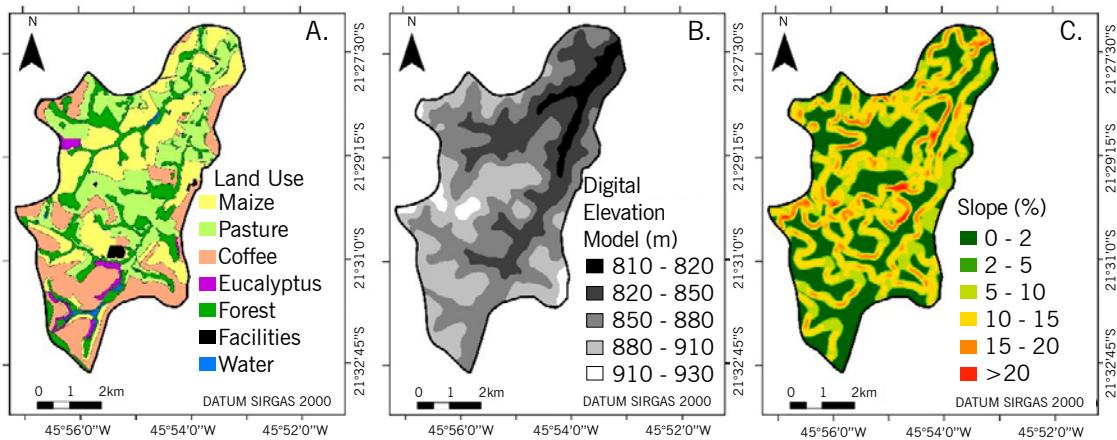
Figure 1 – Córrego da Laje watershed localization and soil digital map, Alfenas, South of Minas Gerais, Brazil.



Notes: LVd = Dystrophic Red Latosols, PVAe = Eutrophic Red-Yellow Argisol, FHPR = Furnas Hydroelectric Plant Reservoir and DN = Drainage Network.

Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 2 – Land Use Map (A) Digital Elevation Model (B) and Slope Map (C) of Córrego da Laje watershed, Alfenas, south of Minas Gerais, Brazil.



Source: Elaborated by the authors (2020).

In the watershed, altitudes vary between 810 and 930 m (FIGURE 2B). The Digital Elevation Model (DEM) was extracted from the contour lines of the state of Minas Gerais (SISEMA, 2019). Based on the DEM, the Slope Map was prepared. In the watershed, wavy relief predominates, with an average slope of 6.9 % (FIGURE 2C).

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

The RUSLE estimates the water erosion rate as Equation 1 (RENARD *et al.*, 1997).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

At which: A is the mean annual soil loss, in $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; R is the rainfall erodibility factor, in $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$; K is the soil erodibility factor, in $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; LS is the topographic factor, by the relation between the length (L) and the ramp slope (S), C is the soil management and use land factor, and P is the factor conservationists practices, both dimensionless.

The factor R represents the rainfall soil disaggreate and water erosion potential. The parameter was obtained from the South of Minas Gerais Erosivity Map developed by Aquino *et al.* (2012). About the soil erosive process resistance (K), its values were determined to each watershed soil kind, basing on the related values present in specialized literature (BESKOW *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

The factor LS is an essential parameter to quantify the soil loss due to the topography surface flow velocity influence (BESKOW *et al.*, 2009). The factor was calculated utilizing Equation 2, proposed by Moore and Burch (1986).

$$LS = \left(\frac{FA \cdot 10}{22,13} \right)^{0.4} \cdot \left(\frac{\sin(S)}{0,0896} \right)^{1.3} \quad (2)$$

At which: LS is the topographic factor, dimensionless; FA is the flow accumulation expressed as the DEM grid cell number; S is the watershed slope in degree and 10 is DEM spatial resolution do in meters.

Factor C relates the vegetal cover effects on the soil loss. The parameter varies from 0 to 1, at which higher values represent low vegetal covering and higher rain impact and surface flow soil disaggregation (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Factor C was calculated as Durigon *et al.* (2014), utilizing the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI (Equation 3).

$$C = \frac{-NDVI + 1}{2} \quad (3)$$

At which: C is a soil cover factor and NDVI is the Normalized Difference Vegetation Index, both dimensionless.

The NDVI is a soil vegetal cover indicator that varies from -1 to +1, with higher values attributed to areas with more vegetation. The index is calculated utilizing Equation 4 (TUCKER, 1979):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

At which: NIR and RED are near infra-red and red spectral bands, respectively.

The NDVI was calculated utilizing ArcMap 10.3 (ESRI, 2015) Raster Calculator tool from the bands 4 (red) and 5 (near infra-red) from Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) image, used in the basin land use mapping.

Lastly, there is the factor P that varies from 0 to 1 and its result represents the soil management effect about the erosive rates. The factor P was calculated using the declivity as a determinant property in the soil conservationists' practices adoption (Silva *et al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2016). To slopes lower than 5 %, the P-value was 0.6, and to slopes higher than 20 %, the P-value was 1. In slopes among 5 % to 20 %, the P value is calculated as Equation 5.

$$P = 0,69947 - 0,08911 \cdot s + 0,01184 \cdot s^2 - 0,000335 \cdot s^3 \quad (5)$$

At which: P is the conservation practices factor, dimensionless, and s is the slope in %.

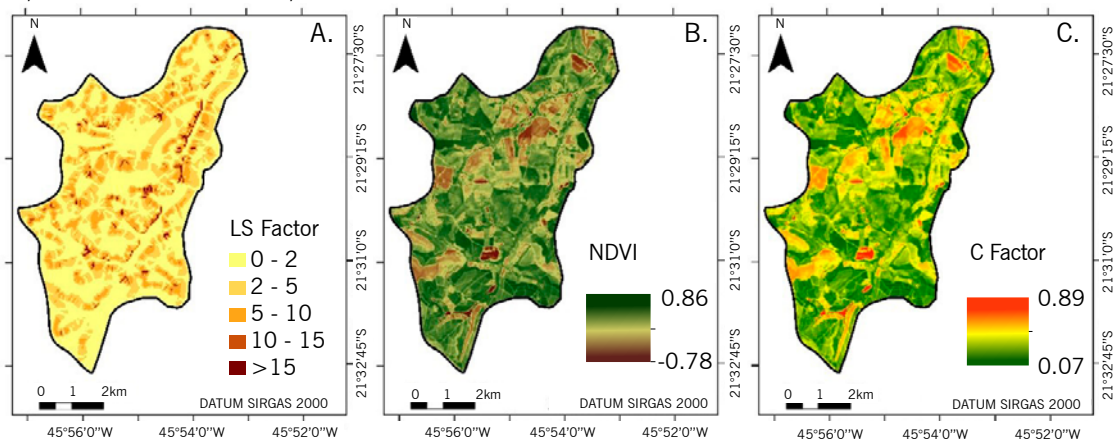
The stages of modeling, treatment and spatialization of data, as well as the making of maps of use and soil classes, MDE and slope, were performed using the software ArcMap 10.3 (ESRI, 2015).

Results and discussion

In the Córrego da Laje watershed, the rain erosivity was $6,500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (AQUINO *et al.*, 2012). Considering the classification proposed by Foster *et al.* (1981), the basin present a high erosivity class. The factor K was adapted by Sá *et al.* (2004) and Mendes Júnior *et al.* (2018) with values of 0.033 and $0.019 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ to the PVAe e LVD, respectively. Due to the pedological characteristics, PVAe are more prone to erosion than LVD.

The highest values of LS were observed in areas of a high slope, where the velocity of the runoff is greater (FIGURE 3A). In about 4 % of the watershed, the LS values were greater than 10 and these areas can be considered highly vulnerable to erosion. Therefore, soil conservation practices should be implemented primarily in these areas, to reduce the energy gain from runoff due to topography (BESKOW *et al.*, 2009; STEINMETZ *et al.*, 2018).

Figure 3 – Topographic factor - LS (3A), NDVI (3B) and Soil cover factor - C (3C) of Córrego da Laje watershed, Alfenas, south of Minas Gerais, Brazil.



Notes: NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; Factor LS, NDVI, Factor C: dimensionless.

Source: Elaborated by the authors (2020).

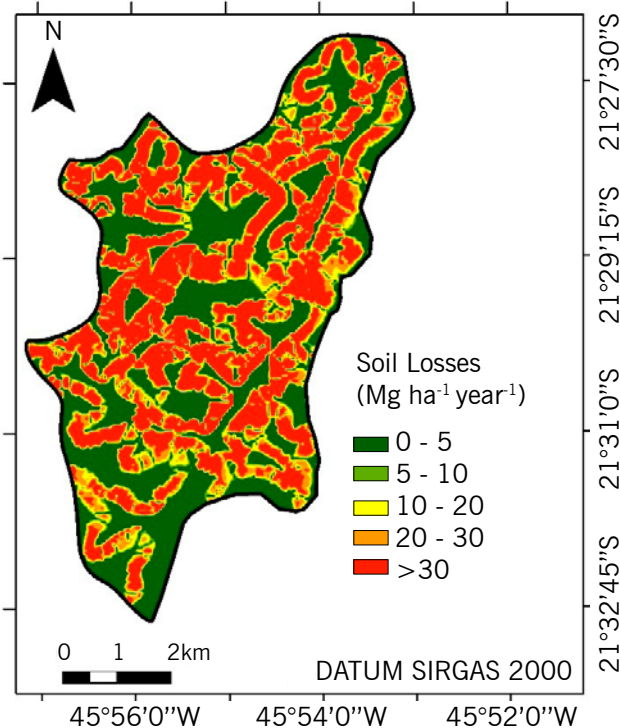
NDVI results were higher in areas with high plant density and lower in areas with exposed soil and areas with no soil (water and improvements) (FIGURE 3B). As for factor C, it is normalized between the values 0 and 1 and inversely proportional to the NDVI, thus the areas with the highest vegetation coverage presented the lowest value for factor C (FIGURE 3C).

It is worth mentioning that the determination of factor C from NDVI allows a more accurate representation when compared to methods based on values reported in the specialized literature, which were often developed for different regions of the study area. Also, with the use of NDVI in a GIS environment, factor C is calculated cell by cell over the entire area, and thus represents more realistically the heterogeneity of the vegetation cover.

RUSLE estimated the average soil loss in the Córrego da Laje watershed at $26.80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ with a predominance of high intensity erosive rates ($> 15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), according to the proposed

classification by Avanzi *et al.* (2013). The areas with intense erosion were concentrated mainly in the places with the highest declivity and, consequently, higher values of the LS factor (FIGURE 4).

Figure 4 – Córrego da Laje watershed soil loss spatial distribution, Alfenas, south of Minas Gerais, Brazil.



Source: Elaborated by the authors (2020).

The highest values of soil loss were observed in pasture areas ($35.87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), due to degradation, and in areas with maize cultivation ($32.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) due to exposure of the soil at the time of sowing. In the other classes of land use, soil losses ranged from 15.00 and $20.40 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, which was provided by the higher plant density and consequent lower value of factor C. The areas covered with water and improvements were not considered when estimating water erosion because they did not participate in the generation of sediments. Mendes Júnior *et al.* (2018) and Tavares *et al.* (2019), when modeling water erosion in a sub-basin of Córrego da Laje, with predominant coffee cultivation on conservation practices, observed erosion rates well below the results of the present work, demonstrating the importance of soil management practices on losses of soil.

As for water erosion in each type of soil, the generation of sediments was higher for PVAe ($39.80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) compared to LVd ($23.70 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) due to its greater erodibility (K). This result reveals the importance of the soil's intrinsic attributes about natural protection against water erosion (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

As the areas with high soil losses ($> 15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) are distributed over the entire length of the watershed, a broad plan for mitigating water erosion must be adopted, aiming at the introduction of conservationist practices. Among these practices, those aimed at improving soil covers, such as no-tillage in maize areas, the management of inter-plant vegetation in coffee cultivation and the recovery of degraded pastures, can be mentioned. In places with high declivity, level crops and terraces can be introduced, to minimize the flow speed.

The modeling results are an important tool for planning the adoption of targeted conservation practices in the Córrego da Laje watershed, to reduce the direct damage from water erosion such as loss of nutrients and soil organic matter and indirect ones, such as silting Córrego da Laje and the reservoir of the Furnas Hydroelectric Plant.

Conclusion

The Revised Universal Soil Loss Equation identified the areas with the highest erosion rates in the Córrego da Laje watershed on steep slopes and in places with low vegetation cover, such as maize ($32.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and in degraded pastures ($35.87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). It became evident that a broad plan to mitigate water erosion should be adopted, aiming at the introduction of conservationist practices, to reduce the environmental damage of the process.

Aknowledgments

The authors thank the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) for the scholarship offered to the first author. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

Predição da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica situada no sudeste brasileiro

Resumo

A modelagem da erosão hídrica é uma forma rápida e precisa de estimar o potencial erosivo em bacias hidrográficas. Entre os modelos, temos a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) que apresenta uma estrutura simples, com baixo custo de implementação e pode ser usada com informações prontamente disponíveis, contribuindo para o planejamento de práticas de conservação do solo. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi aplicar a RUSLE para estimar a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Córrego da Laje afluente direto do reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas, situada no Sul de Minas Gerais, região do sudeste brasileiro. Nessa região a erosão hídrica é um grave problema que tem provocado o assoreamento do reservatório hidrelétrico e a depreciação da qualidade da água. As perdas de solo foram calculadas em Sistema de Informações Geográficas com base nas características topográficas, edafoclimáticas, na cobertura do solo e nas práticas de manejo. A perda de solo média da bacia hidrográfica foi de $26,80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com predomínio de taxas erosivas de alta intensidade ($> 15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Considerando as classes de uso da bacia, a geração de sedimentos foi maior nas áreas de pastagem ($35,87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e nas áreas com cultivo de milho ($32,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Como as áreas com erosão severa estão distribuídas em toda a extensão da bacia hidrográfica, deve ser adotado um amplo plano de mitigação da erosão hídrica a fim de reduzir os danos ambientais do processo.

Palavras-chave: Conservação do solo. Cobertura do solo. RUSLE.

Referências

- ALEWELL, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdã, v. 7, n. 3, p. 203-225, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>. Access on: 10 dez. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlim, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Access on: 10 dez. 2019.
- AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000500006>. Access on: 10 dez. 2019.
- AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 427-434, 2013. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000500006>. Access on: 10 dez. 2019.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, Amsterdã, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>. Access on: 10 dez. 2019.
- DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>. Access on: 06 jun. 2019.
- DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>. Access on: 10 dez. 2019.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute - Inc. **ARCGIS Professional GIS for the desktop version 10.3**. Redlands, Califórnia, EUA, Software, 2015. Available at: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/get-started/quick-start-guides/arcgis-desktopquick-start-guide.htm>. Access on: 10 jan. 2019.
- FOSTER, G. R.; MCCCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981. Available at: <http://www.jswnonline.org/content/36/6/355.short>. Access on: 10 dez. 2019.
- GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, Amsterdã, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>. Access on: 20 dez. 2019.

HAIDARA, I.; TAHRI, M.; MAANAN, M.; HAKDAOUI, M. Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. **Geoderma**, Amsterdam, v. 354, n. 1, p. 113853, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.011>. Access on: 06 jun. 2019.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Alago - Fupai. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 305p

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações pluviométricas convencionais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2019. Available at: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Access on: 10 dez. 2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens (DIDGI)**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Available at: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Access on: 10 dez. 2019.

MEDEIROS, G. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. A. Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150497, 2016. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20150497>. Access on: 10 nov. 2019.

MENDES JÚNIOR, H.; TAVARES, A. S.; SANTOS JÚNIOR, W. R.; SILVA, M. L. N.; SANTOS, B. R.; MINCATO, R. L. Water Erosion in Oxisols under Coffee Cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, e0170093, 2018. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20170093>. Access on: 10 nov. 2019.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America**, Washington, v. 50, n. 5, p. 1294-1298, 1986. Available at: <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>. Access on: 30 nov. 2019.

OLIVEIRA, V. A.; MELLO, C. R.; DURÃES, M. F.; SILVA, A. M. Soil erosion vulnerability in the verde river basin, southern Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 3, p. 262-269, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000300006>. Access on: 30 nov. 2019.

PRASANNAKUMAR, V.; VIJITH, H.; ABINOD, S.; GEETHA, N. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. **Geoscience Frontiers**, Amsterdã, v. 3, n. 2, p. 209-215, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.003>. Access on: 10 nov. 2019.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIER, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1997. 384p.

RENSCHLERA, C. S.; MANNAERTS, C.; DIEKKRÜGER, B. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk-rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. **Catena**, Amsterdã, v. 34, n. 4, p. 209-225, 1999. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00117-9). Access on: 10 dez. 2019.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES, J. J. G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 691-699, 2004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700011>. Access on: 10 dez. 2019.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 141-148, 2010. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522010000200006>. Access on: 10 dez. 2019.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Available at: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Access on: 05 dez. 2019.

STEINMETZ, A. A.; CASSALHO, F.; CALDEIRA, T. L.; OLIVEIRA, V. A.; BESKOW, S.; TIMM, L. C. Assessment of soil loss vulnerability in data-scarce watersheds in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 6, p. 575-587, 2018. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018426022818>. Access on: 08 jan. 2020.

TAVARES, A. S.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J. C.; NOGUEIRA, D. A.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 555-572, 2019. Available at: <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>. Access on: 08 jan. 2020.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. Available at: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Access on: 08 jan. 2020.

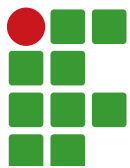
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Available at: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Access on: 08 nov. 2020.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. Washington DC: USDA, 1978. 537p.

WANG, X.; XUE, B.; YAO, S.; YANG, H.; GU, Z.; YANG, B.; ZHANG, M.; ZHU, Y. ¹³⁷Cs estimates of soil erosion rates in a small catchment on a channelized river floodplain in the lower reaches of Yangtze River, China. **Journal of Environmental Radioactivity**, Amsterdam, v. 208, n. 1, p. 106008, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106008>. Access on: 06 jun. 2019.

Received: January 08, 2020

Accepted: June 10, 2020



The effect of fragmentation on spider richness (Arachnida: Araneae) in montane semideciduous seasonal forest

Flávio Eduardo Vilas Boas Junior¹

Amanda da Silva Ferreira²

Marcos Magalhães de Souza³

Abstract

The fragmentation process that has altered natural environments has been widely discussed, as it causes changes in communities and compromises different environmental functions. In this sense, this study was based on the evaluation of fragmentation on araneofauna of semideciduous seasonal forest fragments, phytophysiology belonging to the Atlantic Forest. The study was conducted in three fragments in the municipality of Inconfidentes, southern Minas Gerais, from April 2014 to March 2015. The results showed that there is a similarity in the composition of spider species among the sampled fragments and that the size of the fragment is positively correlated with species richness. Our data show that smaller fragments must be preserved and that agricultural areas maintain the integrity of adjacent forest areas to benefit from the predation dynamics that spiders exert on pests that affect plantations.

Keywords: Araneofauna. Atlantic Forest. Fragment size.

Introduction

The Atlantic Forest has suffered severely from the fragmentation process due to anthropogenic activities, such as the conversion of land use to livestock and agriculture, as well as wood extraction and human occupation, which alters the dynamics of biological communities, and it is not foreseen in continuous natural systems (MYERS, 1980; NOSS; CSUTI, 1994; DEAN, 1996; LAURANCE; BIERREGAARD, 1997).

This process affects ecosystems negatively (LAURANCE, VASCONCELOS, 2009), causing the extinction of species and compromising different environmental services, such as pollination, seed dispersion, biological control, and nutrient recycling (RUSCHEINSKY, 2004; HANSKI *et al.*, 2013).

To evaluate the impacts of forest fragmentation, Uetz (1976) suggests the use of arthropods because they are easy to sample, small (easy to transport and store), abundant and diverse, and are quite important in the cycle of nutrients and energy flow in ecosystems, especially the spiders.

The order Araneae represents, in the number of species, the second largest order of arachnids and the seventh of the Reino Animalia, with 48,385 species and 4,165 genera distributed in 120 families (PLATNICK, 2020). They are of great ecological importance because they are generalist and abundant predators in different terrestrial ecosystems (SANDIDGE, 2004; VITT; CALDWELL, 2013),

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre em Ecologia Aplicada. juniorfevb@gmail.com.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS) – Campus Inconfidentes. Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas. amanda1.ferreira@alunos.ifsuldeminas.edu.br

3 IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Professor efetivo. Inconfidentes/MG. marcos.souza@ifsuldeminas.edu.br

and they can be used in biological control programs of agricultural pests (SUNDERLAND; SAMU, 2000; HANNA; ZALOM; ROLTSCH, 2003), including in Brazil (RINALDI; MENDES; CADY, 2002; OTT; OTT; WOLFF, 2007; RODRIGUES; MENDONCA; OTT, 2008).

Brazil has the highest spider biodiversity in the neotropical region, with approximately 3,203 species distributed in 659 genera belonging to 72 families (BRESCOVIT; OLIVEIRA; SANTOS, 2011). The state of Minas Gerais has about 500 species and ranks sixth among the Brazilian states in araneofauna (BRESCOVIT; OLIVEIRA; SANTOS, 2011). However, the number should be higher, considering the geographical area, the diversity of ecosystems, and the scarcity of studies (BRESCOVIT, 1999), even though inventory work has increased in recent decades (OLIVEIRA, 2011).

The state of Minas Gerais is composed of different biomes, and in the southern region of the state, the predominant phytophysognomy is the semideciduous seasonal forest dominated by the Atlantic Forest (OLIVEIRA-FILHO, 2006). This phytophysognomy is characterized by the deciduousness of about 50% of tree species in winter.

We know that spiders suffer a reduction in their populations due to forest fragmentation (BOLGER *et al.*, 2000; GIBB; HOCHULI, 2002), however, there is little information in semideciduous seasonal forest areas. Therefore, we need studies on the effect of fragmentation on the araneofauna of this phytophysognomy to understand the conservation status of this taxon.

Based on the considerations above, this study aims to evaluate the effect of forest fragmentation on araneofauna in a semideciduous forest in the state of Minas Gerais, and to extend the knowledge about the taxon in the state.

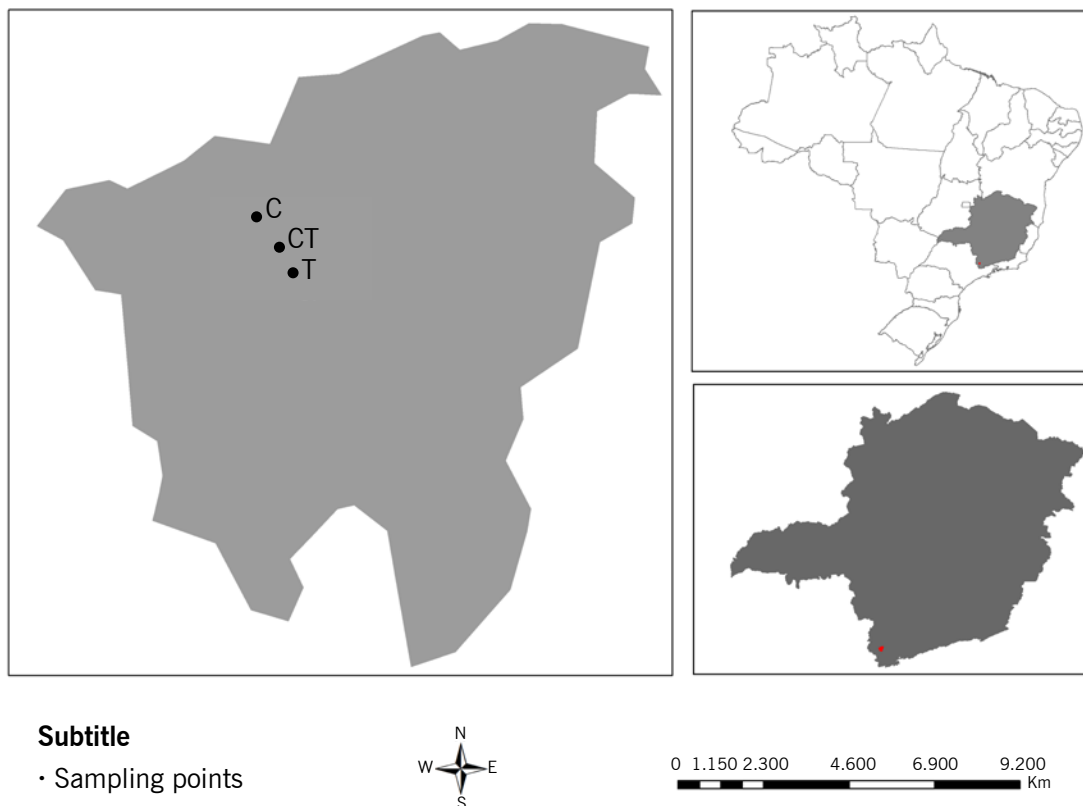
Material and methods

The study was conducted in three forest fragments 1 km apart from each other, named C (22°19'12.38"S, 46°18'24.42"W), CT (22°19'38.26"S, 46°18'3.36"W), and T (22°20'0.16"S, 46°17'50.96"W) in the municipality of Inconfidentes, southern Minas Gerais (FIGURE 1). The municipality is in the Atlantic Forest biome, and the predominant phytophysognomy is Montana Semideciduous Seasonal Forest (IBGE, 2012). The climate here is classified as CWB (Köppen), with an average temperature of 19.3 °C and an average annual rainfall of 1,500 mm.

Fragment C has a total area of 4.9 hectares and its matrix is composed of pasture, while fragments CT (2.6 ha) and T (10.4 ha) have an environment matrix mostly composed of coffee. All are formed by secondary forest at some level of regeneration. In each of the fragments, we made two transects of 50 meters in length each, parallel and 100 m apart from each other (APPENDIX 1).

For data collection, we chose three methodologies: pitfall traps, entomological umbrella, and night manual collection in transects (OTT; OTT; WOLFF, 2007; PODGAISKI *et al.*, 2007). The sampling was carried out from April 2014 to April 2015, divided into four campaigns, one per season.

Figure 1 – Site of forest fragments where the spiders were collected in the municipality of Inconfidentes, southern Minas Gerais.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Plastic cups 8.5 cm in diameter and 12.5 cm in height were used for pitfall traps, with a 70 % ethyl alcohol solution as a preservative liquid. Two wooden rods with a plate (about five centimeters from the ground) were also placed on top of each pitfall to prevent the entry of rainwater and obstruction of traps by dry leaves. The traps were installed in each of the fragments, following the transects. In each transect, 10 traps (five meters equidistant) were installed, in a total of 20 traps. A week after installing them, we returned to the field to collect the material from the traps.

To sample the arboreal araneofauna, we used the entomological umbrella methodology, which consists of a cloth (1 m x 1 m) arranged on two wooden rods. The researcher stands under a bush or tree, extends the cloth, while another researcher hits the vegetation toward the first, so that spiders fall on the cloth and are then collected with the aid of an entomological forceps. For the collection, the researchers followed the transects in a period of 1 hour each, totaling 6 hours per campaign (24 hours in total).

Manual night-time collection was a complementary method, which consisted of capturing the animals manually with the aid of a headlight and tweezers, while the researcher walked slowly through the transects, looking for structures in the soil and vegetation that could contain spiders. The researchers spent 1 hour per transect, totaling 6 hours per campaign (24 hours in total).

All material collected was stored in a humid medium (70 % alcohol) and deposited in the zoology laboratory of the Federal Institute of Southern Minas Gerais, Inconfidentes *Campus*, where the partial screening of morphospecies was carried out. Subsequently, the biological material was

sent to the arachnology laboratory of the Federal University of Minas Gerais (UFMG), where it was identified at the species level.

For statistical analyses, only adults from whom it was possible to reach at least species level were used. First, rarefaction curves were made for each sampling point, using the first-order Jackknife richness estimator with 95 % reliability (EFRON; STEIN, 1981). To test the similarity of the fragments, we made comparisons by the Sorensen index (1948) based on the presence and absence of the species at each of the points, and a cluster grouping generated from this index.

To test the effect of fragmentation on the araneofauna of the fragments, a linear regression was made, correlating richness with the size of the fragment (variable obtained by Google Earth Pro). All tests were done through the R-Studio program (2020).

Results and discussion

We collected 902 individuals (belonging to 30 families), of which 566 were adults, distributed in 24 families and 107 species, with Theridiidae (23 species), Araneidae (22 species), and Salticidae (12 species) being the ones with the highest richness. The most abundant species was *Thwaitesia affinis* O. Pickard-Cambridge, 1882, with 44 individuals collected (APPENDIX 2), which has already been reported in other studies carried out in distinct phytophysionomies, behaving as one of the most common ones (HÖFER; BRESCOVIT, 1994; PODGAISKI *et al.*, 2007).

The families with the highest richness in this study are among the richest in the world in the number of species (PLATNICK, 2020), which explains the data obtained in this study. These families were also the most representative in the studies by Ott, Ott, Wolff (2007) and Podgaiski *et al.* (2007), who used methodologies similar to this study's (entomological umbrella and night-time collection), a factor that may have contributed to this result.

In general, the rarefaction curves per fragment did not reach the asymptote, i.e., there are still more species to be sampled in the areas, as indicated by Jackknife 1 (TABLE 1). From the estimated richness data, we can infer that the insufficient sampling may have happened by the size of the sampled fragments, since in larger fragments a greater richness of species is expected. In this condition, new collections in the study areas are justified, as we know that the increased collection effort generates more reliable data and does not underestimate species richness (OLIVEIRA, 2011).

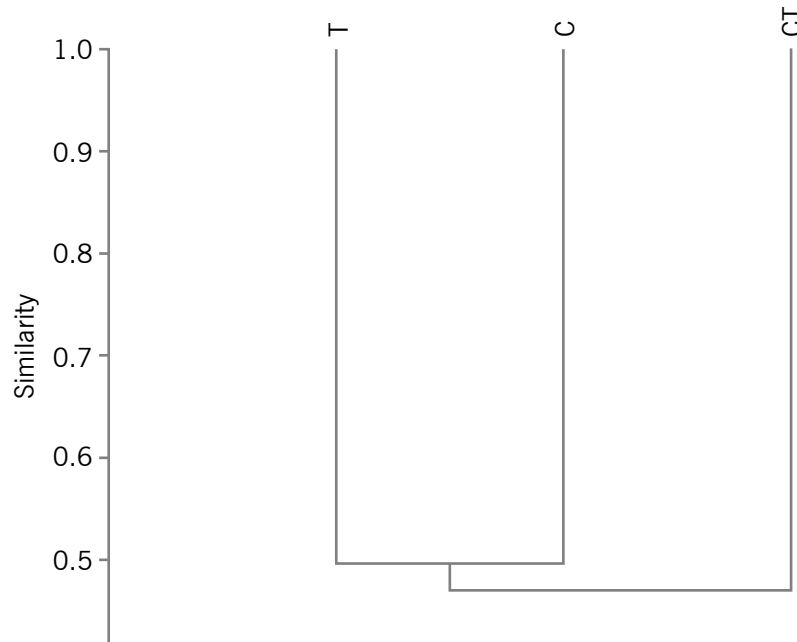
Table 1 – Sample sufficiency data of the sampling performed at work. Area: name of the fragments selected. Number registered: richness observed in the fragment. Number expected: value pointed out by the first-order jackknife.

Fragment analyzed	Richness sampled	Richness estimated
C	70	96
CT	38	49
T	63	81

Source: Elaborated by the authors (2020).

The cluster graph generated by the Sorensen index (FIGURE 2) shows that the composition of the araneofauna of areas C and T are more similar to each other (49.6 %), however, the similarities of area C and CT (46.2 %), and CT and T (47.5 %) were also expressive, suggesting that there is a possible dispersion and colonization of spiders among the sampled areas.

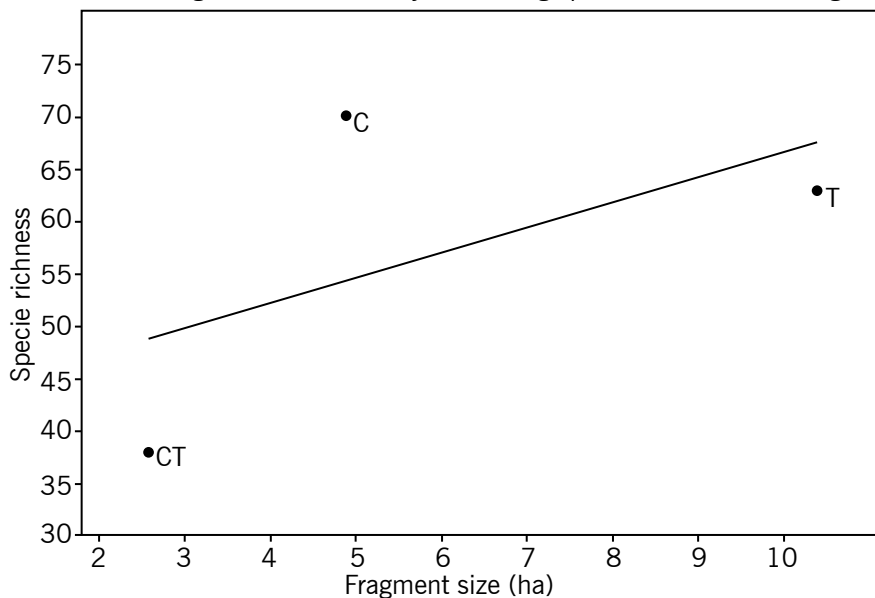
Figure 2 – Cluster graph generated from Sorensen similarity of the sampled areas.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Linear regression correlating the total area of the fragment with species richness showed that there is a positive trend explaining 32.4 % of the variation, at which the larger the fragment, the greater the number of species present (FIGURE 3).

Figure 3 – Graph of the linear regression obtained by correlating species richness and fragment size.



Source: Elaborated by the authors (2020).

From the regression, we observed that the size of the fragment is an important variable for the conservation of araneofauna biodiversity, since larger fragments have a greater richness of species,

which is corroborated by other studies that show that those animals have their populations reduced due to the fragmentation process (BOLGER *et al.* 2000; GIBB; HOCHULI, 2002).

Another relevant factor was the presence, in greater richness and abundance, of important families such as Ctenidae and Sparassidae in the larger fragments. Spiders of these families, in general, have wandering habits (nomads), and it is known that these families' species are reduced in fragmented environments (REGO; VENTICINQUE; BRESCOVIT, 2005; REGO; VENTICINQUE; BRESCOVIT, 2007).

The similarity between the fragments sampled should also be considered, especially between fragments C and T, which showed the greatest similarity between the fragments (49.6%), even though fragment C was isolated by a pasture matrix. The compositional data show that different matrices (coffee and pasture) are not barriers to the dispersion and colonization of spiders, as they can cross large areas (BELL *et al.*, 2005) using the ballooning tactic.

Although the present study evaluated only small fragments (the largest with just over 10 ha), one should consider their importance in the conservation of spider species, as evidenced by Benati *et al.* (2010), since these small fragments still show heterogeneity of habitats, which allows the colonization and permanence of spider species.

Aiming at maintaining and ensuring the richness of araneofauna, in addition to its important ecosystem services provided, our data show that smaller fragments must be conserved. We also suggest that agricultural areas maintain the integrity of adjacent forest areas to benefit from the predation dynamics that spiders exert on pests that affect plantations, being a natural and cheaper way to reduce possible damage caused to crops.

Conclusions

The similarity of the areas was expressive, since the proximity of the areas may have been a factor that helped the dispersion of spiders among the fragments. There is a tendency that the larger the fragment, the greater the richness of spider species.

Acknowledgments

To Professor Dr. Adalberto J. dos Santos, arachnology laboratory, Federal University of Minas Gerais, for the identification of spider species, and the trainees of the zoology laboratory of IFSULDEMINAS, Inconfidentes Campus, for the assistance in collections.

Efeito da fragmentação sobre a riqueza de aranhas (Arachnida: Araneae) em floresta estacional semidecidual montana

Resumo

O processo de fragmentação que tem alterado os ambientes naturais tem sido amplamente discutido, pois provoca alterações nas comunidades e compromete diferentes funções ambientais. Neste sentido, o presente trabalho fundamentou-se na avaliação da fragmentação sobre a araneofauna de fragmentos de floresta estacional semidecidual, fitofisionomia pertencente à Mata Atlântica. O estudo foi conduzido em três fragmentos no município de Inconfidentes, sul do estado de Minas Gerais no período de abril de 2014 a março de 2015. Os resultados mostraram que há uma similaridade na

composição das espécies de aranhas entre os fragmentos amostrados, e que o tamanho do fragmento é correlacionado positivamente com a riqueza de espécies. Nossos dados mostram que fragmentos menores devem ser preservados e que as áreas agrícolas devem manter a integridade das áreas florestais adjacentes, a fim de se beneficiarem da dinâmica de predação que as aranhas exercem sobre as pragas que acometem as plantações.

Palavras-chave: Araneofauna. Mata Atlântica. Tamanho do fragmento.

References

BELL, J. R.; BOHAN, D. A.; SHAW, E. M.; WEYMAN, G. S. Ballooning dispersal using silk: world fauna, phylogenies, genetics and models. **Bulletin of Entomological Research**. v. 95, p. 69-114, abr. 2005. Available at: <https://doi.org/10.1079/ber2004350>. Access on: 24 jun. 2020.

BENATI, K. R.; PERES, M. C. L.; TINOCO, M. S.; BRESCOVIT, A. D. Influência da estrutura de hábitat sobre aranhas (Araneae) de serrapilheira em dois pequenos fragmentos de mata atlântica. **Neotropical Biology & Conservation**, v. 5, n. 1, p. 39-46, jan./abr. 2010. Available at: <http://dx.doi.org/10.4013/nbc.2010.51.06>. Access on: 24 jun. 2020.

BOLGER, D. T.; SUAREZ, A. V.; CROOKS, K. R.; MORRISON, A. S.; CASE, T. J. Artrópodes em fragmentos de habitat urbano no sul da Califórnia: área, idade e efeitos de borda. **Aplicações ecológicas**, v. 10, n. 4, p. 1230-1248, ago. 2000.

BRESCOVIT, A. D. Araneae. In: BRANDÃO, C. R. F.; VASCONCELOS, E. M. (Org.). **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil**: Síntese do conhecimento ao final do século XX. Fapesp, São Paulo, p. 45-60, 1999.

BRESCOVIT, A. D.; DE OLIVEIRA, U.; DOS SANTOS, A. J. Aranhas (Araneae, Arachnida) do Estado de São Paulo, Brasil: diversidade, esforço amostral e estado do conhecimento. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 11 n. 1, p. 1-31, dez. 2011. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032011000500035>. Access on: 24 jun. 2020.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo**: a história e a devastação da Mata Atlântica. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 23.

EFRON, B.; STEIN, C. The Jackknife estimate of variance. **The Annals of Statistics**. v. 9, n. 3, p. 586-596. 1981.

GIBB, H.; HOCHULI, D. F. Fragmentação de habitats em ambiente urbano: fragmentos grandes e pequenos suportam diferentes conjuntos de artrópodes. **Conservação biológica**, v. 106, n. 1, p. 91-100, jul. 2002.

HANNA, R.; ZALOM, F. G.; ROLTSCH, W. J. Relative impact of spiders predation and cover crop on population dynamics of *Erythroneuravariabilis* in a raisin grape vineyard. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 107, p. 177-191, maio 2003. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00051.x>. Access on: 24 jun. 2020.

HANSKI, I.; ZURITA, G. A.; BELLOCQ, M. I.; RYBICKI, J. Species–fragmented area relationship. **Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS**. v. 110, n. 31, p. 12715-12720. Jul., 2013. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1311491110>. Access on: 24 jun. 2020.

HÖFER, H.; BRESCOVIT, A. D.; ADIS, J.; PAARMANN, W. The spider fauna of neotropical tree canopies in Central Amazonia: first results. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**. v. 29, n. 1, p. 23-32, mar. 1994. Available at: <https://doi.org/10.1080/01650529409360913>. Access on: 24 jun. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. **Série manuais técnicos em Geociências**. 2. ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 275p. 2012.

LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Eds.). Remanescentes de florestas tropicais: ecologia, manejo e conservação de comunidades fragmentadas. **University of Chicago Press**. Chicago, 1997.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**. v. 13, n. 3, p. 434–451, 2009. Available at: <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.03>. Access on: 30 out. 2019.

MYERS, N. **Conversion of tropical moist forests**. National Research Council, National Academy of Science, Committee on Research Priorities (ed.). Tropical Biology. p. 205, Washington D. C. 1980.

NOSS, R. F.; CSUTI, B. Habitat fragmentation. In: MEFFE, G. K.; CARROLL, C. R. (Eds.) **Principles of Conservation Biology**. Sinauer Press, 1994.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: SCOLFORO, JR.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. p. 21-35.

OLIVEIRA, U. **Diversidade e biogeografia de aranhas do Brasil: Esforço amostral, riqueza potencial e áreas de endemismo**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OTT, A. P.; OTT, R.; WOLFF, V. R. S. Araneofauna de pomares de laranja Valência nos Vales do Caí e Taquari, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 97, n. 3, set. 2007. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000300017>. Access on: 24 jun. 2020.

PLATNICK, N. I. **The World Spider Catalog, version 21**. American Museum of Natural History. Available at: <http://research.amnh.org/iz/spiders/catalog/> Access on: 02 set. 2020.

PODGAISKI, L. R.; OTT, R.; RODRIGUES, E. N. L.; BUCKUP, E. H.; MARQUES, M. A. de L. Araneofauna (Arachnida; Araneae) do Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7. n. 2. maio/ago. 2007. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000200023>. Access on: 24 jun. 2020.

REGO, F. N. A. A.; VENTICINQUE, E. M.; BRESCOVIT, A. D. Densidades de aranhas errantes (Ctenidae e Sparassidae, Araneae) em uma floresta fragmentada. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 5 n. 1A, p. 45-52, fev. 2005. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032005000200004>. Access on: 24 jun. 2020.

REGO, F. N. A. A.; VENTICINQUE, E. M.; BRESCOVIT, A. D. Efeitos da fragmentação florestal em quatro populações de aranhas Ctenus (Araneae: Ctenidae) na Amazônia central, Brasil. **Estudos sobre Fauna Neotropical e Meio Ambiente**, v. 42 n. 2, p. 137-144, abr. 2007. Available at: <https://doi.org/10.1080/01650520600935082>. Access on: 24 jun. 2020.

RINALDI, I. M. P.; MENDES, B. P.; CADY, A. B. Distribution and importance of spiders inhabiting a Brazilian sugar cane plantation. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 19, n. 1, jul. 2002. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000500021>. Access on: 24 jun. 2020.

RODRIGUES, E. N. L.; MENDONCA JR., M. S.; OTT, R. Fauna de aranhas (Arachnida, Araneae) em diferentes estágios do cultivo do arroz irrigado em Cachoeirinha, RS, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 98, n. 3, set. 2008. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000300011>. Access on: 24 jun. 2020.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. **RStudio**, PBC, Boston, MA. 2020. Available at: <http://www.rstudio.com/>. Access on: 11 abr. 2020.

RUSCHEINSKY, A. No conflito das interpretações: o enredo das sustentabilidade. Sustentabilidade: uma paixão em movimento. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. Porto Alegre: Sulina, v. 10, p. 15-33, jan. 2004.

SANDIDGE, J. Predation by Cosmopolitan Spiders Upon the Medically Significant Pest Species *Loxosceles reclusa* (Araneae: Sicariidae): Limited Possibilities for Biological Control. **Journal of Economic Entomology**. v. 97, n. 2, p. 230-23, abr. 2004.

SORENSEN, T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based a similarity of species. **K. Danske Videnske Selsk**, n. 5, p. 1-34. 1948.

SUNDERLAND, K.; SAMU, F. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 95, p. 1-13, jan. 2000. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00635.x>. Access on: 24 jun. 2020.

UETZ, G. W. Gradient analysis of spider communities in streamside forest. **Oecologia** (Berl.), v. 22, n. 4, p. 373-385. dez. 1976. Available at: <https://doi.org/10.1007/bf00345314>. Access on: 24 jun. 2020.

VITT, L.J.; CALDWELL, J. P. **Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles**. Academicpress, 2013.

Received: 19/11/2019

Accepted: 24/06/2020

APPENDIX 1



Area of forest fragments sampled (C, CT, and T), where transects of 50 meters were marked, two per fragment, for sampling spiders in the rural area of the municipality of Inconfidentes, Minas Gerais.

APPENDIX 2

Taxon and number of adult individuals per spider species collected in fragments of a montane semideciduous seasonal forest (C, CT, and T) in the municipality of Inconfidentes. Minas Gerais.

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
MYGALOMORPHAE				
Idiopidae				
<i>Idiops</i> sp.1	-	-	1	1
Nemesiidae				
<i>Stenoterommata</i> sp.1	-	-	3	3
Theraphosidae				
<i>Acanthoscurria</i> sp.1	2	-	6	8
<i>Vitalisdubius</i> (Mello-Leitão, 1923)	-	-	1	1
ARANEOMORPHAE				
Anyphaenidae				
<i>Arachosia albiventris</i> Mello-Leitão, 1922	-	-	1	1

(continue...)

(Continuation)

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
<i>Jessica</i> sp.1	1	-	2	3
<i>Teudis</i> sp.1	3	3	6	12
Araneidae				
<i>Acacesia hamata</i> (Hentz, 1847)	-	-	1	1
<i>Acacesia tenella</i> (L. Koch, 1871)	1	1	2	4
<i>Alpaida</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Araneus</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Araneus</i> sp.2	-	-	4	4
<i>Argiope argentata</i> (Fabricius, 1775)	-	3	5	8
<i>Eustala gr. fuscovitata</i> (Keyserling, 1864)	2	-	-	2
<i>Eustala</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Gasteracantha cancriformis</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	2	2
<i>Mangora</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Manogea porracea</i> (C. L. Koch, 1838)	-	1	-	1
<i>Metazygia gregalis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	5	4	6	15
<i>Metazygia voluptifica</i> (Keyserling, 1892)	1	-	-	1
<i>Metepeira</i> sp.1	-	1	-	1
<i>Micrathena nigrichelis</i> Strand, 1908	-	-	25	25
<i>Ocrepeira venustula</i> (Keyserling, 1879)	2	-	-	2
<i>Parawixia bistrata</i> (Rengger, 1836)	3	-	2	5
<i>Parawixia kochi</i> (Taczanowski, 1873)	-	2	3	5
<i>Parawixia velutina</i> (Taczanowski, 1878)	-	2	4	6
<i>Wagneriana</i> sp.1	-	3	3	6
<i>Nephilingis cruentata</i> (Fabricius, 1775)	-	2	1	3
<i>Trichonephila clavipes</i> (Linnaeus, 1767)	-	-	9	9
Cheiracanthiidae				
<i>Cheiracanthium inclusum</i> (Hentz, 1847)	1	-	2	3
Corinnidae				
<i>Castianeira</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Corinna capito</i> (Lucas, 1857)	1	-	1	2
<i>Corinna nitens</i> (Keyserling, 1891)	5	1	2	8
<i>Corinna</i> sp.1	-	1	-	1
<i>Falconina gracilis</i> (Keyserling, 1891)	3	2	1	6
Ctenidae				
<i>Ctenus tapevi</i> (Keyserling, 1877)	8	3	16	27
<i>Enoploctenus</i> sp.1	-	-	4	4
<i>Isoctenus</i> sp.1	2	-	1	3
<i>Isoctenus</i> sp.2	3	1	4	8
<i>Parabatinga</i> sp.1	2	-	4	6
<i>Phoneutria keyserlingi</i> (F. O. Pickard-Cambridge, 1897)	2	16	4	22
Linyphiidae				
<i>Sphecozone</i> sp.1	-	-	1	1

(continue...)

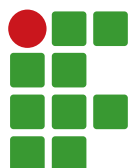
(Continuation)

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
Lycosidae				
<i>Aglaoctenus lagotis</i> (Holmberg, 1876)	3	1	3	7
<i>Lycosa erythrognatha</i> Lucas, 1836	4	12	15	31
<i>Trochosa</i> sp.1	1	2	3	6
Mimetidae				
<i>Gelanor</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Mimetus</i> sp.1	1	1	-	2
Miturgidae				
<i>Miturgidae</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Teminius insularis</i> (Lucas, 1857)	1	-	-	1
Oecobiidae				
<i>Oecobius navus</i> Blackwall, 1859	-	-	1	1
Oxyopidae				
<i>Oxyopes salticus</i> Hentz, 1845	1	-	-	1
Pholcidae				
<i>Mesabolivar</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Metagonia</i> sp.1	21	8	-	29
<i>Pholcus phalangioides</i> (Fuesslin, 1775)	-	1	-	1
<i>Smeringopus pallidus</i> (Blackwall, 1858)	1	-	-	1
Pisauridae				
<i>Thaumasia velox</i> Simon, 1898	4	2	-	6
Salticidae				
<i>Anasaitis</i> sp.1	-	2	-	2
<i>Anasaitis</i> sp.2	-	-	1	1
<i>Chira spinosa</i> (Mello-Leitão, 1939)	1	1	-	2
<i>Coryphasia</i> sp.1	-	3	-	3
<i>Corythalia</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Cotinusa</i> sp.1	3	2	4	9
<i>Dendryphantinae</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Dendryphantinae</i> sp.2	-	-	2	2
<i>Euophryinae</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Maeota</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Menemerus bivittatus</i> (Dufour, 1831)	1	2	-	3
<i>Psecas</i> sp.1	-	-	1	1
Scytodidae				
<i>Scytodes tapevi</i> Brescovit&Rheims, 2000	2	4	5	11
<i>Scytodes univittata</i> Simon, 1882	-	-	1	1
<i>Scytodes</i> sp.1	3	-	-	3
Selenopidae				
<i>Selenops occultus</i> Mello-Leitão, 1918	5	3	5	13
<i>Selenops rapax</i> Mello-Leitão, 1929	1	1	-	2
Sparassidae				
<i>Olios</i> sp.1	2	-	1	3

(continue...)

(Continuation)

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
<i>Olios</i> sp.2	-	1	-	1
<i>Polybetes germani</i> Simon, 1897	-	-	2	2
<i>Polybetes</i> sp.1	1	-	-	1
Tetragnathidae				
<i>Azilia</i> sp.1	3	2	-	5
<i>Leucauge</i> sp.1	2	2	4	8
<i>Tetragnatha</i> sp.1	1	-	-	1
Theridiidae				
<i>Argyrodes elevatus</i> Taczanowski, 1873	-	-	2	2
<i>Chrosiothesniteroi</i> Levi, 1964	1	-	-	1
<i>Coleosoma</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Cryptachae arioensis</i> (Levi, 1963)	2	-	-	2
<i>Cryptachaea</i> sp.1	2	-	4	6
<i>Cryptachaea</i> sp.2	2	-	-	2
<i>Dipoena</i> sp.1	6	-	-	6
<i>Dipoena</i> sp.2	2	-	-	2
<i>Dipoena</i> sp.3	1	-	-	1
<i>Echinotheridion cartum</i> Levi, 1963	2	-	-	2
<i>Faiditus</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Hetschkia</i> sp.1	-	-	2	2
<i>Latrodectus geometricus</i> C. L. Koch, 1841	3	-	9	12
<i>Neopisinus fiapo</i> Marques, Buckup & Rodrigues, 2011	3	4	8	15
<i>Nesticodes rufipes</i> (Lucas, 1846)	4	1	4	9
<i>Nihonhimea tessellata</i> (Keyserling, 1884)	-	1	1	2
<i>Parasteatoda tepidariorum</i> (C. L. Koch, 1841)	-	-	5	5
<i>Spintharus gracilis</i> Keyserling, 1886	7	-	-	7
<i>Steatoda</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Steatoda</i> sp.2	-	-	2	2
<i>Theridion</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Theridion</i> sp.2	3	-	2	5
<i>Thwaitesia affinis</i> O. Pickard-Cambridge, 1882	22	8	14	44
Thomisidae				
<i>Misumenops</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Tmarus</i> sp.1	13	-	17	30
<i>Tmarus</i> sp.2	2	-	-	2
Uloboridae				
<i>Miagrammopes</i> sp.1	1	-	-	1



Comparison of nonlinear models in the description of carbon mineralization in litter soil

Edilson Marcelino Silva¹

Ariana Campos Frühauf²

Sérgio Alberto Jane³

Édipo Menezes da Silva⁴

Joel Augusto Muniz⁵

Tales Jesus Fernandes⁶

Abstract

Litter is an important source of nutrients for trees and can improve the quality of degraded soils. The objective of this study was to describe the dynamics of carbon mineralization in litter soils using nonlinear models, estimating half-life times. Soil carbon mineralization under three types of forest cover was evaluated: Atlantic forest fragment (capoeira), *Acacia auriculiformis* trees (acacia), and *Mimosa caesalpinhiifolia* (sabiá) from a reforested area with a history of degradation. Twelve measurements of the mineralized carbon were made up to 222 days after the beginning of the incubation of litter soils. Stanford and Smith, Juma, and Cabrera models were fitted by the least squares method using the Gauss-Newton algorithm in the R software. The Stanford and Smith model was more appropriate in describing all treatments, based on the Akaike Information Criterion, with estimates of half-life for Acácia, Capoeira, and Sabiá soils at 25, 44, and 51 days, respectively. The Stanford and Smith and Juma nonlinear models satisfactorily described the carbon mineralization of soils of all treatments.

Keywords: Nutrient cycling. Carbon dioxide. Forest soil.

Introduction

Forest sustainability is related to nutrient cycling in order to enhance their return to the trees, with the accumulated litter being an important source of nutrients for the trees in the forest ecosystem, because as the leaves, branches and roots are incorporated into the litter and undergo the decomposition process, they release nutrients to the soil and, consequently, are available to trees (BARRETO *et al.*, 2010; GODINHO *et al.*, 2014). In addition, planting tree species is an alternative for recovering degraded areas (NUNES *et al.*, 2016), however, little is known about natural ecosystems and nutrient cycling in native forests and forest plantations in Brazil (GODINHO *et al.*, 2014; MORAIS *et al.*, 2017).

1 Universidade Federal de Lavras/UFLA. Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária. Lavras, Minas Gerais, Brasil. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000.

2 UFLA. Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. arianafruhauf@gmail.com.

3 UFLA. Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária. serztjane@gmail.com.

4 UFLA. Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária. ediposvm01@gmail.com.

5 UFLA. Professor Titular. joamuniz@ufla.br.

6 UFLA. Professor Adjunto. tales.jfernandes@ufla.br.

The greater amount of organic matter and the presence of easily decomposing substances favor carbon mineralization at the beginning of the process, that is, the decomposition dynamics occur at decreasing rates, as the organic material is mineralized (PULROLNIK, 2009; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), consequently, the release of other nutrients to the soil occurs. These processes can be described by nonlinear models (PAULA *et al.*, 2019; PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005; SILVA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2019b; ZEVIANI *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013). The knowledge of the carbon (C) mineralization dynamics in the soil is essential for the development of appropriate practices in the soil use, being indicative of the organic residues contributing to the demand of trees throughout the crop cycle (BARRETO *et al.*, 2010; GODINHO *et al.*, 2014).

The nonlinear model most used to describe the dynamics of carbon in the soil is Stanford and Smith (ANDRADE; ANDREAZZA; CAMARGO, 2016; ANDRADE *et al.*, 2015), including litter decomposition data (BARRETO *et al.*, 2010; NUNES *et al.*, 2016). It is a model with two parameters that represent the potentially mineralizable carbon and the mineralization constant. Another model used is the nonlinear Juma (PAULA *et al.*, 2019; PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005) with two parameters that present direct practical interpretation, potentially mineralizable carbon, and half-life, respectively. In litter soils, it may be that the mineralization process has two phases of mineralization, one phase due to easily mineralizable substances and another phase due to the more resistant substances. In processes with two phases, the use of the Cabrera model has shown a good fit (PAULA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2019b; ZEVIANI *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2009).

The objective of the study was to describe the dynamics of carbon mineralization in litter soils using the nonlinear models Stanford and Smith (1972), Juma, Paul and Mary (1984) and Cabrera (1993), indicating the most appropriate model and, also, estimating potentially mineralizable carbon and half-life times.

Material and methods

Data used to fit the models were extracted from Nunes, Rodrigues and Rodrigues (2009) and correspond to the average results of an experiment with a Red Yellow Latosol in the municipality of Conceição de Macabu, state of Rio de Janeiro, which evaluated the soil carbon mineralization under three types of forest cover: Atlantic forest fragment (capoeira), *Acacia auriculiformis* trees (acacia) and *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) from a reforested area with a history of degradation.

The evaluated soil was collected in the interrow at a layer 0-10cm deep, samples were duplicated, using 50g each soil. Samples were incubated in percolation columns constructed with PVC tubes (29.4 cm in height and 4.7 cm in diameter). Carbon mineralization was assessed by CO₂ emission during incubation. The released CO₂ was captured in 10mL of a 1 mol L⁻¹ NaOH solution, the excess of which was titrated with a 0.5 mol L⁻¹ HCl solution. In litter soil samples, mineralized carbon was always measured in the same experimental units at 6, 12, 18, 25, 38, 53, 84, 112, 138, 168, 194, and 222 days from the beginning of the incubation.

Stanford and Smith models were evaluated:

$$C_i = C_0 (1 - \exp(-kt_i)) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Juma:

$$C_i = \frac{C_0 t_i}{t_{1/2} + t_i} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Cabrera:

$$C_i = C_1 (1 - \exp(-k_1 t_i)) + k_0 t_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

In the models, C_i is the mineralized carbon, in $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, until time t_i (in days); C_0 is the fraction of organic carbon susceptible to mineralization; k , k_1 , and k_0 are mineralization constants; $t_{1/2}$ is the half-life of the potentially mineralizable carbon; C_1 is the fraction of easily mineralizable organic carbon and ε_i is the experimental error with normal distribution with mean 0 and variance σ^2 . The half-life ($t_{1/2}$) of the Stanford and Smith and Cabrera models were estimated by $t_{1/2} = \ln(2)/k$ and $t_{1/2} = \ln(2)/k_1$, respectively (ZEVIANI *et al.*, 2012).

Tests applied to check the assumptions of the regression models: Shapiro-Wilk, to check the assumption of error normality; Breusch-Pagan, to test the hypothesis that the errors are homoscedastic and the Durbin-Watson test, to check the independence of the errors. When the Durbin-Watson test rejected the null hypothesis that the experimental errors were independent, the model errors were considered as follows: $\varepsilon_t = \varphi \varepsilon_{t-1} + \lambda_t$, at which φ is the first-order autocorrelation parameter AR(1) and λ_t is white noise (MORETTIN; TOLOI, 2006; SAVIAN; MUNIZ, 2007; PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013; SOUSA *et al.*, 2014; MUIANGA *et al.*, 2016; MUNIZ; NASCIMENTO; FERNANDES, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018a; JANE, *et al.*, 2020; PRADO *et al.*, 2020). In cases in which the assumption of normality was met, the confidence interval was estimated with a 95% probability for the model parameters based on the expression:

$$IC(\theta) \Rightarrow \hat{\theta}_i \pm t_{(q; 0,025)} S(\hat{\theta}_i) \quad (4)$$

at which: $\hat{\theta}_i$ is the estimate of the model parameter; $t_{(q; 0,025)}$ is the value in the t-Student distribution with $q = n - p$ degrees of freedom and area of 0.025 to the right; $S(\hat{\theta}_i)$ is the standard error of the estimate of the parameter $\hat{\theta}_i$, obtained by the square root of the corresponding term on the diagonal of the estimated variance and covariance matrix (DRAPER; SMITH, 2014).

The goodness of fit was assessed by the adjusted coefficient of determination:

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \quad (5)$$

And by residual standard deviation:

$$DPR = \sqrt{QME} \quad (6)$$

The selection of the best model was made based on Akaike's information criterion:

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\theta}) + 2p. \quad (7)$$

In the expressions, n is the number of observations used to fit the model; i is related to the intercept of the model, which is equal to 1 if there is an intercept and 0 if not, p is the number of parameters; $R^2 = 1 - \frac{SSE}{SQT}$ is the coefficient of determination, with SSE being the sum of squares of errors, SST being the sum of squares of the total, $MSE = \frac{SSE}{n-p}$ the mean square of the error; $\ln L(\hat{\theta})$ is the value of the natural logarithm of the likelihood function, considering parameter estimates.

Estimation of parameters of nonlinear regression models was done approximately way by iterative numerical methods, as there is no closed way to solve the system of normal equations. Among the iterative methods, the Gauss-Newton method is the most used (PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005; FERNANDES *et al.*, 2015; FERNANDES; PEREIRA; MUNIZ, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2018b; JANE, *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019c; SILVA *et al.*, 2019d). Parameters were estimated using the generalized least squares method, implemented in the `gnls` function, from the `nlme` package (PINHEIRO *et al.*, 2015), in R software (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Results and discussion

The Cabrera model did not fit any treatment, since the confidence intervals for at least one parameter included a value of zero, indicating that the treatments did not have two mineralizable carbon compartments. Thus, the results for this model were not presented in the following tables. In fitting the Molina model (double exponential) to C mineralization data from soil under eucalyptus plantation, Barreto *et al.* (2010) obtained non-significant parameters for the model, thus indicating that the process did not have two carbon compartments. On the other hand, Silva *et al.* (2019a) reported two phases of carbon mineralization of the treatments soil + oat straw, soil + pig slurry, and soil + pig slurry + oat straw, in addition, Silva *et al.* (2019b) observed the same behavior for soil + sewage sludge + oat straw.

Table 1 lists the results of the analysis of errors estimated by the Stanford and Smith and Juma models, based on carbon mineralization data in litter soil for the Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP), and Durbin-Watson (DW) tests. For all treatments and both models, the SW test was not significant (p -value > 0.05), thus the assumption of error normality was corroborated by the test. The BP test evidenced that the hypothesis of homogeneity of variances was not rejected (p -value > 0.05) for all treatments and both models, indicating that the residual variance was homogeneous. The DW test indicated that for all treatments and both models the errors were independent (p -value > 0.05), except for the Juma model fit to the Acacia soil treatment (p -value < 0.05). The independence of errors was rejected for this treatment because the measurements were made in the same experimental unit, so the parameter ϕ was added to explain this correlation (TABLE 3), that is, for this treatment an adjustment with first-order auto-regressive error AR (1). Silva *et al.* (2019a), Silva *et al.* (2019b), and Hess and Schmidt (1995) also observed a correlation in errors when fitting nonlinear models to cumulative data of CO₂ mineralization of various organic residues in the soil.

Table 1 – P-values of the Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW), and Breusch-Pagan (BP) tests applied to errors of the models and goodness of fit evaluators, adjusted coefficient of determination (R_{aj}^2), residual standard deviation (RSD), and Akaike's information criterion (AIC) for mineralized carbon, for treatments.

Treatments	Model	SW p-value	DW p-value	BP p-value	Raj2	RSD	AIC
Acácia	Stanford and Smith	0.5489	0.3620	0.2516	0.9887	21.53	120.52
	Juma	0.7665	0.0060	0.1790	0.9690	33.61	130.28
Capoeira	Stanford and Smith	0.4174	0.9540	0.1371	0.9947	19.86	118.42
	Juma	0.9507	0.3700	0.7260	0.9921	23.58	122.89
Sabiá	Stanford and Smith	0.7716	0.7100	0.7228	0.9827	35.17	133.28
	Juma	0.9561	0.2400	0.4232	0.9744	42.48	138.19

Source: Elaborated by the authors (2020).

Estimates of parameters of the Stanford and Smith model and the half-life ($t_{1/2}$) with their respective 95% confidence intervals are listed in Table 2. It can be seen from the confidence intervals that all model parameters did not include the zero value, indicating that they are significant for all treatments.

Table 2 – Estimates for the parameters of the Stanford and Smith model fitted to the mineralized carbon of the treatments, half-life ($t_{1/2}$), and their respective 95% asymptotic confidence intervals (LL - lower limit and UL - upper limit).

Parameters	LL	Estimates	UL
		Acácia	
C_0	546.1478	569.0000	592.9476
k	0.0238	0.0273	0.0313
$t_{1/2}$	22.1198	25.3714	29.1238
		Capoeira	
C_0	737.3757	770.00000	806.7935
k	0.0137	0.0156	0.0176
$t_{1/2}$	39.3609	44.3472	50.2644
		Sabiá	
C_0	722.6286	785.7000	867.2678
k	0.0106	0.0135	0.0167
$t_{1/2}$	41.4066	51.2682	64.9622

Source: Elaborated by the authors (2020).

Considering the confidence intervals of C_0 of litter soils, there was no overlap between the Acácia soil and the Capoeira, and Sabiá soils, thus indicating that the potentially mineralizable carbon of this treatment was lower than that of the two treatments (TABLE 2). A similar result was obtained for $t_{1/2}$. The half-lives of the Acácia, Capoeira and Sabiá soils considering the Stanford and Smith

model were approximately 25, 44, and 51 days, and the potential mineralizable carbon estimated at 569, 770 and 785 mg CO₂ kg⁻¹, respectively.

Table 3 lists the estimates of parameters of the Juma model with their respective 95% confidence intervals.

Table 3 – Estimates for the parameters of the Juma model fitted to the mineralized carbon of treatments and their respective 95% asymptotic confidence intervals (LL - lower limit and UL - upper limit).

Parameters	LL	Estimates	UL
		Acácia	
C_0	585.2125	669.3164	753.4202
$t_{1/2}$	18.8531	33.3629	47.8727
φ		0.5225	
		Capoeira	
C_0	943.9254	1019.3420	1109.4929
$t_{1/2}$	59.5298	72.7270	89.5100
		Sabiá	
C_0	932.3150	1084.1800	1305.0996
$t_{1/2}$	63.4984	91.6100	136.6673

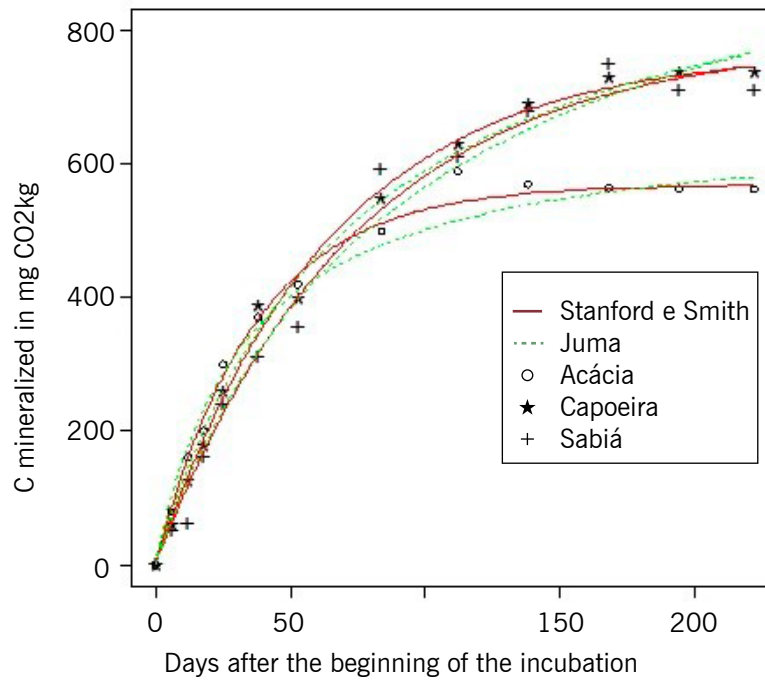
Source: Elaborated by the authors (2020).

By the confidence interval of C_0 (TABLE 3), it was obtained a lower amount of potentially mineralizable carbon for the Acácia treatment in relation to the Capoeira and Sabiá treatments, as there was no overlap of the confidence intervals. The $t_{1/2}$ was estimated at approximately 33, 72, and 91 days for the treatments Acácia, Capoeira, and Sabiá, respectively.

Comparing the ranges (upper limit - lower limit) of the confidence intervals of the parameters C_0 and $t_{1/2}$ of the Juma model (TABLE 3) and the Stanford and Smith model (TABLE 2), it is observed that for all treatments the range of parameters of the Juma model was wider, so the intervals of the estimates were less accurate. In addition, comparing the confidence intervals of C_0 from the Stanford and Smith model (TABLE 2) with those of the Juma model (TABLE 3), it can be seen that the Juma model estimated a higher amount of potentially mineralizable carbon than the Stanford and Smith model, as there was no overlap in the intervals, except for the Acacia treatment. Thus, it is important to emphasize that the variation observed in the estimates of C_0 and $t_{1/2}$ in the different models is due to peculiarities of the statistical models (ZEVIANI *et al.*, 2012).

For both adjusted models, R_{aj}^2 values greater than 96% were obtained (TABLE 1) indicating a good fit of the models to the data, as it can be seen in Figure 1, in addition to the close values of residual standard deviation (RSD) for both models being smaller for the Stanford and Smith model. Thus, the two models were suitable to describe carbon mineralization in soil. As lower AIC values (TABLE 1) were obtained for all treatments with the Stanford and Smith model, this model proved to be more suitable for describing all treatments under study.

Figure 1 – Stanford and Smith and Juma models fitted to the mineralized CO₂ accumulated during soil incubation under Acácia, Sabiá, and Capoeira stand.



Source: Elaborated by the authors (2020).

Conclusion

Stanford and Smith and Juma nonlinear models adequately described the carbon mineralization process of litter soils. The Stanford and Smith model was the most suitable in describing all treatments with estimates of potentially mineralizable carbon at 569, 770 and 785 mg CO₂ kg⁻¹ and half-lives of 25, 44 and 51 days of the Acácia, Capoeira and Sabiá, respectively. The Acacia soil obtained a smaller amount of potentially mineralizable carbon than the Capoeira and Sabiá soils.

Acknowledgments

The authors thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Instituto de Bolsas de Estudos de Moçambique (IBE).

Comparação de modelos não lineares na descrição da mineralização de carbono em solo de serapilheira

Resumo

A serapilheira é uma importante fonte de nutrientes para as árvores e pode melhorar a qualidade dos solos degradados. O objetivo deste trabalho foi descrever a dinâmica de mineralização do carbono em solos de serapilheiras por modelos não lineares, estimando os tempos de meia-vida. Foi avaliada a

mineralização de carbono de solo sob três coberturas florestais: fragmento florestal de mata atlântica (capoeira), espécies arbóreas de *Acacia auriculiformis* (acácia) e *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) de área reflorestada com histórico de degradação. Foram feitas 12 medidas do carbono mineralizado até os 222 dias do início da incubação de solos de serapilheira. Foram ajustados os modelos Stanford e Smith, Juma e Cabrera, pelo método de mínimos quadrados utilizando o algoritmo de Gauss-Newton por meio do software R. O modelo Stanford e Smith foi mais adequado na descrição de todos os tratamentos, com base no Critério de Informação de Akaike com estimativas dos tempos de meia-vida dos solos de Acácia, de Capoeira e de Sabiá de 25, 44 e 51 dias, respectivamente. Os modelos não lineares Stanford e Smith e Juma descreveram de forma satisfatória a mineralização do carbono dos solos de todos os tratamentos.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Dióxido de carbono. Solo florestal.

References

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20150005000407. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/S0100-204X20150005000008>.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Soil microbial activity under wastewater treatment plant sludge doses from an industrial landfill. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782016000200267. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/0103-8478cr20140871>.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Carbon and nitrogen mineralization in soils under an eucalyptus plantation chronosequence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 735-745, 2010. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300015. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/S0100-06832010000300015>.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 63-66, 1993.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**, 3rd ed, reprint, New York: J. Wiley, 2014.

FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, F. R.; MUIANGA, C. A. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 4, p. 397-402, 2015. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283735241_Parameterization_effects_in_nonlinear_models_to_describe_growth_curves. Access on: 30 set. 2019.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A. Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, p. 1-7, 2017. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-847820170008000401. Access on: 30 set. 2019.

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantification of biomass and nutrients in the accumulated litter in a section of submontane seasonal semideciduous forest, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602014000100002. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/S0104-77602014000100002>.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, p. 1-7, 1995. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003807179400166X?via%3Dihub>. Access on: 13 maio 2019. DOI: [https://DOI.org/10.1016/0038-0717\(94\)00166-X](https://DOI.org/10.1016/0038-0717(94)00166-X).

JANE, S. A.; FERNANDES, F. A.; SILVA, E. M.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Comparison of the polynomial and nonlinear models on description of pepper growth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n.4, p. 1-7, 2019. Available at: https://www.researchgate.net/publication/337935579_Recife_v14_n4_e7180. Access on: 13 maio 2019.

JANE, S. A.; FERNANDES, F. A.; SILVA, E. M.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J.; PIMENTEL, G. V. Adjustment of growth curve of different sugarcane varieties using nonlinear models. **Ciência Rural**, v. 50, n.3, p. 1-10, 2020. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782020000300204&script=sci_arttext&tlng=en. Access on: 13 maio 2019.

JUMA, N. G., PAUL, E. A.; MARY, B. Kinetic analysis of net mineralization in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 465-472, 1984.

MORAIS, V. A.; SANTOS, C. A.; MELLO, J. M.; DADID, H. C.; ARAÚJO, E. J. G.; SCOLFORO, J. R. S. Spatial and vertical distribution of litter and belowground carbon in a brazilian cerrado vegetation. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 43-52, 2017. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602017000100043. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/01047760201723012247>.

MOREIRA, F. M. S, SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, p. 1-729, 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**, 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Access on: 30 set. 2019.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250 Access on: 30 set. 2019.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, A. C. G.; MONROE, P. H. M. Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Forest Research**, n. 27, p. 91-99, 2016. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283081169_Carbon_and_nitrogen_mineralization_in_soil_of_leguminous_trees_in_a_degraded_pasture_in_northern_Rio_de_Janeiro_Brazil. Access on: 13 maio 2019. DOI: 10.1007/s11676-015-0164-3.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G. Mineralization of C in soil and non-litter addition of plant under different coverage. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2176-2179, 2009. Available at: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/7912/5656>. Access on: 30 set. 2019.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Nitrogen mineralization in latosols fertilized with organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000300018&script=sci_abstract. Access on: 06 set. 2019.

PAULA, G. S.; SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRUHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A. Comparison of nonlinear models for the description of carbon mineralization in soils treated with pig slurry. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 4, p. 82-95, 2019. Available at: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1412>. Access on: 10 out. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191412>.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 395-400, 2005. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000400014>.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SÁFADI, T.; SILVA, C. A. Comparison of the models for prediction of the mineralized nitrogen: a Bayesian approach. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1792-1797, 2009. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Access on: 30 set. 2019.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. **R package version 3**. p. 1-122. 2015. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>. Access on: 10 fev. 2019.

PRADO, T.K.L. do; SAVIAN, T.V.; FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A. Study of the growth curve of the internal cavity of fruit dwarf green coconut. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n.3, p. 1-7, 2020. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902020000300401&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Access on: 10 out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200041>.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n5/a13313cr5976.pdf> Access on: 30 set. 2019.

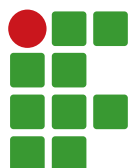
- PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2015.
- RIBEIRO, T. D.; MATTOS, R. W. P.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Description of the growth of Pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, p. 1-11, 2018a. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000400705. Access on: 20 dez. 2019.
- RIBEIRO, T. D.; SAVIAN, T. V.; FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A. The use of the nonlinear models in the growth of pears of “Shinseiki” cultivar. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-7, 2018b. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202. Access on: 20 dez. 2019.
- SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. A study of in situ degradability: heterogeneity of variances and correlated errors. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 548-554, 2007. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162007000500013. Access on: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FERNANDES, J. G. F.; MUNIZ, J. A. Description of the carbon mineralization of swine manure and oat straw in the soil through nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, p. 71-86, 2019a. Available at: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf>. Access on: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; FURTADO, T. D. R.; MUNIZ, J. A. Fitting of decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, p. 18-28, 2019b. Available at: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf>. Access on: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; FRUHAUF, A. C.; FERNANDES, F. A.; PAULA, G. S.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Método de Newton e Gauss-Newton na estimação dos parâmetros de modelo de regressão não linear. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 728-734, 2019c. Available at: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/946/692>. Access on: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; SILVA, V. F.; FERNANDES, F. A.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. O crescimento de frutos de pêsegos caracterizados por modelos de regressão não lineares. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 290-294, 2019d. Available at: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/958/643>. Access on: 30 set. 2019.
- SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Available at: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>. Access on: 26 nov. 2019.
- SOUSA, I. F.; KUNZLE, J. E.; MUNIZ, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, F. R. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014. DOI:10.1590/0103-8478cr20131341. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016. Access on: 06 set. 2019.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non linear models to potassium release from animals manure in latosols. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1789-1796, 2012. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012. Access on: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/S0103-84782012001000012>.

Received: October 04, 2019

Accepted: June 24, 2020



Quality of *Coffea arabica* seedlings produced in different nurseries in southern Minas Gerais, Brazil

Anderson Barreto dos Passos¹

Bruno Manoel Rezende de Melo²

Sindynara Ferreira³

Douglas Goulart Castro⁴

Telma Miranda dos Santos⁵

Leonardo Alves Guedes⁶

Abstract

Obtaining high-quality seedlings is a step of fundamental importance for the successful implementation of a coffee crop, which can be measured by evaluating seedling morphological and quality parameters. This study examines the quality of coffee seedlings produced in nurseries in the municipalities of Inconfidentes, Ouro Fino, and Jacutinga, southern Minas Gerais State, Brazil. The experiment was carried out in nurseries here termed 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8, from 05/28/2017 to 02/28/2018. The experiment was developed in an 8 × 2 factorial arrangement consisting of 8 seedling nurseries and 2 cultivars (Catuaí strains IAC 62 and 144) evaluated in 3 replicates containing 8 seedlings each. The following traits were evaluated: leaf area (LA), total dry matter (TDM), shoot: root ratio (S: R), plant height: stem diameter ratio (HDR), and Dickson quality index (DQI). Data were subjected to combined analysis and, after significant differences were detected ($p < 0.05$), the Scott-Knott test of means was applied. The management adopted in the nurseries influenced the development of the evaluated cultivars. Seedlings from nursery 5, of both evaluated cultivars; and from nursery 8, of cultivar IAC 144, exhibited a DQI above 0.2, indicating superior quality. Only nursery 5 showed seedlings of adequate quality for both cultivars. Regardless of their location, the other coffee-seedling nurseries still did not produce seedlings of satisfactory quality to be taken to the field.

Keywords: DQI. Catuaí. Nurseryperson. Combined analysis.

Introduction

Coffee is one of the most important agricultural commodities in Brazil, which produced an estimated 44,774.3 thousand bags of processed coffee in 2017 from a cultivated area of 2,208.9 thousand hectares, 345,200 ha of which are under formation (CONAB, 2017).

The significant renovation of the coffee land and the consequent adaptation to the current planting systems have raised the demand for seedlings. Because coffee is a perennial crop, all its phases must be planned, especially those directly linked to the establishment and formation of the

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS). Engenheiro agrônomo. andersonbarretodospassos@gmail.com. Praça Tiradentes, 416 - Centro, Inconfidentes/MG, 37576-000.

2 IFSULDEMINAS. Doutor em Fitotecnia/Técnico administrativo. bruno.melo@ifsuldeminas.edu.br.

3 IFSULDEMINAS. Professora no Departamento de Agricultura/Doutora em Agronomia/Fitotecnia. sindynara.ferreira@ifsuldeminas.edu.br.

4 Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Pós-doutorado no Instituto de Ciências Agrárias. douglasgoulartcastro@gmail.com.

5 IFSULDEMINAS. Professora/Doutora do Departamento de Agricultura. telma.miranda@ifsuldeminas.edu.br.

6 IFSULDEMINAS. Discente em Agronomia/Departamento de Agricultura. leo.aguedes97@gmail.com.

crop. Carvalho *et al.* (2007) stated that any mistake in the implementation stage will negatively affect the crop over the years.

Mistakes occurring during this period can seriously compromise the crop, resulting in low yield and reduced longevity. Thus, the use of vigorous coffee seedlings ensures a lower rate of seedling mortality in the field, thereby reducing expenses with the replanting operation and contributing to a faster initial plant growth (CARVALHO; GUIMARÃES; NOGUEIRA, 2008; ALVES; GUIMARÃES, 2010).

One of the requirements imposed by the coffee-seedling market is high seedling quality. Among the many factors related to seedling production, container volume, substrate, water availability (FONTENO; BILDERBACK, 1993) and seedling health are important parameters to be observed in the production of high-quality seedlings.

Therefore, to verify the quality of these seedlings, analyses must be undertaken to obtain information on which stages require improvement.

To determine seedling quality, root and shoot growth and stem diameter are measured and later used to calculate the Dickson quality index (DQI), which provides information on seedling development (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). These evaluation parameters are directly related to the seedling production processes and the adopted management.

This information will allow the nursery person to determine the period to sell the seedlings as well as the best time to start the production process in the following year. Lack of knowledge of the ideal time for transferring the seedlings to the field can result in losses due to factors such as leaf area, plant height: stem diameter ratio, or root system inadequate for seedling development, which can delay or suppress its growth in the field and oftentimes even compromise its survival (MUNGUABE, 2012).

Coffee-seedling production has evolved considerably, but specific management protocols must still be adopted for each reality, since there is no established methodology for the production of coffee seedlings, with variations existing in terms of container size, type of substrate used, and cultivation treatments throughout the process. This lack of standardization results in the production of seedlings with different characteristics that may or may not have the adequate quality to go to the field. To date, few studies have investigated the quality of coffee seedlings in a given region. This project provides data that assist in decision-making aiming at improved seedling quality, which has a positive impact on the entire coffee production chain.

Given the above-described scenario, the present study proposes to examine the quality of coffee seedlings produced in nurseries in the municipalities of Inconfidentes, Ouro Fino, and Jacutinga, southern Minas Gerais State, Brazil.

Material and methods

The experiment was carried out in eight commercial nurseries, here termed nurseries 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8, located in the municipalities of Inconfidentes, Ouro Fino and Jacutinga, southern Minas Gerais State, Brazil.

Characterization of the municipalities

The municipalities of Inconfidentes, Ouro Fino, and Jacutinga are located at average altitudes of 1,150 m, 909 m, and 833.58 m, respectively. The climate is considered hot and temperate, of the Cwb type (subtropical/high-altitude tropical), according to Köppen and Geiger (1928), with average annual temperature ranging from 19.3 °C to 19.5 °C.

Maximum and minimum temperatures occur in the months of February and July, with respective averages of 21.6 °C and 15.7 °C. Average annual precipitation ranges from 1,518 mm to 1,524 mm, with most rainfall occurring from October to March (> 120 mm) and the lowest volume from April to September (<80 mm) (CLIMATE-DATA.ORG, 2018).

Identification and demarcation of the sampled nurseries

After the nurseries in each municipality were identified, data on production, seedling production methodology, and characterization of the nurseries were collected. Afterward, the experimental plots were demarcated at random for each cultivar within each replicate. This visit took place when the seedlings were still at the cotyledon leaf stage.

Subsequently, the nurseries continued to carry out the same management procedures as used in other coffee seedlings until they reached 180 days of sowing.

Seedling production methodology adopted in the nurseries

Table 1 describes the main information regarding the evaluated traits and the management adopted in each nursery.

Table 1 – Seedling production methodology adopted by nurseries 1, 2, 3, and 4, Minas Gerais, Brazil.

Production	Nursery 1	Nursery 2	Nursery 3	Nursery 4
Production container	18 cm × 10 cm bags	18 cm × 10 cm bags	18 cm × 10 cm bags	18 cm × 10 cm bags
Sowing depth	2 cm	2 cm	1 cm	2 cm
Bed cover	Dry grass	Dry grass	Dry grass	Dry grass
Shade cloth	50 %	50 %	50 %	50 %
Substrate	240 dm ³ soil and 60 L chicken manure	300 dm ³ soil and 60 L chicken litter	180 dm ³ soil and 60 L chicken litter	240 dm ³ soil and 60 L cattle manure
Fertilization	200 g KCl and 750 g S.S.	1.5 kg S.S. for each 90 dm ³	1 kg S.S. for each 240 dm ³	3.5 kg S.S. for 300 dm ³ substrate
Liming	Not applied	250 g/m ² of bed	Not applied	Not applied
Post-planting fertilization	Stimulate [®] applied 40 days after germination and fortnightly until the penultimate month.	Krista [™] MAP applied on the first pair of leaves and 15 days after 1st application	Not applied	100 g urea in 50 L water after the first pair of leaves and another dose after 15 days
Pesticides used	Kasumin CS Manzate 800 (WP)	Karate 50 EC Dithane WP	Recop WP Dithane WP Monceren PM	Dithane WP Kasumin SL Karate zeon 50 CS
Irrigation	Sprinkler	Hose	Hose	Hose
Weeding	By hand	By hand	By hand	By hand
Acclimatization	5 months	4 pairs of leaves	White shade net at 5 months	Not done
Production container	Bag 11 cm × 22 cm	18 cm × 10 cm bags	18 cm × 10 cm bags	18 cm × 10 cm bags
Sowing depth	1 cm	2 cm	2 cm	2 cm
Bed cover	Dry grass	Dry grass	Dry grass	Dry grass
Shade cloth	30 %	55 %	50 %	50 %

(continue...)

Table 1 – Continuation.

Production	Nursery 1	Nursery 2	Nursery 3	Nursery 4
Substrate	180 dm ³ soil and 60 L poultry litter	240 dm ³ soil and 60 L poultry litter	180 dm ³ soil and 60 L poultry litter	240 dm ³ soil and 60 L poultry manure
Fertilizer	5 kg S.S and 1 kg KCl per m ³ substrate	1.2 kg S.S for 300 dm ³ substrate	1 kg S.S for 240 dm ³ substrate	200 g KCl and 750 g S.S for 300 dm ³ substrate
Liming	Not applied	300 kg for 500000 seedlings (surface)	250 g por m ² of bed	Not applied
Post-planting fertilization	Foliar, amino acid	Not applied	Not applied	Stimulate, used 40 days after germination and fortnightly until the penultimate month
Pesticides used	Kasumin SL Dithane WP	Dithane WP Kasumin SL Monceren PM	Dithane WP Karate Zeon 50 SC Monceren PM	Kasumin SL Manzate 80 (WP)
Irrigation	Sprinkler	Sprinkler	Hose	Sprinkler
Weeding	Goal BR herbicide; by hand	By hand	By hand	By hand
Acclimatization	Reduced irrigation; removal of shade cloth at 4 to 5 months	White cloth 93%, 2 months before planting	Removal of shade cloth	Removal of shade cloth at 4.5 months

Source: Elaborated by the authors (2018).

Seedling evaluation

Seedlings of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí lines IAC 62 and IAC 144 were used in all nurseries, where they were evaluated at 180 days after sowing (DAS). In each nursery, sowing was carried out at a certain time of the year (TABLE 2).

Table 2 – Sowing dates of each cultivar in the respective nurseries. IFSULDEMINAS - Inconfidentes Campus. Inconfidentes/MG, 2018.

Cultivar	Nursery							
	1	2	3	4	5	6	7	8
IAC 62	05/30/17	05/28/17	05/28/17	07/05/17	08/28/17	07/10/17	06/12/17	06/28/17
IAC 144	05/30/17	05/28/17	05/28/17	07/05/17	07/15/17	06/15/17	06/12/17	07/30/17

Source: Elaborated by the authors (2018).

Evaluated traits

The following seedling quality traits were evaluated:

a) Leaf area (LA): determined by the method of Barros *et al.* (1973), using the following equation: $LA = 0.667 \times L \times W$, at which LA = estimate of leaf area (cm²); C = longest leaf length (cm); L = largest leaf width (cm);

b) Total dry matter (TDM): obtained by adding shoot dry matter (SDM) and root dry matter (RDM), with results expressed in grams.

c) Shoot: root ratio (S: R): the result of SDM divided by RDM;

d) Plant height: stem diameter ratio (HDR): the result of plant height (PH) divided by stem diameter (SD);

e) Dickson quality index (DQI): obtained using shoot height, stem diameter, shoot dry matter and root dry matter data, by the following formula: $DQI = [TDM/(HDR + S:R)]$; and

f) Genotype \times environment interaction: this parameter was evaluated based on DQI data.

Experimental design and statistical analysis

The study was developed in an 8×2 factorial arrangement represented by 8 seedling nurseries and 2 cultivars, which were evaluated in 3 replicates with 8 seedlings each. Data were subjected to combined analysis and after significant differences were detected ($p < 0.05$), the Scott-Knott test of means (1974) was applied. The analyses were performed using Sisvar 4.6 software (FERREIRA, 2011).

Results and discussion

The summary of the analysis of variance of the study of the cultivar \times nursery interaction for LA, TDM, S: R, HDR, and DQI is described in Table 3. All interactions were significant, indicating that management and environment influence these parameters, except S: R.

Table 3 – Summary of combined analysis of variance for leaf area (LA), total dry matter (TDM), shoot: root ratio (S: R), plant height: stem diameter ratio (HDR), and Dickson quality index (DQI) at 180 days after sowing. IFSULDEMINAS, Inconfidentes/MG, 2018.

SV	DF	MS				
		LA	TDM	S:R	HDR	DQI
Cultivar (C)	1	30570.68 ^{ns}	0.06235*	2.8714 ^{ns}	0.1271 ^{ns}	0.000075 ^{ns}
Nursery (N)	7	3640867.7297*	3.2500*	14.2944*	5.3197*	0.045742*
C \times N	7	297790.19*	0.1998*	2.3671 ^{ns}	0.8151*	0.002151*
Replicate (nurseries)	16	25813.11 ^{ns}	0.0227*	0.8499 ^{ns}	0.0549 ^{ns}	0.000713*
Residual	16	18223.78	0.0086	1.1325	0.0473	0.000217
Overall mean		931.17	1.03312	4.4429	4.1747	0.1245
CV%		14.50	9.01	23.95	5.21	11.82

Source: Elaborated by the authors (2018).

Leaf area

Nursery 5 showed the highest LA mean for both cultivars. This trait is related to TDM, whose highest means were also obtained in nursery 5. The lowest LA means of cultivar IAC 144 were obtained in nurseries 2, 4, and 7; and for cultivar IAC 62, in nurseries 1, 2, 3, 4, and 7 (TABLE 4).

In the evaluation between the cultivars in the different environments, management and the environment were found to influence LA, since cultivar IAC 62 obtained better results in nurseries 2, 4, 5, and 6. For cultivar IAC 144, the highest values were found in the other nurseries (TABLE 4).

The evaluation of leaf area is relevant, as it is through the leaves that the seedling captures solar energy, fixes CO₂, and consequently performs photosynthesis, ensuring better growth. However, excessive leaf expansion can also be an indicator of compensation due to lower luminosity (DARDENGO *et al.*, 2013).

Total dry matter

Nursery 5 showed the highest TDM means for both evaluated cultivars. In nurseries 1, 2, 3, 4, and 7, the lowest values were found for cultivar IAC 62; and in nursery 7, the least significant result was found for cultivar IAC 144 (TABLE 4).

The cultivars were influenced by the environment and management, considering that the highest TDM values were shown by nurseries 1, 2, 3, and 8 in cultivar IAC 144 and nurseries 5 and 6 in cultivar IAC 62.

Marana *et al.* (2008) considered TDM between 1.0 g to 1.8 g as reasonable for seedlings produced in tubes. In the present study, lower values were found in nurseries 1, 2, 3, 4, and 7 for both cultivars. The other nurseries exhibited values within the recommended range or higher. Lemos *et al.* (2015) worked with citric acid and phosphorus doses in a standard substrate, using 22 cm × 11 cm polyethylene bags, and obtained 3.15 g of dry matter using the adequate dose of these inputs, which agrees with the results found in nursery 5.

Meneghelli *et al.* (2017) found total dry matter values ranging from 2.06 to 2.23 g. Based on the literature descriptions, the results found in the present study for nursery 5 demonstrate that dry matter values higher than 2.06 g in seedlings produced in bags are more adequate for the quality of coffee seedlings produced in polyethylene bags.

Gomes and Paiva (2004) reported that TDM is a good indication of how resilient a seedling will be in the field. Its accumulation, as well as how it is distributed, is fundamental for the evaluation of the potential of a seedling during its cycle.

Table 4 – Quality and growth traits of coffee seedlings: leaf area (LA), total dry matter (TDM), shoot: root ratio (S:R), plant height: stem diameter ratio (HDR), and Dickson quality index (DQI), according to the evaluated cultivars and nurseries. IFSULDEMINAS - Inconfidentes *Campus*. Inconfidentes/MG, 2018.

Cultivar	Nursery							
	1	2	3	4	5	6	7	8
LA								
IAC62	484.48aA	382.41aA	587.12aA	383.12aA	2809.83bD	1857.74bC	265.96aA	880.63aB
IAC144	709.54aB	366.01aA	848.03bB	367.12aA	2416.56aD	894.33aB	311.18aA	1334.45bC
TDM								
IAC62	0.58aA	0.53aA	0.67aA	0.44aA	2.87bD	1.75bC	0.45aA	1.23aB
IAC144	0.75bC	0.57bB	0.97bD	0.48aB	2.25aG	1.14aE	0.29aA	1.49bF
S:R								
IAC62	4.52aA	4.31aA	4.57aA	8.03aB	2.92aA	4.39aA	6.09aA	2.64aA
IAC144	4.34aA	4.06aA	3.81aA	5.35aB	2.91aA	2.66aA	7.51aC	2.93aA
HDR								
IAC62	3.51aB	2.93aA	3.67aB	3.87aC	5.61aE	6.29bF	3.43aB	4.48aD
IAC144	3.81aB	2.92aA	3.84aB	3.68aB	5.75aD	4.43aC	3.94bB	4.58aC
DQI								
IAC62	0.07aB	0.07aB	0.08aB	0.04aA	0.33bD	0.16aC	0.04aA	0.17aC
IAC144	0.09bC	0.08aC	0.12bD	0.05aB	0.26aG	0.16aE	0.02aA	0.20bF

* Means followed by the same lowercase letter in the columns and upper case letter in the rows do not differ according to the Scott-Knott test (1974) at the 5 % probability level.

Source: Elaborated by the authors (2018).

Shoot: root ratio

In the evaluation of S: R, the highest mean was obtained by nursery 4, in cultivar IAC 62. The other nurseries showed no difference for this trait. For cultivar IAC 144, the highest S: R was obtained in nursery 7 (TABLE 4).

Marana *et al.* (2008) worked with seedlings in tubes and described ideal S: R values as between 4.7 and 7. For cultivar IAC 62, only nursery 7 agreed with the recommended range, and for cultivar IAC 144, only nursery 4 provided values within this range.

In the opinion of Kainuma *et al.* (2002), ideal S:R indices are between 4 and 7, with values above 7 indicating that the seedling had its shoots overly developed at the expense of the root, whereas values below 4 suggest that the seedling does not have a well-developed aerial part.

Despite the S: R of 2.92 and 2.29 shown by cultivars IAC 62 and 144 in nursery 5, which are below the values reported by Marana *et al.* (2008) and Kainuma *et al.* (2002), this nursery exhibited the highest values for H (22.22 cm and 20.91 cm), SD (3.96 mm and 3.63 mm), SDM (2.13 g and 1.67 g) and RDM (0.73 g and 0.58 g) for both cultivars. When analyzed in isolation, these results are indicative of good-quality seedlings. These findings suggest that the S:R value found in nursery 5 is more adequate for seedlings produced in polyethylene bags, and thus new S:R values should be considered for seedlings produced in this type of container.

Seedlings with higher S:R tend to have a disproportion between the shoots and the root system, thus being at greater odds of experiencing water stress induced by high transpiration and consequent inefficient water supply by the root system. Moraes *et al.* (2010) stated that coffee plants growing in full sun, with a high S:R, do not grow properly, since water supply to the shoots is not sufficient.

Plant height: stem diameter ratio

Results for the HDR trait across the nurseries ranged from 2.93 to 6.29 (nurseries 2 and 6, respectively) for cultivar IAC 62 and from 2.92 to 5.75 (nurseries 2 and 5, respectively) for cultivar IAC 144 (TABLE 4). Pereira, Lima and Melo Junior (2017) worked with different organic residues mixed with a commercial substrate and found maximum HDR values ranging from 4.64 to 6.9.

Marana *et al.* (2008) established HDR values that ranged from 3.5 to 4.0 as appropriate for seedlings in tubes, with higher values indicating excessive seedling growth and lower values indicating reduced growth.

Nurseries 1, 3, 4, and 7 showed HDR values that agreed with those recommended in the literature, for both evaluated cultivars. However, the plant heights obtained in these nurseries were the lowest, which influenced the HDR values. Therefore, these results do not indicate high-quality seedlings.

The HDR values that exceeded the range deemed adequate can be adjusted through changes in management, such as reduced irrigation and foliar fertilization. Very high values can also be due to excessive shading, which causes the seedlings to etiolate. Lower HDR values are also not indicative of quality, since the growth in height may have been lower than expected due to a lack of nitrogen or water.

Dickson quality index

The DQI is positively correlated with SDM and RDM (DARLENGO *et al.*, 2013). In the present study, nursery 5 showed the best DQI for both cultivars, as well as the largest LA and total DM and the most adequate S: R.

The DQI values found across the nurseries ranged from 0.04 to 0.33 for cultivar IAC 62 and from 0.26 to 0.16 for cultivar IAC 144 (FIGURE 1).

Marana *et al.* (2008) mentioned DQI values higher than 0.2 as a reference for good seedling development. Between the environments, nursery 5 showed DQI of 0.33 and 0.26 for cultivar IAC 62 and IAC 144, respectively. Nursery 8 showed an index of 0.2 for cultivar IAC 144. Regardless of the evaluated cultivar, the remaining nurseries exhibited values below 0.2 for this variable (TABLE 4).

This index is a good indicator of seedling quality, as it considers the robustness and balance of biomass distribution in the seedling (FONSECA, 2000). Lemos *et al.* (2015) found a DQI of 0.24 at appropriate doses of citric acid and phosphorus used in the substrate for the production of coffee seedlings, which is below the value found in nursery 5 in the current experiment.

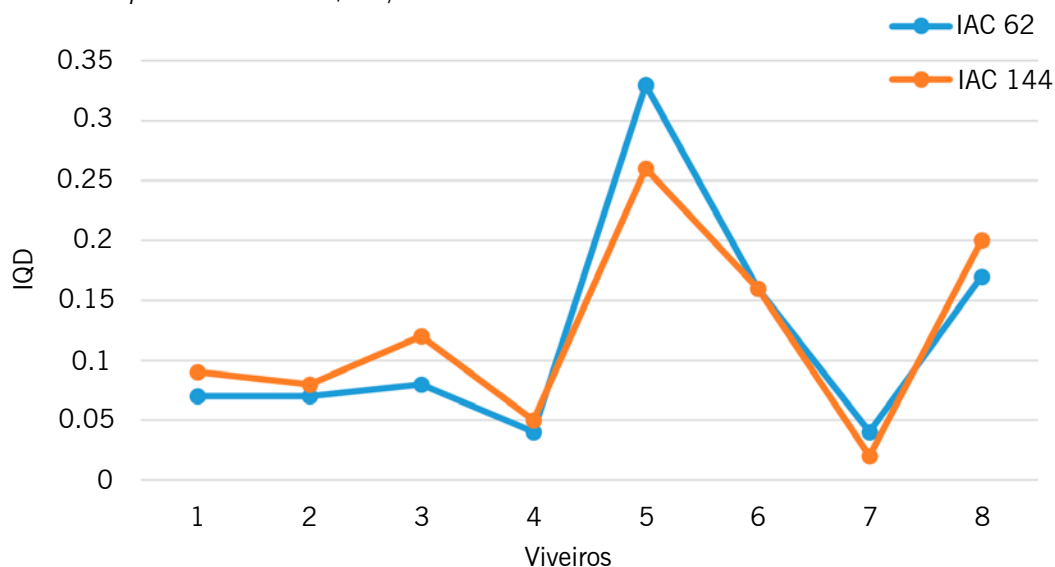
According to Gasparin (2012), seedlings with DQI below 0.2 have not yet reached the level of development to be marketed. This minimum desired value can be achieved through more appropriate management of the seedlings and of the genetic material used.

By analyzing the interaction between genotypes and environments (FIGURE 1) based on the DQI of the coffee seedlings, we observe that the cultivars responded differently to the management/environment. In nursery 5, cultivar IAC 62 obtained a greater statistical difference in relation to IAC 144. In nurseries 1, 3, and 8, cultivar IAC 62 obtained a lower DQI than IAC 144 (TABLE 4).

The lower DQI obtained by the cultivars may be due not only to the management, but also the location and the sowing date (TABLE 3), since seeds can be subjected to colder temperatures that would delay the germination period and, therefore, seedling development.

In nurseries 1, 2, 3, and 7, in which sowing was performed earlier (TABLE 3), the seedlings had lower DQI at the time of evaluation. According to Meireles *et al.* (2007), in field conditions, germination occurs between 50 and 60 DAS, whereas in cold conditions it can occur in up to 120 days.

Figure 1 – Genotype × environment interaction effect on Dickson quality index. IFSULDEMINAS - Inconfidentes Campus. Inconfidentes/MG, 2018.



Source: Developed by the authors (2018).

It is inferred that the management adopted by nursery 5 (TABLE 2) was the most appropriate, providing better seedling quality in less time. The size of the container used by this nursery was the largest, which resulted in more substrate volume and a larger area for root growth, culminating in a greater TDM and a lower S: R.

Nursery 5 was also the only one to use 30% shade cloth, which may have contributed to the better growth of the coffee seedlings. Likewise, Tatagiba, Pezzopane and Reis (2010) found that shading levels between 22 % and 50 % provided greater vegetative growth in coffee seedlings when compared with seedlings grown in full sun and under 88 % shading.

A noteworthy fact is that, except for nursery 4, all nurseries used chicken manure or chicken litter in a minimum proportion of 20 %, which led to good results. This was especially true for nursery 5, where 25 % of chicken litter was used. The amounts of chicken litter used by nursery 5 corroborate the conclusions of Pereira, Lima and Melo Junior (2017), who stated that doses up to 25 % favor the development of coffee seedlings.

Because nurseries 5 and 8 were the last to sow, the seedlings in those environments spent less time at lower temperatures, which allowed them to show better growth and quality parameters at 180 DAS.

At 180 DAS, the seedlings from nurseries 1, 2, 3, 4, 6, 7, and 8 still did not exhibit the quality required to go to the field. This results in a longer time for seedling formation, and, consequently, higher costs with inputs and labor and greater exposure to pests and diseases.

Conclusion

Only nursery 5 produced seedlings of adequate quality from both evaluated cultivars. Regardless of location and management, the other coffee-seedling nurseries still did not produce seedlings with satisfactory quality to be taken to the field.

Acknowledgments

The authors thank the Federal Institute of Education, Science and Technology of Southern Minas Gerais (IFSULDEMINAS) for the financial support.

Qualidade de mudas de *Coffea arabica* produzidas em diferentes viveiros do Sul de Minas

Resumo

A obtenção de mudas de qualidade é de fundamental importância para o sucesso da implantação de uma lavoura cafeeira, podendo ser comprovada por meio da avaliação de parâmetros morfológicos e de qualidade das mudas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade das mudas de cafeeiros produzidas em viveiros dos municípios de Inconfidentes, Ouro Fino e Jacutinga, região do Sul de Minas Gerais. O experimento foi conduzido nos viveiros denominados 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, no período de 28 de maio de 2017 a 28 de fevereiro de 2018. O trabalho foi realizado em esquema fatorial 8 x 2, sendo 8 viveiros de mudas, 2 cultivares avaliadas, Catuaí nas linhagens IAC 62 e 144, com 3 repetições contendo 8 mudas cada. Foram avaliadas as seguintes características: área foliar (AF), massa seca total (MST), relação parte aérea raiz (RPAR), relação altura e diâmetro de coleto (RAD) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Os dados foram submetidos à análise conjunta e após verificado diferenças significativas ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de médias Scott Knott. O manejo nos viveiros influenciou o desenvolvimento das diferentes cultivares avaliadas. As mudas provenientes do viveiro 5 em ambas cultivares avaliadas e as mudas do viveiro 8 para a cultivar IAC 144 obtiveram IQD acima de 0,2, apresentando melhor qualidade. Apenas o viveiro 5 apresentou mudas, para as duas cultivares avaliadas, de qualidade adequada. Os demais viveiros de mudas de cafés, independentemente da localização, não apresentaram mudas com qualidade satisfatória para serem levadas a campo.

Palavras-chave: IQD. Catuaí. Viveirista. Análise conjunta.

References

- ALVES, J. D.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G., BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras-MG: UFLA, 2010. 215p.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L. J.; MAESTRI, M.; VIEIRA, L.; BRAGA, L. W. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- CARVALHO, A. M.; GUIMARÃES, R. J.; MOURA, C. A.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R. Recuperação de mudas de cafeeiro em tubetes através de podas. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 2, n. 1, p. 79-86, jan./jun. 2007. Available at: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/42/37>. Access on: 24 jun. 2020.

CARVALHO, G. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; NOGUEIRA, A. M. Normas e padrões para a comercialização de sementes e mudas de cafeeiros em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 24-30, 2008.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: Inconfidentes**. Available at: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/inconfidentes-176515/>. Access on: 2 set. 2018.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. Volume 4 - Safra 2017, n.3. Terceiro levantamento. Brasília, p. 1-107. 2017. Available at: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/cafes>. Access on: 2 set. 2018.

DARDENGO, M. C. J. D.; SOUSA, E. F.; REIS, E. F.; GRAVINA, G.A. Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 8, n. 4, p. 500-509, 2013. Available at: http://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/512/pdf_68. Access on: 24 jun. 2020.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960. Available at: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc36010-1>. Access on: 2 set. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar 5.1 - **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2011. p.255-258.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Muil Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Jaboticabal, UEP, 2000. 113p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista. Available at: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/27716/S0100-67622002000400015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Access on: 24 jun. 2020.

FONTENO, W. C.; BILDERBACK, T. E. Impacto of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. **Journal American Society For Horticultural Science**, v. 118, n. 2, 1993. Available at: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/118/2/article-p217.xml>. Access on: 24 jun. 2020.

GASPARIN, E. **Armazenamento de sementes e produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan**. Santa Maria-SC: UFSA, 2012, 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Available at: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8691/GASPARIN%2c%20EZEQUIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Access on: 24 jun. 2020.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: Propagação sexuada**. Viçosa, MG: UFV, 2004.

KAINUMA, R. H.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; MONTANARI, E.; FRANCO, E. Qualidade de mudas *Coffea arabica* desenvolvidas em diferentes substratos e doses de adubo de liberação lenta. In: II Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. 2002, Porto Seguro - BA. **Resumos**. p. 1865-1872. Available at: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio2/manejo40.pdf. Access on: 24 jun. 2020.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Die klimate der Erde**. Wall-map 150cm x 200cm, Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LEMOS, V. T.; FRANÇA, A. C.; SILVA, E. B.; MARINHO, R. L. S.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; FREITAS, A. F.; REIS, L. A. C.; CORREA, J. M.; CARVALHO, G. R. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 298-308, 2015. Available at: http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/858/pdf_183. Access on: 24 jun. 2020.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. de P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008. Available at: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v38n1/a07v38n1.pdf>. Access on: 24 jun. 2020.

MEIRELES, R. C.; ARAÚJO, E. F.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SAKIYAMA, N. S.; REIS, L. S. SECAFÉ: metodologia para acelerar a germinação das sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 90-96, 2007. Available at: <https://www.scielo.br/pdf/rbs/v29n3/a12v29n3.pdf>. Access on: 24 jun. 2020.

MENEGHELLI, L. A. M.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, C. M.; KRAUSE, M. R.; VIEIRA, G. H. S. Produção de mudas de café arábica em substrato composto de resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 381-388, 2017. Available at: http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1312/pdf_1312. Access on: 24 jun. 2020.

MORAES, G. A. B. K.; CHAVES, A. R. M.; MARTINS, S. C. V.; BARROS, R. S.; DAMATTA, F. M. Why is it better to produce coffee seedlings in full sunlight than in the shade? A morphophysiological approach. **Photosynthetica** (Praha), v. 48, n. 2, p. 199-207, 2010. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-010-0025-4>. Access on: 24 jun. 2020.

MUNGUABE, J. F. **Qualidade morfológica de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição em viveiros comerciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. 73p. Available at: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13829/Dissertacao_Joao%20Faustino%20Munguambe.pdf?sequence=1#:~:text=Foram%20avaliadas%20mudas%20clonais%20de,calculados%20os%20seguintes%20%3ADndices%3A%20rela%3A7%C3%A3o. Access on: 24 jun. 2020.

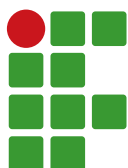
PEREIRA, I. S.; LIMA, K. C. C.; MELO JUNIOR, H. B. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017. Available at: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1254/1369>. Access on: 24 jun. 2020.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974. Available at: <https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfXz71qDkDx1.pdf>. Access on: 24 jun. 2020.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010. Available at: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/131/pdf>. Access on: 24 jun. 2020.

Received: December 2, 2019

Accepted: June 24, 2020



Inventory, colony fluctuation, and wasp nesting social habits in IFSULDEMINAS - Machado Campus

Elenice Aparecida Fortes¹

Alice dos Reis Fortes²

Letícia Cruz de Almeida³

Lêda Gonçalves Fernandes⁴

Abstract

Social wasps offer important ecosystem resources as biological control and pollination. Many species are synanthropic, however, there are still few studies of these insects in anthropized environments. The objective of this study was to verify the richness, colony fluctuation, and preferential substrates for social wasp nesting at IFSULDEMINAS Campus Machado. Four censuses/inventories were carried out from November 2015 to June 2016, and the active collection method with an entomological net was used for wasp collection. The specimens found were assembled, identified, and deposited in the collection of the entomology laboratory of the institution. In total, 20 species of social wasps were registered, from which the genera *Polybia*, *Polistes*, and *Mischocyttarus* showed a greater richness of species. The number of colonies increased from November to March, decreasing in June. *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903) had more abundance of colonies in all months evaluated. Broadly, the genera *Mischocyttarus* and *Polistes* presented nesting preference for the building substrate, while the genus *Polybia* presented preference for the vegetation substrate. Machado Campus has a diversity of environments that contributes to the establishment of social wasp colonies. Therefore, it is essential to disseminate this information and environmental education actions to the community to demonstrate the importance of these insects for the ecosystem and the need for environmental conservation to guarantee their ecosystem services.

Keywords: Entomology. Hymenoptera Vespidae. *Mischocyttarus*. Synanthropism.

Introduction

Social wasps, popularly known as “marimbondos” or “cabas,” are recognized mainly by the presence of their colony, called “caixa” or “enxu,” and by their painful stings (PREZOTO *et al.*, 2007). Such insects belong to the order Hymenoptera, superfamily Vespoidea, family Vespidae and subfamily Polistinae. The Polistinae are cosmopolitan eusocial insects, however, the greatest diversity is found in tropical regions, especially in the neotropical region. This subfamily has 26 genera and 974 species. In Brazil it is represented by 22 genera and more than 300 species, 104 of which are endemic, thus characterizing one of the richest faunas of the subfamily Polistinae in the world

1 Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus* Machado. Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. forteseselenice@gmail.com. Rodovia Machado, Paraguaçu, km 3, Bairro Santo Antônio, Machado/MG, 37.750-000.

2 IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. Discente do curso de Engenharia Agrônômica. aliceifmachado@gmail.com.

3 IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. lehdealmeida@gmail.com.

4 IFSULDEMINAS – *Campus* Machado. Professora Doutora Engenheira Agrônoma. leda.fernandes@ifsuldeminas.edu.br.

(CARPENTER; MARQUES, 2001; PREZOTO; CLEMENTE, 2010; RESENDE *et al.*, 2016). In the state of Minas Gerais, southeastern Brazil, 101 species and 17 genera were registered (SOUZA; FERREIRO; ALBUQUERQUE, 2015).

As eusocial insects, wasps have overlapping generations in the same colony, cooperative care for offspring, and division of tasks. They have two strategies for the foundation of a new nest: independent foundation and swarming foundation. In the first strategy, one or more females start the new colony, which is characterized by its reduced size and few cells. On the other hand, in the swarming foundation, a group of workers and queens start the new colony. Usually, this foundation occurs by the abandonment or division of the old colony, and it is characterized, in turn, by the largest size and largest population (RESENDE *et al.*, 2016).

The wasps have a high degree of synthropism (PREZOTO, 1999), as they have opportunistic species, being able to modify their foraging behavior to take advantage of new and different sources of food resources (RESENDE *et al.*, 2016). However, according to Oliveira, Souza, Pires (2017), and Torres *et al.* (2014), this association with urban environments may be related to the destruction of their natural habitats.

The selection of the nesting site, the orientation and architecture of the colonies are important mechanisms to regulate the microclimate within them and to ensure their success (ROCHA, 2011). In anthropic environments, wasps build their colonies on several substrates, some are more selective, others more generalist (OLIVEIRA; SOUZA; PIRES, 2017); and those that use only human constructions as substrate are more eusynanthropic (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000). In urban environments, the duration of a colony tends to be longer due to benefits such as more protection against weathering, reduced competition, and predation. However, this longevity is directly conditioned to human action (PREZOTO *et al.*, 2007).

Due to their behavior and number of individuals, social wasps have a huge impact on other organisms (RICHTER, 2000), because, as the large predators they are, they guarantee the trophic balance of ecosystems. They are also pollinators of some species and bioindicators of environmental quality (RESENDE *et al.*, 2016; SOMAVILLA; KÖHLER, 2012). They have a foraging habit, that is, they search for resources such as water, food, and materials such as fibers and clay to build their colonies (RESENDE *et al.*, 2016). In adulthood, they feed on carbohydrates found in flowers and fruits and to feed their larvae they hunt prey (CASTRO; GUIMARÃES; PREZOTO, 2011). Water is a resource employed for cooling the colony, being of paramount importance on hotter days (ELISEI *et al.*, 2010).

When searching for pollen, wasps are part of the community of floral visitors, and a portion represents effective pollinators (CLEMENTE *et al.*, 2017; SOMAVILLA; KÖHLER, 2012). Thus, several studies seek to characterize which wasp species are the most frequent floral visitors and associate them as effective pollinators. Sühs *et al.* (2009) collected the *Polistes simillimus* Saussure (1853), *Polybia sericea* Olivier (1791), and *Polybia ignobilis* Haliday (1836) species with a large amount of pollen from *Schinus terebinthifolius* Raddi agglomerated in regions of their exoskeleton. This fact confirmed the importance of those species as pollen transporters and as potential pollinators. Given the importance of social wasps, their conservation becomes significant to maintain the diversity of natural environments (SOMAVILLA; KÖHLER, 2012).

Besides the importance of pollination, social wasps contribute to natural biological control both in urban environments and in agroecosystems due to their habit of preying on other insects (CARPENTER; MARQUES, 2001; PREZOTO *et al.*, 2007; ROCHA, 2011). Among insects predated by wasps, 90% correspond to lepidopteran caterpillars (PREZOTO *et al.*, 2007; RESENDE *et al.*, 2016),

which are considered important pests of several crops (GALLO *et al.*, 2002). This preference for such prey was observed in several studies when analyzing foraged resources, for example, by *Polistes versicolor* Olivier (1791) (PREZOTO; CLEMENTE, 2010), *Polybia occidentalis* Olivier (1791), and *Polybia paulista* Von Ihering (1896) (HERDINA *et al.*, 2016).

Even with all the importance of ecosystem services offered by social wasps, there is still little research on them in urban environments (ALVARENGA *et al.*, 2010; JACQUES *et al.*, 2012, 2015; OLIVEIRA; SOUZA; PIRES, 2017), even in the southeast region, which is the most studied in Brazil (SOUZA; VALE; BARBOSA, 2016). In this way, more studies are needed to better understand this process of association of social wasps with the urban environment, as well as for a better relationship between men and insects (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2015; FORTES *et al.*, 2017). Therefore, the objective of this work was to inventory the species of social wasps and verify the number and fluctuation of colonies and preferential substrates used for nesting in the premises of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Southern Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Machado Campus.

Materials and methods

The study was conducted at IFSULDEMINAS - Campus Machado, Machado/MG. The municipality has typical vegetation of the seasonal semideciduous forest, Atlantic Forest biome (IBGE, 2012). It is characterized by both the climate of the Cwa type, humid subtropical with dry winter and hot summer (KÖPPEN, 1948) and the average annual temperature and rainfall of 21.2°C and 1,824 mm, respectively (MOURA *et al.*, 2007). For the inventory of the social wasps, we conducted monthly collections in November 2015 and in January, March, and June 2016, totalizing four collections, with a total sampling effort of 96 hours. The active collection method was used to carry out the inventory, defining a route that was repeated monthly.

We examined, in each collection, the constructed areas in the Campus, such as buildings, light posts and garden plants, observing the presence of social wasps and accounting for all colonies along this route. The wasps found in colonies or mid-flight were collected with an entomological net and stored in containers with 70% alcohol. The colonies observed were photographed with a NIKON D3100 digital camera.

The specimens collected were pinned for identification, and are deposited in the collection of the entomology laboratory of the institution. The identification was made through entomological keys (RICHARDS, 1978; CARPENTER; MARQUES, 2001) and from the comparison with the biological collection of social wasps (CBVS) of IFSULDEMINAS - Inconfidentes Campus. The identification of the species was confirmed by Dr. Marcos Magalhães de Souza, from the same institution, and some specimens of the *Mischocyttarus* de Saussure (1853) were sent to Dr. Orlando Tobias Silveira from the Paraense Emílio Goeldi Museum in Belém - Pará.

The types of substrates used by the social wasps were grouped according to Lima, Lima, and Prezoto (2000) in the following categories: construction (walls, cement structures, and tiles); metal structures (air conditioning, gutters, construction iron, nails, screws, and lamp support); synthetic materials (plastics, rubbers, glasses); wood (masonry structures), and vegetation (all plants where nests were found). In addition to the substrate, the height of the colonies in relation to the soil was grouped into three categories: low (up to two meters), medium (from two to five meters) and high (more than five meters). The collected data were tabulated in spreadsheets (Calc - LibreOffice) for evaluation of the species richness, abundance, and fluctuation of the number of colonies over the months studied.

Results and discussion

In Machado Campus from November 2015 to June 2016, a total richness of 20 species of social wasps distributed in seven genera was registered. This richness represents 11.76 % of the total species registered in the Atlantic Forest, an area considered an important refuge for the conservation of these insects in Brazil (SOUZA *et al.*, 2020). The genus *Polybia* Lepeletier (1836) showed greater species richness (seven), followed by *Mischocyttarus* de Saussure (1853) with five, *Polistes* Latreille (1802) with three, *Agelaia* Lepeletier (1836) with two, and *Apoica* Lepeletier (1836), *Synoeca* de Saussure (1852), and *Brachygastra* Perty (1833) with one species each. Similar results in anthropogenic environments were found by Oliveira, Souza, and Pires (2017), and Jacques *et al.* (2012), who registered a richness of 16 species distributed in 6 genera and 20 species in 9 genera, respectively.

Among the inventoried species, *Agelaia vicina* de Saussure (1854), *Brachygastra lecheguana* Latreille (1824), *Polybia sericea* Olivier (1791), and *Polybia ignobilis* Haliday (1836) were collected in mid-flight, but their colonies were not located. The presence of *P. ignobilis* flying over garbage containers was remarkable, while *A. vicina*, *B. lecheguana*, and *P. sericea* were found near the vegetation. Overall, the nest of these species are not found in anthropogenic areas (JACQUES *et al.*, 2015; SOUZA, 2010).

We registered colonies of 16 species and, of the total colonies observed, 80.90 % belong to the genus *Mischocyttarus*, of which 94.15 % refer to the species *M. cassununga* (TABLE 1). The high abundance of this species may be related to the small size of its colonies and their low aggressiveness (CASTRO, 2010; CASTRO *et al.* 2014), thus not representing a threat to human eyes, which decreases the risk of anthropogenic depredation.

Table 1 – Number of colonies of social wasp species (Hymenoptera Vespidae) found in IFSULDEMINAS - Machado Campus from November 2015 to June 2016. Machado-MG.

Species	Number of colonies					Abundance (%)
	Nov	Jan	Mar	Jun	Total	
<i>Mischocyttarus cassununga</i> R. von Ihering (1903)	401	793	735	422	2.351	76.21
<i>Polistes</i> *	12	15	81	76	184	5.96
<i>Polistes versicolor</i> Olivier (1791)	19	54	19	61	153	4.96
<i>Polistes simillimus</i> Zikán (1951)	8	33	36	7	84	2.72
<i>Polistes ferreri</i> Saussure (1853)	11	19	20	7	57	1.85
<i>Mischocyttarus rotundicollis</i> Cameron (1912)	7	13	26	4	50	1.62
<i>Mischocyttarus</i> *	0	14	23	8	45	1.46
<i>Mischocyttarus drewseni</i> de Saussure (1954)	6	4	17	11	38	1.23
<i>Polybia</i> *	9	9	11	4	32	1.04
<i>Polybia platycephala slyventris</i> Richards (1978)	5	8	8	8	29	0.94
<i>Polybia scutellaris</i> White (1841)	2	2	9	6	19	0.62
<i>Polybia fastidiosuscula</i> Saussure (1854)	4	6	5	0	15	0.49
<i>Mischocyttarus paraguayensis</i> Zikán (1935)	1	3	7	1	12	0.39
<i>Polybia paulista</i> Von Ihering (1896)	1	3	1	2	7	0.23
<i>Synoeca cyanea</i> Fabricius (1775)	0	0	0	5	4	0.13

(continue...)

Table 1 – Continuation.

Species	Number of colonies					Abundance (%)
	Nov	Jan	Mar	Jun	Total	
<i>Agelaia multipicta multipicta</i> Haliday (1836)	0	0	0	1	1	0.03
<i>Apoica gelida</i> Van der Vecht (1972)	0	0	0	1	1	0.03
<i>Mischocyttarus parallellogrammus</i> Zikán (1935)	1	0	0	0	1	0.03
<i>Polybia bifasciata</i> Saussure (1854)	0	0	0	1	1	0.03
Total	486	976	998	625	3.085	

* It was not possible to collect individuals from these colonies, as they were in a place of difficult access. However, considering the pattern of their architecture, they could be identified at the genus level.

Source: Elaborated by the authors (2020).

The second most representative genus in the number of colonies was *Polystes* (15.49 %) (TABLE 1). According to Prezoto *et al.* (2007), wasps of this genus feed on insects such as defoliating caterpillars and aphids, commonly found in gardens and crops, typical environments on Machado Campus that may be providing the abundance of colonies of this species.

The significant number of colonies in anthropogenic areas demonstrates that these sites have favorable conditions for the establishment of social wasps (FERREIRA; SINZATO, 2007). In turn, Machado Campus has a diversity of environments, such as constructions, gardens, agricultural production areas, and forest fragments. Alvarenga *et al.* (2010), Bueno, Souza, and Clemente (2019), and Jacques *et al.* (2012, 2015) described that environmental heterogeneity, as well as the presence of green areas, are fundamental to the occurrence and abundance of social wasps.

In neotropical regions, where climatic seasons are not well defined, the foundation of new colonies is asynchronous, so it can occur at any time of the year (ROCHA, 2011). During the four months of collection, a monthly average of 771.25 social wasp colonies was observed. As for the genera *Mischocyttarus*, *Polystes* and *Polybia*, there was an increased number of colonies from November to March, decreasing in June (TABLE 1). A greater abundance of social wasps in warmer and rainier periods was also observed by Alvarenga (2012) and Souza *et al.* (2012). This happens because the seasonality of climatic factors influences wasp foraging activities (PREZOTO *et al.*, 2007), and the rainy season is more favorable because there is greater availability of food resources (CASTRO *et al.*, 2014).

In addition to environmental factors, anthropic depredation directly influences the reduction in the number of larger colonies, such as the genus *Polybia*, because the size of the colony is related to the danger level of the species (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000), a fact also observed in this study (FIGURE 1j-l). Rocha (2011) found that 60 % of the abandonment of colonies of the *Polybia platycephala slyventris* Richards (1978) species occurred due to anthropogenic action, especially in the period of intensification of civil works.

The chosen substrate for nesting also interferes with colony success (CASTRO *et al.*, 2014; TORRES *et al.*, 2014). In Machado Campus, the independent foundation genera, *Mischocyttarus* and *Polistes*, which presented the greatest abundance of colonies, had a preference for nesting on artificial substrates (constructions, metal structures, wood, and synthetic material) to the detriment of vegetation substrate (TABLE 2, FIGURE 2a-d, f-j, I, FIGURE 3), which was also found by Lima, Lima, and Prezoto (2000). These substrates offer more protection against climatic variations when compared to herbaceous plants, and those that have small and deciduous leaves (CASTRO *et al.*, 2014).

Besides protection against weather conditions, nesting in human housing reduces interspecific competition and predation (TORRES *et al.*, 2014).

Figure 1 – Wasp colonies of the genus *Polybia* and substrates used, found in IFSULDEMINAS - Machado Campus from November 2015 to June 2016.



Legend. A-C: *Polybia platycephala slyventris* Richards (1978), D-E: *Polybia paulista* Von Ihering (1896), F: *Polybia* sp., G: *Polybia scutellaris* White (1841), H-I: *Polybia fastidiosuscula* Saussure (1854), J-L: Depredation of *P. scutellaris* (J-K) and *P. fastidiosuscula* (L) colonies.

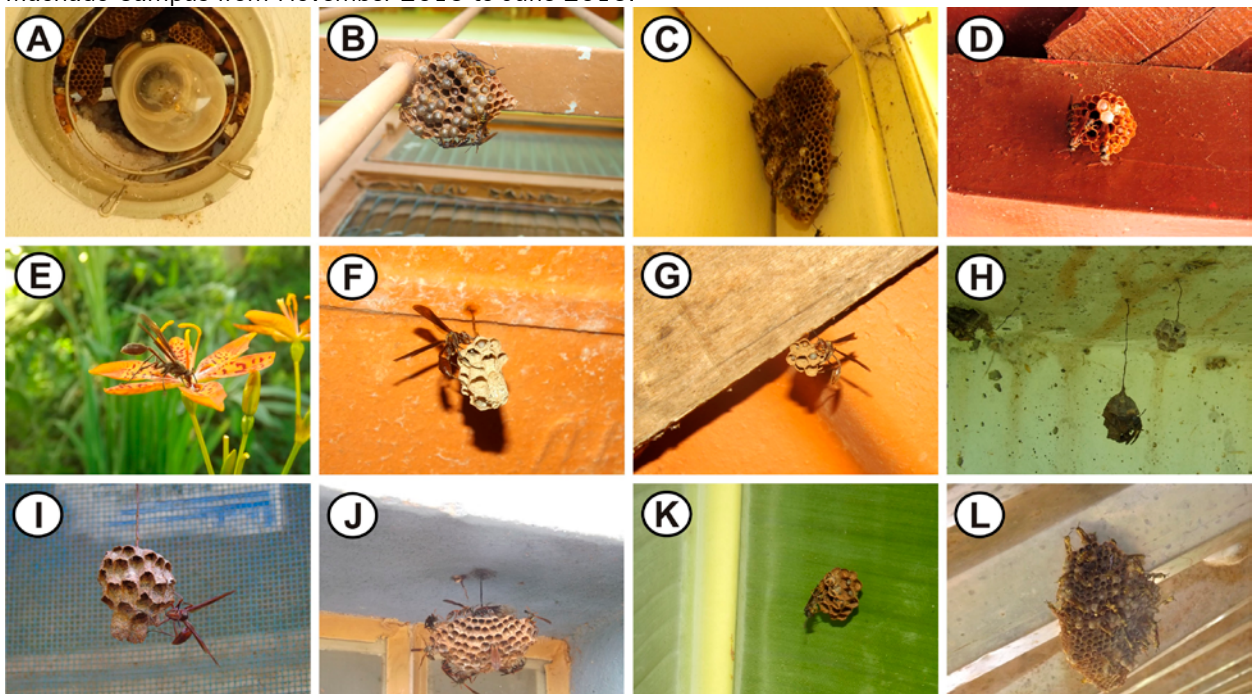
Source: Elaborated by the authors (2020).

Table 2 – Categories of substrates used for nesting by the social wasp genera found in IFSULDEMINAS - Machado Campus, from November 2015 to June 2016. Machado-MG.

Genera	Percentage of colonies				
	Construction	Metal structures	Synthetic materials	Wood	Vegetation
<i>Agelaiia</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
<i>Apoica</i>	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Mischocyttarus</i>	46.57	22.01	9.53	20.69	1.19
<i>Polistes</i>	25.00	16.10	5.08	53.39	0.42
<i>Polybia</i>	22.55	26.47	0.98	20.59	29.41
<i>Synoeca</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Source: Elaborated by the authors (2020).

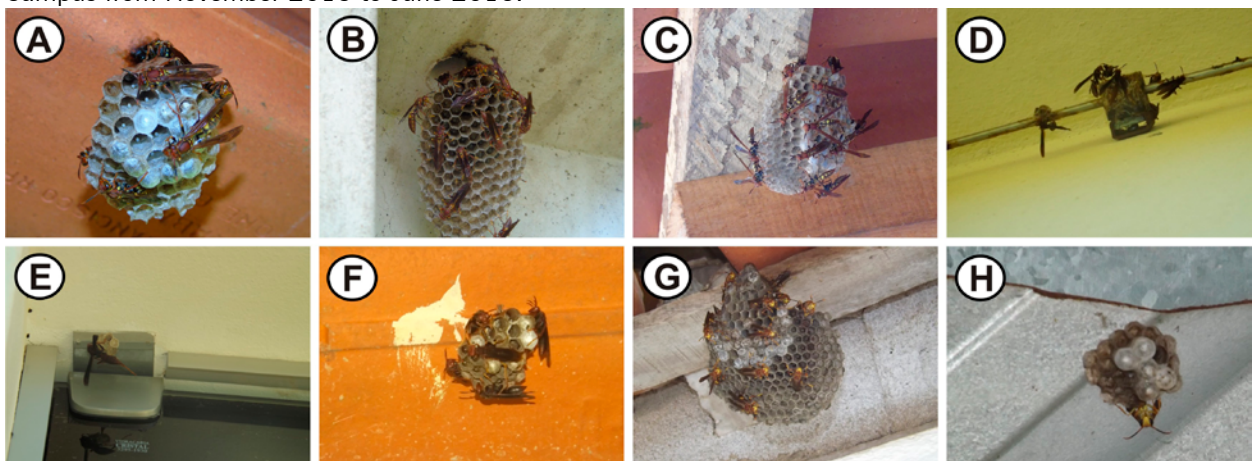
Figure 2 – Wasps colonies of the genus *Mischocyttarus* and substrates used, found in IFSULDEMINAS - Machado Campus from November 2015 to June 2016.



Legend. A-D: *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903), E-G: *Mischocyttarus drewseni* de Saussure (1054), H-J: *Mischocyttarus rotundicollis* Cameron (1912), K: *Mischocyttarus parallelogrammus* Zikán (1935), L: *Mischocyttarus paraguayensis* Zikán (1935).

Source: Elaborated by the authors (2020).

Figure 3 – Wasps colonies of the genus *Polistes* and substrates used, found in IFSULDEMINAS - Machado Campus from November 2015 to June 2016.



Legend. A-C: *Polistes versicolor* Olivier (1791), D-F: *Polistes ferreri* Saussure (1853), G-H: *Polistes simillimus* Zikán (1951).

Source: Elaborated by the authors (2020).

Among the *Polistes* species, we observed that *Polistes ferreri* Saussure (1853) preferred metal structures (77 %), and most of its colonies were found near the air conditioners installed in the buildings surveyed (FIGURE 3d, e), where the wasps were spotted foraging probably by the water released by the

equipment. In dry and cold seasons, this resource is a determining factor for the survival of individuals due to the decrease in food resources (ELPINO-CAMPOS; DEL-CLARO; PREZOTO, 2007).

In addition to the substrate, the height of the colonies is crucial to their success, especially for those independent foundation species that have few individuals per colony (PREZOTO; CLEMENTE, 2010). In the present work all species of the genus *Polistes* and the *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering, (1903) species built their colonies between two and five meters from the ground (79 % and 70 %, respectively). These species have a preference for nesting in human housing, and the height of colonies is equivalent to that of windows and roofs, making them more discreet for human perception, which is possibly a strategy against depredation (ALVARENGA *et al.*, 2010; FERREIRA; SINZATO, 2007; ALVARENGA, 2012; CASTRO *et al.*, 2014) (FIGURE 2 a-d,f-h,j,l). Unlike *M. cassununga*, colonies of the *Mischocyttarus drewseni* de Saussure (1954) and *Mischocyttarus rotundicollis* Cameron (1912) species were found preferentially in the low height category (54 % and 59 %, respectively), but were generally in more protected locations and with the lower flow of people.

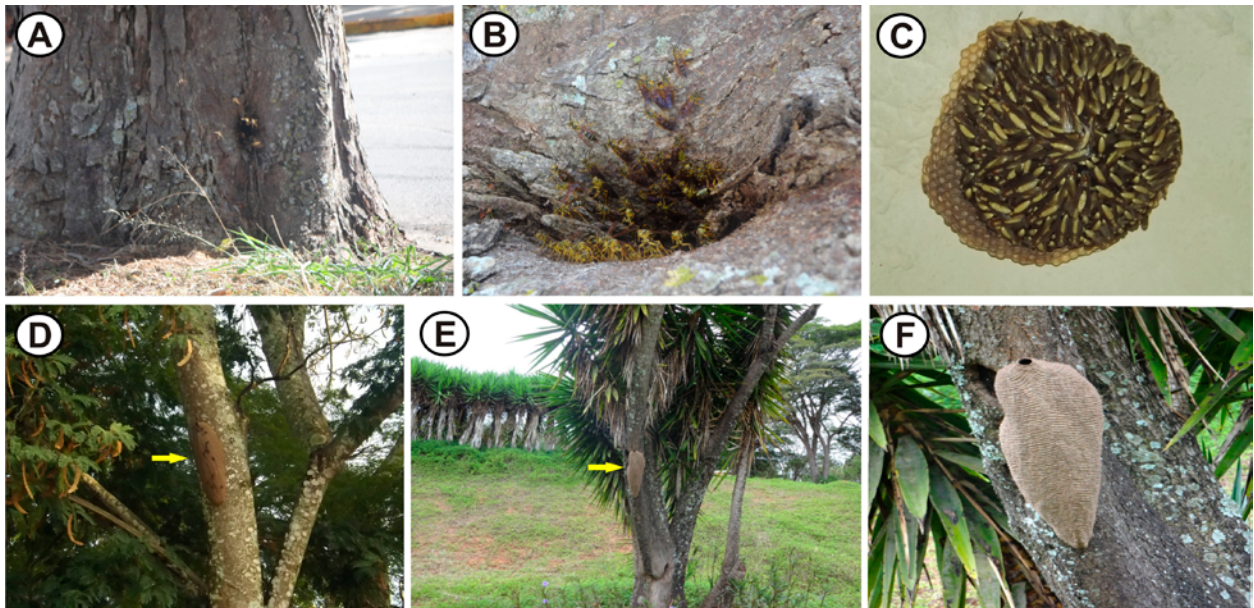
Similarly to *Polistes* and *M. cassununga*, the genus *Polybia* presented a preference for nesting in the average height category (70 %), but the preferred substrate for nesting was in plants (TABLE 2 and FIGURE 1a-c,f,h,i,l). Among the species, *P. platycephala slyventris* was found mainly in the adaxial part of the palm tree *Livistona chinensis* (Jack.) R. Br. ex. Mart (FIGURE 1b). This palm tree is abundant in urban gardens and it has considerable height and broad leaves, which provides shelter and protection to social wasps against adverse weather conditions (ALVARENGA *et al.*, 2010; ALVARENGA, 2012).

Besides *L. chinensis*, species of the genus *Polybia* have also been found in other plants. *Polybia bifasciata* Saussure (1854) was found only once in *Coffea arabica* L.; *P. platycephala slyventris* was found in *Yucca elephantipes* Regel (FIGURE 1a) and in *Dypsis lutescens* (H.Wendl.) Beent. & J.Dransf. (FIGURE 1c); *Polybia* sp. was found in *Bambusa* sp. (FIGURE 1f) and in *Magnolia champaca* (L.) Baill. ex Pierre; *Polybia fastidiosuscula* Saussure (1854) was found in *Caesalpinia pluviosa* DC. (FIGURE 1h); and *P. platycephala slyventris* and *P. fastidiosuscula* were found in *Musa* sp. (FIGURE 1l). Rodríguez *et al.* (2012) also recorded *P. platycephala slyventris* in *Musa* sp. leaf and cited that this species can contribute to the biological control of pest caterpillars of this plant.

The genus *Synoeca* presented only one species, *Synoeca cyanea* Fabricius, (1775) and all colonies were registered only in June (TABLE 1). According to Elisei *et al.* (2005), this species prefers foraging throughout the day under high temperatures and low humidity, typical conditions of drier seasons. Padua *et al.* (2017) reported that in those seasons, people tend to view colonies of social wasps more easily due to the deciduousness of the trees.

Colonies of *S. cyanea* were registered only in the vegetation substrate, in the shrub *Y. elephantipes* (FIGURE 4e, f) and trees of the family Leguminosae as *Anadenanthera* sp. (FIGURE 4d) and *C. pluviosa*. Regarding height, in the bushes, the colony was found in the low category, and upon the trees in the high category. Oliveira, Souza, and Pires (2017) also observed this species with nesting restricted to vegetation and explained that it occurs due to the type of colony. Also, nesting of *S. cyanea* in *Anadenanthera* sp. may facilitate thermal regulation of the colony during winter, since they are deciduous plants and allow more exposure to sunlight (SOUZA, 2010).

Figure 4 – Wasps colonies of the genera *Agelaia*, *Apoica* and *Synoeca* and substrates used, found in IFSULDEMINAS - Machado Campus from November 2015 to June 2016.



Legend. A-B: *Agelaia multipicta multipicta* Haliday (1836), C: *Apoica gelida* Van der Vecht (1972), D-F: *Synoeca cyanea* Fabricius (1775).

Source: Elaborated by the authors (2020).

Like *Synoeca*, the genus *Apoica* presented only one species, *Apoica gelida* Van der Vecht (1972), being found only one colony in the substrate construction at an average height category (FIGURE 4c). Species of this genus are characterized by nocturnal habits (CARPENTER; MARQUES, 2001), therefore it is more difficult to collect them during the day (JACQUES *et al.*, 2015).

Two species of the genus *Agelaia*, *A. vicina* and *Agelaia multipicta multipicta* Haliday (1836) were registered. Species of this genus are characterized by nesting in soil cavities and tree trunks (SOMAVILLA; OLIVEIRA; SILVEIRA, 2012). In this study, the *A. multipicta multipicta* colony was found at the base of the *C. pluviosa* trunk (FIGURE 4a, b). Although the *A. vicina* colony was not found, it was the most abundant among the species captured in attractive traps in the vegetable garden of Machado Campus (FORTES; FORTES; FERNANDES, 2018).

The richness and abundance of social wasp colonies found in IFSULDEMINAS - Machado Campus show that these insects are part of the daily lives of the people. However, the occurrence of many species in anthropogenic environments is threatened due to human depredation of colonies, mainly by the indiscriminate use of insecticides (SILVA FILHO; CASINO, 2004). Thus, environmental education is essential to inform about the ecosystem's importance of social wasps and to promote their conservation (PÁDUA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2015; SOUZA, 2010).

Conclusion

IFSULDEMINAS - Machado Campus has a diversity of environments that contributes to the settling of colonies of social wasps. Over the months studied, we observed a decrease in the number of colonies from the rainy to the dry season. The genus *Polybia* had more richness of species, but the genus *Mischocyttarus*, especially the species *Mischocyttarus cassununga*, had more abundance

of colonies in all months evaluated, which owes to their preference for human-housing nesting and their low aggressiveness. Given the synthropy of social wasps, it is essential that the community, which has direct contact with the insects, knows their importance and preserve them. Therefore, environmental education actions are necessary to both disseminate such information and teach the correct management of the colonies.

Acknowledgments

To IFSULDEMINAS - Machado Campus, for granting the scholarship, and Prof. Dr. Marcos Magalhães de Souza for his assistance in identifying the species.

Inventário, flutuação das colônias e hábitos de nidificação de vespas sociais no IFSULDEMINAS - *Campus* Machado

Resumo

As vespas sociais oferecem importantes recursos ecossistêmicos como controle biológico e polinização. Muitas espécies são sinantrópicas, no entanto, ainda há poucos estudos sobre esses insetos em ambientes antropizados. Objetivou-se com este trabalho verificar a riqueza, a flutuação das colônias e os substratos preferenciais para nidificação de vespas sociais no IFSULDEMINAS *Campus* Machado. Foram realizados quatro censos/inventários no período de novembro de 2015 a junho de 2016; para a coleta de vespas, utilizou-se do método de coleta ativa com rede entomológica. Os espécimes encontrados foram montados, identificados e depositados na coleção do Laboratório de Entomologia da instituição. No total foram registradas 20 espécies de vespas sociais, os gêneros *Polybia*, *Polistes* e *Mischocyttarus* apresentaram maior riqueza de espécies. Houve um aumento no número de colônias do mês de novembro a março e um decréscimo em junho. *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903) apresentou maior abundância de colônias em todos os meses avaliados. De modo geral, os gêneros *Mischocyttarus* e *Polistes* apresentaram preferência de nidificação pelo substrato construção, enquanto o gênero *Polybia* apresentou preferência pelo substrato vegetação. O *Campus* Machado possui uma diversidade de ambientes que contribui para o estabelecimento de colônias de vespas sociais. Logo, é imprescindível a divulgação dessas informações para a comunidade, além de ações de educação ambiental que demonstrem a importância desses insetos para o ecossistema e a necessidade da conservação ambiental para garantia dos seus serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: Entomologia. Hymenoptera Vespidae. *Mischocyttarus*. Sinantropismo.

References

ALVARENGA, R. B. **Vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) em áreas antrópicas**. 2012. 46 p. Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

ALVARENGA, R. B.; CASTRO, M. M. de; PREZOTO, H. H. S.; PREZOTO, F. Nesting of social wasps (Hymenoptera, Vespidae) in urban gardens in Southeastern Brazil. **Sociobiology**,

v. 55, n. 2, p. 445–452, 2010. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266853554_Nesting_of_Social_Wasps_Hymenoptera_Vespidae_in_Urban_Gardens_in_Southeastern_Brazil. Access on: 22 jun. 2020.

BUENO, E. T.; SOUZA, M. M.; CLEMENTE, M. A. The effect of forest fragmentation on Polistinae. **Sociobiology**, v. 66, n. 3, p. 508-514, 2019. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/4378>. Access on: 22 jun. 2020.

CARPENTER, J. M.; MARQUES, O. M. Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia. **Publicações digitais**, v. 2. Universidade Federal da Bahia. 2001. 147 p.

CASTRO, M. M. de. **Desenvolvimento pós-embrionário, oofagia e relação entre as interações de dominância e a atividade forrageadora na vespa social *Mischocyttarus cassununga* (Von Ihering, 1903) (Hymenoptera, Vespidae)**. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

CASTRO, M. M. de; AVELAR, D. L. G. de; SOUZA, A. R. de; PREZOTO, F. Nesting substrata, colony success and productivity of the wasp *Mischocyttarus cassununga*. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 58, n. 2, p. 168–172, 2014. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/rbent/v58n2/a09v58n2.pdf>. Access on: 22 jun. 2020.

CASTRO, M. M. de; GUIMARÃES, D. L.; PREZOTO, F. Influence of environmental factors on the foraging activity of *Mischocyttarus cassununga* (Hymenoptera, Vespidae). **Sociobiology**, v. 58, n. 1, p. 1– 10, 2011. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266853624_Influence_of_Environmental_Factors_on_the_Foraging_Activity_of_Mischocyttarus_cassununga_Hymenoptera_Vespidae. Access on: 22 jun. 2020.

CLEMENTE, M. A.; VIEIRA, K. M.; CAMPOS, N. R.; DEL-CLARO, K.; PREZOTO, F. Social wasp guild (Hymenoptera: Vespidae) visiting flowers in two of the phytophysiognomic formations: Riparian Forest and campos rupestres. **Sociobiology**, v. 64, n. 2, p. 217, 2017. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/%20article/view/136>. Access on: 22 jun. 2020.

ELPINO-CAMPOS, Á.; DEL-CLARO, K.; PREZOTO, F. Diversity of social wasps (Hymenoptera: Vespidae) in cerrado fragments of Uberlândia , Minas Gerais state , Brazil. **Ecology, Behavior and Bionomics**, v. 36, n. 5, p. 685–692, 2007. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2007000500008. Access on: 22 jun. 2020.

ELISEI, T.; RIBEIRO JUNIOR, C; GUIMARÃES, D. L.; PREZOTO, F. Foraging activity and nesting of swarm-founding wasp *Synoeca cyanea* (Hymenoptera: Vespidae, Epiponini). **Sociobiology**, v. 46, n. 2, p. 317–327, 2005. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Thiago_Elisei/publication/236146814_Foraging_Activity_and_Nesting_of_SwarmFounding_Wasp_Synoeca_cyanea_Hymenoptera_Vespidae_Polistinae/links/0deec5165c1ef42558000000.pdf. Access on: 22 jun. 2020.

ELISEI, T.; VAZ, J.; RIBEIRO JUNIOR, C.; FERNANDES JUNIOR, A. J.; PREZOTO, F. Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,

v. 45, n. 9, p. 958–964, 2010. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n9/a04v45n9.pdf>. Access on: 22 jun. 2020.

FORTES, A. R.; FORTES, E. A.; FERNANDES, L. G. Avaliação de diferentes atrativos na coleta de vespas (Hymenoptera: Vespidae) em área de produção de hortaliças. In: Cadernos de Agroecologia – **Anais...** VI CLAA, X CBA e V SEMDF – V, v. 13, n. 1, 2018.

FORTES, E. A.; FORTES, A. R.; ALMEIDA, L. C. de; FERNANDES, L. G. Riqueza de vespas sociais (Hymenoptera Vespidae) no IFSULDEMINAS – Campus Machado. In: 9º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, E 6º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 6 a 8 novembro de 2017, Machado, MG. **Anais...** Machado, v. 9, 2017 Available at: <https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcpcs/jcpcs/paper/viewFile/943/700>. Access on: 22 jun. 2020.

FERREIRA, E. L.; SINZATO, D. M. S. Ocorrência e sítio de nidificação de vespas sociais *Polistes* sp. (Hymenoptera, Vespidae) no Parque Aquático Águas Quentes, Barra do Piraí/RJ. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007, Caxambu. **Actas...** Caxambu: [s.n.], 2007, p. 1-2. Available at: <http://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiiiceb/pdf/2072.pdf>. Access on: 22 jun. 2020.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA-NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI-FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Manual de Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

HERDINA, A. S.; BITTENCOURT, G.; DI MARE, R.; BARBOSA, B. C. *Polybia* (Myrapetra) *scutellaris* (Hymenoptera: Vespidae) foraging on flies at carcasses of *Rattus norvegicus* (Rodentia: Muridae). **Sociobiology**, v. 63, n. 1, p. 728–730, 2016. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/937>. Access on: 22 jun. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências (Manuais Técnicos de Geociências, 1), 2012. 271 p.

JACQUES, G. C.; CASTRO, A. A. de; SOUZA, G. K.; SILVA-FILHO, R.; SOUZA, M. M. de; ZANUNCIO, J. C. Diversity of social wasps in the Campus of the “Universidade Federal de Viçosa” in Viçosa, Minas Gerais state, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 1–10, 2012. Available at: <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/566>. Access on: 22 jun. 2020.

JACQUES, G. C.; SOUZA, M. M.; COELHO, H. J.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, L. C. P. Diversity of social wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae) in an agricultural environment in Bambuí, Minas Gerais, Brazil. **Sociobiology**, v. 62, n. 3, p. 439–445, 2015. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/738/0>. Access on: 22 jun. 2020.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. 1948. 478 p.

LIMA, M. A. P.; LIMA, J. R.; PREZOTO, F. Levantamento dos gêneros, flutuação das colônias e hábitos de nidificação de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) no Campus da UFJF, Juiz de Fora, MG. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 2, n. 1, p. 57–67, 2000. Available at: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/zoociencias/article/view/24289>. Access on: 22 jun. 2020.

MOURA, L. C.; MARQUES, A. F. S. M.; HADAD, R. M.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R. A Aptidão Agrícola das Terras do município de Machado - MG e a Cafeicultura. **Caderno de Geografia**, v. 17, n. 28, p. 141–162, 2007.

OLIVEIRA, T. C. T.; SOUZA, M. M.; PIRES, E. P. Nesting habits of Social wasps (Hymenoptera: Vespidae) in forest fragments associated with anthropic areas in southeastern Brazil. **Sociobiology**, v. 64, n. 1, p. 101–104, 2017. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/1073>. Access on: 22 jun. 2020.

OLIVEIRA, T. C. T.; SOUZA, M. M.; SOUZA, A. F. L.; PASSARI, G. J.; FERREIRA, J. S.; SILVA, R. A. Nidificação de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) em fragmentos urbanos do Sul de Minas Gerais. In: 7º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, E 4º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO, Poços de Caldas, Minas Gerais, 12 de novembro de 2015. **Anais...** Poços de Caldas, v. 7, 2015. 7p. Available at: <https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcpcs/jcpcs/paper/viewFile/943/700>. Access on: 22 jun. 2020.

PÁDUA, D. C. de; SOUZA, M. de; BRUNISMANN, Â.; COELHO, E.; PIRES, E. Conhecimento popular sobre vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) nas comunidades do Entorno do Refúgio da Vida Silvestre do Rio Pandeiros, Norte do Estado De Minas Gerais. **Ethnoscientia**, v. 2, n. 1, p. 1–11, 2017. Available at: <http://www.ethnoscientia.com/index.php/revista/article/view/83>. Access on: 22 jun. 2020.

PREZOTO, F. A importância das vespas como agentes no controle biológico de pragas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 2, n. 9, p. 24–26, 1999. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267445178_A_importancia_das_vespas_como_agentes_no_controle_biologico_de_pragas. Access on: 22 jun. 2020.

PREZOTO, F.; CLEMENTE, M. A. Vespas sociais do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **MG BIOTA**, v. 3, n. 4, p. 22–32, 2010.

PREZOTO, F.; RIBEIRO-JÚNIOR, C.; OLIVEIRA-CORTES, S. A.; ELISEI, T. Manejo de vespas e marimbondos em ambiente urbano. In: PINTO, A. S., ROSSI, M. M.; SALMERON, E. (orgs.). **Manejo de Pragas Urbanas**. Piracicaba, Editora CP2, 2007. 192 p.

RESENDE, L. de O.; PREZOTO, F.; BARBOSA, B. C.; GONÇALVES, E. L. **Sustentabilidade: Tópicos da Zona da Mata Mineira**. Juiz de Fora: Edição dos autores, [s.l.: s.n.], 2016, p. 19–30.

RICHARDS, O. W. **The social wasps of the America, excluding the Vespinae**. London, British Museum (Natural History), 1978. 580 p.

RICHTER, M. R. Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) foraging behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 121–150, 2000. Available at: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ento.45.1.121>. Access on: 22 jun. 2020.

ROCHA, M. de P. **Biologia e ecologia comportamental da vespa social *Polybia platycephala* (Richards, 1978) (Hymenoptera, Vespidae, Epiponini)**. 2011. 76 p. Dissertação (Mestrado Comportamento e biologia animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

RODRÍGUEZ, F.; BARROS, L.; CAROLINE, P.; SOUZA, M. M.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Nidification of *Polybia platycephala* (Hymenoptera: Vespidae) on plants of *Musa* spp. in Minas Gerais state, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 457–461, 2012. Available at: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/609>. Access on: 22 jun. 2020.

SILVA-FILHO, R.; CASSINO, P. C. R. Marimbondos. **Informativo dos entomologistas do Brasil**, n. 2, p. 11–13, 2004.

SOMAVILLA, A.; KÖHLER, A. Preferência floral de vespas (Hymenoptera, Vespidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 5, n. 1, p. 21–28, 2012. Available at: <https://www.entomobrasilis.org/index.php/ebras/article/view/152>. Access on: 22 jun. 2020.

SOMAVILLA, A.; OLIVEIRA, M. L. de; SILVEIRA, O. T. Guia de identificação dos ninhos de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) na Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, n. 4, p. 405–414, 2012. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0085-56262012000400003&script=sci_arttext. Access on: 22 jun. 2020.

SOUZA, M. M. de. **Vespas sociais (Hymenoptera : Vespidae) indicadoras do grau de conservação de florestas ripárias**. 2010. 65 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SOUZA, M. M. de; FERREIRO, J. S.; ALBUQUERQUE, C. H. B. de. Coleção taxonômica de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de MG, Campus Inconfidentes. **MG BIOTA**, v. 8, n. 3, p. 16–30, 2015.

SOUZA, M. M.; PIRES, E. P.; FERREIRA, M.; LADEIRA, T. E.; PEREIRA, M. ELPINO-CAMPOS, A.; ZANUNCIO, J. C. Biodiversidade de vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **MG BIOTA**, v. 5, n. 1, p. 4–19, 2012. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267776727_Biodiversidade_de_vespas_sociais_Hymenoptera_Vespidae_do_Parque_Estadual_do_Rio_Doce_Minhas_Gerais_Brasil. Access on: 22 jun. 2020.

SOUZA, M. M.; TEOFILU-GUEDES, G. S.; MILANI, L. R.; SOUZA, A. S. B. de; Gomes, P. P. Social Wasps (Vespidae: Polistinae) from the Brazilian Atlantic Forest. **Sociobiology**, v. 67, n. 1, p. 1–12, 2020. Available at: <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/4597>. Access on: 22 jun. 2020.

SOUZA, C. A.; VALE, A. C.; BARBOSA, B. C. Vespas Sociais (Vespidae: Polistinae) em fitofisionomias urbanas: um checklist do município de Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 9,

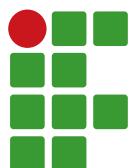
n. 3, p. 169–174, 2016. Available at: <https://www.entomobrasil.org/index.php/ebras/article/view/ebrasilis.v9i3.620>. Access on: 22 jun. 2020.

SÜHS, R. B. ; SOMAVILLA, A.; KÖHLER, A.; PUTZKE, J. Vespídeos (Hymenoptera, Vespidae) vetores de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. **Brazilian Journal of Biosciences**, v. 7, n. 2, p. 138–143, 2009. Available at: https://www.researchgate.net/publication/288273875_Vespideos_Hymenoptera_Vespidae_vetores_de_polen_de_Schinus_terebinthifolius_Raddi_Anacardiaceae_Santa_Cruz_do_Sul_RS_Brasil. Access on: 22 jun. 2020.

TORRES, R. F. ; TORRES, V. O.; SÚAREZ, Y. R.; ANTONIALLI, W. F. Effect of the habitat alteration by human activity on colony productivity of the social wasp *Polistes versicolor* (Olivier) (Hymenoptera: Vespidae). **Sociobiology**, v. 61, n. 1, p. 100–106, 2014. Available at: <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/243>. Access on: 22 jun. 2020.

Received: March 7, 2020

Accepted: June 25, 2020



Viability of a terrace covered with porous concrete paving blocks for coffee bean drying

João Pedro Junqueira¹

Alisson Pinto Soares Ponzó²

Alisson Souza de Oliveira³

Abstract

The success of the coffee activity depends on the beans drying process since it influences the physical and chemical coffee quality, whose result can be good or bad quality beverages. In this sense, the type of terrace has considerable influence on the product's final quality. Therefore, in this study, ground soil terraces and porous concrete paving blocks will be evaluated, and the experiment was conducted in the city of Cambuquira/MG. For this purpose, porous concrete and compressed earth blocks with dimensions of 50 cm x 50 cm x 10 cm were built, totaling 10 blocks of each type of terrace. The experimental design was in randomized blocks (RB), using cherry coffee, with 10 replications, with a total of 20 plots. For the evaluation of the water infiltration capacity in the porous concrete paving block, a cylinder of 30 cm in diameter was used placed in the center of the porous concrete block, and the lower edges rejoined with cement to guarantee the use of the internal area of the cylinder only. The drying process of coffee on a porous concrete paving block terrace provided better quality both in the beverage and in the reduction of the number of defects in the beans. In the city of Cambuquira, the potential for infiltration and storage of rainwater is 58.8 m³ year⁻¹. Considering a 10-year lifespan, the construction of the porous concrete paving block terrace is economically viable concerning the ground soil terrace, providing gains of up to 15%.

Keywords: Coffee quality. Rainwater infiltration. Rain water.

Introduction

Brazil is a country that has favorable climatic conditions for the crop, providing planting from North to South, facing different climates, altitudes, soils, among others, making Brazilian producers achieve different quality standards and unique characteristics to their products.

The culture of coffee, since it was implanted in Brazil in the middle of the 17th century, has acquired considerable economic and social importance, becoming today the biggest exporter in the world scenario. In 2018, national production was approximately 58.04 million bags, representing 36 % of the international market. In the state of Minas Gerais, especially in the southern region, coffee culture is one of the principal activities developed on rural properties. In 2018, coffee production in the state reached about 30.7 million bags, corresponding to approximately 53 % of all national production (CONAB, 2018).

1 Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). Graduando em Agronomia. joapedrojunqueiracbq@hotmail.com. Av. Castelo Branco, 82 - Chácara das Rosas, Três CoraçõesMG, 37417-150.

2 UninCor. Graduando em Agronomia. jonasponzo@yahoo.com.br

3 UninCor. Professor titular. alissonso@hotmail.com.

There are several species of coffee, the main ones with economic viability produced in Brazil, the robusta (*Coffea canephora*), and the arabica (*Coffea arabica*). The Arabian species is the main cultivated and also the best known. According to COSTE (1955), arabica coffee has a main stem with secondary branches in which fruiting occurs, it is estimated a production of 34.30 million bags in 2019 (CONABE, 2018). The arabica coffee has a pleasant quality, aroma and flavor, and less pronounced caffeine content, making it the most wanted coffee in the market. It issues a quality seal for the producers, thus aiming at a quality of origin. The varieties Bourbon Amarelo, Bourbon Vermelho, Catuaí Amarelo, Catuaí Vermelho, Obatã, and Mundo Novo stand out.

Robusta coffee, known as conilon, is a species with higher resistance to the diversity exposed in Brazil, such as drought and precipitation. Its predominant production occurs in the state of Espírito Santo, north of Minas Gerais, and North of the Country. Robusta coffee does not have a main stem, but several branches in which fruiting occurs, it has higher levels of caffeine compared to Arabica (PAULINO *et al.*, 1987). In addition to a unique flavor and less acidity, it has a much lower production cost, which makes it attractive for many producers who try to escape higher investment in maintaining the crop. However, its market value is also lower. Besides robust and arabica coffee, there is the blending, which can be defined as mixtures of two or more types of coffee that can be from the same species or from different species and also from different regions and crops (FERNANDES *et al.*, 2003). The creation of the blending is the way to combine coffees with complementary characteristics, seeking a balance between body, acidity, sweetness, and degree of roasting in such a way that the mixture produces a beverage with specific characteristics for a particular type of consumer (MOURA *et al.*, 2007).

The drying process of coffee is one of the steps that most influences the quality of the beans (SILVA, LACERDA FILHO, 1984). In Brazil, there is drying in mechanical dryers and in terraces, which are composed of various materials, the most used are: beaten earth, which material is the same soil where the coffee beans will be cleaned and compacted with a mechanical roller, sheepskin or manual socket; asphalt mud, which uses materials such as waterproofing, gravel powder, and asphalt emulsion for its manufacture; concrete, which uses for its production materials such as gravel, sand, and cement to make the concrete; suspended terrace, which can use wood from the farm for its production, such as posts, bamboo, and concrete beams to make the base where the shade cloth will be placed; paved terrace, which has a higher initial cost of implementation because it has a higher quantity of materials and labor (SANTOS; REINATO, 2017).

Some studies have been carried out to determine the physical and chemical impacts of paved and unpaved terraces on the final quality of the grains (VIANA *et al.*, 2002; BORÉM *et al.*, 2004; REINATO *et al.*, 2005). These impacts affect the final classification and its quality, as grains with physical defects tend to have a lower price than a grain with normal characteristics. The grain with chemical changes in its constitution loses market price, presents unpleasant taste, astringency, aroma, acidity. That is due to the depreciation of sugar levels, increased electrical conductivity, and leaching of potassium, which reduces the sensory quality of coffee (MARQUES *et al.*, 2008).

However, these chemical changes depend a lot on the pre and post-harvest, because grains with physical damage tend to be more intense, therefore, the pre-drying process, in other words, the harvest and transport of grains, must be done rigid and carefully, so that in the end the morphological (physical) characteristic of the coffee beans is affected as little as possible.

The drying process is one of the main post-harvest procedures for obtaining good quality coffee. Drying on the terrace allows the beans harvested with a very high initial humidity, ranging from

30.0 % to 65.0 % - depending on the maturation stage, to lose water to the environment through evaporation, aiming to achieve a suitable percentage of conservation, from 11.0 % to 12.5 % of humidity (BORÉM, 2008).

As Carvalho (1997) addresses in his study, the coffee quality depends on several factors and processes, such as crop management, pre-and post-harvest, which are essential to achieve a good characteristic for the beans.

According to the same author, artificial drying in terraces is the most used process by producers because it has a lower implantation cost compared to mechanical dryers, but coffee is exposed to climatic factors.

According to the study presented by the authors Santos and Reinato (2017) and Reinato (2006), terraces of asphalt mud and earth present mostly inferior beverages, such as Rio and Riada, whereas the cement and suspended terraces presented coffee beverages with superior qualities, mostly hard drink.

The suspended terrace has an installation price higher than the others, around R\$ 38.54 per square meter, and lower durability, whereas the reinforced concrete has a price of R\$ 22.30 per square meter, also presenting higher durability. The ground soil terrace has a low starting price of around R\$ 2.70 per square meter, but as shown above, it has very low quality, when compared with the others, according to the study presented by Santos (2017).

In the patio made of porous concrete blocks, due to the rainwater infiltration process, it is expected that the humidity on the surface will be reduced and quickly dispersed to the environment, not being transferred to the grain, providing a product of better quality. The possibility of covering the patio for coffee drying combined with the rainwater infiltration for use on the property makes it interesting to use this material in the patio building.

Nowadays, the occurrence of long periods of drought, which are increasingly frequent, reinforces the need to capture and store water. When it comes to the rural environment, water has several usages, such as irrigation, cleaning the property, maintaining herds, and others.

The planet has undergone significant changes in the climate. Salati, Santos, and Nobres (2004) claim that "global warming will soon promote more extreme climate scenarios, with droughts, floods, and heatwaves becoming more frequent". Water is an essential natural resource for sustaining life and the environment. In this sense, all actions aimed at capturing and storing water in rural properties are extremely necessary and important.

In most of the coffee-producing rural properties, large areas are reserved for the drying process, the terraces for coffee drying. These areas are idle most of the time, and they are used only during the coffee harvest period. They could be used in other ways, such as rainwater infiltration, as long as it has been designed for this function. Therefore, there is the possibility of building these terraces with porous concrete paving blocks, which, besides removing moisture from coffee beans, will promote the rainwater infiltration that can be stored and used for non-potable purposes, such as cleaning the yard, corral, coffee washing, and even for irrigation, thus saving drinking water.

Rainwater harvesting occurs by the water infiltration through the pores of the porous concrete being collected by drainpipes and conducted to a storage reservoir. To increase the efficiency of the drainage system and avoid significant losses to the soil, the use of a waterproof plastic blanket is recommended.

Porous or permeable concrete has emerged as a solution in the United States of America in urban drainage, allowing water to infiltrate, reducing runoff. This fact occurs because the concrete presents interconnected empty spaces, as mentioned by Polastre and Silva (2006). Its durability varies from 20 to 40 years, depending on constant repair maintenance, since it is common to block

the empty spaces by earth particles and chemical elements dispersed in the environment, such as sulfates, besides its natural degradation (POLASTRE; SILVA, 2006).

Regarding the load-bearing capacity, porous concrete has a lower resistance than conventional concrete, with variations between 3 MPa and 30 MPa depending on the material used. Reinforced concrete has a resistance that can reach up to 60 MPa (ACI – 522, 2010).

The concrete permeability varies according to the density of the mixture. The larger the void spaces, the higher the absorption (KIM; LEE, 2010). In this context, tests carried out by Federal University of Rio Grande do Sul - UFRS researchers presented a result of permeability of 0.3 cm s^{-1} for 1:3 and 0.5 cm s^{-1} for 1:4, demonstrating that the porous concrete permeability is sufficient to capture rainwater since absorption can reach up to 5 mm/s according to the test above (IBRACON, 2014).

Based on the above considerations, this study aims to analyze the feasibility of implementing a terrace for drying natural coffee, using porous concrete blocks as a covering and its influence on the final quality of the coffee drink. The potential for rainwater infiltration and the costs of implementing the terrace covered with porous blocks were also evaluated.

Material and methods

Characterization of the study area

The experiment was carried out in the city of Cambuquira, located in the south of the state of Minas Gerais, whose economy comes from agriculture, livestock, and tourism. According to the Köppen and Geiger classification, the climate is classified as Cwa, with an average temperature of $19.5 \text{ }^\circ\text{C}$ and total annual precipitation of 1,470 mm (Climate-Data.org, 2012).

Construction of porous concrete paving blocks

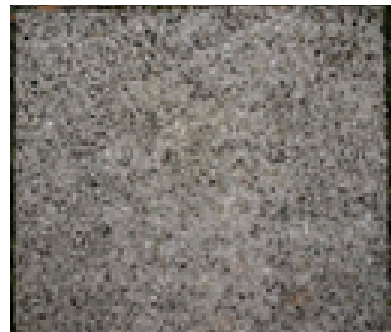
In the construction of the porous concrete paving block, 270 liters of gravel number 1 were used in dry conditions mixed with 3.8 cans of 18 liters of cement, adding a quantity of 33 liters of water, masonry equipment (hoe, bucket, and a trowel).

Initially, the gravel was mixed with the cement until it was homogeneous, and then 33 liters of water were added, making a new mixture until a uniform mass with an appearance similar to the concrete used in civil construction was obtained. After that process, the obtained mass was transported in buckets and placed in frames of 50 cm x 50 cm x 10 cm totaling ten blocks, which were used in the experiment assembly.

Figure 1 – A - Wooden frames used for the construction of the blocks. B - Finished porous cement block.



A



B

Source: Authors' elaboration (2019).

Experiment Assembly and Conduction

For the experiment, cherry coffee was used. The experiment was carried out in a randomized block design (RBB) with 2 treatments and ten repetitions each, with a total of 20 plots. The treatments consisted of the disposition of cherry coffee in two types of terraces, ground soil and porous concrete, being distributed a 4 cm layer of cherry coffee.

The variables were subjected to analysis of variance, and the significant ones at the level of 5 % probability were subjected to the Tukey test. Statistical analyzes were performed using the Sisvar software (FERREIRA, 2011).

Evaluation of the presence of defects and the coffee drink quality

The classification of defects is made in a 300-gram sample of raw dry coffee beans, and it is counted in the sample for classification following the Normative Instruction n.º 8 from 2003, which has a rating scale of two to eight respectively and it will be separated according to the defects. Consequently, to rate the defect and remove the impurities and unusual matter present in the sample and then weight on a digital scale, the defect with higher gravity in the sample prevails as black partial black, sour, immature, and broken grain (BRASIL, 2003).

The conventional “coffee cupping” was carried out by an experienced taster, following the procedures required by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The analyzes were carried out at Cooperative of Coffee Growers in the Varginha Zone (Minasul), in the city of Cambuquira/MG.

According to normative n.º 8 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (BRASIL, 2003), there are currently seven quality scale of the coffee drink, which are Rio Zona, Rio, Riado, Hard, Just Soft, Strictly Soft, and Soft, the Strictly Soft being the one with the best characteristics and all the requirements for aroma and “soft” flavor.

Water infiltration evaluation in porous concrete paving blocks and the potential for rainwater infiltration

To carry out the infiltration test on porous concrete paving blocks, the methodology described in NBR 16416 - Permeable Concrete Pavements (ABNT, 2015) was used.

To start the infiltration test, the porous concrete blocks were pre-wetted, pouring 3.6 liters of water into the cylinder, and registering the time taken for all the water to infiltrate. For pre-wetting times of less than 30 seconds, 18 liters of water were used to perform the test, and the time was measured again. For times higher than 30 seconds in the pre-wetting stage, the amount of water required for the test was 3.6 liters. For both the pre-wetting stage and the performance of the test, it was sought to maintain a constant flow of water inside the cylinder so that a blade between 10 mm and 15 mm was maintained during the procedure. To simulate the impact of moisture present in the porous concrete paving blocks in the infiltration process, a 20 mm rain was simulated by applying 5 liters of water over each block; after 24 hours, the infiltration test was carried out.

The infiltration test was carried out on all porous concrete paving blocks. For this purpose, a cylinder of 30 cm in diameter with a height of 50 cm was placed in the center of each porous concrete paving block, and the lower edges rejoined with cement to guarantee the use of the internal area of the cylinder only. It was calculated the time that every volume of water took to completely infiltrate the block’s surface, allowing the calculation of the block’s permeability.

The following equation used by Gonçalves and Bandeira (2017) was applied in this study:

$$K = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad (1)$$

At which:

K: is the infiltration rate given in mm h^{-1}

m: infiltrated water mass, expressed in kg

d: internal diameter of the cylinder, expressed in mm

t: time taken by the water to infiltrate, expressed in seconds

C: SI unit conversion factor, with a value of 4,583,666,000

To evaluate the potential rainwater infiltration in the study area, the average annual precipitation was calculated based on a historical series of daily precipitation between 1988 and 2018, from the weather station known as Fazenda Juca Casimiro, code 02145008, located in the city of Cambuquira, under the responsibility of IGAM-MG, coordinates S 21° 52 '27.12" and W 45 ° 15' 29.88 " and altitude of 875 m.

Results and discussions

Table 1 shows the cost of producing the porous concrete paving blocks.

Table 1 – Values spent in ten porous concrete paving blocks.

Components	Unit	Values
Gravel 1	15.0 cans	75.00
Cement	3.8 cans	30.6
Water	33.0 liters	0.0
Total		105.6

Source: Gomes, J. P. J. (2019).

The cost of implementation for the porous concrete paving blocks 10 cm high in the patio building was equivalent to R\$ 42.24 per m^2 in the year 2019. When compared to the costs of setting up a ground soil terrace, this amount is approximately 11 times higher. According to Santos and Reinato (2017), who evaluated several types of terraces, they concluded that the cost of implementing the ground soil terrace at that time was R\$ 2.70 per m^2 , equivalent to 6.4 % of the cost of implementing the terrace with porous blocks. In 2019, it would be a value of approximately R\$ 3.73 per m^2 , and this value will be considered in the following calculations.

Although the implantation cost is very high concerning the ground soil terrace, it has the advantage of the possibility of rainwater infiltration, contributing to the environmental sustainability of this resource.

Classification of beverage quality and analysis of physical coffee bean defects

Table 2 shows the statistical results of coffee beans quality and defects for the two types of drying terraces.

Table 2 – Beverage quality and types of defects in coffee beans subjected to drying in a porous block and drying in-ground soil terrace.

Variable	Porous block	Drying in-groundsoil terrace
Drink quality	4.0a	2.8b
Defect types	3.4b	5.9a

Averages followed by the same letter, on the line, do not differ statistically through the Tukey test, at 5 % probability.

Source: Authors' elaboration (2019).

As shown in Table 2, the ground soil terrace provides lower quality in the coffee drink, as a result of several factors interaction such as the undesirable fermentation process during the drying process. Similar results were also observed by Santos and Reinato (2017).

The best drink was obtained when the coffee beans were dried on the porous concrete paving terrace, a fact that may encourage the implementation of this type of terrace by coffee producers.

Most of the ground soil terrace provided coffee with Riado or Rio drink, that is, grade 2 to 3, except one sample classified as Duro, grade 4. Coffee dried on the porous concrete block terrace produced, in its majority, hard drink coffees, with grade 4, except for two samples that presented drink type Riado, grade 3 and Soft, grade 5.

Most of the dried coffee on a ground soil terrace generated drink of low appreciation value from customers, on average 2.8b and, consequently, a lower market value, concluding that the coffee beans dried on a porous concrete block terrace produced a better quality drink, presenting a statistically better result, an average of 4.0a. Similar results were obtained by Reinato (2006) concerning ground soil terrace, where he concluded that that is the least viable for the drying process.

Regarding the defects found, according to Table 2, the result provided by the classification in relation to the defects of each sample was given by the 'type' that varies from 2 to 8, being classified as 2 the ones of least defects, and as 8 the one of highest number of defects (CARVALHO, 1997).

Coffee beans dried on a ground soil terrace had defects ranging from 5 to 7, with an average of 5.9a. On the other hand, the ones dried on a porous concrete block patio presented defects between 3 and 4, with an average of 3.4b.

Based on these results, it can be concluded that the ground soil terrace has a higher number of defects than the porous concrete block terrace. According to Reinato (2006), the fact that the ground soil terrace has higher numbers of defects is due to the sanitary, higher incidence of fungi and bacteria that deteriorate the quality of the coffee bean, issues that came up at the time of drying, favoring the appearance of burnt and dark grains. Therefore, it is evident that the ground soil terrace does not favor the final quality of the product, generating a devaluation in the price. In this sense, the porous concrete block terrace compared to the ground soil terrace showed better results statically. However, even presenting the best results, the porous concrete block terrace did not obtain the best score for such classification, which is type 2. This may be due to the number of broken grains, due to the terrace that has a rougher surface than the other ones.

Permeability analysis of the porous concrete block

The infiltration test was carried out on all the porous concrete paving blocks used, showing the capacity of water infiltration that passes through the blocks per unit of time.

The results showed that the water infiltration capacity of the porous concrete paving blocks varied from 3,637.8 mm h⁻¹ to 3,960.0 mm h⁻¹, with an average value of 3,842.8 mm h⁻¹ representing a potential volume of rainwater infiltration equal to 3,842.8 l / m² h⁻¹.

The result above demonstrates the excellent permeability of the porous concrete block obtained with a 1:3 line, a cemented part for three parts of number 1 gravel, this line and line 1:4 are the most recommended when the objective is the infiltration of water, according to Kim and Lee (2010).

Rainwater infiltration potential by the porous concrete paving block terrace in the city of Cambuquira - MG

Based on the historical series of the meteorological station precipitation known as Fazenda Juca Casimiro, in the city of Cambuquira/MG, the average annual precipitation for the municipality was 1,470.0 mm.

According to Araújo, Tucci and Goldefum (2000), the effective infiltration of water that crosses the porous concrete block through the drainage system is 40 % if the drains are placed on the ground, that is, without the blanket plastic. The remaining 60 % is lost due to evaporation, percolation in the soil, and the non-infiltration of the drainage system.

In this way, considering that a plastic blanket was not used below the porous concrete terrace, of the total precipitated annually, 1,470.0 mm, it would be possible to infiltrate 588 mm year⁻¹. Considering a terrace for drying coffee with an area of 100 m², it would be possible to capture and store 58.8 m³ year⁻¹. This volume would be used for non-potable purposes, requiring no treatment, reducing the consumption of drinking water for less noble purposes.

Analysis of the economic feasibility of implementing a porous concrete block paving terrace

Considering a distribution of 50 liters of cherry coffee per square meter of the terrace and one bag of coffee corresponds to 500 liters, 10 m² of the terrace would be needed for each bag of coffee beans. For the analysis of the porous concrete paving blocks terrace implementing feasibility, the costs for the porous concrete blocks production, the drainage system, and a reservoir with a water storage capacity of 20 m³ were considered. The quotations for coffee bags type 4 hard drink and type 6 Riada drink were obtained from the Coffee Growers Cooperative of the Varginha Zone (Minasul), in November 2019, representing the Southern region of the State of Minas Gerais. The average values found were, respectively, R\$ 505.00 and R\$ 418.00 for bags of coffee type 4 hard drink and type 6 Riada drink. In this way, it was possible to evaluate the expected gain per square meter in each type of terrace for drying coffee.

In the ground soil terrace, the predominant type of drink was the Riada drink, which provides an approximate yield of R\$ 41.80 m², whereas the dried coffee in the porous concrete block paving terrace generates gains of R\$ 50.50 m², that is, a profit of R\$ 8.70 m² concerning coffee dried on a ground soil terrace.

For a 100 m² terrace, R\$ 4,224.00 would be spent for the implementation of the porous concrete block terrace, plus R\$ 600.00 for the drainage system, and R \$1,000.00 for the acquisition of a polyethylene reservoir to store infiltrated water, with a capacity of 20 m³, totaling an implementation cost of R\$ 5,824.00. For the ground soil terrace, the costs would be R\$ 373.00.

Considering a useful life of 10 years, since the necessary maintenance is carried out, the costs of patios implementation would be paid in the first, for the ground soil terrace and from the second year onwards, for the porous concrete block paving terrace, that is, for the rest of the useful life period,

the producer would have 100 % profit. For the ground soil terrace, the gain in the period of its useful life is R\$ 41,427.00. As for the porous concrete block terrace, the gain is equal to R\$ 44,676.00, a profit of approximately 8 % compared to ground soil terrace, equivalent to R\$ 3,249.00.

Based on the potential for water infiltration by the porous concrete paving block terrace for the city of Cambuquira equal to $58.8 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ and considering a value of R\$ 5.00 per m^3 of treated water, which would be used for non-potable purposes (environmentally incorrect) that will no longer be paid, the profit concerning the volume raised would be R\$ 2,940.00 in 10 years, totaling in the end a profit for the porous concrete paving block terrace of R\$ 47,616.00, corresponding to R\$ 6,189.00 above the profit provided by the ground soil terrace, approximately 15 %.

Conclusion

The cherry coffee drying process on a porous concrete block terrace provided better quality for both drinking and reducing the number of defects in the beans.

The construction of the porous concrete block terrace is economically viable compared to the ground soil terrace.

A potential for rainwater infiltration in the porous concrete block area of approximately $3.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ was identified. In the city of Cambuquira/MG, the volume with the potential to be infiltrated and stored is around $58.8 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$.

Viabilidade de terreiro revestido com blocos de concreto porosos para secagem do grão de café

Resumo

O sucesso da atividade cafeeira depende do processo de secagem dos grãos, visto que influencia grandemente a qualidade físico-química do café, gerando bebidas de boa ou má qualidade. Neste sentido, o tipo de terreiro tem grande influência na qualidade final do produto. Portanto, neste trabalho foram avaliados terreiros de terra batida e bloco de concreto poroso, sendo o experimento conduzido no município de Cambuquira/MG. Para tanto, foram construídos blocos de concreto porosos e de terra batida com as dimensões de $50 \times 50 \times 10 \text{ cm}$, totalizando 10 blocos de cada tipo de terreiro. O delineamento experimental foi em blocos casualidades (DBC), sendo utilizado o café cereja, com 10 repetições, totalizando 20 parcelas. Para a avaliação da capacidade de infiltração de água no bloco de concreto poroso, utilizou-se de um cilindro de 30 cm de diâmetro colocado no centro do bloco de concreto poroso, com as bordas inferiores rejuntadas com cimento para garantir a utilização somente da área interna do cilindro. O processo de secagem do café em terreiro de bloco de concreto poroso proporcionou melhor qualidade tanto na bebida quanto na redução do número de defeitos nos grãos. No município de Cambuquira, o potencial de infiltração e armazenamento de água pluvial é de $58,8 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando um horizonte de 10 anos (vida útil), a construção do terreiro de bloco de concreto poroso é economicamente viável em relação ao terreiro de terra batida, proporcionando ganhos de até 15 %.

Palavras-chave: Qualidade do café. Infiltração da água pluvial. Água da chuva.

References

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **16416**: Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.
- ACI – 522 - Cartilha da Associação Brasileira de Cimento Portland. Specification for Pervious Concrete Pavement. **American Concrete Institute**, 2010.
- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. Porto Alegre, “RBRH: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, jul/set 2000, 21-29. Available at: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>. Access on: 25 jun. 2020.
- BORÉM, F. M. **Cafecultura empresarial: produtividade e qualidade**. Pós Colheita do café, Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p. (Textos Acadêmicos).
- BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1605-1615, set./out. 2008. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500038&lng=en&nrm=iso. Access on: 25 jun. 2020.
- BRASIL, **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado e de café verde. Instrução Normativa n. 8 de 11/06/03. Brasília, 2003.
- CARVALHO, V. D. **Qualidade do Café**. Curso de Especialização Pós-Graduação “Lato-Senso” por Tutoria à Distância-Cafecultura Empresarial: Produtividade e Qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. v. 2, 73 p.
- CLIMATE-DATA, **Dados Climáticos**. 2012. Available at: www.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/cambuquira-176308/. Access on: 8 jun. 2019.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2018. Available at: www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2626-producao-do-cafe-em-2018-e-recorde-e-supera-61-milhoes-de-sacas. Access on: 25 maio 2019.
- COSTE, R. **Les caféiers et les cafés dans le monde**. Paris: Larose, 1955. 365 p.
- FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; PINTO, N. A. V. D.; NERY, M. C.; PÁDUA, F. R. M. de. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, 2003. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000500015&lng=en&nrm=iso. Access on: 25 jun. 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, nov./dez. 2011. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542011000600001&lng=en&nrm=iso. Access on: 25 jun. 2020.

GONÇALVES, C.M.; BANDEIRA, R. A.M. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Revista Transporte**, v. 25 n. 2 2017.

IBRACON – **Instituto Brasileiro do Concreto**. 2014 Available at: www.ibracon.org.br. Access on: 23 maio 2019.

KIM, H. K.; LEE, H. K. Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete. **Elsevier Journal**. Applied Acoustics, 2010.

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, 2008. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500030&lng=en&nrm=iso. Access on: 25 jun. 2020.

MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M.; ANJOS, V. D. de A.; MORI, E. E. M.; MATTOSO, L. H. C.; FIRMINO, A.; NASCIMENTO, C. J. F. Avaliações físicas, químicas e sensoriais de blends de café arábica com café canephora (Robusta). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 04, p. 271-277, out./dez. 2007.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, A. E.; BRAGANÇA, J. B. **Cultura do café conilon (instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil)**. Rio de Janeiro: IBC/DIPRO, 1987. 43 p.

POLASTRE, B.; SILVA, L. D. **Concreto permeável**. Universidade de São Paulo, 2006. Available at: <http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202006/Concreto%20permeavel.pdf>. Access on: 10 dez. 2019.

REINATO, C. H. R. **Secagem e armazenamento do café: aspectos qualitativos e sanitários**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2006.

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; SILVA, P.; ABRAHÃO, E. J. Qualidade da bebida dos cafés descascado, cereja, bóia e roça secados em terreiros de terra e lama asfáltica. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 31., 2005, Guarapari.

SALATI, E; SANTOS, A. A. dos NOBRES, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. (2004). Available at: <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm>. Access on: 25 jun. 2019.

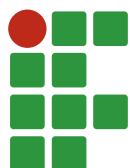
SANTOS, O. L.; REINATO, C. H. R.; JUNQUEIRA, J. D.; FRANCO, E. L.; SOUZA, C. W. A.; REZENDE, A. N. Custo-benefício da secagem de café em diferentes tipos de terreiro. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre v. 9, n. 4, dez. 2017. Available at: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/966>. Access on: 25 jun. 2020.

SILVA, J. S.; LACERDA FILHO, A. F. **Construção de secador para produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 17 p. (UFV. Informe técnico, 41).

VIANA, A. S.; MATIELLO, J. B.; SOUZA, T. Estudo do efeito de revestimento de terreiros no tempo de seca e na qualidade do café. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 2002. p. 53-56.

Received: March 16, 2020

Accepted: June 25, 2020



Arboreal community of an Atlantic Forest hillside fragment in São Sebastião/SP

Ana Beatriz Carvalho Terra¹

Gabriele Calle Bouças²

Marco Antônio Alves Garcia³

Abstract

The urban expansion and the growth of economic activities related to tourism added to the port and maritime ones, resulted in the occupation of the Serra do Mar, in the municipality of São Sebastião/SP, increasing environmental degradation. The objective of the study was to evaluate the arboreal patterns in a 0.111 ha fragment around a 4.8 ha clearing in an area of Atlantic Forest in the city of São Sebastião (SP), allowing the revegetation plan to include native species observed in the region. The phytosociological analyses used the Point-Centered Quarter Method (PCQM), using 50 sampling points (30 in close areas, 10 in the forest edge, and 10 near one of the areas drains), with a minimum distance of 20 meters between them. The main variables analyzed were commercial height, diameter to chest height, successional category, and dispersion syndrome. Also, the number of individuals of each species was observed, as well as their basal area (G), absolute and relative density (DA and DR) and dominance (DoA and DoR), relative frequency (FR), and importance value (VI). The results indicate a higher proportion of non-pioneer species, with *Guapira oppositte* (Vell.) presenting the highest value of importance and density, and the *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake with the highest basal area. The survey data indicate the richness of species in the study area, serving as a basis for strategies for management and conservation of the environment. Phytosociological studies, although scarce, are important to support the analysis of preservation and the use of nature.

Keywords: Degradation. Environment. Phytosociology. Recomposition.

Introduction

In Brazil, the economic growth by activities such as agriculture, livestock, mining, urbanization, and industrialization was not always related to the preservation of the environment (AZEVEDO-SANTOS *et al.*, 2017; SOARES-FILHO *et al.*, 2014). Throughout its history, this continuous process of predatory interaction has led to a high amount of degraded areas and compromised provision of essential ecosystem services, as a major associated restoration liability (BRANCALION *et al.*, 2016; REZENDE *et al.*, 2018). Degradation levels vary between phytogeographic domains depending on the occupation history, with the Atlantic domain standing out concerning the others in association with the old occupation and its economic importance (BRANCALION *et al.*, 2016; JOLY *et al.*, 2014; REZENDE *et al.*, 2018).

1 Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS). Doutoranda em Agricultura Sustentável. anabeatriz.terra@hotmail.com.

2 Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheira Florestal. gabrielecalleb@gmail.com.

3 Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL). Professor Doutor. marco.garcia@unifal-mg.edu.br.

The Atlantic Forest corresponds to the second largest mass of tropical forests in South America, extending in narrow bands along the entire east coast of Brazil and in the southeast and south of the country (NEVES *et al.*, 2017; OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2009; TABARELLI *et al.*, 2005). It is an area of great biological diversity with high levels of endemism, being classified as a priority area for the conservation of biodiversity and tropical ecosystem services (JOLY *et al.*, 2014; MYERS *et al.*, 2000; TABARELLI *et al.*, 2005). However, due to the ancient occupation and the different economic cycles to which it was subjected, it is currently concentrated in small fragments (REZENDE *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2009). It is estimated that the Atlantic Forest has only 7.6 % of its original extension, which represents 98,800km² (MORELLATO; HADDAD, 2006), with more than 80% concentrated in small fragments of up to 50 ha (RIBEIRO *et al.*, 2009). It is a worrying situation due to the possibility of compromising the provision of ecosystem services, considering that about two-thirds of the population and the country's gross domestic product (GDP) are concentrated in the region (JOLY *et al.*, 2014; REZENDE *et al.*, 2018).

Considering the entire conservation context of the Atlantic domain, efforts have been made to build knowledge that can assist in the restoration of its ecosystems (JOLY *et al.*, 2014; SCARANO; CEOTTO, 2015). There is a huge environmental liability in the region, in areas that have been subjected to past economic activities related to various sectors of the economy, such as agribusiness, forestry production, mining, among others (REZENDE *et al.*, 2018; TABARELLI *et al.*, 2005). Such restoration contexts offer different challenges and possibilities, in which certain regions have liabilities related to rural properties, while others are more related to mining activity (JOLY *et al.*, 2014; REZENDE *et al.*, 2018). The impacts carried out in each of the activities will determine the local characteristics, depending on the impacting agent (cattle, soil removal etc.), which will be crucial to think about the strategies to be implemented so that the success of the restoration is enhanced (CHAZDON, 2014).

Within the domain, there is still a high heterogeneity of environmental, social, and economic conditions, which will determine directions, difficulties, and opportunities for environmental conservation (NEVES *et al.*, 2017). The northern coastal region of the state of São Paulo is associated with the remarkable presence of the Serra do Mar in all its extension, which has been a natural barrier to the urban expansion of cities close to the region. This context hindered the region's relations with the others present in the state, which contributed to the partial preservation of forests, with some conservation units such as the "Trecho da Serra" in the city of São Sebastião, which is the focus of this study. However, the growth of tourism-related economic activities plus ports and maritime activities resulted in higher labor demand, increasing migration to the region (MARANDOLA JR *et al.*, 2013). Thus, the occupation of the naturally unstable slopes of the Serra do Mar, without adequate protection works, led to the emergence of risk areas.

In this region, restoration activities are associated with areas that have suffered past mining activities, with areas with rugged relief that hinder even alternative land uses. Thus, studies are needed to build knowledge related to the region's vegetation that can serve as a basis for efficient and effective restoration activities. Studies are needed that explore the floristic composition of the region, as well as the ecological strategies present and that condition success, so that possible interventions can be planned to reach stages closer to restoration. (CHAZDON, 2014).

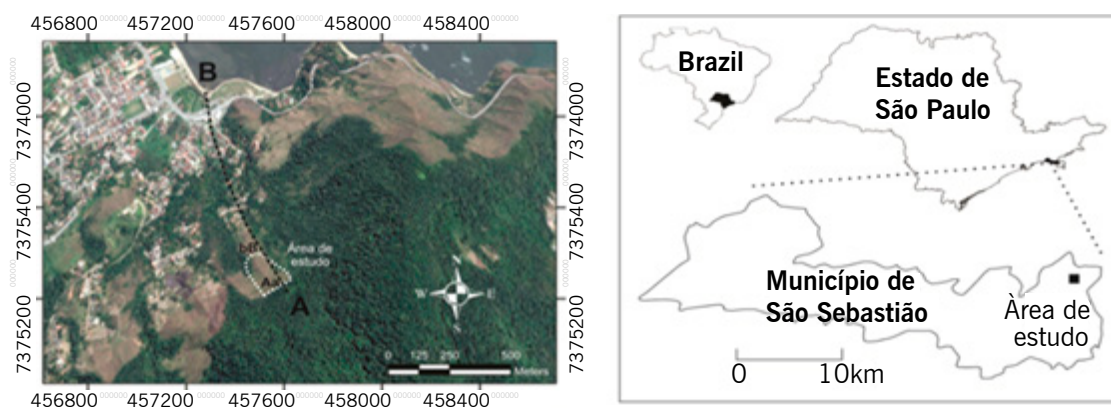
In this sense, the objective of the study was to evaluate the arboreal patterns in a 0.111 ha fragment around a 4.8 ha clearing in an area of Atlantic Forest in the city of São Sebastião/SP. This work aims to offer knowledge about the regional vegetation, which can be supported by the environmental recovery of the adjacent degraded areas.

Materials and methods

Study area

The study site is in the municipality of São Sebastião, southeast of São Paulo state on its north coast. It occupies approximately 410 km², of which about 70 % are in Serra do Mar state park. It is limited to the north with the municipality of Caraguatatuba, west-northwest with Salesópolis, and west with Bertioga (GARCIA, 2005). It is bathed by the Atlantic Ocean throughout the south and east-northeast sector by the São Sebastião Channel (FIGURE 1). The area is located near an Atlantic Forest fragment with 4,8 hectares, where the original vegetation was composed of a dense ombrophilous forest (JOLY *et al.*, 2012). Nowadays the fragment is covered by pastures surrounded by native vegetation, both in the lateral and upstream slopes, where are the highest altitudes.

Figure 1 – The figure indicates the location of the city of São Sebastião in the State of São Paulo, as well as the study area within the municipality. Points A refers to “Serra do DOM” and point B represents “Praia da Enseada”.



Source: Elaborated by the authors (2020).

The beginning of fragmentation and opening of areas for agricultural and urban exploration in the region began about 40 years ago slowly and gradually, by the residents themselves with the palm exploitation, the extract of wood for construction and daily use and also for the occupation for subsistence agriculture. Nowadays, the native population is aware of the importance of ecological balance, as they have noticed large differences in the environment after vegetation removal, being water scarcity one of the major concerns, as local supplies are largely linked to the springs that surround the area.

Pereira and Nunes (1997), analyzing data from 25 years (1970-1994), made the rainfall compartmentalization of the municipality of São Sebastião/SP. The study area, according to the survey of the above-mentioned authors, is located where the annual average rainfall is about 1,702.0 mm.

Data collection and analysis

The Point-Centered Quarter Method (PCQM) was used for the elaboration of the vegetal recomposition model of the clearing, data were obtained through the floristic inventory. The PCQM has been often used to sample plant communities, particularly forests (BRITO *et al.* 2007; MOREIRA *et al.* 2007; RUSCHEL *et al.* 2009). Fifty sample points were launched in stretches of Dense Montana Ombrophylous Forest, 30 points in the closed-canopy area, 10 points in the forest edge, and 10 points near one of the area drains. Thus, it was contemplated the physiognomic variations present in the study area and its surroundings, sampling the largest number of species. The points had a minimum distance

of 20 meters from each other, thus ensuring that the same individual was not sampled twice. In each point, the four nearest trees were included in the sample.

The main variables collected had scientific name; commercial height (visually estimated); diameter at breast height (DBH), successional category, and dispersion syndrome. Thus, for each species were obtained: the number of individuals sampled, the number of occurrences, and basal area. The number of individuals (NI) corresponds to the number of trees of the same species sampled; The percentage over the total (200 individuals) was also calculated. The number of occurrences (NO) refers to the number of times the species occurred, considering the sample points, in this case, the percentage over the total (50 points) was also calculated. The basal area (G) is an estimator of the horizontal spatial occupation of the tree (associated with its size), and its calculation is obtained from the tree trunk diameter at 1.30 m from the ground. The basal area presented by species refers to the sum of its individuals and the percentage over the total was calculated.

For the evaluation of phytosociological parameters (MÜELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974), it was estimated the basal area (G) of the sampled area, absolute density (DA) and relative density (DR), relative frequency (FR), absolute dominance (DoA) and relative dominance (DoR) and value of importance (VI). The estimation of the ecological importance of families in the studied ecosystem was made by their relative density and dominance (MORI; BOOM, 1983) and the cover value (VC) highlighting the ecological importance of species in terms of distribution, based on density and dominance. For these analyzes, the Microsoft Excel for Windows program was used.

Results and discussion

We sampled 200 individuals, distributed in 28 families, 55 genera, and 71 tree species. The families with the highest species richness were: Myrtaceae (14 species), Fabaceae (8 species), and Lauraceae (6 species), totaling 38.4 % of the sampled species (TABLE 1). The non-pioneer species was the most representative successional category, with 54 species (~76 %), while the pioneers are represented by 17 species (~24 %) (TABLE 1). The Zoochoric dispersion syndrome is the most common with 60 species (84.5 %), while Anemochoric dispersion syndrome is represented by 11 species (15.5 %) (TABLE 1).

Table 1 – List of families and tree species found in the survey, as well as their popular name, succession category, and dispersion syndrome (Zoochoric or Anemochoric).

Family	Scientific name	Popular name	Successional Category*	Dispersion Syndrome
Annonaceae	<i>Duguetia lanceolata</i> A.St.-Hil	Araticum	P	Zoochoric
Annonaceae	<i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil	Pindaíba	NP	Zoochoric
Annonaceae	<i>Rollinia sericea</i>	Araticum	NP	Zoochoric
Arecaceae	<i>Bactris setosa</i> Mart.	Tucum	NP	Zoochoric
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Palmito Jussara	NP	Zoochoric
Asteraceae	<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) H.Rob.	Vassourão	P	Anemochoric
Bignoniaceae	<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	Jacarandá	NP	Anemochoric
Bignoniaceae	<i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC.	Caixeta	P	Anemochoric
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) DC.	Fruta-de-Veado	P	Zoochoric
Chrysobalanaceae	<i>Licania hoehnei</i> Pilg.	Licania	NP	Zoochoric

(continua...)

Table 1 – Continuation.

Family	Scientific name	Popular name	Successional Category*	Dispersion Syndrome
Chrysobalanaceae	<i>Licania</i> sp.	Licania	NP	Zoochoric
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	Tapiá	P	Zoochoric
Lauraceae	<i>Licaria armeniaca</i> (Nees) Kosterm.	Canela	NP	Zoochoric
Lauraceae	<i>Nectandra grandiflora</i> (Nees)	Canela-Amarela	NP	Zoochoric
Lauraceae	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	Canela	NP	Zoochoric
Lauraceae	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	Canela-Ferrugem	NP	Zoochoric
Lauraceae	<i>Nectandra puberula</i> (Schott) Nees	Canela-Branca	NP	Zoochoric
Lauraceae	<i>Ocotea dispersa</i> (Nees & Mart.) Mez	Canela-Sabão	NP	Zoochoric
Lecythidaceae	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	Jequitibá	NP	Anemochoric
Fabaceae	<i>Albizia hassleri</i> (Chodat) Burkart	farinha-seca	P	Anemochoric
Fabaceae	<i>Dahlstedtia pinnata</i> (Benth.) Malme	Timbó	NP	Anemochoric
Fabaceae	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	Alecrim-de-Campinas	NP	Anemochoric
Fabaceae	<i>Hymenaea</i> sp.	Jatobá	NP	Zoochoric
Fabaceae	<i>Inga edwalli</i> (Harms) T.D.Penn	Ingá	P	Zoochoric
Fabaceae	<i>Inga marginata</i> Willd	Ingá	P	Anemochoric
Fabaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Pau-jacaré	P	Anemochoric
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Guapuruvu	P	Anemochoric
Magnoliaceae	<i>Magnolia ovata</i> (A. St. -Hill) Spreng.	Pinha-D'água	NP	Zoochoric
Malvaceae	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A. Robyns	Imbiruçu	NP	Anemochoric
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	Marinheiro	NP	Zoochoric
Meliaceae	<i>Trichilia silvatica</i>	Catiguá	NP	Zoochoric
Meliaceae	<i>Trichilia pallens</i> C. DC.	Arco-de-Peneira	NP	Zoochoric
Melastomataceae	<i>Miconia latecrenata</i> (DC.) Naudin	Pixirica	P	Zoochoric
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.	Pixirica	P	Zoochoric
Melastomataceae	<i>Tibouchina estrellensis</i> (Raddi) Cogn.	Quaresmeira	P	Zoochoric
Myristicaceae	<i>Virola oleifera</i> (Schott) A. C. Smith	Ucuúba	NP	Zoochoric
Monimiaceae	<i>Mollinedia uleana</i> Perkins	Capixim	NP	Zoochoric
Moraceae	<i>Ficus enormis</i> (Miq.) Miq.	Figueira	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Calyptranthes grandiflora</i>	Murta	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Calyptranthes lucida</i> Mart. Ex DC.	Guamirim	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	Guabiroba	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia cerasiflora</i> Miq.	Mamoneira	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia multicostata</i> D. Legrand	Araçá-Piranga	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp. 1	Eugênia	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp. 2	Eugênia	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia veriflora</i>	Eugênia	NP	Zoochoric

(continua...)

Table 1 – Continuation.

Family	Scientific name	Popular name	Successional Category*	Dispersion Syndrome
Myrtaceae	<i>Gomidesia</i> sp. 1	Ameixa-do-Mato	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Gomidesia</i> sp. 2	Ameixa-do-Mato	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Marlierea parviflora</i> O. Berg	-	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Myrcia cf. pubipetala</i> Miq.	Goiabão	NP	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Guamirim-de-folha Fina	NP	Zoochoric
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Maria-Mole	NP	Zoochoric
Phyllanthaceae	<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	Aricurana	NP	Zoochoric
Piperaceae	<i>Piper miquelianum</i> DC.	-	NP	Zoochoric
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	-	NP	Zoochoric
Rubiaceae	<i>Alibertia myrciifolia</i> Spruce ex K. Schum	Garapatica	NP	Zoochoric
Rubiaceae	<i>Coussarea contracta</i> (Walp.) Müll. Arg.	-	NP	Zoochoric
Rubiaceae	<i>Psychotria mapourioides</i> DC	-	NP	Zoochoric
Rubiaceae	<i>Rudgea</i> sp.	-	NP	Zoochoric
Rutaceae	<i>Conchocarpus fontanesianus</i> (a. St. -Hill.) Kallunki & Pirani	-	NP	Zoochoric
Rutaceae	<i>Pilocarpus</i> sp.	Jaborandi	NP	Zoochoric
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Guaçatonga	P	Zoochoric
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A. St. -Hill., Cambess. & A. Juss.) Radlk	Chau-Chau	NP	Zoochoric
Sapindaceae	<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	Cuvatã	NP	Zoochoric
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum inornatum</i> Mart.	Aguaí	NP	Zoochoric
Sapotaceae	<i>Ecclinusa ramiflora</i> Mart.	Uacá	NP	Zoochoric
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp.	-	NP	Zoochoric
Solanaceae	<i>Solanum argenteum</i> Dun. Ex Poir	Solanum Prata	P	Zoochoric
Solanaceae	<i>Solanum pseudoquina</i> A. St. -Hill	Joá-de-Árvore	P	Zoochoric
Symplocaceae	<i>Symplocos celastrinea</i> Mart.	-	NP	Zoochoric
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich	Urtiga	P	Zoochoric

*NP: Non-pioneer species. P: Pioneer species

Source: Elaborated by the authors (2020).

The main families found are very characteristic for forests in the state of São Paulo, however the richness varies according to the formation, degree of disturbance, and stratum. Joly *et al.* (2012) in a study on floristics and phytosociology in permanent plots of the Atlantic Forest also found that, in an area of dense montane forest, the families with the largest number of species were Myrtaceae, Fabaceae, Rubiaceae, and Lauraceae. Fabaceae and Lauraceae are typical of the canopy and emergent; Rubiaceae, Myrtaceae, and Melastomataceae are prominent in the understory; Euphorbiaceae and Sapindaceae participate in both strata; and Solanaceae is frequent in disturbed areas, in forest edges (MANTOVANI, 1993). According to Padgurschi *et al.* (2011), several studies show a high density of these families in the Montana Atlantic Forest (DIAS, 2005; GUILHERME *et al.*, 2004; MANTOVANI, 1993; OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000; ROBIM *et al.*, 1990; TABARELLI; MANTOVANI, 1999) being, therefore, characteristics of this phytophysiology.

The results found greater participation of non-pioneer and zoochoric species indicate a high stage of conservation of the fragment, which is in accordance with the conservation status of the region. The largest number of non-pioneers plants to an advanced silvigenic stage, in which species characteristic of high successional stages are composing the community (OLDEMAN, 1983). The higher proportion of zoochoric indicates the participation of biotic agents in the ecological patterns of the landscape, as they act in the seed's dispersion (BUDKE *et al.*, 2005; CARVALHO *et al.*, 2010). This participation is probably also related to the conservation status of the region, which has conservation units that shelter native fauna.

Among the sampled species, *Guapira oppositte* (Vell.) Reitz showed a higher value of VI and consequently greater sociological importance, mainly due to their higher basal area and density values compared to other species. However, when analyzing the parameters of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, the third species in VI, it is noted that the superior value obtained for basal area indicates the sociological dominance of this species, even though it has a low relative density (1.5 %) and relative frequency (1.9 %) (TABLE 2).

Table 2 – Distribution of the 20 species with the highest importance in the Importance Value (VI) in the sampled area.

Species	NI*	NO*	G*	DR*	FR*	DoR*	VC*	VI*
<i>Guapira oppositte</i> (Vell.) Reitz	20	15	0,352	10	9,5	4,94	24,4	24,43
<i>Nectandra puberula</i> (Schott) Nees	6	5	0,832	3	3,2	11,7	17,8	17,83
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	3	3	1,006	1,5	1,9	14,1	17,5	17,51
<i>Guatteria austrails</i> A.St.-Hil	8	3	0,741	4	1,9	10,4	16,3	16,29
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart) J.F.Macbr	7	5	0,496	3,5	3,2	6,95	13,6	13,61
<i>Trichilia pallens</i> C. DC.	11	6	0,109	5,5	3,8	1,53	10,8	10,83
<i>Symplocos celastrinea</i> Mart.	6	4	0,342	3	2,5	4,79	10,3	10,32
<i>Ficus enormis</i> (Miq.)Miq.	1	1	0,58	0,5	0,6	8,14	9,27	9,27
<i>Eugenia</i> sp. 2	4	4	0,311	2	2,5	4,37	8,9	8,9
<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	8	5	0,09	4	3,2	1,26	8,42	8,42
<i>Calypthranthes grandiflora</i>	5	4	0,112	2,5	2,5	1,57	6,6	6,6
<i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.)DC.	5	5	0,041	2,5	3,2	0,58	6,24	6,24
<i>Talauma ovata</i>	5	3	0,07	2,5	1,9	0,98	5,37	5,38
<i>Solanum pseudoquina</i> A. St. -Hill	3	2	0,168	1,5	1,3	2,35	5,12	5,12
<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A. Robyns	4	4	0,033	2	2,5	0,47	5	5
<i>Hymenaea</i> sp.	4	4	0,029	2	2,5	0,4	4,94	4,93
<i>Solanum argenteum</i> Dun. Ex Poir	4	3	0,048	2	1,9	0,67	4,57	4,57
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	2	2	0,158	1	1,3	2,21	4,48	4,48
<i>Trichila silvatica</i>	3	3	0,072	1,5	1,9	1,01	4,41	4,41
<i>Marlierea parviflora</i> O. Berg	3	3	0,071	1,5	1,9	1	4,4	4,4

*NI: Number of individuals; NO: Number of occurrences; G: Basal area; DR: relative density; DoR: relative dominance; VC: Cover value; VI: value of importance.

Source: Elaborated by the authors (2020).

The importance of species is related to density, frequency, and dominance values (LAMPRECHT, 1990). High values of these three parameters represent the most important species when only the community structure is evaluated. However, species with low density, but high frequency and

dominance represent dominant and isolated trees, in small numbers, but scattered with some regularity over relatively large areas. Basal area (G) may be an important indicator of the degree of the degradation of the area. Ramos *et al.* (2011) associated the low values of basal area to several anthropic factors that cause disturbances in these places. While higher values are related to a better conservation status (KURTZ; ARAÚJO, 2000; MORENO *et al.*, 2003; SZTUTMAN; RODRIGUES, 2002). According to Table 2, it is observed that the species *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake. was the one with the highest basal area value when compared to the others.

The relevant numerical data that may support the plant recomposition project are the number of individuals per species, the number of occurrences of the species at the sampling points (frequency), and the value of importance. Arruda and Daniel (2007) state that phytosociological studies can constitute a theoretical basis to assist in the preservation and use of flora resources, contributing to the recovery of degraded sites.

Conclusion

The results indicate a higher proportion of non-pioneer species, with *Guapira oppositte* (Vell.), presenting the highest value of importance and density, and the *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake with the highest values of basal area.

The survey data indicate the richness of species in the study area, serving as a basis for strategies for management and conservation of the environment. Phytosociological studies, although scarce, are important to support the analysis of preservation and the use of nature.

Comunidade arbórea em um fragmento de encosta de Mata Atlântica em São Sebastião/SP

Resumo

A expansão urbana e o crescimento das atividades econômicas associadas ao turismo, somadas às portuárias e marítimas, resultaram na ocupação das vertentes da Serra Mar, no município de São Sebastião/SP, aumentando a degradação ambiental. O objetivo do estudo foi avaliar o padrão arbóreo em um fragmento de 0,111 ha ao redor de uma clareira de 4,8 ha, localizado na Mata Atlântica na cidade de São Sebastião/SP, permitindo que o plano de revegetação incluía espécies nativas observadas na região. A análise fitossociológica foi feita utilizando o método de quadrantes centrados, por meio da amostragem de 50 pontos (30 em áreas próximas, 10 em áreas de borda e 10 próximas a uma das áreas de drenagem), havendo uma distância mínima de 20 metros entre elas. Foi ainda observado o número de indivíduos de cada espécie, bem como sua área basal (G), densidade relativa e absoluta (DR e DA) e dominância relativa e absoluta (DoA e DoR), frequência relativa (FR) e o valor de importância (VI). Os resultados indicaram uma maior proporção de espécies não pioneiras, sendo a *Guapira oppositte* (Vell.) com os maiores valores de importância e densidade, e a *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake com a maior área basal. Os dados analisados demonstram a riqueza de espécies na área de estudo, servindo como base para estratégias de manejo e conservação do meio ambiente. Estudos fitossociológicos, embora escassos, são importantes para subsidiar análises de preservação e de uso da natureza.

Palavras-chave: Degradação. Meio ambiente. Fitossociologia. Recomposição.

References

ARRUDA, L.; DANIEL, O. Floristics and diversity in a seasonal alluvial semideciduous forest fragment in Dourados, MS (Portuguese). **Revista Floresta**, v. 37, p. 187-199, 2007. Available at: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/8649/6006>. Access on: 12 dec. 2019.

AZEVEDO-SANTOS, V. M.; FEARNSTIDE, P. M.; OLIVEIRA, C. S.; PADIAL, A. A.; PELICICE, F. M.; LIMA Jr., D. P.; SIMBERLOFF, D.; LOVEJOY, T. E.; MAGAHÃES, A. L. B.; ORSI, M. L.; AGOSTINHO, A. A.; ESTEVES, F. A.; POMPEU, P. S.; LAURANCE, W. F.; PETRERE Jr.; MORMUL, R. P. VITUALE J. R. S. Removing the abyss between conservation science and policy decisions in Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, p. 1745–1752, 2017. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-017-1316-x>. Access on: 10 nov. 2019.

BRANCALION, P. H. S.; SCHWEIZER, D.; GAUDARE, U.; MANGUEIRA, J. R.; LAMONATO, F.; FARAH, F. T.; NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 856-867, 2016. Available at: http://lerf.eco.br/img/publicacoes/2016_Brancalion_etal_custos_ativa_passiva. Access on: 12 dec. 2019.

BRITO, A.; FERREIRA, M. Z.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. S.; DONIZETTE, A. O.; ACERBI JR., F. W. Comparação entre os métodos de quadrantes e prodon para análises florística, fitossociológica e volumétrica. **Cerne**, v.13, n.4, p.399-405, 2007. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74413408.pdf>. Access on: 12 dec. 2019.

BUDKE, J. C.; ATHAYDE, E. A.; GIEHL, E. L. H.; ZÁCHIA, R. A.; EISINGER, S. M. Composição florística e estratégias de dispersão de espécies lenhosas em uma floresta ribeirinha, arroio Passo das Tropas, Santa Maria, RS, Brasil. **Iheringia**, v. 60, p. 17-24, 2005. Available at: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/viewFile/202/209>. Access on: 25 nov. 2019.

CARVALHO, F. A. Síndromes de dispersão de espécies arbóreas de florestas ombrófilas submontanas do estado do Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 1017-1023, 2010. Available at: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n6/a07v34n6.pdf>. Access on: 15 nov. 2019.

CHAZDON, R. L. **Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation**. Chicago: Univ. Chicago Press, 2014. Available at: <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo17407876.html>. Access on: 16 nov. 2019.

DIAS, A. C. **Floristic composition, phytosociology, species diversity and samples methods comparison in the dense ombrophilous forest in the Carlos Botelho State Park/SP – Brazil (Portuguese)**, 2005, PhD thesis, University of São Paulo, São Paulo. Available at: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12052005-143829/pt-br.php>. Access on: 14 nov. 2019.

GARCIA, M. A. A. **Hillside Recovery (Portuguese)**. São Paulo: LCTE Editora, 2005.

GUILHERME, F. A. G.; MORELLATO, P. C.; ASSIS, M. A. Horizontal and vertical tree community structure in a lowland Atlantic Rain Forest, Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27,

p. 725-737, 2004. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042004000400012&lng=en&nrm=iso. Access on: 16 nov. 2019.

JOLY, C. A.; ASSIS, M. A.; BERNACCI, L. C.; TAMASHIRO, J. Y.; CAMPOS, M. C. R.; GOMES, J. A. M. A.; LACERDA, M. S.; SANTOS, F. A. M.; PEDRONI, F.; PEREIRA, L. S.; PADGURSCHI, M. C. G.; PRATA, E. M. B.; RAMOS, E.; TORRES, R. B.; ROCHELLE, A.; MARTINS, F. R.; ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, A.; CAMARGO, P. B.; AIDAR, M. P. M.; EISENLOHR, P. V.; SIMÕES, E.; VILLANI, J. P.; BELINELLO, R. Floristic and phytosociology in permanent plots of the Atlantic Rainforest along an altitudinal gradient in southeastern Brazil (Portuguese). **Biota Neotropica**, v. 12, p. 123-145, 2012. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032012000100012&lng=en&nrm=iso. Access on: 25 nov. 2019.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014. Available at: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12989>. Access on: 12 dec. 2019.

KURTZ, B. C., ARAÚJO, D. S. D. Floristic composition and structure of the tree component of a stretch of Atlantic Forest at Paraíso State Ecological Station, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brazil (Portuguese). **Rodriguésia**, v. 51, p. 69-111, 2000.

LAMPRECHT H. **Forestry in the tropics: - Forest ecosystems and their tree species: possibilities and methods of sustainable use**. Eschborn: Silviculture Institute of University of Göttingen, GTZ, 1990. Available at: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE95R0053>. Access on: 30 oct. 2019.

MANTOVANI, W. **Structure and dynamics of the Atlantic Forest in Juréia, Iguape, SP (Portuguese)**, 1993. PhD Thesis, Institute of Biosciences, University of Sao Paulo, Sao Paulo.

MARANDOLA JR, E.; MARQUES, C.; PAULA, L. T.; CASSANELI, L. B. Urban growth and risk areas on the north coast of São Paulo (Portuguese). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, p. 35-36, 2013. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982013000100003&script=sci_abstract. Access on: 19 dec. 2019.

MOREIRA, L. N.; MORENO, M. R.; REDLING, J. S. H. Estrutura populacional de *Senefeldera multiflora* em um trecho de borda na Mata Atlântica Estacional Semidecidual da Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p. 669-671, 2007. Available at: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/680/570>. Access on: 19 dec. 2019.

MORELLATO, P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2006. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00618.x>. Access on: 30 nov. 2019.

MORENO, M. R.; NASCIMENTO, M. T.; KURTZ, B. C. Structure and floristic composition of tree communities in two altitudinal zones in an Atlantic forest in the Imbé Region, RJ, Brazil (Portuguese). **Acta Botanica Brasílica**, v. 17, p. 371-386, 2003. Available at: http://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea_imagens/downloads/pesquisas/PE_Desengano/Moreno_etal_2003.pdf. Access on: 06 dec. 2019.

MORI, A. S.; BOOM, B. Ecological importance of Myrtaceae in an eastern Brazilian wet forest. **Biotropica**, v. 15, 68-70, 1983.

MÜLLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods for vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. Available at: https://www.researchgate.net/publication/259466952_Aims_and_methods_of_vegetation_ecology. Access on: 23 nov. 2019.

MYERS, N.; RUSSEL, A. M.; CRISTINA, G. M.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000. Available at: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Access on: 27 oct. 2019.

NEVES, D. M.; DEXTER, K. G.; PENNINGTON, R. T.; VALENTE, A. S. M.; BUENO, M. L.; EISENLOHR, P. V.; FONTES, M. A. L.; MIRANDA, P. L. S.; MOREIRA, S. N.; REZENDE, V. L.; SAITER, F. Z.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 8, p. 898-909, 2017. Available at: https://www.researchgate.net/publication/315807198_Dissecting_a_biodiversity_hotspot_The_importance_of_environmentally_marginal_habitats_in_the_Atlantic_Forest_Domain_of_South_America. Access on: 25 oct. 2019

OLDEMAN, R. A. A. Tropical rain forest, architecture, silvigenesis, and diversity. In: SUTTON, S. L.; WHITMORE, T. C., CHADWICK, A. C. **Tropical rain forest: ecology and management**. Oxford: Blackwell, 1983. p. 131-150. Available at: <https://research.wur.nl/en/publications/tropical-rain-forest-architecture-silvigenesis-and-diversity>. Access on: 7 nov. 2019.

OLIVEIRA FILHO, A. T., FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, v. 32, p. 793-810, 2000. Available at: https://www.researchgate.net/publication/284702091_Patterns_of_floristic_differentiation_among_Atlantic_Forests_in_Southeastern_Brazil_and_the_influence_of_climate. Access on: 13 jan. 2020.

PADGURCHI, M. C. G.; PEREIRA, L. S.; TAMASHIRO, J. Y.; JOLY, C. A. Floristic composition and similaritie between areas of Montane Atlantic Rainforest, São Paulo, Brazil. (Portuguese), **Biota Neotropica**, v. 11, p. 139-152, 2011. Available at: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1676-06032011000200014&script=sci_arttext. Access on: 23 jan. 2020.

PEREIRA, P. R. B.; NUNES, L. H. Rain distribution and environmental problems in the municipality of São Sebastião, State of São Paulo, Brasil. In: 6TH MEETING OF GEOGRAPHERS OF LATIN AMERICA. Buenos Aires, 1997, p.9.

RAMOS, E.; TORRES, R. B.; VEIGA, R. F. A. V.; JOLY, C. A. Study of the arboreal component in two areas of the Submontane Rainforest in Ubatuba, São Paulo State. **Biota Neotropica**, v. 11, p.313-335, 2011. Available at: https://www.researchgate.net/publication/297518468_Study_of_the_arboreal_component_in_two_areas_of_the_Submontane_Rainforest_in_Ubatuba_Sao_Paulo_State. Access on: 20 jan. 2020.

REZENDE, C. L.; SCARANO, F. R.; ASSAD, E. D.; JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; STRASSBURG, B. B. N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G. A.; MITTERMEIER, R. A. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214,

2018. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064418301317>. Access on: 15 dec. 2019.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. Available at: http://www.conexaoambiental.pr.gov.br/sites/conexao-ambiental/arquivos_restritos/files/documento/2018-11/ribeiro_2009_biological-conservation.pdf. Access on: 28 nov. 2019.

ROBIM, M. J.; PASTORE, J. A.; AGUIAR, O. T.; BAITELLO, J. B. Arboreus shrubby and herbal flora of the Campos do Jordão State Park (SP). (Portuguese), **Revista do Instituto Florestal**, v. 2, p. 31-53, 1990. Available at: <https://smastr16.blob.core.windows.net/ifiorestal/2019/09/rev-if-v2-n1-31-53.pdf>. Access on: 28 nov. 2019.

RUSCHEL, A. R.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. Estrutura e composição florística de dois fragmentos da floresta estacional decidual do Alto-Uruguai, SC. **Ciência Florestal**, v.19, p.225-236, 2009. Available at: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v19n2/1980-5098-cflo-19-02-00225.pdf>. Access on: 30 jan. 2020.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319-2331, 2015. Available at: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Scarano_Ceotto%202015.pdf. Access on: 27 jan. 2020.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v.344, p.363-364, 2014. Available at: http://lerf.eco.br/img/publicacoes/Soares_Filho_et_al_2014_artigo_Science.pdf. Access on: 19 nov. 2019.

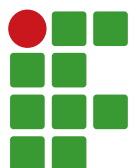
SZTUTMAN, M.; RODRIGUES, R. R. Vegetational mosaic of contiguous forest area in a coastal plain, Campina do Encantado State Park, Pariquera-Açu, SP, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, p. 161-176, 2002. Available at: https://www.researchgate.net/publication/262664749_Vegetational_mosaic_of_contiguous_forest_area_in_a_coastal_plain_Campina_do_Encantado_State_Park_Pariquera-Acu_SP. Access on: 18 jan. 2020.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. The richness of tree species in the Atlantic hillside forest in the state of São Paulo (Brazil) (Portuguese). **Revista Brasileira de Botânica**, 25, p. 217-233, 1999.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HORTA, M.; BEDÊ, L. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 695-700, 2005. Available at: http://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea_imagens/downloads/pesquisas/Tabarelli_et_al_2005.pdf. Access on: 16 dec. 2019.

Submitted: March 16, 2020.

Accepted: July 09, 2020.



Efficacy of tank mixtures of post-emergence herbicides in common bean

Júlia Carvalho Costa¹

Silvino Guimarães Moreira²

Antonio Henrique Fonseca de Carvalho³

Guilherme Vieira Pimentel⁴

Diego Rafael Quispe Torres⁵

Junior César Resende Silva⁶

Abstract

In common bean, the occurrence of weeds can cause significant reductions in the final grain yield. This study aimed to evaluate the efficiency of different herbicide trials, applied individually or in a mixture, in the management of common bean weeds. A randomized complete block was used, arranged in subdivided plots. The main plots consisted of three types of beans (Carioca Pérola cultivar, Black cultivar IPR Tuiuiu and one Red Bean strain VR20) and the subplots of different control modes, in four replications: hand weeding, fomesafen (250 g per hectare of ingredient active (g ha⁻¹ of a.i.)), fomesafen (375 g ha⁻¹ of a.i.), imazamox + bentazon (0,23 + 0,6g ha⁻¹ of a.i.), imazamox + bentazon + fomesafen (0.23 + 0.6 + 125 g ha⁻¹ of a.i.) and imazamox + bentazon + fomesafen (0.23 + 0.6 + 83 g ha⁻¹ of a.i.). The following traits were evaluated during three seasons: weeds present in the area, phytotoxicity symptoms, and common bean grain yield. The data were analyzed using a variance analysis (F test), the means obtained were grouped by the Scott Knott test at 5 % probability. Differences in grain yield performance were observed between cultivars and crops season due to herbicide application. The most efficacy treatment for weeds was imazamox + bentazon + fomesafen (230 + 600 + 125 g ha⁻¹ of a.i.), resulting in improved control and greater efficiency in avoiding grain yield losses.

Keywords: Chemical control. *Phaseolus vulgaris*. Grain Yield. Phytotoxicity. Weed.

Introduction

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) adapts to the diverse soil and climatic conditions of Brazil. Currently, weed interference is considered one of the most influential factors in reducing common bean yields in all growing seasons (BORCHARDTT *et al.*, 2011; LAMEGO *et al.*, 2011).

One of the major problems in controlling weeds in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the lacking availability of products the effective control of broadleaf weeds (dicotyledons) have been

1 Universidade Federal de Lavras- UFLA. Mestranda em Fitotecnia. juliacarvalhocos@gmail.com. Campus Universitário, Caixa Postal: 3037, Lavras/MG, Brasil, 37200-000.

2 UFLA. Professor. silvino.moreiraufila@gmail.com.

3 UFLA. Mestrando em Fitotecnia. antonio.carvalho@dag.ufla.br.

4 UFLA. Professor. guilherme.pimentel@ufla.br.

5 UFLA. Mestrando em Fitotecnia. rafo.quotres@gmail.com.

6 UFLA. Mestrando em fitotecnia. resendejunior62@gmail.com.

released in recent years (MANCUSO *et al.*, 2016). Herbicide Amplo® (bentazon + imazamox), one of the most used in the crop for broadleaf weed control, was released more than 10 years ago.

Due to the absence of new products, combinations of herbicides with pre and post-emergence action with different modes of action have been used to improve the levels of weed control (BRESSANIN *et al.*, 2015). The combination of these products contributes to reduce selection pressure and diminish new cases of resistant plants (GALON *et al.*, 2016).

Currently, 27 active ingredients are registered for weed control in beans in Brazil, three of which are applied before sowing or emergence, and 24 for post-emergence application. Nevertheless, only 7 of the active ingredients for a post-emergence application can control broadleaf weeds (dicotyledons), and 11 can control grass weeds (monocotyledons) (AGROFIT, 2018).

Although 11 active ingredients can control grass weeds in common bean, they all have the same mode of action. It is therefore difficult to rotate the mechanisms of action, as recommended in the literature. According to Weed Science (2018), these herbicides are ACCase (acetyl-CoA carboxylase) inhibitors and can be divided into two chemical groups oxime cyclohexanedione (DIMs) and aryloxyphenoxypropionic acid (FOPs).

Broadleaf weeds can be controlled by three products (imazamox, imazapyr, and imazethapyr) whose mechanism of action is the inhibition of ALS (acetolactate synthase), of the Imidazolinone group. Three other products inhibit PROTOX (protoporphyrinogen oxidase), i.e., fomesafen, acifluorfen-sodium, and acifluorfen, of which fomesafen is also recommended for pre-emergence weed management. Lastly, bentazon, whose mechanism of action is the inhibition of photosystem II (PSII) (MANCUSO *et al.*, 2016).

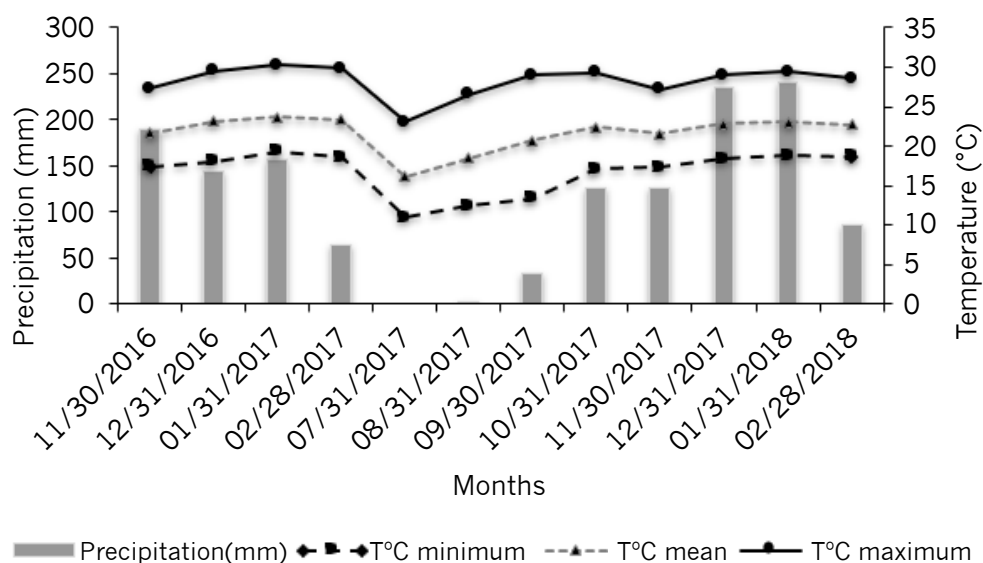
While some studies described efficient weed control by some products such as fomesafen (BARCELLOS JÚNIOR *et al.*, 2016), imazamox + bentazon (SILVA *et al.*, 2013), other studies reported undesirable injury in common bean. The latter products can compromise grain yield (FREITAS *et al.*, 2009; MANABE *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Also, most studies were performed with old cultivars no longer used in the current production systems. It is believed that there may be differences in sensitivity of the current cultivars to isolated molecules, as well as in the mixtures of the same, calling for further studies.

Another important factor was the permission to mix products in tanks in Brazil in 2019. Consequently, studies are required to test the efficacy of weed control as well as the potential phytotoxicity to the current cultivars of these blends. This study assessed the weed control efficacy and phytotoxicity of separate or combined herbicides for common bean cultivars, as well as the effect on yield-related traits of the grain classes carioca, black, and red.

Material and methods

The experiment was installed at the Muquem Farm of the Federal University of Lavras (UFLA), in Lavras, MG, during the growing seasons 2016 and 2017. The geographical coordinates of the farm are latitude 21°14' S, longitude 45°00' W, and altitude 918 m.

The climate in the county of Lavras has well-defined seasons, with a dry season from April to September and a rainy one from October to March, and is classified as Cwa, according to Köppen climate classification. The average annual temperature is around 20.4 °C, with means of 22.8 °C and 17.1 °C, respectively, in the hottest and coldest month. The annual precipitation is 1,460.0 mm, the total annual evaporation 1,034.3 mm and the mean annual relative humidity 76 %. The mean maximum and minimum temperatures and average monthly rainfall (FIGURE 1) and other data were provided by the Meteorological Station of Lavras.

Figure 1 – Diagram of the mean rainfall and maximum and minimum monthly temperatures in Lavras in 2016, 2017, and 2018.

Source: Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

The soil of the experimental area is the Oxisol, and the soil chemical properties of the area before the experiments are shown in Table 1.

Table 1 – Summary of the soil chemical analysis of the experimental areas in Lavras/MG, at a soil depth of 0-20 cm, in the growing seasons 2016/2017 and 2017/2018.

Growing season	pH	P ⁽¹⁾	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V
	H ₂ O	mg dm ⁻³								%
16/17 rainy	5,8	10,1	81	2,5	0,5	0,5	3,3	3,1	6,4	49
16/17 winter	5,9	23,1	142	3,8	0,8	0,1	3,4	3,9	8,3	59
17/18 rainy	5,7	8,70	153	2,9	0,8	0	4,1	4,1	8,2	50

SB= Sum of bases; T = CEC at pH 7; V= base saturation; ⁽¹⁾P Mehlich 1.

Source: Elaborated by the authors (2018).

The experiment was arranged in a randomized complete block design, in subdivided plots. The main plots consisted of three types of common bean (Carioca bean: Pérola, Black bean: IPR Tuiuiu, and Red bean: VR20) and the subplots of the different herbicides and mixtures, with four replications, in three growing seasons. The subplots consisted of a hand weeding treatment without herbicide and the others of the application of different herbicide mixtures (Table 2).

Table 2 – Common bean cultivars evaluated in the field in response to different treatments.

Commercial product	Active ingredient	Rates	
		p.c (L.ha ⁻¹)	ai (g L)
Hand weeding	-	-	-
Flex [®]	fomesafem	1	250
Flex [®]	fomesafem	1,5	375

(continuae...)

Table 2 – Continuation.

Commercial product	Active ingredient	Rates	
		p.c (L.ha ⁻¹)	ai (g L)
Ampló [®]	bentazon + imazamox	1	600 + 28
Ampló [®] + Flex [®]	bentazon + imazamox + fomesafem	1 + 0,5	600+ 28 + 125
Ampló [®] + Flex [®]	bentazon + imazamox + fomesafem	1 + 0,35	600 + 28 + 83

Source: Elaborated by the authors (2018).

Common bean was sown mechanically on November 10, 2016; July 21, 2017 and November 15, 2017, corresponding to the growing seasons 1, 2, and 3, respectively. Thirteen seeds per meter were planted in rows, spaced 0.6 m apart, for a plant density of 220,000 ha⁻¹. In the 2016/2017 rainy crop season, the subplots consisted of six 10 m long rows, making a total area of 36 m², and the plots composed of 648 m². On the other hand, in the fall/winter 2017 and 2017/2018 rainy crop season, each subplot consisted of six 6 m long rows, making a total area of 21,6 m², and the plots were composed of 388,8 m².

The seeds were treated with the fungicides carboxanilide + dimethyldithiocarbamate (Vitavax-Thiram[®] 200 + 200 g ha⁻¹ of a.i.), at a rate of 250 mL per 100 kg seeds and with fungicides/insecticide pyraclostrobin + thiophanate-methyl + fipronil (Standak Top[®], 25+ 225 + 250 g ha⁻¹ of a.i.), at a rate of 200 mL per 100 kg seeds.

The fertilization recommended for common bean was applied as proposed by Souza and Lobato (2004). Fertilization at sowing consisted of 320 kg ha⁻¹ of the fertilizer NPK 8-28-16, resulting in 26; 90; 51 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅, and K₂O, respectively. When the crop reached the phenological stage V3 (first trifoliolate leaf), cobalt and molybdenum were applied by mechanical spraying. Subsequently, side dressing was applied, with 100 kg N ha⁻¹, with urea as the source.

The herbicides were applied at 26, 25, and 29 days after crop emergence in growing season 1, 2, and 3 respectively. At that time, cultivar Pérola and IPR Tuiuiu plants were in stage V4.4 (fourth trifoliolate leaf) and cultivar VR20 in V4.3 (three trifoliolate leaves). For the application of the treatments, a CO₂ pressurized backpack sprayer with a syrup volume of 200 L ha⁻¹ was equipped with a bar with four spray nozzles type DG 110 02 that produced medium droplets at an average pressure of 200 kpa.

Hand weeding was performed only once with a hoe, on the same date as the herbicide application. To control the grass weeds in the area, fluazifop-p-butyl (Fusilade[®] 250 g ha⁻¹ of a.i.) at 1 L ha⁻¹ was applied across the experimental area, four days after treatment application (broadleaf herbicides) in all growing seasons.

At 7 and 14 days after herbicide application, the weed infestation level in each treatment was evaluated, by determining the number of weeds per species. To this end, the weeds contained within a square of 0.5 m x 0.5 m were counted. The plant density per species (plant m⁻²) was determined and the relative density was calculated as the number of plants per species in relation to the total (in %).

The phytotoxicity was evaluated according to the intoxication of the plants by a visual assessment of the damages in common bean, at 7 and 14 days after herbicide application. The scores were based on the mean of four replicates, attributed based on the grade scale, of the European Weed Research Council (EWRC), according to Melhorança (1984): 1: no damage; 2: small changes (discoloration, deformation) visible on some plants; 3: small changes (discoloration, deformation) on many plants; 4: strong discoloration (yellowing) or significant deformation, but no necrosis (tissue death); 5: necrosis (blackening) of some leaves, particularly on the edges, accompanied by leaf and shoot deformation;

6: necrosis (deformation) on more than 50% of the leaves and shoots; 7: more than 80% destroyed leaves and shoots; 8: extremely serious damage, leaving only minor green patches on the plants; 9: plant death.

In all experiments, grain yield was evaluated, based on the moisture content corrected to 13 %, in kg ha⁻¹. The data were subjected to individual analysis of variance for each experiment, to test the homogeneity of variance and, later, the combined analysis for the locations. The means were compared by the Scott-Knott test at 5 % probability, using the statistical software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Results and discussion

In the evaluations of weed control, the coefficient of variation was high (CV > 20%) in all growing seasons (Table 3), as reported elsewhere (SILVA *et al.*, 2014). The analysis of variance for weed control in the experimental area indicated significant differences (p < 0.05) among the herbicides applied and the cultivation environments at 7 and 14 days after application (DAA), in response to the control modes.

In growing season 1 (rainy season 2016/2017), all herbicides resulted in a control level similar to that of hand weeding (Table 3), except for herbicide bentazon+imazamox at the prescribed rate (1 L ha⁻¹), as observed at 7 and 14 DAA. However, Machado *et al.* (2008) reported high efficacy in the control of *Euphorbia heterophylla*, *Ipomea sp.*, *Commelina benghalensis*, and *Bidens pilosa* after bentazon+imazamox application at the full rate (1 L ha⁻¹).

Table 3 – Percentage of weed control (%), as affected by weed control modes.

Control forms			7 DAA ¹		
			Rainy season (16/17) imazamox	Autumn/ winter (2017) fomesafem	Rainy season (17/18)
bentazon	imazamox	fomesafem			
-----g.ha ⁻¹ a.i-----			-----Control (%)-----		
No herbicides (weeding)			100 aA	100 aA	100 aA
–	–	250	92 aA	58 bB	57 bB
–	–	375	94 aA	75 aA	67 bA
600	28	–	43 bA	58 bA	42 bA
600	28	125	87 aA	75 aA	82 aA
600	28	83	81 aA	83 aA	60 bA
C.V.1 (%)			37,56		
C.V.2 (%)			38,96		
			14 DAA		
-----g.ha ⁻¹ a.i-----			-----Control (%)-----		
No herbicides (weeding)			100 aA	100 aA	100 aA
–	–	250	84 aA	42 bB	14 bB
–	–	375	92 aA	60 bB	30 bB
600	28	–	53 bA	49 bA	23 bA
600	28	125	92 aA	53 bB	49 bB
600	28	83	85 aA	50 bB	16 bC
C.V.1 (%)			69,1		
C.V.2 (%)			50,4		

Means followed by the same lowercase letter in a column and upper case in a row do not differ from each other statistically by the Scott-Knott test at 5 % probability.

Note. ¹DAA: days after application.

Source: Elaborated by the authors (2018).

The low control efficacy of bentazon+imazamox in the first growing season may be related to the irregular weed occurrence in the experimental plots and to the presence of *Bidens pilosa* (hairy beggartick) and *Alternanthera tenella* (joyweed) and in a larger population in the total area (Table 4).

Table 4 – Percentage of weeds in the total area on day 0 before the application of weed control, in growing seasons 1 and 2 (2016/17) and growing season 3 (2017/18).

Rainy season 2016/17	
<i>Bidens pilosa</i>	56 %
<i>Alternanthera tenella</i>	28 %
<i>Galinsoga parviflora</i>	8 %
Others	5 %
<i>Commelina benghalensis</i>	3 %
Autumn/winter 2017	
<i>Commelina benghalensis</i>	36 %
<i>Ipomoea triloba</i>	31 %
<i>Richardia brasiliensis</i>	14 %
<i>Amaranthus retroflexus</i>	10 %
Others	9 %
Rainy season 2017/18	
<i>Commelina benghalensis</i>	29 %
<i>Alternanthera tenella</i>	21 %
<i>Blainvillea dichotoma</i>	18 %
<i>Ipomoea triloba</i>	17 %
Others	15 %

Source: Elaborated by the authors (2018).

Although bentazon+imazamox is recommended for the control of *Bidens pilosa* (hairy beggartick), in this case, the control was inadequate due to the high infestation with this weed in the area. The data of the weed control level observed here differed from those presented by Marchioretto and Magro (2017). These authors stated an efficient control of *Bidens pilosa* with imazamox (30 g ha⁻¹), blended or sequentially applied with bentazon (480 g ha⁻¹), or by applying fomesafen (125 g ha⁻¹), although an antagonistic effect of the mixture or the sequential application was observed. On the other hand, Nicolai *et al.* (2006) do not recommend the use of ALS-inhibiting herbicides for the control of resistant biotypes of *Bidens pilosa* and *Bidens subalternans*. However, the characteristic of ALS resistance in *Bidens pilosa* was not evaluated or proven in this study anyway.

In the case of *Alternanthera tenella*, although germination is more intense in the presence of light, it can also germinate in the dark, causing the species to emerge later in the cycle of summer crops, hampering an effective control (CANOSSA *et al.*, 2008).

On the other hand, in growing season 2 (autumn/winter 2016/17), bentazon+imazamox and fomesafen, demonstrating the low efficacy of herbicides when applied separately, 7 DAA. However, when applied together (1 L ha⁻¹ bentazon+imazamox + 0.5 L ha⁻¹ fomesafen) the control efficacy was adequate. After 14 days, herbicide proved less efficient than hand weeding. This was due to the high infestation with *Commelina benghalensis* (TABLE 4), for which the herbicides, although recommended for this species, could not efficiently control it; apart from the fact that other weed species germinated, after the last evaluation.

In growing season 3 (rainy season 2017/2018), the control of the herbicide mixture of bentazon+imazamox (1 L ha⁻¹ ha⁻¹) + fomesafen (0.5 L ha⁻¹) was significant, similar to that of hand

weeding (100 % weed-free). However, after 14 days, the control of this treatment tended to be better than the others, with a 28.1 % higher efficacy than when using 1 L ha⁻¹ fomesafem. However, at 14 days, no significant difference compared to the control (hand weeding) was observed. This fact can be explained by the emergence of new weed species in the experimental area.

According to Silva *et al.* (2013), the blend of fomesafen + bentazon + imazamox allows a reduction in fomesafen rates by up to ¼, resulting in excellent weed control and easy conditions of bean harvesting, as well as reducing the residual risk for sorghum and corn. Regarding the evaluation of phytotoxicity, no symptoms were observed after the products were applied, proving the control efficacy of the herbicides regarding the three bean cultivars.

Linhares *et al.* (2014) concluded that the mixture bentazon + imazamox does not alter the growth characteristics of common bean plants, for being selective. Also, concerning phytotoxicity, Galon *et al.* (2017) reported that the herbicides fomesafen, bentazon, or the commercial blend bentazon + imazamox caused some lesions on the black bean cultivar BRS Campeiro. However, the plants recovered quickly from the injuries and the subsequent development was not affected.

According to the analysis of variance for grain yield data, the experimental precision was good (CV 15.6 %). The yields differed according to the cultivars, control modes, and growing seasons. By partitioning the triple interaction, the effect of the herbicides on each bean cultivar could be studied, and their behavior within each cultivation environment (growing season) assessed (TABLE 5). Therefore, the same treatment results in different responses in control efficiency when applied in different environments, since the efficacy of a herbicide or herbicide mixture for weed control can vary according to the weed community and environmental factors.

Table 5 – Average triplex of the outspread of application control modes (herbicides trials) within the crop and cultivars for common bean grain yield in kg.ha⁻¹.

C-A	Weeding	Herbicides (H)				
		fomesafem (250 g i.a)	fomesafem (375 g i.a)	bentazon+ imazamox (600+28 g i.a)	bentazon+ imazamox+ fomesafem (600+28 + 125 g i.a)	bentazon+ imazamox+ fomesafem (600+28 + 83 g i.a)
Pérola- 1	2280 a	2220 a	2220 a	2040 a	2460 a	2460 a
Pérola- 2	1020 a	1140 a	1320 a	1080 a	1320 a	1020 a
Pérola- 3	1740 a	1260 b	1020 b	1080 b	1680 a	1260 b
IPR Tuiuiu-1	2160 c	3000 a	3240 a	2640 b	2940 a	3360 a
IPR Tuiuiu-2	1380 b	1680 a	1320 b	1440 b	1860 a	1860 a
IPR Tuiuiu-3	1500 a	1560 a	1560 a	1320 a	1320 a	1200 a
VR 20-1	2160 b	2280 b	2940 a	2940 a	2580 a	2760 a
VR 20-2	1260 a	1440 a	1500 a	1260 a	1020 a	1260 a
VR 20-3	2340 a	2220 a	2460 a	2220 a	2280 a	2220 a
Média - H	1760	1867	1953	1780	1940	1933
C.V.1 (%)			15,7			
C.V.2 (%)			15,6			

Means followed by the same letter on the lines, do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5 % probability.

Note. 1: rainy season 2016/2017. 2: autumn/winter (2016/17). 3: rainy season (2017/18).

Source: Elaborated by the authors (2018).

In the first growing season (rainy season 2016/2017), there was no effect of the control modes on common bean yield of cultivar Pérola (TABLE 5). However, the yield of cultivar IPR Tuiuiu was reduced when bentazon+imazamox (1 L ha^{-1}) was applied and by hand weeding. This result differs from that reported by Galon *et al.* (2017), who observed similar yields to the control for black beans.

The low yield in this treatment (TABLE 5) can be attributed to the lower efficacy of bentazon+imazamox, observed in this study, in controlling weeds in the first growing season (2016/2017). Although hand weeding controlled the weeds by 100 %, the yield reduction can be explained by the germination of weed species, after the last evaluation at 14 days, which did not occur in the study of Galon *et al.* (2017).

The yields of cultivar VR20 were lowest in the plots where hand weed control (weeding) and control with 1 L ha^{-1} fomesafem were performed. This fact can be attributed to the germination of new weed species in the area, after the evaluation 14 days after chemical weeding, as well as at the location of fomesafem application, since these control modes leave no residues in the soil.

In growing season 2 (autumn/winter 2016/2017) however, no effect of the control modes on cultivars Pérola and bean lineage VR20 was observed. Nevertheless, for cultivar IPR Tuiuiu, the mean yields were lowest when treated with hand weeding and application of 1 L ha^{-1} bentazon+imazamox and 1.5 L ha^{-1} fomesafem. Although the efficacy of hand weeding was effective up to 14 DAA (TABLE 3), the efficiency of this practice was not evaluated after 14 DAA. As this method leaves no residues, weeds that possibly occurred after 14 DAA may have affected the common bean yield negatively. In the case of cultivar IPR Tuiuiu, grown in the plots treated with 1 L ha^{-1} bentazon+imazamox, it is believed that the lower efficacy in weed control may have affected common bean yields.

Regarding fomesafem at 1.5 L ha^{-1} , although it controlled weeds efficiently (TABLE 3) and no phytotoxicity symptoms on the bean plants were visually detectable, there may have been some hidden phytotoxicity in the plants of cultivar IPR Tuiuiu, resulting in the lowest yields. According to Cieslik, Vidal and Trezzi (2014), a possible explanation for the recovery of common bean plants from herbicide symptoms is that the herbicide does not move from the sprayed tissue to the new shoots as well as the action of the enzymes glutathione S-transferase (GST), which detoxify the herbicides.

Although in this study only the yield of cultivar IPR Tuiuiu was affected by the different herbicides, yield losses due to weeds are common. In studies with carioca bean, the common bean yield was reduced by 67 %, in a comparison of the yield produced in a total absence of weeds (completely weed-free - 2516 kg ha^{-1}) with that produced in the presence of some weeds during the entire cycle (partially weed-free environment - 1095 kg ha^{-1}) (SALGADO *et al.*, 2007). As a result of weed interference, Vogt *et al.* (2013) reported yield losses in black bean cultivars from 30.8 % to 54.9 %. For cultivar IPR Tuiuiu, Galon *et al.* (2016) observed a productivity decrease of approximately 30 % at 41 days after emergence, when up to 10 % of weed cover was maintained.

Interestingly, the common bean yield was lower in the winter than in the other seasons. This was unexpected because the crop was planted in a central pivot area, in which common bean yields tend to be very high. However, in this area, the seasonally low temperatures possibly affected crop productivity negatively.

In growing season 3, Pérola produced a higher yield when treated with hand weeding and the mixture of bentazon + imazamox (1 L ha^{-1}) + fomesafem (0.5 L ha^{-1}) (rainy season 2017/2018). In a study by Marchioretto and Magro (2017), the highest yields were also achieved when fomesafen herbicides were combined with the commercial mixture bentazon with imazamox. This can be explained by the higher level of weed control in the area of these two treatments than in the others,

which reduced weed competition and improved productivity. The cultivars IPR Tuiuiu and bean lineage VR20 did not respond to the different weed control modes.

It is worth mentioning that the prescribed rate of fomesafen (Flex®) for weed control in common bean (1 L ha^{-1}), independently of the cultivar, causes some delay in crop growth, as described by Linhares *et al.* (2014). The only mixture officially recommended for chemical weed control in common bean was bentazon + imazamox (Ampló®), which is a commercial product for broadleaf weed control. The other blends were tested because they are commonly used by the producers. Currently, after the approval of law 6299/02 that allows herbicide mixtures in tanks, all blends tested here may be used.

Conclusions

Separate applications of Flex® 1 L ha^{-1} (fomesafen) and the mixture of Ampló® + Flex® blends (imazamox + bentazon + fomesafen) control weeds efficiently.

The separate and mixed applications of the herbicides have no phytotoxicity effects on any of the studied common bean cultivars.

Acknowledgements

To Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), for supporting this research.

Eficácia da mistura em tanque de herbicidas pós-emergentes em diferentes cultivares de feijão-comum

Resumo

Na cultura do feijoeiro, a ocorrência de plantas daninhas pode causar grandes reduções no rendimento final dos grãos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes herbicidas, aplicados de forma isolada ou em mistura, no manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum. O delineamento estatístico adotado foi blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas. As parcelas principais foram constituídas por três cultivares de feijão (cultivar Carioca Pérola, cultivar do grupo preto IPR Tuiuiu e cultivar do grupo vermelho Ouro VermelhoVR20) e as subparcelas pelos diferentes modos de controle, com quatro repetições: capina manual, fomesafen (250 g ha^{-1} de ingrediente ativo (i.a.)), fomesafen (375 g ha^{-1} de i.a.), imazamox + bentazon ($0,23 + 0,6 \text{ g ha}^{-1}$ de i.a.), imazamox + bentazon + fomesafen ($0,23 + 0,6 + 125 \text{ g ha}^{-1}$ de i.a.) e imazamox + bentazon + fomesafen ($0,23 + 0,6 + 83 \text{ g ha}^{-1}$ de i.a.). Avaliaram-se durante três safras plantas daninhas presentes na área, sintomas de fitotoxicidade e produtividade do feijoeiro. Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e as médias obtidas foram agrupadas pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Verificaram-se diferenças na produtividade de grãos, sendo observadas entre cultivares e safras devido à aplicação dos herbicidas. O tratamento mais eficaz foi imazamox + bentazon + fomesafen ($230 + 600 + 125 \text{ g ha}^{-1}$ de i.a.), resultando no melhor controle de plantas daninhas e maior eficiência na produtividade final dos grãos.

Palavras-chave: Controle químico. *Phaseolus vulgaris*. Produtividade. Fitotoxicidade. Plantas daninhas.

References

- BARCELLOS JUNIOR, L. H.; PEREIRA, G. A. M.; CAPOBIANGO, N. P.; SILVA, D. V.; BRAGA, R. R.; FERRIERA, E. A. Phytosociology of weeds in bean crops with different herbicides control. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 15, n. 3, p. 221–231, 2016. Available at: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i3.479>. Access on: 07 mar. 2019.
- BORCHARTT, L.; JAKELAITIS, A.; VALADÃO, F. C. A.; VENTUROSOS, L. A. C.; SANTOS, C. L. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 725–734, 2011. Available at: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1176>. Access on: 07 mar. 2019.
- BRESSANIN, F. N.; GIANCOTTI, P. R. F.; JAYME NETO, N.; AMARAL, C. L.; ALVES, P. L. C. A. Eficácia de herbicidas aplicados isolados em pré e pós-emergência no controle de mucuna-preta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 3, p. 426–431, 2015. Available at: <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5337>. Access on: 1º mar. 2019.
- CANOSSA, R. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BRACCINI, A. L.; BIFFE, D. F.; ALONSO, D. G.; BLAINSKI, E. Temperatura e luz na germinação das sementes de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 745–750, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000400005>. Access on: 07 mar. 2019.
- CIESLIK, L. F.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Fomesafen toxicity to bean plants as a function of the time of application and herbicide dose. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 329–334, 2014. Available at: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.17630>. Access on: 10 jan. 2019.
- FERREIRA, D. F. Sisvar, a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Access on: 03 apr. 2019.
- FREITAS, F. C. L.; MEDEIROS, V. F. L. P.; GRANGEIRO, L. C.; SILVA, M. G. O.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; NUNES, G. H. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 241–247, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000200005>. Access on: 07 mar. 2019.
- GALON, L.; FORTE, C. T.; GABIATTI, R. L.; RADUNZ, L. L.; ASPIAZÚ, I.; KUJAWINSKI, R.; DAVID, F. A.; CASTOLDI, C. T.; PERIN, G. F.; RADUNZ, A. L.; ROSSETTI, J. Interference and economic threshold level for control of beggartick on bean cultivars. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 411–422, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0100-83582016340300002>. Access on: 10 jan. 2019.
- GALON, L.; WINTER, F. L.; FORTE, C. T.; AGAZZI, L. R.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C. M.; PERIN, G. F. Associação de herbicidas para o controle de plantas daninhas em feijão do tipo preto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 16, n. 4, p. 268–278, 2017. Available at: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.559>. Access on: 10 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações Convencionais – Gráficos**. (2018). Available at: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf. Access on: 07 jul. 2019.

LAMEGO, F. P.; BASSO, C. J.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M.; SANTI, A. L.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T. E.; GALLON, M. Seletividade Dos Herbicidas S-Metolachlor e Alachlor para o Feijão-Carioca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 877–883, 2011. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000400018>. Access on: 10 jan. 2019.

LINHARES, C. M. S.; FREITAS, F. C. L.; SILVA, K. S.; LIMA, M. F. P.; DOMBROSKI, J. L. D. Crescimento do feijão-caupi sob efeito dos herbicidas fomesafen e bentazon+imazamox. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 41–49, 2014. Available at: https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2572/pdf_84. Access on: 10 jan. 2019.

MACHADO, A. A.; NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T.; OLIVEIRA, K. G. B.; PEREIRA FILHO, C. R.; CARVALHO, A. B. A.; CORRÊA, G. C. Avaliação da Eficiência de Controle de Plantas Daninhas do Herbicida Amplo e seu efeito na Produtividade do Feijoeiro Comum. **Documentos, IAC**, v. 85, p. 1376–1379, 2008. Available at: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/945776/1/machado.pdf>. Access on: 07 mar. 2019.

MANABE, P. M. S.; MATOS, C. C.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; MANABE, A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, C. T. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 333–343, 2015. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/213300/manejo-de-plantas-daninhas-na-cultura-do-feijoeiro-em-plantio-direto>. Access on: 10 jan. 2019.

MANCUSO, M. A. C.; AIRES, B. C.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M. R.; SORATTO, R. P. Seletividade e eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 1, p. 25–32, 2016. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201663010004>. Access on: 10 jan. 2019.

MARCHIORETTO, L. R.; MAGRO, T. D. Weed control and crop selectivity of post-emergence herbicides in common beans. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 3, p. 1–6, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160295>. Access on: 10 jan. 2019.

MELHORANÇA, A. L. Efeito dos herbicidas pós-emergentes no desenvolvimento e na produção de grãos de soja. Documento 7, Londrina: **Embrapa-CNPSO**, 1984. p.1078

NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MOREIRA, M. S.; CARVALHO, S. J. P.; TOLEDO, R.; SCARPARI, L. Alternativas de manejo para as populações de picão-preto (*Bidens pilosa* e *Bidens subalternans*) resistentes aos herbicidas inibidores da ALS. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo, v. 5, n. 3, p. 72–79, 2006. Available at: <https://doi.org/10.7824/rbh.v5i3.3>. Access on: 1º mar. 2019.

OLIVEIRA, M. B.; ALVES, P. F. S.; TEIXEIRA, M. F. F.; SILVA, H. D.; SÁ, R. A.; CAMPOS, R. G. C.; CARVALHO, A. J.; ASPIAZÚ, I. Fitotoxicidade de herbicidas aplicados em diferentes épocas em pós-emergência do feijão-caupi. **Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 15, n. 1, p. 64–70, 2013.

Available at: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/unicientifica/article/view/2092/2181>.
Access on: 1º mar. 2019.

SALGADO, T.P.; SALLES, M.S.; MARTINS, J.V.F.; ALVES, P.L.C.A. Interferência das plantas daninhas no feijoeiro Carioca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 443–448, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300002>. Access on: 10 jan. 2019.

SILVA, K.S.; FREITAS, F.C.L.; SILVEIRA, L.M.; LINHARES, C.S.; CARVALHO, D.R.; LIMA, M.F.P. Eficiência de herbicidas para a cultura do Feijão-Caupi. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 197–205, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582014000100022>. Access on: 10 jan. 2019.

SILVA, V. P.; FERREIRA, L. R.; D'ANTONINO, L.; CARNEIRO, J.E.; SILVA, G. R.; FONTES, D. R. Eficiência e residual no solo de herbicidas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 961–970, 2013. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000400022>. Access on: 10 jan. 2019.

SISTEMA DE AGROTOXICOS FITOSSANITARIOS (AGROFIT). Consulta de Produtos Formulados. Available at: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Access on: 08 apr. 2018.

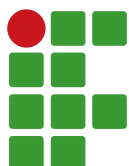
SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. **Embrapa Cerrado**. Brasília. 2004. 2. ed. p. 295-297.

VOGT, G. A.; JUNIOR, A. A. B.; TREZZI, M. M.; BACKES, R. L.; NICKNICH, W. Competitive ability of black common bean genotypes with weeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 397–403, 2013. Available at: <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000500002>. Access on: 10 jan. 2019.

WEED SCIENCE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS (WEED). Available at: <http://www.weedscience.org/Summary/SOADescription.aspx>. Access on: 20 apr. 2020.

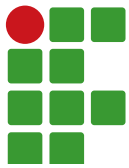
Submitted: July 26, 2020

Accepted: September 14, 2020



Sumário

Predição da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica situada no sudeste brasileiro.....	135
Guilherme Henrique Expedito Lense, Fernanda Almeida Bócoli, Rodrigo Santos Moreira, Ronaldo Luiz Mincato	
Efeito da fragmentação sobre a riqueza de aranhas (Arachnida: Araneae) em floresta estacional semidecidual montana	145
Flávio Eduardo Vilas Boas Junior, Amanda da Silva Ferreira, Marcos Magalhães de Souza	
Comparação de modelos não lineares na descrição da mineralização de carbono em solo de serapilheira.....	158
Edilson Marcelino Silva, Ariana Campos Frühauf, Sérgio Alberto Jane, Édipo Menezes da Silva, Joel Augusto Muniz, Tales Jesus Fernandes	
Qualidade de mudas de <i>Coffea arabica</i> produzidas em diferentes viveiros do Sul de Minas.....	170
Anderson Barreto dos Passos, Bruno Manoel Rezende de Melo, Sindynara Ferreira, Douglas Goulart Castro, Telma Miranda dos Santos, Leonardo Alves Guedes	
Inventário, flutuação das colônias e hábitos de nidificação de vespas sociais no IFSULDEMINAS - <i>Campus</i> Machado	183
Elenice Aparecida Fortes, Alice dos Reis Fortes, Letícia Cruz de Almeida, Lêda Gonçalves Fernandes	
Viabilidade de terreiro revestido com blocos de concreto porosos para secagem do grão de café.....	198
João Pedro Junqueira, Alisson Pinto Soares Ponzo, Alisson Souza de Oliveira	



Predição da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica situada no sudeste brasileiro

Guilherme Henrique Expedito Lense¹

Fernanda Almeida Bócoli²

Rodrigo Santos Moreira³

Ronaldo Luiz Mincato⁴

Resumo

A modelagem da erosão hídrica é uma forma rápida e precisa de estimar o potencial erosivo em bacias hidrográficas. Entre os modelos, temos a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) que apresenta uma estrutura simples, com baixo custo de implementação e pode ser usada com informações prontamente disponíveis, contribuindo para o planejamento de práticas de conservação do solo. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi aplicar a RUSLE para estimar a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Córrego da Laje afluente direto do reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas, situada no Sul de Minas Gerais, região do sudeste brasileiro. Nessa região a erosão hídrica é um grave problema que tem provocado o assoreamento do reservatório hidrelétrico e a depreciação da qualidade da água. As perdas de solo foram calculadas em Sistema de Informações Geográficas com base nas características topográficas, edafoclimáticas, na cobertura do solo e nas práticas de manejo. A perda de solo média da bacia hidrográfica foi de 26,80 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ com predomínio de taxas erosivas de alta intensidade (> 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Considerando as classes de uso da bacia, a geração de sedimentos foi maior nas áreas de pastagem (35,87 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e nas áreas com cultivo de milho (32,05 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Como as áreas com erosão severa estão distribuídas em toda a extensão da bacia hidrográfica, deve ser adotado um amplo plano de mitigação da erosão hídrica a fim de reduzir os danos ambientais do processo.

Palavras-chave: Conservação do solo. Cobertura do solo. RUSLE.

Introdução

A erosão hídrica é o principal processo de degradação dos solos tropicais, gerando impactos ambientais negativos, como a redução do potencial produtivo do solo, perda da microbiota do solo e emissão de gases de efeito estufa (DECHEN *et al.*, 2015). Na região do entorno da Usina Hidroelétrica de Furnas (UHF), no sul de Minas Gerais, a mitigação da erosão é um dos maiores desafios para a gestão sustentável da área (IGAM, 2013).

Além de provocar o assoreamento do reservatório hidrelétrico da UHF, reduzindo seu tempo de vida útil, a erosão hídrica também causa a depreciação da qualidade da água e a contaminação com fertilizantes minerais, uma vez que a maioria dos sedimentos erodidos que atingem os cursos hídricos

1 Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. guilherme.lense@unifal-mg.edu.br. Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, 37130-000, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. fernanda.muz@hotmail.com.

3 Instituto Agrônomo de Campinas. Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical. rodrigossagro@yahoo.com.br.

4 UNIFAL-MG. Professor no Instituto de Ciências da Natureza. ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br.

da região são providos de áreas com cultivos agrícolas (IGAM, 2013). Dessa forma, são necessárias medidas eficazes de conservação do solo para controlar a erosão hídrica na região da UHF.

A modelagem é uma forma rápida e precisa de avaliar quantitativamente e qualitativamente o potencial erosivo. Essa técnica pode ser usada para projetar e direcionar medidas eficazes de conservação do solo e da água (OLIVEIRA *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2019). Além disso, a aplicação da modelagem melhora a interpretação dos processos de erosão do solo e facilita o entendimento da dinâmica do ecossistema (ALEWELL *et al.*, 2019).

Entre os primeiros modelos desenvolvidos para avaliar as taxas erosivas, tem-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e, mais tarde, sua versão aprimorada, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997). A RUSLE apresenta uma estrutura simples, com baixo custo de implementação e pode ser usada com informações prontamente disponíveis. Por essas razões, este modelo é o método mais utilizado em todo o mundo em escala de bacia hidrográfica (RENSCHLERA; MANNAERTS; DIEKKRÜGER, 1999; GANASRI; RAMESH, 2016).

A combinação da RUSLE com Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto facilita sua utilização e fornece um diagnóstico sobre a distribuição espacial da erosão hídrica. O SIG permite reagrupar, sobrepor vários mapas temáticos e aplicar equações matemáticas de diferentes fatores erosivos. Usando imagens de satélite, modelos digitais de elevação do terreno e outros dados, o SIG pode gerar resultados efetivos de forma simples e barata (HAIDARA *et al.*, 2019). Esses resultados contribuem significativamente para o planejamento de práticas de conservação do solo, controle da erosão e gerenciamento de áreas afetadas pelo processo erosivo (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi aplicar a Equação Universal de Perda de Solo Revisada para quantificar a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Córrego da Laje, afluente direto do reservatório da Usina Hidroelétrica de Furnas. O estudo permitirá identificar as áreas mais suscetíveis à erosão, a fim de contribuir para a adoção do manejo conservacionista do solo.

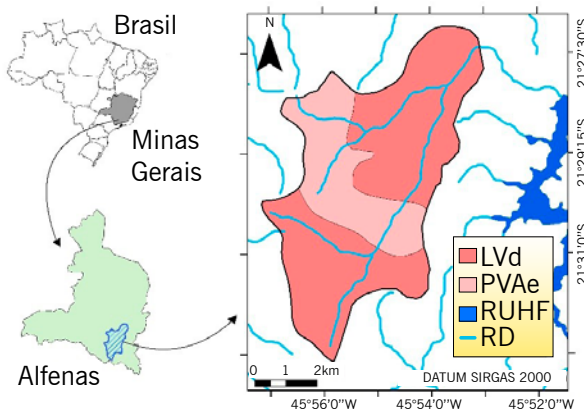
Material e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Córrego da Laje apresenta uma área de 3.951,30 ha, situada no município de Alfenas, sul de Minas Gerais, região sudeste do Brasil, nas coordenadas 45°57'7" a 45°54'3" O e 21°26'59" a 21°32'54" S (FIGURA 1). O clima da área segundo a classificação de Köppen é Tropical Mesotérmico (Cwb), com inverno seco e verão temperado. A precipitação média anual é de 1.500 mm e a temperatura média anual de 22 °C (ALVARES *et al.*, 2013; INMET, 2019). Os solos da bacia hidrográfica são Latossolos Vermelhos distróficos - LVd (71 %) e Argissolo Vermelho-Amarelos eutróficos - PVAe (29 %). O mapa digital de solos foi elaborado com base no mapa de solos do estado de Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010) (FIGURA 1).

O mapa de uso e ocupação do solo (FIGURA 2A) foi elaborado com base em imagens do satélite Landsat-8 Operational Land Imager (OLI), órbita/ponto 219/75, selecionadas na Divisão de Geração de Imagens (INPE, 2019) na data de 29 de maio de 2019, bem como em imagens de alta resolução da ferramenta Basemap (ESRI, 2015). A bacia hidrográfica estava ocupada por: milho - 1.120,74 ha (28,4 %), pastagem - 1.085,25 ha (27,47 %), cafeicultura - 911,93 ha (23,08 %), mata nativa - 701,46 ha (17,75 %), eucalipto - 72,84 ha (1,8 %), benfeitorias 31,65 ha (0,8 %) e drenagem - 27,43 ha (0,7 %).

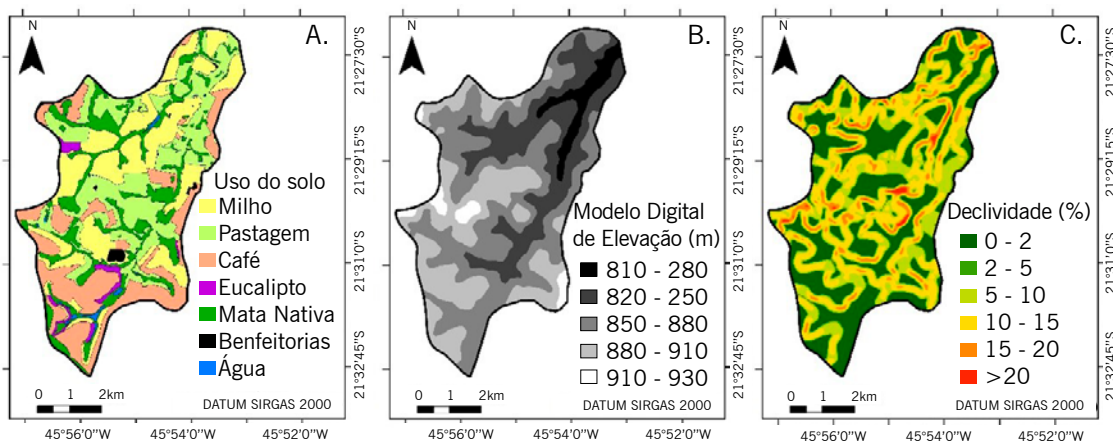
Figura 1 – Localização e mapa digital de solos da Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Alfenas, sul de Minas Gerais, Brasil.



Notas: LVD = Latossolos Vermelhos distróficos, PVAe = Argissolo Vermelho-Amarelos eutróficos, RUHF = Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, RD = Rede de Drenagem.

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Figura 2 – Mapa de uso do solo (A) Modelo Digital de Elevação (B) e Mapa de Declividade (C) da Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Alfenas, sul de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Na bacia hidrográfica, as altitudes variaram de 810 m a 930 m (FIGURA 2B). O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi extraído das curvas de nível do estado de Minas Gerais (SISEMA, 2019). A partir do MDE, foi elaborado o Mapa de Declividade. Na bacia hidrográfica predominou o relevo ondulado, com declividade média de 6,9 % (FIGURA 2C).

Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)

A RUSLE estima a taxa de erosão hídrica conforme a Equação 1 (RENARD *et al.*, 1997).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que: A é a perda de solo média anual em $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R é o fator erosividade da chuva em $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; K é o fator erodibilidade do solo em $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; LS é o fator topográfico, pela relação entre o comprimento (L) e a declividade da rampa (S); C é o fator uso e manejo do solo; P é o fator práticas conservacionistas, ambos adimensionais.

O fator R representa o potencial das precipitações pluviométricas em desagregar o solo e promover a erosão hídrica. O parâmetro foi obtido a partir do Mapa de Erosividade do Sul de Minas Gerais desenvolvido por Aquino *et al.* (2012). Quanto à resistência do solo ao processo erosivo (K), seus valores foram determinados para cada tipo de solo presente na bacia hidrográfica, com base nos valores relatados na literatura especializada (BESKOW *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

O fator LS é um parâmetro essencial para quantificar as perdas de solo devido à influência topográfica na velocidade do escoamento superficial (BESKOW *et al.*, 2009). O fator LS foi calculado utilizando a Equação 2, proposta por Moore e Burch (1986).

$$LS = \left(\frac{FA \cdot 10}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\sin(S)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Em que: LS é o fator topográfico, adimensional; FA é o acúmulo de fluxo expresso como o número de células da grade do MDE; S é a declividade da bacia hidrográfica em graus e 10 é a resolução espacial do MDE em metros.

O fator C relaciona os efeitos da cobertura vegetal sobre as perdas de solo. O parâmetro varia de 0 a 1, valores mais altos representam menor cobertura vegetal e maior desagregação dos solos ao impacto das chuvas e escoamento superficial (OLIVEIRA *et al.*, 2014). O fator C foi calculado conforme Durigon *et al.* (2014), utilizando o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas - NDVI (EQUAÇÃO 3).

$$C = \frac{-NDVI + 1}{2} \quad (3)$$

Em que: C é o fator de cobertura do solo e NDVI é o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas, ambos adimensionais.

O NDVI é um indicador da cobertura vegetal do solo que varia de -1 a +1, com maiores valores atribuídos a áreas de maior vegetação. O índice é calculado utilizando a Equação 4 (TUCKER, 1979):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Em que: NIR e RED são bandas espectrais de infravermelho próximo e vermelho, respectivamente.

O NDVI foi calculado a partir das bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) da imagem do Landsat-8 Operational Land Imager (OLI), usada no mapeamento de uso de solo da bacia.

Por fim, tem-se o fator P que varia de 0 a 1 e seu resultado representa o efeito das práticas de manejo do solo sobre as taxas erosivas. O fator P foi calculado usando a declividade como a propriedade determinante na adoção de práticas de conservação do solo (SILVA *et al.*, 2010; MEDEIROS *et al.*, 2016). Para declividades menores que 5 % o valor de P foi de 0,6 e em declividades maiores que 20 % o valor de P foi igual a 1. Em declividades entre 5 % a 20 %, o valor de P é calculado conforme Equação 5.

$$P = 0,69947 - 0,08911 \cdot s + 0,01184 \cdot s^2 - 0,000335 \cdot s^3 \quad (5)$$

Em que: P é o fator de práticas conservacionistas, adimensional, e s é a declividade em %.

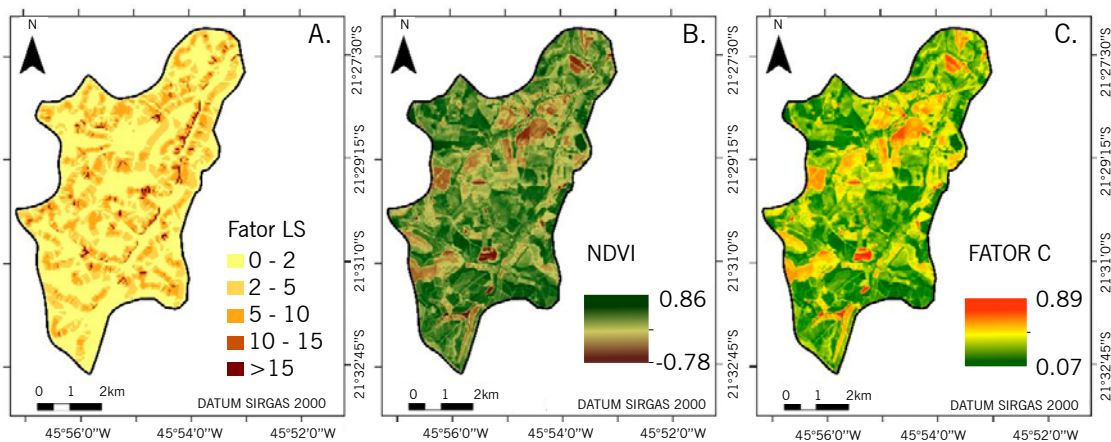
As etapas da modelagem, o tratamento e a espacialização dos dados, assim como a confecção dos mapas de uso e classes solo, MDE e declividade, foram realizadas usando o software ArcMap 10.3 (ESRI, 2015).

Resultados e discussão

Na Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, a erosividade das chuvas foi de $6.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (AQUINO *et al.*, 2012). Considerando a classificação proposta por Foster *et al.* (1981), a bacia apresentou a classe de erosividade alta. O fator K foi adaptado de Sá *et al.* (2004) e Mendes Júnior *et al.* (2018) com valores de 0,033 e 0,019 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para os PVAe e LVD, respectivamente. Devido às características pedológicas, os PVAe são mais propensos à erosão que os LVD.

Os maiores valores de LS foram observados nas áreas de elevada declividade, em que a velocidade do escoamento superficial é maior (FIGURA 3A). Em cerca de 4 % da bacia hidrográfica, os valores de LS foram maiores que 10 e essas áreas podem ser consideradas de alta vulnerabilidade à erosão. Portanto as práticas de conservação do solo devem ser implantadas prioritariamente nessas áreas, a fim de reduzir o ganho de energia do escoamento superficial devido à topografia (BESKOW *et al.*, 2009; STEINMETZ *et al.*, 2018).

Figura 3 – Fator topográfico - LS (3A), NDVI (3B) e Fator de Cobertura do solo - C (3C) da Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Alfenas, sul de Minas Gerais, Brasil.



Notas: NDVI: Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas; Fator LS, NDVI, Fator C: adimensionais.

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

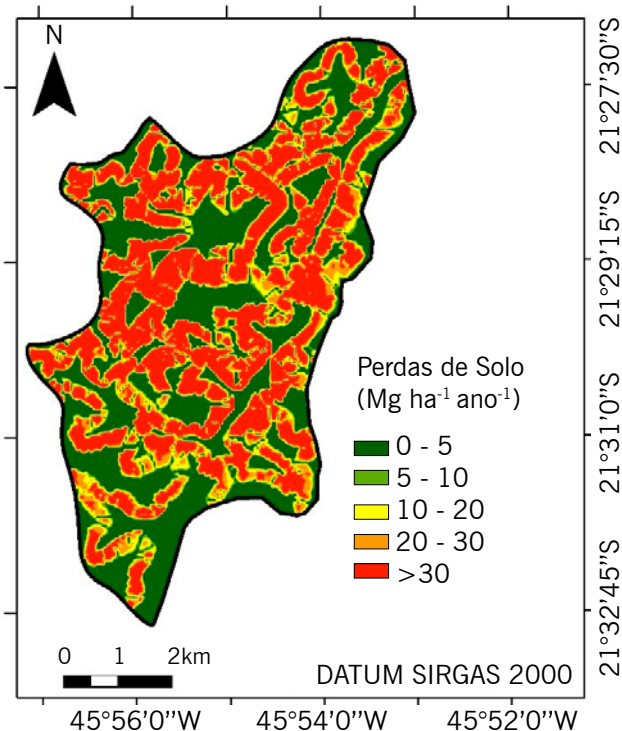
Os resultados do NDVI foram maiores nas áreas de alta densidade vegetal e menores nos locais com solo exposto e áreas com ausência de solo (água e benfeitorias) (FIGURA 3B). Quanto ao fator C, este é normalizado entre os valores 0 e 1 e inversamente proporcional ao NDVI, dessa forma, as áreas de maior cobertura vegetal apresentaram menor valor do fator C (FIGURA 3C).

Vale ressaltar que a determinação do fator C a partir do NDVI permite uma representação mais precisa quando comparada a métodos baseados em valores relatados na literatura especializada,

que muitas vezes foram desenvolvidos para regiões diferentes da área de estudo. Além disso, com a utilização do NDVI em ambiente SIG, o fator C é calculado célula a célula ao longo de toda a área, representando de forma mais realista a heterogeneidade da cobertura vegetal.

A RUSLE estimou a perda de solo média da bacia hidrográfica do Córrego da Laje em 26,80 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ com predomínio de taxas erosivas de alta intensidade (> 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), segundo a classificação proposta por Avanzi *et al.* (2013). As áreas com erosão intensa se concentraram principalmente nos locais com maior declividade e, conseqüentemente, maiores valores do fator LS (FIGURA 4).

Figura 4 – Perdas de solo na Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Alfenas, sul de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Os maiores valores de perda de solo foram observados nas áreas de pastagem (35,87 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), devido à degradação e nas áreas com cultivo de milho (32,05 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) devido à exposição do solo na época de semeadura. Nas demais classes de uso de solo, as perdas de solo variaram de 15,00 a 20,40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, o que foi proporcionado pela maior densidade vegetal e menor valor do fator C. As áreas cobertas com água e benfeitorias não foram consideradas na estimativa da erosão hídrica por não participarem da geração de sedimentos. Mendes Júnior *et al.* (2018) e Tavares *et al.* (2019), ao modelarem a erosão hídrica em uma sub-bacia do Córrego da Laje, com cultivo predominante de café sobre práticas conservacionistas, observaram taxas erosivas bem inferiores aos resultados do presente trabalho, demonstrando a importância das práticas de manejo do solo sobre as perdas de solo.

Quanto à erosão hídrica em cada tipo de solo, a geração de sedimentos foi maior para os PVAe (39,80 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em relação aos LVd (23,70 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) devido a maior erodibilidade (K). Tal resultado revela a importância dos atributos intrínsecos do solo em relação à proteção natural contra a erosão hídrica (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Como as áreas com elevadas perdas de solo ($> 15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) estão distribuídas em toda a extensão da bacia hidrográfica, deve ser adotado um amplo plano de mitigação da erosão hídrica, visando à introdução de práticas conservacionistas. Entre essas práticas podem ser citadas aquelas destinadas a melhorar a cobertura do solo, como o plantio direto nas áreas de milho, o manejo da vegetação entrelinha na cafeicultura e a recuperação das pastagens degradadas. Nos locais de elevada declividade podem ser introduzidos cultivos em nível e terraços, a fim de minimizar a velocidade do escoamento.

Os resultados da modelagem são uma importante ferramenta para o planejamento da adoção de práticas conservacionistas direcionadas na bacia hidrográfica do Córrego da Laje, com o intuito de reduzir os danos diretos da erosão hídrica, como perda de nutrientes e matéria orgânica do solo, e os indiretos, como o assoreamento do Córrego da Laje e do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas.

Conclusão

A Equação Universal de Perda de Solo Revisada identificou as áreas com maiores taxas erosivas na Bacia Hidrográfica do Córrego da Laje em declives acentuados e nos locais com baixa cobertura vegetal, como no cultivo de milho ($32,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e em pastagens degradadas ($35,87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Ficou evidenciado que deverá ser adotado um amplo plano de mitigação da erosão hídrica, visando à introdução de práticas conservacionistas, a fim de reduzir os danos ambientais do processo.

Agradecimentos

Especialmente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de estudos ofertada ao primeiro autor; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento ao estudo - Código Financeiro 001.

Prediction of water erosion in a watershed located in southeastern Brazil

Abstract

Water erosion modeling is a fast and accurate way to estimate erosion potential in watersheds. Among the models, we have the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) which has a simple structure, low implementation cost and can be used with readily available information, contributing to the planning of soil conservation practices. In this context, the objective of the work was to apply RUSLE to estimate water erosion in the Córrego da Laje watershed affluent directly from the reservoir of the Furnas Hydroelectric Plant, located in the south of Minas Gerais, a region of southeastern Brazil. In this region, water erosion is a serious problem that has caused the silting up of the hydroelectric reservoir and the depreciation of water quality. Soil losses were calculated in Geographic Information System based on topographic, edaphoclimatic characteristics, soil cover, and management practices. The average soil loss of the watershed was $26.80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ with the predominance of high-intensity erosive rates ($> 15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). Considering the basin use classes, sediment generation was higher in pasture areas ($35.87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and in areas under maize cultivation ($32.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). As areas with severe erosion are distributed throughout the watershed, a comprehensive water erosion mitigation plan should be adopted to reduce the environmental damage of the process.

Keywords: Soil conservation. Soil coverage. RUSLE.

Referências

- ALEWELL, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdã, v. 7, n. 3, p. 203-225, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlim, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000500006>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 427-434, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000500006>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, Amsterdã, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>. Acesso em: 06 jun. 2019.
- DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute - Inc. **ARCGIS Professional GIS for the desktop version 10.3**. Redlands, Califórnia, EUA, Software, 2015. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/get-started/quick-start-guides/arcgis-desktopquick-start-guide.htm>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- FOSTER, G. R.; MCCCool, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981. Disponível em: <http://www.jswnonline.org/content/36/6/355.short>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, Amsterdã, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>. Acesso em: 20 dez. 2019.

HAIDARA, I.; TAHRI, M.; MAANAN, M.; HAKDAOUI, M. Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. **Geoderma**, Amsterdam, v. 354, n. 1, p. 113853, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.011>. Acesso em: 06 jun. 2019.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Alago - Fupai. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 305p

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações pluviométricas convencionais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 dez. 2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens (DIDGI)**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

MEDEIROS, G. O. R.; GIAROLLA, A.; SAMPAIO, G.; MARINHO, M. A. Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150497, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20150497>. Acesso 10 nov. 2019.

MENDES JÚNIOR, H.; TAVARES, A. S.; SANTOS JÚNIOR, W. R.; SILVA, M. L. N.; SANTOS, B. R.; MINCATO, R. L. Water Erosion in Oxisols under Coffee Cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, e0170093, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20170093>. Acesso 10 nov. 2019.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America**, Washington, v. 50, n. 5, p. 1294-1298, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>. Acesso 30 nov. 2019.

OLIVEIRA, V. A.; MELLO, C. R.; DURÃES, M. F.; SILVA, A. M. Soil erosion vulnerability in the verde river basin, southern Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 3, p. 262-269, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000300006>. Acesso 30 nov. 2019.

PRASANNAKUMAR, V.; VIJITH, H.; ABINOD, S.; GEETHA, N. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. **Geoscience Frontiers**, Amsterdã, v. 3, n. 2, p. 209-215, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.003>. Acesso 10 nov. 2019.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIER, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1997. 384p.

RENSCHLERA, C. S.; MANNAERTS, C.; DIEKKRÜGER, B. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk-rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. **Catena**, Amsterdã, v. 34, n. 4, p. 209-225, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00117-9). Acesso 10 dez. 2019.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES, J. J. G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 691-699, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700011>. Acesso 10 dez. 2019.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 141-148, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522010000200006>. Acesso 10 dez. 2019.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso 05 dez. 2019.

STEINMETZ, A. A.; CASSALHO, F.; CALDEIRA, T. L.; OLIVEIRA, V. A.; BESKOW, S.; TIMM, L. C. Assessment of soil loss vulnerability in data-scarce watersheds in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 6, p. 575-587, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018426022818>. Acesso 08 jan. 2020.

TAVARES, A. S.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J. C.; NOGUEIRA, D. A.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 555-572, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>. Acesso 08 jan. 2020.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Acesso 08 jan. 2020.

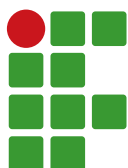
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso 08 nov. 2020.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. Washington DC: USDA, 1978. 537p.

WANG, X.; XUE, B.; YAO, S.; YANG, H.; GU, Z.; YANG, B.; ZHANG, M.; ZHU, Y. ¹³⁷Cs estimates of soil erosion rates in a small catchment on a channelized river floodplain in the lower reaches of Yangtze River, China. **Journal of Environmental Radioactivity**, Amsterdam, v. 208, n. 1, p. 106008, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106008>. Acesso em: 06 jun. 2019.

Submetido: 08/01/2020

Aceito: 10/06/2020



Efeito da fragmentação sobre a riqueza de aranhas (Arachnida: Araneae) em floresta estacional semidecidual montana

Flávio Eduardo Vilas Boas Junior¹

Amanda da Silva Ferreira²

Marcos Magalhães de Souza³

Resumo

O processo de fragmentação que tem alterado os ambientes naturais tem sido amplamente discutido, pois provoca alterações nas comunidades e compromete diferentes funções ambientais. Neste sentido, o presente trabalho fundamentou-se na avaliação da fragmentação sobre a araneofauna de fragmentos de floresta estacional semidecidual, fitofisionomia pertencente à Mata Atlântica. O estudo foi conduzido em três fragmentos no município de Inconfidentes, sul do estado de Minas Gerais no período de abril de 2014 a março de 2015. Os resultados mostraram que há uma similaridade na composição das espécies de aranhas entre os fragmentos amostrados, e que o tamanho do fragmento é correlacionado positivamente com a riqueza de espécies. Nossos dados mostram que fragmentos menores devem ser preservados e que as áreas agrícolas devem manter a integridade das áreas florestais adjacentes, a fim de se beneficiarem da dinâmica de predação que as aranhas exercem sobre as pragas que acometem as plantações.

Palavras-chave: Araneofauna. Mata Atlântica. Tamanho do fragmento.

Introdução

A Mata Atlântica tem sofrido severamente com o processo de fragmentação em função da ação antrópica, como a conversão do uso do solo para pecuária e agricultura, além da extração de madeira e ocupação humana, que alteram a dinâmica das comunidades biológicas, por não serem previstas em sistemas naturais contínuos (MYERS, 1980; NOSS; CSUTI, 1994; DEAN, 1996; LAURANCE; BIERREGAARD, 1997).

Tal processo afeta negativamente os ecossistemas (LAURANCE; VASCONCELOS, 2009), ocasionando extinção de espécies e comprometendo diferentes serviços ambientais, como polinização, dispersão de sementes, controle biológico e reciclagem de nutrientes (RUSCHEINSKY, 2004; HANSKI *et al.*, 2013).

Para avaliação dos impactos decorrentes da fragmentação florestal, Uetz (1976) sugere a utilização de artrópodes pois são de fácil amostragem, são pequenos (fácil transporte e armazenamento), existem em grande abundância e diversidade, têm grande importância no ciclo de nutrientes e fluxo de energia nos ecossistemas, com destaque para as aranhas.

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre em Ecologia Aplicada. juniorfevb@gmail.com.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS) – Campus Inconfidentes. Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas. amanda1.ferreira@alunos.ifsuldeminas.edu.br

3 IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Professor efetivo. Inconfidentes/MG. marcos.souza@ifsuldeminas.edu.br

A ordem Araneae representa, em número de espécies, a segunda maior ordem de aracnídeos e a sétima do Reino Animalia, contando com 48.385 espécies e 4.165 gêneros distribuídos em 120 famílias (PLATNICK, 2020). São de grande importância ecológica, pois são predadoras generalistas e abundantes em diferentes ecossistemas terrestres (SANDIDGE, 2004; VITT; CALDWELL, 2013), podendo ser utilizadas em programas de controle biológico de pragas agrícolas (SUNDERLAND; SAMU, 2000; HANNA; ZALOM; ROLTSCH, 2003), inclusive no Brasil (RINALDI; MENDES; CADY, 2002; OTT; OTT; WOLFF, 2007; RODRIGUES; MENDONÇA; OTT, 2008).

O Brasil possui a maior biodiversidade de aranhas da região neotropical, com aproximadamente 3.203 espécies distribuídas em 659 gêneros pertencentes a 72 famílias (BRESOVIT; OLIVEIRA; SANTOS, 2011). O estado de Minas Gerais possui cerca de 500 espécies ficando em sexto lugar entre os estados brasileiros em relação à araneofauna (BRESOVIT; OLIVEIRA; SANTOS, 2011). Porém, o número deve ser maior, considerando a área geográfica, a diversidade de ecossistemas e a escassez de estudos (BRESOVIT, 1999), mesmo sendo crescente os trabalhos de inventários nas últimas décadas (OLIVEIRA, 2011).

O estado de Minas Gerais é composto de diferentes biomas, sendo que na região sul do estado a fitofisionomia predominante é a floresta estacional semidecidual de domínio da Mata Atlântica (OLIVEIRA-FILHO, 2006). Essa fitofisionomia é caracterizada pela deciduidade de cerca de 50 % das espécies arbóreas no inverno.

Sabe-se que as aranhas sofrem redução em suas populações em função da fragmentação florestal (BOLGER *et al.*, 2000; GIBB; HOCHULI, 2002), entretanto são escassas as informações em áreas de floresta estacional semidecidual. Logo, trabalhos sobre o efeito da fragmentação na araneofauna dessa fitofisionomia são necessários para a compreensão do estado de conservação desse táxon.

A partir das considerações, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da fragmentação florestal sobre a araneofauna em floresta semidecidual no estado de Minas Gerais, bem como ampliar o conhecimento sobre o táxon no estado.

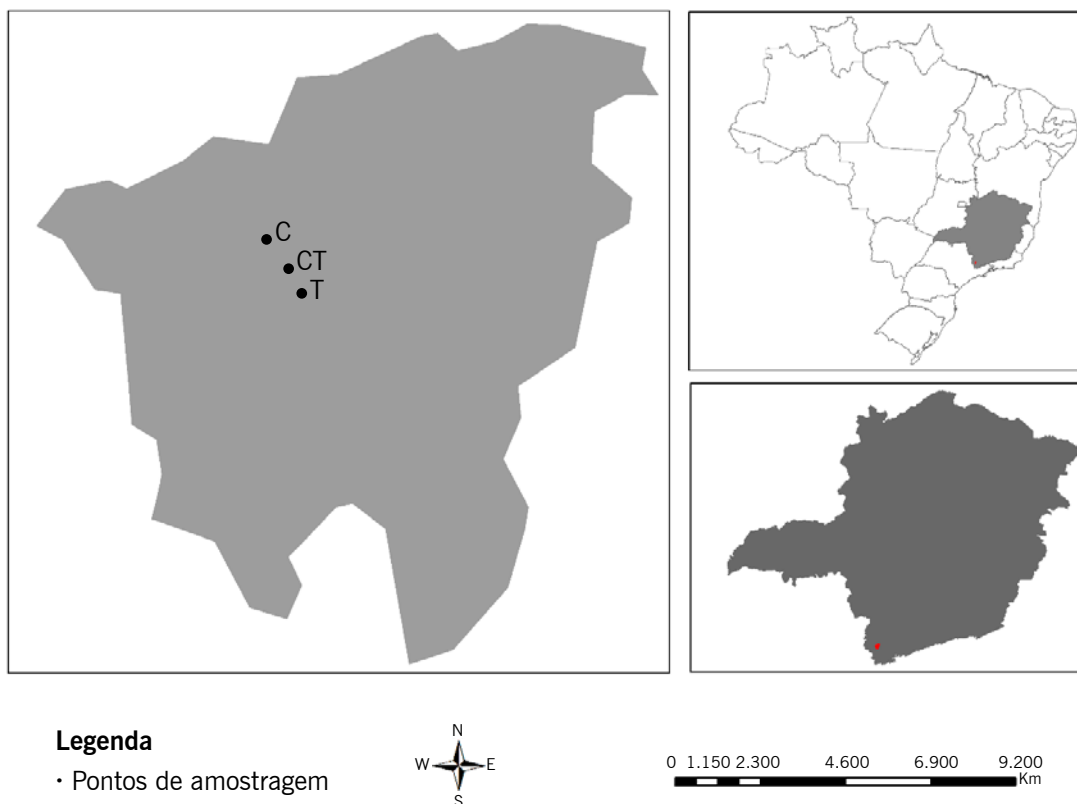
Material e métodos

O estudo foi conduzido em três fragmentos florestais com 1 km de distância um do outro, denominados C (22°19'12.38"S, 46°18'24.42"W), CT (22°19'38.26"S, 46°18'3.36"W) e T (22°20'0.16"S, 46°17'50.96"W) no município de Inconfidentes, sul do estado de Minas Gerais (FIGURA 1). O município está inserido no bioma Mata Atlântica, e a fitofisionomia predominante é a Floresta Estacional Semidecidual Montana (IBGE, 2012). O clima é caracterizado como CWB (Köppen), com temperatura média de 19,3 °C e pluviosidade média anual de 1.500 mm.

O fragmento C possui área total de 4,9 hectares e tem sua matriz composta por pasto, enquanto os fragmentos CT (2,6 ha) e T (10,4 ha) possuem matriz de entorno predominantemente composta por café. Todos são formados por mata secundária em algum nível de regeneração. Em cada um dos fragmentos foram feitos dois transectos de 50 metros de comprimento cada, paralelos e distanciados a 100 metros um do outro (APÊNDICE 1).

Para coleta dos dados, utilizaram-se de três metodologias: armadilhas *pitfall*, guarda-chuva entomológico e coleta manual noturna, realizadas nos transectos (OTT; OTT; WOLFF, 2007; PODGAISKI *et al.*, 2007). A amostragem se deu no período de abril de 2014 a março de 2015, dividido em quatro campanhas, uma por estação.

Figura 1 – Localização dos fragmentos florestais onde foram coletadas as aranhas no município de Inconfidentes, sul do estado de Minas Gerais.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Para as armadilhas *pitfall*, foram utilizados copos plásticos com 8,5 cm de diâmetro e 12,5 cm de altura, com uma solução de álcool etílico 70 % como líquido conservante. Também foram colocadas duas hastes de madeira com um prato (cerca de cinco centímetros do solo) em cima de cada *pitfall*, a fim de evitar a possível entrada de água da chuva e a obstrução das armadilhas por folhas secas. As armadilhas foram instaladas em cada um dos fragmentos, seguindo os transectos. Em cada transecto foram instaladas 10 armadilhas (cinco metros equidistantes), totalizando 20 armadilhas. Uma semana após instaladas, o material das armadilhas foi coletado.

Para amostragem da araneofauna arborícola, utilizou-se da metodologia de guarda-chuva entomológico, que consiste em um pano (1 m x 1 m) disposto em duas hastes de madeira. O pesquisador posiciona-se embaixo de um arbusto ou árvore, estende o pano, enquanto outro pesquisador bate a vegetação em direção ao primeiro, para que as aranhas caiam no pano e, então, sejam coletadas com o auxílio de uma pinça entomológica. Para a coleta, os pesquisadores seguiram os transectos num período de 1 hora em cada, totalizando 6 h por campanha (24 h no total).

A coleta manual noturna foi um método complementar, que consistiu em capturar os animais manualmente, com o auxílio de uma lanterna de cabeça e uma pinça, enquanto o pesquisador caminhava vagarosamente pelos transectos, procurando estruturas no solo e na vegetação que pudessem conter aranhas. Os pesquisadores levavam 1 h por transecto, totalizando 6 h por campanha (24 h no total).

Todo material coletado foi armazenado em meio úmido (álcool 70%) e depositado no laboratório de zoologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Inconfidentes, onde foi realizada a triagem parcial das morfoespécies.

Posteriormente, o material biológico foi encaminhado ao Laboratório de Aracnologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde foi feita a identificação em nível de espécie.

Para as análises estatísticas foram utilizados apenas os indivíduos adultos dos quais eram possíveis chegar ao menos a nível de espécie. Primeiramente foram feitas curvas de rarefação para cada ponto amostral, utilizando o estimador de riqueza Jackknife de primeira ordem, com 95 % de confiabilidade (EFRON; STEIN, 1981). Para testar a similaridade dos fragmentos foram realizadas comparações pelo índice de Sorensen (1948), o qual baseia-se na presença e ausência das espécies em cada um dos pontos; foi realizado um agrupamento em *cluster* gerado a partir deste índice.

Para testar o efeito da fragmentação na araneofauna dos fragmentos, foi realizada uma regressão linear, correlacionando a riqueza com o tamanho do fragmento (variável obtida pelo Google Earth Pro). Todos os testes foram realizados pelo programa R-Studio (2020).

Resultados e discussão

Foram coletados 902 indivíduos (pertencentes a 30 famílias), destes, 566 foram indivíduos adultos, distribuídos em 24 famílias e 107 espécies, sendo Theridiidae (23 espécies), Araneidae (22 espécies) e Salticidae (12 espécies) as com maior riqueza. A espécie mais abundante foi *Thwaitesia affinis* O. Pickard-Cambridge, 1882, com 44 indivíduos coletados (APÊNDICE 2), sendo relatada em outros trabalhos realizados em fitofisionomias distintas, se comportando como uma das mais comuns (HÖFER; BRESCOVIT, 1994; PODGAISKI *et al.*, 2007).

As famílias com maior riqueza neste estudo estão entre as mais ricas do mundo em número de espécies (PLATNICK, 2020), o que explica os dados obtidos no presente estudo. Essas mesmas famílias também foram as mais representativas nos estudos de Ott, Ott, Wolff (2007) and Podgaiski *et al.* (2007), que utilizaram metodologias similares as deste trabalho (guarda-chuva entomológico e coleta noturna), fator que pode ter contribuído para esse resultado.

De forma geral, as curvas de rarefação por fragmento não atingiram a assíntota, ou seja, ainda existem mais espécies para serem amostradas nas áreas como aponta o Jackknife 1 (TABELA 1). Pelos dados de riqueza estimada, podemos inferir que a não suficiência amostral pode ter sido dada pelo tamanho dos fragmentos amostrados, uma vez que em fragmentos maiores se espera uma maior riqueza de espécies. Nessa condição, justificam-se novas coletas nas áreas de estudo, pois sabe-se que o aumento do esforço de coleta gera dados mais confiáveis e não subestimam a riqueza de espécies (OLIVEIRA, 2011).

Tabela 1 – Dados de suficiência amostral da amostragem realizada no trabalho. Área: nome dos fragmentos selecionados. Número registrado: riqueza observada no fragmento. Número esperado: valor apontado pelo Jackknife de primeira ordem.

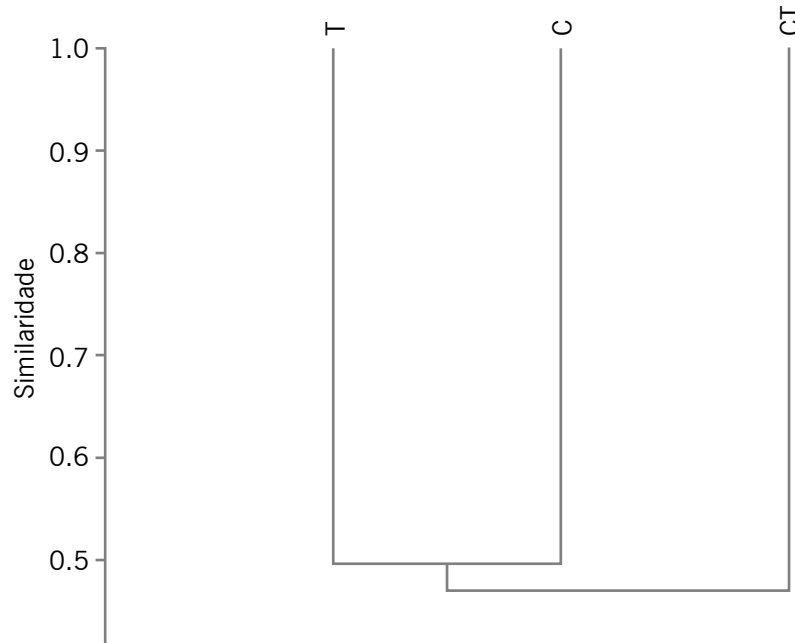
Fragmento analisado	Riqueza amostrada	Riqueza estimada
C	70	96
CT	38	49
T	63	81

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

O gráfico de cluster gerado pelo índice de Sorensen (FIGURA 2) mostra que a composição da araneofauna das áreas C e T são mais similares entre si (49,6 %), contudo a similaridade da área C e

CT (46,2 %) e CT e T (47,5 %) também foram expressivas, sugerindo que há uma possível dispersão e colonização das aranhas entre as áreas amostradas.

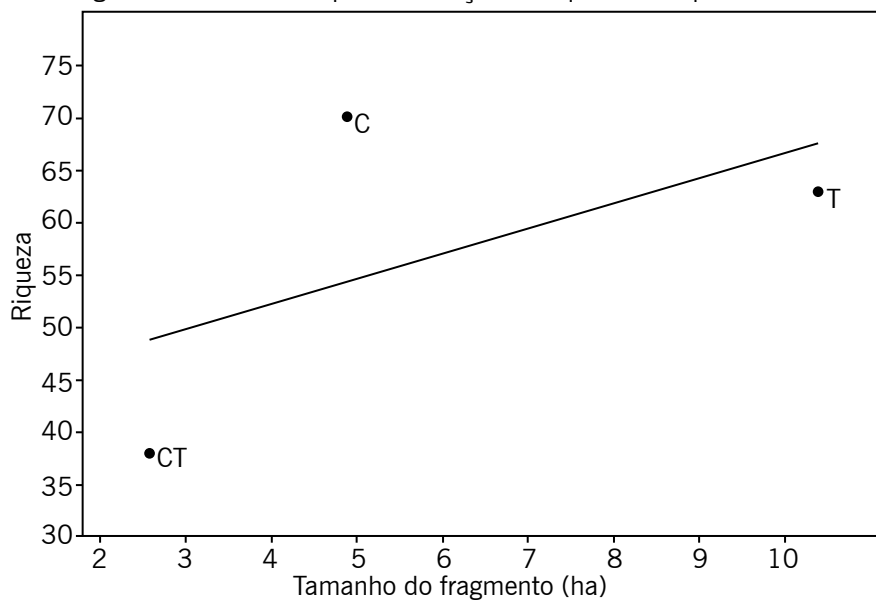
Figura 2 – Gráfico de *cluster* gerado a partir da similaridade de Sorensen das áreas amostradas.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

A regressão linear correlacionando a área total do fragmento com a riqueza de espécies mostrou que há uma tendência positiva explicando 32,4 % da variação, sendo que quanto maior o fragmento, maior o número de espécies presentes (FIGURA 3).

Figura 3 – Gráfico da regressão linear obtida pela correlação da riqueza de espécies e o tamanho do fragmento.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

A partir da regressão observou-se que o tamanho do fragmento é uma variável importante para a conservação da biodiversidade da araneofauna, uma vez que fragmentos maiores possuem uma maior riqueza de espécies, o que é corroborado por outros trabalhos que mostram que esses animais sofrem redução em suas populações em função do processo de fragmentação (BOLGER *et al.* 2000; GIBB; HOCHULI, 2002).

Outro fator considerável foi a presença, em maior riqueza e abundância, de famílias importantes como Ctenidae e Sparassidae nos fragmentos maiores. As aranhas dessas famílias, no geral, possuem hábitos errantes (nômades) e sabe-se que há uma redução nas espécies dessas famílias em ambientes fragmentados (REGO; VENTICINQUE; BRESCOVIT, 2005; REGO; VENTICINQUE; BRESCOVIT, 2007).

Também deve-se considerar a similaridade entre os fragmentos amostrados, sobretudo entre os fragmentos C e T, que apresentaram a maior similaridade entre os fragmentos (49,6 %), mesmo o fragmento C estando isolado por uma matriz de pasto. Os dados da composição mostraram que diferentes matrizes (café e pasto), aparentemente não são barreiras para a dispersão e colonização das aranhas, pois elas são capazes de cruzar grandes áreas (BELL *et al.*, 2005) utilizando a tática de balonismo.

Embora o presente estudo tenha avaliado apenas fragmentos pequenos (o maior com pouco mais de 10 ha), deve-se considerar a importância deles na conservação das espécies de aranhas, assim como evidenciado por Benati *et al.* (2010), pois esses pequenos fragmentos ainda apresentam uma heterogeneidade de habitats, permitindo a colonização e permanência das espécies de aranhas.

Visando à manutenção e seguridade da riqueza da araneofauna, além de seus importantes serviços ecossistêmicos prestados, nossos dados mostraram que fragmentos menores devem ser conservados. Sugere-se também que as áreas agrícolas mantenham a integridade das áreas florestais adjacentes, a fim de se beneficiarem pela dinâmica de predação que as aranhas exercem sobre as pragas que acometem as plantações, sendo uma maneira natural e mais barata de reduzir possíveis danos causados nas lavouras.

Conclusões

A similaridade das áreas foi expressiva, uma vez que a proximidade das áreas pode ter sido um fator que auxiliou a dispersão das aranhas entre os fragmentos. Existe uma tendência de que quanto maior o fragmento, maior a riqueza de espécies de aranhas.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Adalberto J. dos Santos, Laboratório de Aracnologia, Universidade Federal de Minas Gerais, pela identificação das espécies de aranhas, e aos estagiários do Laboratório de Zoologia do IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes, pelo auxílio nas coletas.

The effect of fragmentation on spider richness (Arachnida: Araneae) in montane semideciduous seasonal forest

Abstract

The fragmentation process that has altered natural environments has been widely discussed, as it causes changes in communities and compromises different environmental functions. In this sense,

this study was based on the evaluation of fragmentation on araneofauna of semideciduous seasonal forest fragments, phytophysognomy belonging to the Atlantic Forest. The study was conducted in three fragments in the municipality of Inconfidentes, southern Minas Gerais, from April 2014 to March 2015. The results showed that there is a similarity in the composition of spider species among the sampled fragments and that the size of the fragment is positively correlated with species richness. Our data show that smaller fragments must be preserved and that agricultural areas maintain the integrity of adjacent forest areas to benefit from the predation dynamics that spiders exert on pests that affect plantations.

Keywords: Araneofauna. Atlantic Forest. Fragment size.

Referências

BELL, J. R.; BOHAN, D. A.; SHAW, E. M.; WEYMAN, G. S. Ballooning dispersal using silk: world fauna, phylogenies, genetics and models. **Bulletin of Entomological Research**. v. 95, p. 69-114, abr. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/ber2004350>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BENATI, K. R.; PERES, M. C. L.; TINOCO, M. S.; BRESCOVIT, A. D. Influência da estrutura de hábitat sobre aranhas (Araneae) de serrapilheira em dois pequenos fragmentos de mata atlântica. **Neotropical Biology & Conservation**, v. 5, n. 1, p. 39-46, jan./abr. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4013/nbc.2010.51.06>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BOLGER, D. T.; SUAREZ, A. V.; CROOKS, K. R.; MORRISON, A. S.; CASE, T. J. Artrópodes em fragmentos de habitat urbano no sul da Califórnia: área, idade e efeitos de borda. **Aplicações ecológicas**, v. 10, n. 4, p. 1230-1248, ago. 2000.

BRESCOVIT, A. D. Araneae. In: BRANDÃO, C. R. F.; VASCONCELOS, E. M. (Org.). **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: Síntese do conhecimento ao final do século XX**. Fapesp, São Paulo, p. 45-60, 1999.

BRESCOVIT, A. D.; DE OLIVEIRA, U.; DOS SANTOS, A. J. Aranhas (Araneae, Arachnida) do Estado de São Paulo, Brasil: diversidade, esforço amostral e estado do conhecimento. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 11 n. 1, p. 1-31, dez. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032011000500035>. Acesso em: 24 jun. 2020.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 23.

EFRON, B.; STEIN, C. The Jackknife estimate of variance. **The Annals of Statistics**. v. 9, n. 3, p. 586-596. 1981.

GIBB, H.; HOCHULI, D. F. Fragmentação de habitats em ambiente urbano: fragmentos grandes e pequenos suportam diferentes conjuntos de artrópodes. **Conservação biológica**, v. 106, n. 1, p. 91-100, jul. 2002.

HANNA, R.; ZALOM, F. G.; ROLTSCH, W. J. Relative impact of spiders predation and cover crop on population dynamics of *Erythroneuravariabilis* in a raisin grape vineyard. **Entomologia Experimentalis et Applicata**,

v. 107, p. 177-191, maio 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00051.x>. Acesso em: 24 jun. 2020.

HANSKI, I.; ZURITA, G. A.; BELLOCQ, M. I.; RYBICKI, J. Species-fragmented area relationship. **Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS**. v. 110, n. 31, p. 12715-12720. Jul., 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1311491110>. Acesso em: 24 jun. 2020.

HÖFER, H.; BRESCOVIT, A. D.; ADIS, J.; PAARMANN, W. The spider fauna of neotropical tree canopies in Central Amazonia: first results. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**. v. 29, n. 1, p. 23-32, mar. 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01650529409360913>. Acesso em: 24 jun. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. **Série manuais técnicos em Geociências**. 2. ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 275p. 2012.

LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Eds.). Remanescentes de florestas tropicais: ecologia, manejo e conservação de comunidades fragmentadas. **University of Chicago Press**. Chicago, 1997.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**. v. 13, n. 3, p. 434-451, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.03>. Acesso em: 30 out. 2019.

MYERS, N. **Conversion of tropical moist forests**. National Research Council, National Academy of Science, Committee on Research Priorities (ed.). Tropical Biology. p. 205, Washington D. C. 1980.

NOSS, R. F.; CSUTI, B. Habitat fragmentation. In: MEFFE, G. K.; CARROLL, C. R. (Eds.) **Principles of Conservation Biology**. Sinauer Press, 1994.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: SCOLFORO, JR.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. p. 21-35.

OLIVEIRA, U. **Diversidade e biogeografia de aranhas do Brasil: Esforço amostral, riqueza potencial e áreas de endemismo**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OTT, A. P.; OTT, R.; WOLFF, V. R. S. Araneofauna de pomares de laranja Valência nos Vales do Caí e Taquari, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 97, n. 3, set. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212007000300017>. Acesso em: 24 jun. 2020.

PLATNICK, N. I. **The World Spider Catalog, version 21**. American Museum of Natural History. Disponível em: <http://research.amnh.org/iz/spiders/catalog/> Acesso em: 02 set. 2020.

PODGAISKI, L. R.; OTT, R.; RODRIGUES, E. N. L.; BUCKUP, E. H.; MARQUES, M. A. de L. Araneofauna (Arachnida; Araneae) do Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 2. maio/ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000200023>. Acesso em: 24 jun. 2020.

REGO, F. N. A. A.; VENTICINQUE, E. M.; BRESCOVIT, A. D. Densidades de aranhas errantes (Ctenidae e Sparassidae, Araneae) em uma floresta fragmentada. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 5 n. 1A, p. 45-52, fev. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032005000200004>. Acesso em: 24 jun. 2020.

REGO, F. N. A. A.; VENTICINQUE, E. M.; BRESCOVIT, A. D. Efeitos da fragmentação florestal em quatro populações de aranhas Ctenus (Araneae: Ctenidae) na Amazônia central, Brasil. **Estudos sobre Fauna Neotropical e Meio Ambiente**, v. 42 n. 2, p. 137-144, abr. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01650520600935082>. Acesso em: 24 jun. 2020.

RINALDI, I. M. P.; MENDES, B. P.; CADY, A. B. Distribution and importance of spiders inhabiting a Brazilian sugar cane plantation. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 19, n. 1, jul. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000500021>. Acesso em: 24 jun. 2020.

RODRIGUES, E. N. L.; MENDONCA JR., M. S.; OTT, R. Fauna de aranhas (Arachnida, Araneae) em diferentes estágios do cultivo do arroz irrigado em Cachoeirinha, RS, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 98, n. 3, set. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000300011>. Acesso em: 24 jun. 2020.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. **RStudio**, PBC, Boston, MA. 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 11 abr. 2020.

RUSCHEINSKY, A. No conflito das interpretações: o enredo das sustentabilidade. Sustentabilidade: uma paixão em movimento. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. Porto Alegre: Sulina, v. 10, p. 15-33, jan. 2004.

SANDIDGE, J. Predation by Cosmopolitan Spiders Upon the Medically Significant Pest Species *Loxosceles reclusa* (Araneae: Sicariidae): Limited Possibilities for Biological Control. **Journal of Economic Entomology**. v. 97, n. 2, p. 230-23, abr. 2004.

SORENSEN, T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based a similarity of species. **K. Danske Videnske Selsk**, n. 5, p. 1-34. 1948.

SUNDERLAND, K.; SAMU, F. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 95, p. 1-13, jan. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00635.x>. Acesso em: 24 jun. 2020.

UETZ, G. W. Gradient analysis of spider communities in streamside forest. **Oecologia** (Berl.), v. 22, n. 4, p. 373-385. dez. 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/bf00345314>. Acesso em: 24 jun. 2020.

VITT, L.J.; CALDWELL, J. P. **Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles**. Academicpress, 2013.

Submetido: 19/11/2019

Aceito: 24/06/2020

APÊNDICE 1



Área dos fragmentos florestais amostrados (C, CT e T), onde foram marcados transectos de 50 metros, dois por fragmento, para amostragem de aranhas em fragmentos de Floresta estacional semidecidual montana, do município de Inconfidentes, Minas Gerais.

APÊNDICE 2

Táxon e número de indivíduos adultos por espécies de aranhas coletadas em fragmentos de Floresta estacional semidecidual montana (C, CT e T) no município de Inconfidentes. Minas Gerais.

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
MYGALOMORPHAE				
Idiopidae				
<i>Idiops</i> sp.1	-	-	1	1
Nemesiidae				
<i>Stenoterommata</i> sp.1	-	-	3	3
Theraphosidae				
<i>Acanthoscurria</i> sp.1	2	-	6	8
<i>Vitalisdubius</i> (Mello-Leitão, 1923)	-	-	1	1
ARANEOMORPHAE				
Anyphaenidae				
<i>Arachosia albiventris</i> Mello-Leitão, 1922	-	-	1	1

(continua...)

(Continuação)

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
<i>Jessica</i> sp.1	1	-	2	3
<i>Teudis</i> sp.1	3	3	6	12
Araneidae				
<i>Acacesia hamata</i> (Hentz, 1847)	-	-	1	1
<i>Acacesia tenella</i> (L. Koch, 1871)	1	1	2	4
<i>Alpaida</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Araneus</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Araneus</i> sp.2	-	-	4	4
<i>Argiope argentata</i> (Fabricius, 1775)	-	3	5	8
<i>Eustala gr. fuscovitata</i> (Keyserling, 1864)	2	-	-	2
<i>Eustala</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Gasteracantha cancriformis</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	2	2
<i>Mangora</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Manogea porracea</i> (C. L. Koch, 1838)	-	1	-	1
<i>Metazygia gregalis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1889)	5	4	6	15
<i>Metazygia voluptifica</i> (Keyserling, 1892)	1	-	-	1
<i>Metepeira</i> sp.1	-	1	-	1
<i>Micrathena nigrichelis</i> Strand, 1908	-	-	25	25
<i>Ocrepeira venustula</i> (Keyserling, 1879)	2	-	-	2
<i>Parawixia bistrata</i> (Rengger, 1836)	3	-	2	5
<i>Parawixia kochi</i> (Taczanowski, 1873)	-	2	3	5
<i>Parawixia velutina</i> (Taczanowski, 1878)	-	2	4	6
<i>Wagneriana</i> sp.1	-	3	3	6
<i>Nephilingis cruentata</i> (Fabricius, 1775)	-	2	1	3
<i>Trichonephila clavipes</i> (Linnaeus, 1767)	-	-	9	9
Cheiracanthiidae				
<i>Cheiracanthium inclusum</i> (Hentz, 1847)	1	-	2	3
Corinnidae				
<i>Castianeira</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Corinna capito</i> (Lucas, 1857)	1	-	1	2
<i>Corinna nitens</i> (Keyserling, 1891)	5	1	2	8
<i>Corinna</i> sp.1	-	1	-	1
<i>Falconina gracilis</i> (Keyserling, 1891)	3	2	1	6
Ctenidae				
<i>Ctenus tapevi</i> (Keyserling, 1877)	8	3	16	27
<i>Enoploctenus</i> sp.1	-	-	4	4
<i>Isoctenus</i> sp.1	2	-	1	3
<i>Isoctenus</i> sp.2	3	1	4	8
<i>Parabatinga</i> sp.1	2	-	4	6
<i>Phoneutria keyserlingi</i> (F. O. Pickard-Cambridge, 1897)	2	16	4	22
Linyphiidae				
<i>Sphecozone</i> sp.1	-	-	1	1

(continua...)

(Continuação)

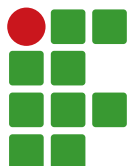
Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
Lycosidae				
<i>Aglaoctenus lagotis</i> (Holmberg, 1876)	3	1	3	7
<i>Lycosa erythrognatha</i> Lucas, 1836	4	12	15	31
<i>Trochosa</i> sp.1	1	2	3	6
Mimetidae				
<i>Gelanor</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Mimetus</i> sp.1	1	1	-	2
Miturgidae				
<i>Miturgidae</i> sp.1	3	-	-	3
<i>Teminius insularis</i> (Lucas, 1857)	1	-	-	1
Oecobiidae				
<i>Oecobius navus</i> Blackwall, 1859	-	-	1	1
Oxyopidae				
<i>Oxyopes salticus</i> Hentz, 1845	1	-	-	1
Pholcidae				
<i>Mesabolivar</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Metagonia</i> sp.1	21	8	-	29
<i>Pholcus phalangioides</i> (Fuesslin, 1775)	-	1	-	1
<i>Smeringopus pallidus</i> (Blackwall, 1858)	1	-	-	1
Pisauridae				
<i>Thaumasia velox</i> Simon, 1898	4	2	-	6
Salticidae				
<i>Anasaitis</i> sp.1	-	2	-	2
<i>Anasaitis</i> sp.2	-	-	1	1
<i>Chira spinosa</i> (Mello-Leitão, 1939)	1	1	-	2
<i>Coryphasia</i> sp.1	-	3	-	3
<i>Corythalia</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Cotinusa</i> sp.1	3	2	4	9
<i>Dendryphantinae</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Dendryphantinae</i> sp.2	-	-	2	2
<i>Euophryinae</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Maeota</i> sp.1	1	-	1	2
<i>Menemerus bivittatus</i> (Dufour, 1831)	1	2	-	3
<i>Psecas</i> sp.1	-	-	1	1
Scytodidae				
<i>Scytodes tapevi</i> Brescovit&Rheims, 2000	2	4	5	11
<i>Scytodes univittata</i> Simon, 1882	-	-	1	1
<i>Scytodes</i> sp.1	3	-	-	3
Selenopidae				
<i>Selenops occultus</i> Mello-Leitão, 1918	5	3	5	13
<i>Selenops rapax</i> Mello-Leitão, 1929	1	1	-	2
Sparassidae				
<i>Olios</i> sp.1	2	-	1	3

(continua...)

(Continuação)

Táxon	Área			Total
	C	CT	T	
<i>Olios</i> sp.2	-	1	-	1
<i>Polybetes germani</i> Simon, 1897	-	-	2	2
<i>Polybetes</i> sp.1	1	-	-	1
Tetragnathidae				
<i>Azilia</i> sp.1	3	2	-	5
<i>Leucauge</i> sp.1	2	2	4	8
<i>Tetragnatha</i> sp.1	1	-	-	1
Theridiidae				
<i>Argyrodes elevatus</i> Taczanowski, 1873	-	-	2	2
<i>Chrosiothesniteroi</i> Levi, 1964	1	-	-	1
<i>Coleosoma</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Cryptachae arioensis</i> (Levi, 1963)	2	-	-	2
<i>Cryptachaea</i> sp.1	2	-	4	6
<i>Cryptachaea</i> sp.2	2	-	-	2
<i>Dipoena</i> sp.1	6	-	-	6
<i>Dipoena</i> sp.2	2	-	-	2
<i>Dipoena</i> sp.3	1	-	-	1
<i>Echinotheridion cartum</i> Levi, 1963	2	-	-	2
<i>Faiditus</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Hetschkia</i> sp.1	-	-	2	2
<i>Latrodectus geometricus</i> C. L. Koch, 1841	3	-	9	12
<i>Neopisinus fiapo</i> Marques, Buckup & Rodrigues, 2011	3	4	8	15
<i>Nesticodes rufipes</i> (Lucas, 1846)	4	1	4	9
<i>Nihonhimea tessellata</i> (Keyserling, 1884)	-	1	1	2
<i>Parasteatoda tepidariorum</i> (C. L. Koch, 1841)	-	-	5	5
<i>Spintharus gracilis</i> Keyserling, 1886	7	-	-	7
<i>Steatoda</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Steatoda</i> sp.2	-	-	2	2
<i>Theridion</i> sp.1	1	-	-	1
<i>Theridion</i> sp.2	3	-	2	5
<i>Thwaitesia affinis</i> O. Pickard-Cambridge, 1882	22	8	14	44
Thomisidae				
<i>Misumenops</i> sp.1	-	-	1	1
<i>Tmarus</i> sp.1	13	-	17	30
<i>Tmarus</i> sp.2	2	-	-	2
Uloboridae				
<i>Miagrammopes</i> sp.1	1	-	-	1

Fonte: Elaboração dos autores (2020).



Comparação de modelos não lineares na descrição da mineralização de carbono em solo de serapilheira

Edilson Marcelino Silva¹

Ariana Campos Frúhauf²

Sérgio Alberto Jane³

Édipo Menezes da Silva⁴

Joel Augusto Muniz⁵

Tales Jesus Fernandes⁶

Resumo

A serapilheira é uma importante fonte de nutrientes para as árvores e pode melhorar a qualidade dos solos degradados. O objetivo deste trabalho foi descrever a dinâmica de mineralização do carbono em solos de serapilheiras por modelos não lineares, estimando os tempos de meia-vida. Foi avaliada a mineralização de carbono de solo sob três coberturas florestais: fragmento florestal de mata atlântica (capoeira), espécies arbóreas de *Acacia auriculiformis* (acácia) e *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) de área reflorestada com histórico de degradação. Foram feitas 12 medidas do carbono mineralizado até os 222 dias do início da incubação de solos de serapilheira. Foram ajustados os modelos Stanford e Smith, Juma e Cabrera, pelo método de mínimos quadrados utilizando o algoritmo de Gauss-Newton por meio do software R. O modelo Stanford e Smith foi mais adequado na descrição de todos os tratamentos, com base no Critério de Informação de Akaike com estimativas dos tempos de meia-vida dos solos de Acácia, de Capoeira e de Sabiá de 25, 44 e 51 dias, respectivamente. Os modelos não lineares Stanford e Smith e Juma descreveram de forma satisfatória a mineralização do carbono dos solos de todos os tratamentos.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Dióxido de carbono. Solo florestal.

Introdução

A sustentabilidade das florestas está relacionada à ciclagem de nutrientes de modo a potencializar seu retorno para as árvores, sendo a serapilheira acumulada uma importante fonte de nutrientes para as árvores no ecossistema florestal, pois à medida que as folhas, galhos e raízes são incorporados à serapilheira e sofrem o processo de decomposição, ocorre liberação de nutrientes ao solo e, conseqüentemente, disponibilização para as árvores (BARRETO *et al.*, 2010; GODINHO *et al.*, 2014). Além disso, a plantação de espécies arbóreas é uma alternativa para recuperação de áreas

1 Universidade Federal de Lavras/UFLA. Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária. Lavras, Minas Gerais, Brasil. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000.

2 UFLA. Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. arianafruhauf@gmail.com.

3 UFLA. Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária. serztjane@gmail.com.

4 UFLA. Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária. ediposvm01@gmail.com.

5 UFLA. Professor Titular. joamuniz@ufla.br.

6 UFLA. Professor Adjunto. tales.jfernandes@ufla.br.

degradadas (NUNES *et al.*, 2016), no entanto, pouco se sabe sobre os ecossistemas naturais e a ciclagem de nutrientes em florestas nativas e plantações florestais no Brasil (GODINHO *et al.*, 2014; MORAIS *et al.*, 2017).

A maior quantidade de matéria orgânica e a presença de substâncias de fácil decomposição favorecem a mineralização do carbono no início do processo, ou seja, a dinâmica de decomposição ocorre a taxas decrescentes conforme o material orgânico é mineralizado (PULROLNIK, 2009; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006); de forma similar, ocorre a liberação de outros nutrientes ao solo, esses processos podem ser descritos por modelos não lineares (PAULA *et al.*, 2020; PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005; SILVA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2019b; ZEVIANI *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013). O conhecimento da dinâmica de mineralização do carbono (C) no solo é essencial para o desenvolvimento de práticas adequadas no uso dos solos, sendo indicativo da contribuição dos resíduos orgânicos na demanda das árvores ao longo do ciclo da cultura (BARRETO *et al.*, 2010; GODINHO *et al.*, 2014).

O modelo não linear mais utilizado para descrever a dinâmica do carbono no solo é o Stanford e Smith (ANDRADE; ANDREAZZA; CAMARGO, 2016; ANDRADE *et al.*, 2015), inclusive há dados de decomposição de serapilheira (BARRETO *et al.*, 2010; NUNES *et al.*, 2016). Trata-se de um modelo com dois parâmetros que representam o carbono potencialmente mineralizável e a constante de mineralização. Outro modelo utilizado é o não linear Juma (PAULA *et al.*, 2020; PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005), com dois parâmetros que apresentam interpretação prática direta, carbono potencialmente mineralizável e tempo de meia-vida, respectivamente. Em solos de serapilheira, pode ser que o processo de mineralização apresente duas fases de mineralização, uma fase devido às substâncias facilmente mineralizáveis e outra fase devido às substâncias mais resistentes. Em processos que apresentam duas fases, a utilização do modelo Cabrera tem apresentado bons ajustes (PAULA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2019b; ZEVIANI *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2009).

O objetivo do trabalho foi descrever a dinâmica de mineralização do carbono em solos de serapilheira pelos modelos não lineares Stanford e Smith (1972), Juma, Paul e Mary (1984) e Cabrera (1993), indicando o modelo mais adequado e, além disso, estimando-se o carbono potencialmente mineralizável e os tempos de meia-vida.

Material e métodos

Os dados utilizados para o ajuste dos modelos foram extraídos de Nunes, Rodrigues e Rodrigues (2009) e correspondem aos resultados médios de um experimento com Latossolo Vermelho Amarelo do município Conceição de Macabu/RJ, que avaliou a mineralização de carbono de solo sob três coberturas florestais: fragmento florestal de mata atlântica (capoeira), espécies arbóreas de *Acacia auriculiformis* (acácia) e *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) de área reflorestada com histórico de degradação.

O solo avaliado foi coletado nas entrelinhas de plantio da camada 0 - 10 cm de profundidade, as amostras foram duplicadas, sendo utilizados 50 g de cada solo. As amostras foram incubadas em colunas de percolação construídas com tubos de PVC (29,4 cm de altura e 4,7 cm de diâmetro). A mineralização do carbono foi avaliada por meio da emissão de gás carbônico (CO₂) durante a incubação. O CO₂ liberado foi captado em 10 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹, cujo excesso foi titulado com uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹. Nas amostras de solos de serapilheira mediu-se o carbono mineralizado sempre nas mesmas unidades experimentais aos 6, 12, 18, 25, 38, 53, 84, 112, 138, 168, 194 e 222 dias do início da incubação.

Avaliaram-se os modelos Stanford e Smith:

$$C_i = C_0 (1 - \exp(-kt_i)) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Juma:

$$C_i = \frac{C_0 t_i}{t_{1/2} + t_i} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Cabrera:

$$C_i = C_1 (1 - \exp(-k_1 t_i)) + k_0 t_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Nos modelos, C_i é o carbono mineralizado, em $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, até o tempo t_i (em dias); C_0 é a fração do carbono orgânico suscetível à mineralização; k , k_1 e k_0 são constantes de mineralização; $t_{1/2}$ é tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável; C_1 é a fração do carbono orgânico facilmente mineralizável e ε_i é o erro experimental com distribuição normal com média 0 e variância σ^2 . O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) dos modelos Stanford e Smith e Cabrera foram estimados por $t_{1/2} = \ln(2)/k$ e $t_{1/2} = \ln(2)/k_1$, respectivamente (ZEVIANI *et al.*, 2012).

Para verificar os pressupostos dos modelos de regressão foram feitos os testes: Shapiro-Wilk, para verificar o pressuposto de normalidade dos erros; Breusch-Pagan, para verificar a hipótese de que os erros são homocedásticos e o teste de Durbin-Watson, para verificar a independência dos erros. Quando o teste de Durbin-Watson rejeitou a hipótese nula de que os erros experimentais foram independentes, os erros do modelo foram considerados da seguinte maneira: $\varepsilon_t = \phi \varepsilon_{t-1} + \lambda_t$, em que ϕ é o parâmetro de autocorrelação de primeira ordem AR(1) e λ_t é o ruído branco (MORETTIN; TOLOI, 2006; SAVIAN; MUNIZ, 2007; PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013; SOUSA *et al.*, 2014; MUIANGA *et al.*, 2016; MUNIZ; NASCIMENTO; FERNANDES, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018a; JANE, *et al.*, 2020; PRADO *et al.*, 2020). Nos casos em que a suposição de normalidade foi atendida, estimou-se o intervalo de confiança com 95 % de probabilidade para os parâmetros dos modelos com base na expressão:

$$IC(\theta) \Rightarrow \hat{\theta}_i \pm t_{(q; 0,025)} S(\hat{\theta}_i) \quad (4)$$

em que: $\hat{\theta}_i$ é a estimativa do parâmetro do modelo, $t_{(q; 0,025)}$ é o valor na distribuição t-Student com $q = n - p$ graus de liberdade e área de 0,025 à sua direita e $S(\hat{\theta}_i)$ é o erro padrão da estimativa do parâmetro obtido pela raiz quadrada do termo correspondente na diagonal da matriz de variância e covariância estimada (DRAPER; SMITH, 2014).

A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado:

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \quad (5)$$

e pelo desvio padrão residual:

$$DPR = \sqrt{QME} \quad (6)$$

A seleção do melhor modelo foi feita com base no critério de informação de Akaike:

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\theta}) + 2p. \quad (7)$$

Nas expressões, n é o número de observações utilizadas no ajuste do modelo, i está relacionado ao intercepto do modelo, que é igual a 1 se houver intercepto e 0 em caso contrário, p é o número de parâmetros, $R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT}$ é o coeficiente de determinação, sendo SQE a soma de quadrados dos erros, SQT a soma de quadrados total, $QME = \frac{SQE}{n-p}$ o quadrado médio do erro e $\ln L(\hat{\theta})$ o valor do logaritmo natural da função de verossimilhança, considerando as estimativas dos parâmetros.

A estimativa dos parâmetros dos modelos de regressão não linear foi feita de maneira aproximada por métodos numéricos iterativos, pois não existe forma fechada para resolver o sistema de equações normais. Entre os métodos iterativos, o de Gauss-Newton é o mais utilizado (PEREIRA; MUNIZ; SILVA, 2005; FERNANDES *et al.*, 2015; FERNANDES; PEREIRA; MUNIZ, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2018b; JANE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019c; SILVA *et al.*, 2019d). A estimativa dos parâmetros foi feita pelo método dos mínimos quadrados generalizados, implementado na função `gnls`, do pacote `nlme` (PINHEIRO *et al.*, 2015), do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Resultados e discussão

O modelo Cabrera não se ajustou a tratamento algum, pois os intervalos de confiança para pelo menos um parâmetro incluiu o valor zero, indicando que os tratamentos não apresentaram dois compartimentos de carbono mineralizáveis. Assim não foram apresentados os resultados para este modelo nas tabelas seguintes. No ajuste do modelo Molina (duplo exponencial) a dados de mineralização de C de solo sob plantação de eucalipto, Barreto *et al.* (2010) obtiveram parâmetros não significativos para o modelo, indicando que o processo não apresentou dois compartimentos de carbono. Por outro lado, Silva *et al.* (2019a) observaram duas fases de mineralização de carbono dos tratamentos solo + palha de aveia, solo + dejetos líquidos de suínos e solo + dejetos de suínos + palha de aveia, além disso, Silva *et al.* (2019b) observaram o mesmo comportamento para o tratamento solo + lodo de esgoto + palha de aveia.

Estão apresentados na Tabela 1 os resultados da análise dos erros estimados pelos modelos Stanford e Smith e Juma, com base nos dados de mineralização do carbono no solo de serapilheira para os testes de Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) e Durbin-Watson (DW). Para todos os tratamentos e ambos os modelos, o teste de SW não foi significativo (p -valor $> 0,05$), assim, foi corroborada a suposição de normalidade dos erros pelo teste. Pelo teste de BP verificou-se que a hipótese de homogeneidade de variâncias não foi rejeitada (p -valor $> 0,05$) para todos os tratamentos e ambos os modelos, indicando que a variância residual foi homogênea. Pelo teste de DW percebeu-se que para todos os tratamentos e ambos os modelos, os erros foram independentes (p -valor $> 0,05$), exceto para o modelo Juma ajustado ao tratamento solo de Acácia (p -valor $< 0,05$). A independência

dos erros foi rejeitada para este tratamento pelo fato de as medidas serem feitas na mesma unidade experimental, assim foi adicionado o parâmetro ϕ para explicar esta correlação do estudo (TABELA 3), ou seja, para esse tratamento foi apresentado ajuste com erro autorregressivo de primeira ordem AR(1). Silva *et al.* (2019a), Silva *et al.* (2019b) e Hess e Schmidt (1995) também observaram correlação nos erros ao ajustarem modelos não lineares a dados acumulados de mineralização de CO₂ de diversos resíduos orgânicos no solo.

Tabela 1 – P-valores dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados aos erros dos modelos e avaliadores de qualidade de ajuste, coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike (AIC) para o carbono mineralizado, para os tratamentos.

Tratamento	Modelo	SW p-valor	DW p-valor	BP p-valor	R_{aj}^2	DPR	AIC
Acácia	Stanford e Smith	0,5489	0,3620	0,2516	0,9887	21,53	120,52
	Juma	0,7665	0,0060	0,1790	0,9690	33,61	130,28
Capoeira	Stanford e Smith	0,4174	0,9540	0,1371	0,9947	19,86	118,42
	Juma	0,9507	0,3700	0,7260	0,9921	23,58	122,89
Sabiá	Stanford e Smith	0,7716	0,7100	0,7228	0,9827	35,17	133,28
	Juma	0,9561	0,2400	0,4232	0,9744	42,48	138,19

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

As estimativas dos parâmetros do modelo Stanford e Smith e o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) com seus respectivos intervalos com 95% de confiança estão apresentados na Tabela 2. Observa-se pelos intervalos de confiança que todos os parâmetros do modelo não incluíram o valor zero, indicando que são significativos para todos os tratamentos.

Tabela 2 – Estimativas para os parâmetros do modelo Stanford e Smith ajustado ao carbono mineralizado dos tratamentos, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior).

Parâmetro	LI	Estimativa	LS
		Acácia	
C_0	546,1478	569,0000	592,9476
k	0,0238	0,0273	0,0313
$t_{1/2}$	22,1198	25,3714	29,1238
		Capoeira	
C_0	737,3757	770,00000	806,7935
k	0,0137	0,0156	0,0176
$t_{1/2}$	39,3609	44,3472	50,2644
		Sabiá	
C_0	722,6286	785,7000	867,2678
k	0,0106	0,0135	0,0167
$t_{1/2}$	41,4066	51,2682	64,9622

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Considerando os intervalos de confiança do C_0 dos solos de serapilheira, observa-se que não houve sobreposição entre o solo Acácia e os solos Capoeira e Sabiá, indicando que o carbono

potencialmente mineralizável desse tratamento foi menor que dos dois tratamentos (TABELA 2). Resultado similar foi obtido para os $t_{1/2}$. Os tempos de meia-vida dos solos Acácia, Capoeira e Sabiá considerando-se o modelo Stanford e Smith foram de aproximadamente 25, 44 e 51 dias e carbono potencialmente mineralizável estimado em 569, 770 e 785 mg CO₂ kg⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 3, apresentam-se as estimativas dos parâmetros do modelo Juma com seus respectivos intervalos com 95% de confiança.

Tabela 3 – Estimativas para os parâmetros do modelo Juma ajustado ao carbono mineralizado dos tratamentos e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior).

Parâmetro	LI	Estimativa	LS
		Acácia	
C_0	585,2125	669,3164	753,4202
$t_{1/2}$	18,8531	33,3629	47,8727
φ		0,5225	
		Capoeira	
C_0	943,9254	1019,3420	1109,4929
$t_{1/2}$	59,5298	72,7270	89,5100
		Sabiá	
C_0	932,3150	1084,1800	1305,0996
$t_{1/2}$	63,4984	91,6100	136,6673

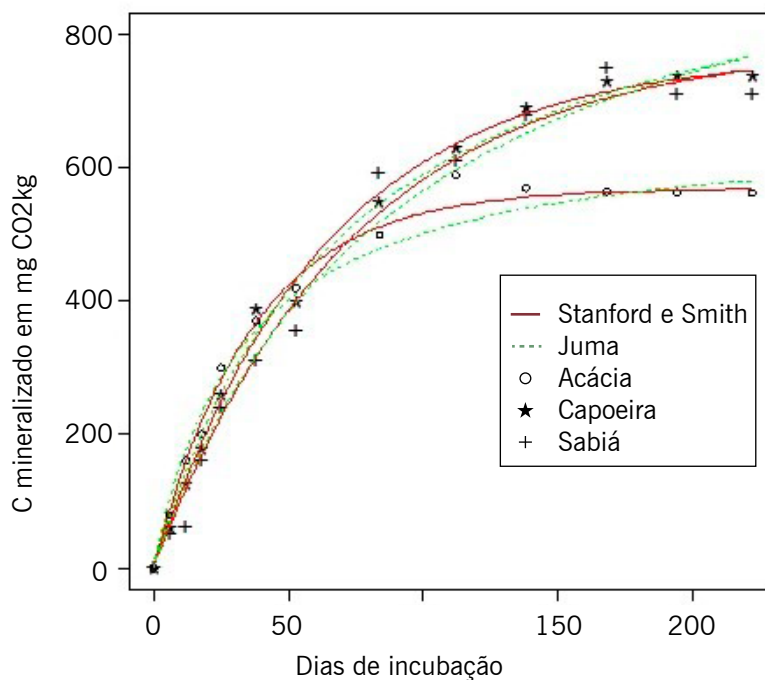
Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Pelo intervalo de confiança do parâmetro C_0 (TABELA 3) foi obtida menor quantidade de carbono potencialmente mineralizável para o tratamento Acácia em relação aos tratamentos Capoeira e Sabiá, pois não houve sobreposição dos intervalos de confiança. O $t_{1/2}$ foi estimado em aproximadamente 33, 72 e 91 dias para os tratamentos Acácia, Capoeira e Sabiá, respectivamente.

Comparando-se as amplitudes (limite superior – limite inferior) dos intervalos de confiança dos parâmetros C_0 e $t_{1/2}$ do modelo Juma (TABELA 3) e do modelo Stanford e Smith (TABELA 2), observa-se que para todos os tratamentos a amplitude dos parâmetros do modelo Juma foi maior, assim, os intervalos das estimativas foram menos precisos. Além disso, comparando-se os intervalos de confiança do parâmetro C_0 do modelo Stanford e Smith (TABELA 2) com os do modelo Juma (TABELA 3), percebe-se que o modelo Juma estimou quantidade de carbono potencialmente mineralizável maior que o modelo Stanford e Smith, pois não houve sobreposição nos intervalos, exceto para o tratamento Acácia. Dessa maneira, é importante ressaltar que a variação observada nas estimadas de C_0 e $t_{1/2}$ nos diversos modelos se deve às peculiaridades dos modelos estatísticos (ZEVIANI *et al.*, 2012).

Para ambos os modelos ajustados, foram obtidos valores de R_{aj}^2 superiores a 96% (TABELA 1) indicando bom ajuste dos modelos aos dados, como pode ser observado na Figura 1, além do desvio padrão residual (DPR) próximo para ambos os modelos sendo menores para o modelo Stanford e Smith. Os dois modelos foram adequados para descrever a mineralização de carbono no solo. Como foram obtidos valores de AIC (TABELA 1) menores para todos os tratamentos para o modelo Stanford e Smith, este modelo se mostrou mais adequado para descrever todos os tratamentos em estudo.

Figura 1 – Modelos Stanford e Smith e Juma ajustados ao CO₂ mineralizado acumulado durante o período de incubação dos solos sob povoamentos de Acácia, Sabiá e Capoeira.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Conclusão

Os modelos não lineares de Stanford e Smith e de Juma descreveram adequadamente o processo de mineralização do carbono dos solos de serapilheira. O modelo Stanford e Smith foi o mais adequado na descrição de todos os tratamentos com estimativas do carbono potencialmente mineralizável de 569, 770 e 785 mg CO₂ kg⁻¹ e tempos de meia-vida de 25, 44 e 51 dias dos solos Acácia, Capoeira e Sabiá, respectivamente. O solo Acácia obteve quantidade de carbono potencialmente mineralizável menor que os solos Capoeira e Sabiá.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto de Bolsas de Estudos de Moçambique (IBE).

Comparison of nonlinear models in the description of carbon mineralization in litter soil

Abstract

Litter is an important source of nutrients for trees and can improve the quality of degraded soils. The objective of this study was to describe the dynamics of carbon mineralization in litter soils using

nonlinear models, estimating half-life times. Soil carbon mineralization under three types of forest cover was evaluated: Atlantic forest fragment (capoeira), *Acacia auriculiformis* trees (acacia), and *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) from a reforested area with a history of degradation. Twelve measurements of the mineralized carbon were made up to 222 days after the beginning of the incubation of litter soils. Stanford and Smith, Juma, and Cabrera models were fitted by the least squares method using the Gauss-Newton algorithm in the R software. The Stanford and Smith model was more appropriate in describing all treatments, based on the Akaike Information Criterion, with estimates of half-life for Acácia, Capoeira, and Sabiá soils at 25, 44, and 51 days, respectively. The Stanford and Smith and Juma nonlinear models satisfactorily described the carbon mineralization of soils of all treatments.

Keywords: Nutrient cycling. Carbon dioxide. Forest soil.

Referências

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20150005000407. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/S0100-204X20150005000008>.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Soil microbial activity under wastewater treatment plant sludge doses from an industrial landfill. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782016000200267. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/0103-8478cr20140871>.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Carbon and nitrogen mineralization in soils under an eucalyptus plantation chronosequence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 735-745, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300015. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/S0100-06832010000300015>.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 63-66, 1993.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**, 3rd ed, reprint, New York: J. Wiley, 2014.

FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, F. R.; MUIANGA, C. A. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 4, p. 397-402, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283735241_Parameterization_effects_in_nonlinear_models_to_describe_growth_curves. Acesso em: 30 set. 2019.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A. Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, p. 1-7, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000800401. Acesso em: 30 set. 2019.

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantification of biomass and nutrients in the accumulated litter in a section of submontane seasonal semideciduous forest, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602014000100002. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/S0104-77602014000100002>.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, p. 1-7, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003807179400166X?via%3Dihub>. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: [https://DOI.org/10.1016/0038-0717\(94\)00166-X](https://DOI.org/10.1016/0038-0717(94)00166-X).

JANE, S. A.; FERNANDES, F. A.; SILVA, E. M.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Comparison of the polynomial and nonlinear models on description of pepper growth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n.4, p. 1-7, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337935579_Recife_v14_n4_e7180. Acesso em: 13 maio 2019.

JANE, S. A.; FERNANDES, F. A.; SILVA, E. M.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J.; PIMENTEL, G. V. Adjustment of growth curve of different sugarcane varieties using nonlinear models. **Ciência Rural**, v. 50, n.3, p. 1-10, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782020000300204&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 13 maio 2019.

JUMA, N. G., PAUL, E. A.; MARY, B. Kinetic analysis of net mineralization in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 465-472, 1984.

MORAIS, V. A.; SANTOS, C. A.; MELLO, J. M.; DADID, H. C.; ARAÚJO, E. J. G.; SCOLFORO, J. R. S. Spatial and vertical distribution of litter and belowground carbon in a brazilian cerrado vegetation. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 43-52, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602017000100043. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.Doi.org/10.1590/01047760201723012247>.

MOREIRA, F. M. S, SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, p. 1-729, 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**, 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 30 set. 2019.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250 Acesso em: 30 set. 2019.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, A. C. G.; MONROE, P. H. M. Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Forest Research**, n. 27, p. 91-99, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283081169_Carbon_and_nitrogen_mineralization_in_soil_of_leguminous_trees_in_a_degraded_pasture_in_northern_Rio_de_Janeiro_Brazil . Acesso em: 13 maio 2019. DOI: 10.1007/s11676-015-0164-3.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G. Mineralization of C in soil and non-litter addition of plant under different coverage. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2176-2179, 2009. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/7912/5656> . Acesso em: 30 set. 2019.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Nitrogen mineralization in latosols fertilized with organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000300018&script=sci_abstract . Acesso em: 06 set. 2019.

PAULA, G. S.; SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRUHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A. Comparison of nonlinear models for the description of carbon mineralization in soils treated with pig slurry. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 4, p. 82-95, 2019. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1412> . Acesso em: 10 out. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191412> .

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 395-400, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014 . Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000400014> .

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SÁFADI, T.; SILVA, C. A. Comparison of the models for prediction of the mineralized nitrogen: a Bayesian approach. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1792-1797, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso&tlng=pt . Acesso em: 30 set. 2019.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. **R package version 3**. p. 1-122. 2015. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme> . Acesso em: 10 fev. 2019.

PRADO, T.K.L. do; SAVIAN, T.V.; FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A. Study of the growth curve of the internal cavity of fruit dwarf green coconut. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n.3, p. 1-7, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902020000300401&lng=en&nrm=iso&tlng=en . Acesso em: 10 out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200041> .

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n5/a13313cr5976.pdf> Acesso em: 30 set. 2019.

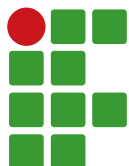
- PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2015.
- RIBEIRO, T. D.; MATTOS, R. W. P.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Description of the growth of Pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, p. 1-11, 2018a. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000400705. Acesso em: 20 dez. 2019.
- RIBEIRO, T. D.; SAVIAN, T. V.; FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A. The use of the nonlinear models in the growth of pears of “Shinseiki” cultivar. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-7, 2018b. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202. Acesso em: 20 dez. 2019.
- SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. A study of in situ degradability: heterogeneity of variances and correlated errors. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 548-554, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162007000500013. Acesso em: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FERNANDES, J. G. F.; MUNIZ, J. A. Description of the carbon mineralization of swine manure and oat straw in the soil through nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, p. 71-86, 2019a. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; FURTADO, T. D. R.; MUNIZ, J. A. Fitting of decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, p. 18-28, 2019b. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; FRUHAUF, A. C.; FERNANDES, F. A.; PAULA, G. S.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Método de Newton e Gauss-Newton na estimação dos parâmetros de modelo de regressão não linear. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 728-734, 2019c. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/946/692>. Acesso em: 30 set. 2019.
- SILVA, E. M.; SILVA, V. F.; FERNANDES, F. A.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. O crescimento de frutos de pêssegos caracterizados por modelos de regressão não lineares. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 290-294, 2019d. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/958/643>. Acesso em: 30 set. 2019.
- SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019.
- SOUSA, I. F.; KUNZLE, J. E.; MUNIZ, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, F. R. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014. DOI:10.1590/0103-8478cr20131341. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016. Acesso em: 06 set. 2019.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non linear models to potassium release from animals manure in latosols. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1789-1796, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012. Acesso em: 13 maio 2019. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/S0103-84782012001000012>.

Submetido: 04/10/2019

Aceito: 24/06/2020



Qualidade de mudas de *Coffea arabica* produzidas em diferentes viveiros do Sul de Minas

Anderson Barreto dos Passos¹

Bruno Manoel Rezende de Melo²

Sindynara Ferreira³

Douglas Goulart Castro⁴

Telma Miranda dos Santos⁵

Leonardo Alves Guedes⁶

Resumo

A obtenção de mudas de qualidade é de fundamental importância para o sucesso da implantação de uma lavoura cafeeira, podendo ser comprovada por meio da avaliação de parâmetros morfológicos e de qualidade das mudas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade das mudas de cafeeiros produzidas em viveiros dos municípios de Inconfidentes, Ouro Fino e Jacutinga, região do Sul de Minas Gerais. O experimento foi conduzido nos viveiros denominados 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, no período de 28 de maio de 2017 a 28 de fevereiro de 2018. O trabalho foi realizado em esquema fatorial 8 x 2, sendo 8 viveiros de mudas, 2 cultivares avaliadas, Catuaí nas linhagens IAC 62 e 144, com 3 repetições contendo 8 mudas cada. Foram avaliadas as seguintes características: área foliar (AF), massa seca total (MST), relação parte aérea raiz (RPAR), relação altura e diâmetro de coleto (RAD) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Os dados foram submetidos à análise conjunta e após verificado diferenças significativas ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de médias Scott Knott. O manejo nos viveiros influenciou o desenvolvimento das diferentes cultivares avaliadas. As mudas provenientes do viveiro 5 em ambas cultivares avaliadas e as mudas do viveiro 8 para a cultivar IAC 144 obtiveram IQD acima de 0,2, apresentando melhor qualidade. Apenas o viveiro 5 apresentou mudas, para as duas cultivares avaliadas, de qualidade adequada. Os demais viveiros de mudas de cafés, independentemente da localização, não apresentaram mudas com qualidade satisfatória para serem levadas a campo.

Palavras-chave: IQD. Catuaí. Viveirista. Análise conjunta.

Introdução

O café é uma das *commodities* agrícolas de maior relevância no Brasil, tendo uma produção estimada de 44.774,3 mil sacas de café beneficiadas em 2017, em uma área equivalente a 2.208,9 mil hectares, sendo que desta área 345,2 mil hectares estão em formação (CONAB, 2017).

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS). Engenheiro agrônomo. andersonbarretodospassos@gmail.com. Praça Tiradentes, 416 - Centro, Inconfidentes/MG, 37576-000.

2 IFSULDEMINAS. Doutor em Fitotecnia/Técnico administrativo. bruno.melo@ifsuldeminas.edu.br.

3 IFSULDEMINAS. Professora no Departamento de Agricultura/Doutora em Agronomia/Fitotecnia. sindynara.ferreira@ifsuldeminas.edu.br.

4 Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Pós-doutorado no Instituto de Ciências Agrárias. douglasgoulartcastro@gmail.com.

5 IFSULDEMINAS. Professora/Doutora do Departamento de Agricultura. telma.miranda@ifsuldeminas.edu.br.

6 IFSULDEMINAS. Discente em Agronomia/Departamento de Agricultura. leo.aguedes97@gmail.com.

A expressiva renovação do parque cafeeiro e a conseqüente adequação aos sistemas de plantio atuais aumentam a demanda por mudas. Como o cafeeiro é uma cultura perene, é necessário o planejamento de todas as fases, particularmente daquelas ligadas diretamente à implantação e à formação da lavoura. Carvalho *et al.* (2007) relataram que qualquer erro cometido na etapa de implantação afetará negativamente a lavoura ao longo dos anos.

Falhas cometidas nesse período podem comprometer seriamente a cultura, resultando em baixas produtividades e menor longevidade. Assim, o plantio de mudas vigorosas de café garante uma menor porcentagem de morte de mudas no campo, diminuindo os gastos com a operação de replantio e contribui para o rápido crescimento inicial das plantas no campo (CARVALHO; GUIMARÃES; NOGUEIRA, 2008; ALVES; GUIMARÃES, 2010).

No comércio de mudas de café, um dos quesitos exigido é a qualidade das mudas. No que tange a produção das mudas, vários fatores estão relacionados, sendo que o volume do recipiente, substrato utilizado, disponibilidade de água (FONTENO; BILDERBACK, 1993), sanidade das mudas podem contribuir para obtenção de mudas de qualidade.

Portanto para confirmar a qualidade dessas mudas faz-se necessário realizar uma análise e com os resultados obtidos tem-se a informação de quais etapas necessitam de melhorias.

Para determinar a qualidade das mudas são avaliados o crescimento do sistema radicular, da parte aérea e diâmetro de coleto, o que permite calcular o desenvolvimento das mudas por meio do índice de qualidade Dickson -IQD (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960), sendo que esses parâmetros de avaliação estão relacionados diretamente aos processos de produção das mudas e aos manejos adotados.

O conhecimento dessas informações indica ao viveirista o período para comercialização das mudas, sugerindo também a melhor época para iniciar o processo de produção no ano seguinte. O desconhecimento do momento ideal de transferência das mudas para o campo pode resultar em perdas devido a fatores como: área foliar, relação altura e diâmetro de coleto e sistema radicular impróprio para o desenvolvimento das mudas, atrasando ou suprimindo o seu crescimento em campo e muitas das vezes comprometendo até a sua sobrevivência (MUNGUABE, 2012).

A produção de mudas de café tem evoluído bastante, porém ainda há a necessidade de adotar um protocolo de manejo para cada realidade, pois a produção de mudas de cafeeiro não apresenta uma metodologia estabelecida, ocorrendo variações no tamanho de recipientes, tipos de substratos utilizados e tratamentos culturais ao longo do processo. Essa falta de padronização gera mudas com características distintas que podem ou não apresentar qualidade adequada para ir a campo. Atualmente, há pouca disponibilidade de pesquisas que visam avaliar a qualidade de mudas de café de uma determinada região. Esse projeto fornecerá dados que auxiliam na tomada de decisão, em direção à melhoria da qualidade das mudas, o que reflete positivamente em toda a cadeia da cafeicultura.

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade das mudas de cafeeiros produzidas nos viveiros dos municípios de Inconfidentes, Ouro Fino e Jacutinga, na região do Sul de Minas Gerais.

Material e métodos

O presente trabalho foi conduzido em oito viveiros comerciais denominados viveiros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, localizados nos municípios de Inconfidentes, Ouro Fino e Jacutinga na região sul do estado de Minas Gerais.

Caracterização dos municípios

Os municípios de Inconfidentes, Ouro Fino e Jacutinga possuem altitude média de 1.150 m, 909 m e 833,58 m, respectivamente. O clima é considerado quente e temperado e a classificação é Cwb (clima subtropical/clima tropical de altitude) segundo Köppen e Geiger (1928), com temperatura média anual variando de 19,3 °C a 19,5 °C.

Os meses em que ocorrem as temperaturas máximas e mínimas são fevereiro e julho com médias de 21,6 °C e 15,7 °C, respectivamente. A pluviosidade média anual varia de 1.518 mm a 1.524 mm, sendo que os períodos de outubro a março são os que apresentam maiores precipitações (> 120 mm), e os meses de abril a setembro possuem menor pluviosidade (<80 mm) (CLIMATE-DATA.ORG, 2018).

Levantamento e demarcação dos viveiros amostrados

Após o levantamento dos viveiros em cada município, realizou-se uma visita aos viveiristas para a coleta dos dados de produção, metodologia utilizada na produção das mudas e caracterização dos viveiros, logo em seguida foi realizada a demarcação aleatória das parcelas experimentais para cada cultivar dentro de cada repetição. Esta visita ocorreu quando as mudas ainda se encontravam no estágio de folhas cotiledonares.

Na sequência, os viveiristas continuaram a realizar o mesmo manejo que era utilizado nas demais mudas de cafeeiro até o período em que atingissem 180 dias da semeadura.

Metodologia de produção de mudas utilizadas nos viveiros

Na Tabela 1 estão descritas as principais informações com relação às características e manejo realizado em cada viveiro.

Tabela 1 – Metodologia de produção de mudas adotadas pelos viveiros 1, 2, 3 e 4, Minas Gerais, Brasil.

Produção	Viveiro 1	Viveiro 2	Viveiro 3	Viveiro 4
Recipiente de produção	Sacos 18 cm x 10 cm	Sacos 18 cm x 10 cm	Sacos 18 cm x 10 cm	Sacos 18 cm x 10 cm
Profundidade de semeadura	2 cm	2 cm	1 cm	2 cm
Cobertura dos canteiros	Capim seco	Capim seco	Capim seco	Capim seco
Sombrite	50 %	50 %	50 %	50 %
Substrato	240 dm ³ de terra e 60 L de esterco de galinha	300 dm ³ de terra e 60 L de cama de frango	180 dm ³ de terra e 60 L de cama de frango	240 dm ³ de terra e 60 L de esterco bovino
Adubo	200 g de KCl* e 750 g de S.S**	1,5 kg de S.S para cada 90 dm ³	1 kg de S.S para cada 240 dm ³	3,5 kg de S.S para 300 dm ³ de substrato
Calcário	Não aplicou	250 g m ⁻² de canteiro	Não aplicou	Não aplicou
Adubação pós – plantio	Stimulate® aplicado 40 dias da germinação e quinzenalmente até o penúltimo mês.	Krista map, aplicado no primeiro par de folha e 15 dias após 1° aplicação	Não aplicou	100 g de ureia em 50 L de água após o primeiro par de folha e outra dose após 15 dias

(continua...)

Tabela 1 – Continuação.

Produção	Viveiro 1	Viveiro 2	Viveiro 3	Viveiro 4
Defensivos utilizados	Kasumin CS Manzate 800 (WP)	Karate 50 EC Dhitane WP	Recop WP Dithane WP Monceren PM	Dithane WP Kasumin SL Karate zeon 50 CS
Irrigação	Aspersão	Mangueira	Mangueira	Mangueira
Capina	Manual	Manual	Manual	Manual
Aclimação	5 meses	4 pares de folha	Sombrite branco aos 5 meses	Não realizou
Recipiente de produção	Saco super-furado 11 cm x 22 cm	Sacos 18 cm x 10 cm	Sacos 18 cm x 10 cm	Sacos 18 cm x 10 cm
Profundidade de semeadura	1 cm	2 cm	2 cm	2 cm
Cobertura dos canteiros	Capim seco	Capim seco	Capim seco	Capim seco
Sombrite	30 %	55 %	50 %	50 %
Substrato	180 dm ³ de terra e 60 L de cama de frango	240 dm ³ de terra e 60 L de cama de frango	180 dm ³ de terra e 60 L de cama de frango	240 dm ³ de terra e 60 L de esterco de galinha
Adubo	5 kg de S.S e 1 Kg de KCl por m ³ de substrato	1,2 Kg de S.S para 300 dm ³ de substrato	1 kg de S.S para 240 dm ³ de substrato	200 g de KCl e 750 g de S.S para 300 dm ³ de substrato
Calcário	Não aplicou	300 kg para 500.000 mudas (superficial)	250 g por m ² de canteiro	Não aplicou
Adubação pós - plantio	Foliar, aminoácido	Não aplicou	Não aplicou	Stimulate® uso aos 40 dias da germinação e quinzenalmente até o penúltimo mês.
Defensivos utilizados	Kasumin SL Dithane WP	Dithane WP Kasumin SL Monceren PM	Dithane WP Karate Zeon 50 SC Monceren PM	Kasumin SL Manzate 80 (WP)
Irrigação	Aspersão	Aspersão	Mangueira	Aspersão
Capina	Herbicida Goal BR; Capina manual	Manual	Manual	Manual
Aclimação	Diminuição da irrigação, retirada do sombrite 4 a 5 meses	Tela branca 93 %, 2 meses antes do plantio	Remove o sombrite	Remove o sombrite com 4,5 meses

*Cloreto de potássio (KCl); **Superfostato Simples (SS)

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Avaliações das mudas

Em todos os viveiros foram utilizadas mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Catuaí, sendo as linhagens IAC 62 e IAC 144 avaliadas aos 180 dias após a semeadura (DAS). Cada viveiro realizou a semeadura em um determinado período do ano (TABELA 2).

Tabela 2 – Datas de semeadura de cada cultivar nos respectivos viveiros. IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. Inconfidentes/MG, 2018.

Cultivares	Viveiros							
	1	2	3	4	5	6	7	8
IAC 62	30/05/17	28/05/17	28/05/17	05/07/17	28/08/17	10/07/17	12/06/17	28/06/17
IAC 144	30/05/17	28/05/17	28/05/17	05/07/17	15/07/17	15/06/17	12/06/17	30/07/17

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Características analisadas

Foram avaliadas as seguintes características de qualidades das mudas:

- Área Foliar (AF): determinada pelo método de Barros *et al.* (1973) por meio da seguinte equação para obtenção da área foliar: $\hat{AF} = 0,667 \times C \times L$, em que: \hat{AF} = estimativa da área foliar (cm²); C = maior comprimento da folha (cm); L = maior largura da folha (cm);
- Massa Seca Total (MST): obtida pela soma da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do sistema radicular (MSR), com resultados expressos em gramas;
- Relação Parte Aérea e Raiz (RPAR): resultado da divisão dos valores da MSPA e MSR;
- Relação Altura e Diâmetro de coleto (RAD): resultado da divisão dos valores de altura (H) e diâmetro do coleto (DC);
- Índice de Qualidade de Dickson (IQD): obtido em função da altura de parte aérea, diâmetro de coleto, massa seca de parte aérea e massa seca de raízes, por meio da seguinte fórmula: $IQD = [\text{matéria seca total} / (\text{RAD} + \text{RPAR})]$;
- Interação genótipos e ambientes: avaliou-se este parâmetro com base nos dados do IQD.

Delineamento experimental e análises estatísticas

O trabalho foi realizado em esquema fatorial 8 x 2, sendo 8 viveiros de mudas, duas cultivares avaliadas e 3 repetições com 8 mudas cada. Os dados foram submetidos à análise conjunta e após verificado diferenças significativas ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de médias de Scott-Knott (1974). As análises foram realizadas utilizando o *software* Sisvar 4.6 (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussão

O resumo da análise de variância com o estudo da interação cultivares e viveiros para área foliar, massa seca total, relação da parte aérea com sistema radicular, relação da altura de planta com diâmetro de coleto e IQD estão na Tabela 3, na qual foi possível verificar que todas as interações foram significativas, demonstrando que o manejo e o ambiente influenciam esses parâmetros, com exceção ao RPAR.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância conjunta para área foliar (AF), massa seca total (MST), relação da parte aérea com sistema radicular (RPAR), relação da altura de planta com diâmetro de coleto (RAD) e IQD, aos 180 dias após a semeadura. IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. Inconfidentes/MG, 2018.

FV	GL	QM				
		AF	MST	RPAR	RAD	IQD
Cultivares (C)	1	30570, 68 ^{ns}	0,06235*	2,8714 ^{ns}	0,1271 ^{ns}	0,000075 ^{ns}
Viveiros (V)	7	3640867, 7297*	3,2500*	14,2944*	5,3197*	0,045742*

(continua...)

Tabela 3 – Continuação.

FV	GL	QM				
		AF	MST	RPAR	RAD	IQD
C x V	7	297790, 19*	0,1998*	2,3671 ^{ns}	0,8151*	0,002151*
Repetição (viveiros)	16	25813,11 ^{ns}	0,0227*	0,8499 ^{ns}	0,0549 ^{ns}	0,000713*
Resíduo	16	18223, 78	0,0086	1,1325	0,0473	0,000217
Média geral		931,17	1,03312	4,4429	4,1747	0,1245
CV%		14,50	9,01	23,95	5,21	11,82

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Área Foliar

O viveiro 5 apresentou a maior média para ambas as cultivares para a característica de AF. Esta característica se relaciona ao MST, sendo que as maiores médias também foram obtidas no viveiro 5. Os viveiros 2, 4 e 7 foram os que apresentaram as menores médias para a cultivar IAC 144 e os viveiros 1, 2, 3, 4 e 7 obtiveram as menores médias para a cultivar IAC 62 para área foliar (TABELA 4).

Na avaliação entre as cultivares nos diferentes ambientes, observa-se que o manejo e o ambiente influenciaram a área foliar, uma vez que a cultivar IAC 62 obteve melhores resultados nos viveiros 2, 4, 5 e 6. Para a cultivar IAC 144, os maiores valores foram para as demais cultivares (TABELA 4).

A avaliação da área foliar torna-se relevante, pois é por meio das folhas que a muda realiza a captação de energia solar, fixa o gás carbônico (CO₂) e conseqüentemente realiza a fotossíntese, garantindo um melhor crescimento da muda, porém sua expansão excessiva também pode ser indicador de compensação devido a uma menor luminosidade (DARDENGO *et al.*, 2013).

Massa seca total

Na análise para MST, o viveiro 5 foi o que obteve as maiores médias em ambas as cultivares avaliadas. Nos viveiros 1, 2, 3, 4 e 7 foram encontrados os menores valores para a cultivar IAC 62 e no viveiro 7 foi encontrado o resultado menos expressivo para a cultivar IAC 144 (TABELA 4).

Observa-se que as cultivares foram influenciadas pelo ambiente e manejo, pois os viveiros 1, 2, 3 e 8 na cultivar IAC 144 e os viveiros 5 e 6 para a cultivar IAC 62 obtiveram maiores pesos para MST.

Marana *et al.* (2008) consideraram como razoáveis valores de massa seca total, para mudas produzidas em tubetes, aqueles situados entre 1,0 g e 1,8 g. Nesta pesquisa, menores valores foram encontrados nos viveiros 1, 2, 3, 4 e 7 para ambas as cultivares. Os demais viveiros apresentaram valores dentro do recomendado ou superiores. Lemos *et al.* (2015) em trabalho com doses de ácido cítrico e fósforo no substrato caipira, utilizando sacolas de polietileno de 22 cm x 11 cm encontraram na dose adequada destes insumos valores de 3,15 gramas de matéria seca, estando esses valores mais condizentes com os resultados encontrados para o viveiro 5.

Meneghelli *et al.* (2017) encontraram para a matéria seca total valores que variaram entre 2,06 e 2,23. Os resultados encontrados no presente trabalho para o viveiro 5, baseados nos resultados de literatura, demonstram, portanto, que valores superiores a 2,06 de matéria seca em mudas produzidas em sacolas são mais adequados para a qualidade de mudas de café produzidas em sacolas de polietileno. Gomes e Paiva (2004) relataram que a MST constitui uma boa indicação da capacidade de resistência da muda no campo. Sua quantidade, bem como a forma como está distribuída, é fundamental para a avaliação das potencialidades das mudas durante seu ciclo.

Tabela 4 – Características de qualidade e crescimento de mudas de café: área foliar (AF) em cm², massa seca total (MST) em gramas, relação parte aérea raiz (RPAR), relação altura e diâmetro de coleto (RAD) e índice de qualidade de Dickson (IQD), em função das cultivares e diferentes viveiros avaliados. IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Inconfidentes/MG, 2018.

Cultivares	Viveiros							
	1	2	3	4	5	6	7	8
AF								
IAC62	484,48aA	382,41aA	587,12aA	383,12aA	2809,83bD	1857,74bC	265,96aA	880,63aB
IAC144	709,54aB	366,01aA	848,03bB	367,12aA	2416,56aD	894,33aB	311,18aA	1334,45bC
MST								
IAC62	0,58aA	0,53aA	0,67aA	0,44aA	2,87bD	1,75bC	0,45aA	1,23aB
IAC144	0,75bC	0,57bB	0,97bD	0,48aB	2,25aG	1,14aE	0,29aA	1,49bF
RPAR								
IAC62	4,52aA	4,31aA	4,57aA	8,03aB	2,92aA	4,39aA	6,09aA	2,64aA
IAC144	4,34aA	4,06aA	3,81aA	5,35aB	2,91aA	2,66aA	7,51aC	2,93aA
RAD								
IAC62	3,51aB	2,93aA	3,67aB	3,87aC	5,61aE	6,29bF	3,43aB	4,48aD
IAC144	3,81aB	2,92aA	3,84aB	3,68aB	5,75aD	4,43aC	3,94bB	4,58aC
IQD								
IAC62	0,07aB	0,07aB	0,08aB	0,04aA	0,33bD	0,16aC	0,04aA	0,17aC
IAC144	0,09bC	0,08aC	0,12bD	0,05aB	0,26aG	0,16aE	0,02aA	0,20bF

*Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) no nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Relação Parte Aérea e Raiz

Na avaliação do RPAR a maior relação foi obtida no viveiro 4 para a cultivar IAC 62, sendo que os demais viveiros não apresentaram diferença para esta característica. Na cultivar IAC 144, o viveiro 7 apresentou maior relação (TABELA 4).

Marana *et al.* (2008), trabalhando com mudas em tubetes, consideraram como ideal de RPAR valores situados entre 4,7 e 7,0. Para a cultivar IAC 62, somente o viveiro 7 apresentou valor dentro do recomendado e para a cultivar IAC 144 apenas o viveiro 4.

Kainuma *et al.* (2002) verificaram em seu trabalho que os indicadores ideais de RPAR estão entre 4,0 e 7,0, sendo que valores acima de 7,0 são um indicativo de que a muda desenvolveu de forma demasiada a parte aérea em detrimento da raiz e valores abaixo de 4,0 sugerem que a muda não apresenta um bom desenvolvimento da parte aérea.

Apesar de o viveiro 5 apresentar valores de RPAR de 2,92 e 2,29 para as cultivares IAC 62 e IAC 144 abaixo dos indicados por Marana *et al.* (2008) e Kainuma *et al.* (2002), esse viveiro apresentou os maiores valores para H (22,22 cm e 20,91 cm), DC (3,96 mm e 3,63 mm), MSPA (2,13 g e 1,67 g) e MSR (0,73 g e 0,58 g) para ambas cultivares, parâmetros que analisados de forma isolada são indicativos de mudas de boa qualidade. Esses resultados permitem inferir que o valor de RPAR encontrado no viveiro 5 está mais adequado para mudas produzidas em sacolas de polietileno, devendo, portanto, novos valores de RPAR serem considerados para mudas produzidas nesse tipo de recipiente.

Mudas com maiores RPAR tendem a possuir uma desproporção da parte aérea e do sistema radicular, portanto essas mudas apresentam mais chances de passar por estresse hídrico induzido pela elevada transpiração e consequente ineficiência do sistema radicular em realizar o suprimento de água. Moraes *et al.* (2010) afirmaram que plantas de cafeeiro crescendo a pleno sol, com elevada RPAR, não crescem de forma adequada haja vista que o suprimento de água na parte aérea não é adequado.

Relação Altura e Diâmetro de coleto

Os resultados encontrados entre os diferentes viveiros para a característica RAD variaram de 2,93 a 6,29 para a cultivar IAC 62 nos viveiros 2 e 6 e de 2,92 a 5,75 respectivamente nos viveiros 2 e 5 para a cultivar IAC 144 (TABELA 4). Pereira, Lima e Melo Junior (2017), trabalhando com diferentes resíduos orgânicos misturados ao substrato comercial, encontraram valores máximos de RAD variando entre 4,64 e 6,9.

Marana *et al.* (2008) estabeleceram como valores adequados de RAD aqueles que variaram de 3,5 a 4,0 para mudas em tubetes, sendo que valores maiores podem indicar crescimento excessivo das mudas e valores inferiores indicam um menor crescimento.

Os viveiros 1, 3, 4 e 7 apresentaram valores dentro do recomendado pela literatura em ambas as cultivares avaliadas. Porém, a H avaliada nesses viveiros foram as menores, influenciando nos valores de RAD, dessa forma, esses resultados não expressam mudas de qualidade.

Quanto a valores de RAD que excederam os valores considerados adequados, esses podem ser ajustados com alterações no manejo, como redução de irrigação e adubações foliares. Valores muito altos também podem ser decorrentes do sombreamento excessivo que provoca o estiolamento das mudas. Menores valores de RAD também não são indicativos de qualidade, pois pode ter ocorrido um crescimento em altura abaixo do esperado induzido por falta de nitrogênio ou de água.

Índice de Qualidade de Dickson

O IQD apresenta correlação positiva com MSPA e MSR (DARLENGO *et al.*, 2013), sendo que neste trabalho foi verificado que o viveiro 5 foi o que apresentou o melhor IQD para as duas cultivares verificando também a maior área foliar, massa seca total e relação mais adequada para RPAR.

Os valores de IQD encontrados nos diferentes viveiros variaram de 0,04 a 0,33 para a cultivar IAC 62 e de 0,26 a 0,16 para a cultivar IAC 144 (FIGURA 1).

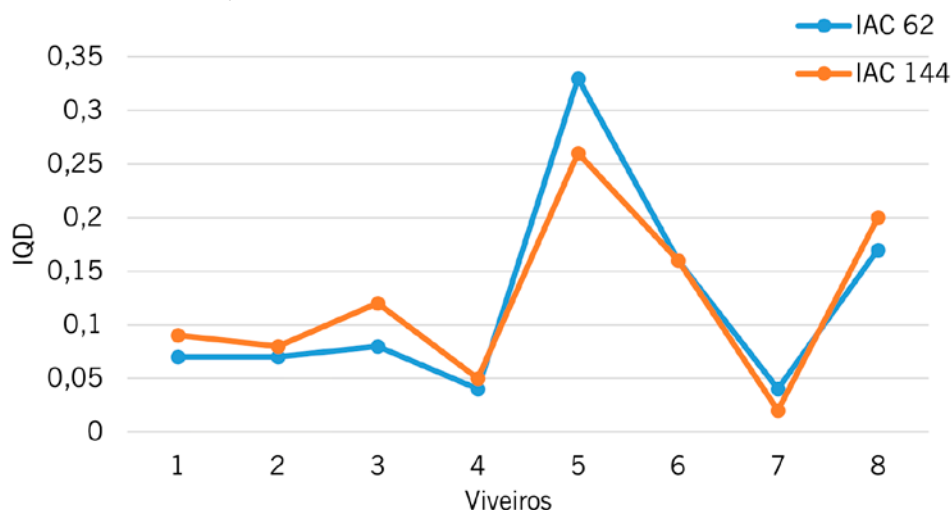
Marana *et al.* (2008) citaram como valor de referência para um bom desenvolvimento da muda aqueles superiores a 0,2. Com relação aos viveiros, o viveiro 5 apresentou valores de 0,33 e 0,26 respectivamente para a cultivar IAC 62 e IAC 144. O viveiro 8 apresentou valor de 0,2 para a cultivar IAC 144. Os demais viveiros independentemente da cultivar avaliada apresentaram valores abaixo de 0,2 (TABELA 4).

Esse índice de qualidade de mudas apresenta-se como um bom indicador para verificação da qualidade, pois leva em consideração a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (FONSECA, 2000). Lemos *et al.* (2015) encontraram valor de IQD de 0,24 para a dose adequada de ácido cítrico e fósforo empregados no substrato para produção de mudas de cafeeiro, estando abaixo do valor encontrado para o viveiro 5.

Segundo Gasparin (2012), mudas que se encontram com valores abaixo de 0,2 ainda não alcançaram o grau de desenvolvimento para serem comercializadas. Esse valor mínimo desejado pode ser atingido por meio do manejo mais adequado das mudas e do material genético utilizado.

Analisando o efeito da interação entre genótipos e ambientes (FIGURA 1) por meio do índice de qualidade de Dickson das mudas de cafeeiro, verifica-se que as cultivares responderam de forma diferenciada ao manejo/ambiente, sendo que o viveiro 5 para a cultivar IAC 62 obteve maior diferença estatística em relação a IAC 144. No viveiro 1, 3 e 8, a cultivar IAC 62 obteve menor IQD em relação a IAC 144 (TABELA 4).

Figura 1 – Interação genótipos e ambientes para o Índice de Qualidade de Dickson. IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Inconfidentes/MG, 2018.



Fonte: Elaboração dos autores (2018).

O menor valor obtido entre as cultivares pode ocorrer não somente pelo manejo, mas também pela localização e data de semeadura (TABELA 3), por exemplo, quando as sementes são expostas a temperaturas mais frias, atrasa-se o período de germinação, conseqüentemente, o desenvolvimento das mudas.

Nos viveiros 1, 2, 3 e 7, nos quais a semeadura foi realizada antecipadamente (TABELA 3), observa-se que as mudas tiveram IQD menores na época de avaliação. Segundo Meireles *et al.* (2007), em condições de campo, a germinação ocorre entre 50 e 60 DAS, porém em condições frias pode ocorrer até os 120 dias.

Infere-se que o manejo adotado pelo viveiro número 5 (TABELA 2) foi o mais adequado, gerando mudas com melhor qualidade em um menor espaço de tempo. O tamanho do recipiente utilizado por esse viveiro foi o maior, o que resultou em mais volume de substrato e maior área para crescimento de raízes, conseqüentemente maior massa seca total e menor RPAR.

O viveiro 5 também é o único a utilizar sombrite de 30 %, o que pode ter contribuído para o melhor crescimento das mudas de café. Tatagiba, Pezzopane e Reis (2010), da mesma forma, verificaram que níveis de sombreamento entre 22 % e 50 % apresentaram mudas de café com maior crescimento vegetativo quando comparado com mudas a pleno sol e sombreamento de 88 %.

Algo de destaque entre os viveiristas é que todos apresentaram, com exceção do viveiro 4, o uso de esterco de galinha ou cama de frango em proporção mínima de 20 %, o que auferiu bons resultados, principalmente para o viveiro 5, o qual utilizou 25 % da cama de frango. O trabalho de Pereira, Lima e Melo Junior (2017) corroborou os teores de cama de frango utilizado pelo viveiro número 5, os autores afirmaram que doses de até 25 % favorecem o desenvolvimento de mudas de cafeeiro.

Os viveiros de número 5 e 8 foram os últimos a semear, contribuindo para a redução do tempo de exposição a temperaturas mais baixas, o que permitiu que, aos 180 DAS, as mudas apresentassem melhores parâmetros de crescimento e qualidade.

As mudas dos viveiros 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8 aos 180 DAS ainda não apresentavam qualidade para irem a campo. Isso ocasiona maior tempo para formação das mudas, conseqüentemente maiores custos com insumos, mão de obra e maior exposição a pragas e doenças.

Conclusão

Apenas o viveiro 5 apresentou mudas, para as duas cultivares avaliadas, de qualidade adequada. Os demais viveiros, independentemente da localização e manejo, não apresentaram mudas de cafeeiro com qualidade satisfatória para serem levadas a campo.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), pelo apoio financeiro concedido.

Quality of *Coffea arabica* seedlings produced in different nurseries in southern Minas Gerais, Brazil

Abstract

Obtaining high-quality seedlings is a step of fundamental importance for the successful implementation of a coffee crop, which can be measured by evaluating seedling morphological and quality parameters. This study examines the quality of coffee seedlings produced in nurseries in the municipalities of Inconfidentes, Ouro Fino, and Jacutinga, southern Minas Gerais State, Brazil. The experiment was carried out in nurseries here termed 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8, from 05/28/2017 to 02/28/2018. The experiment was developed in an 8×2 factorial arrangement consisting of 8 seedling nurseries and 2 cultivars (Catuaí strains IAC 62 and 144) evaluated in 3 replicates containing 8 seedlings each. The following traits were evaluated: leaf area (LA), total dry matter (TDM), shoot: root ratio (S: R), plant height: stem diameter ratio (HDR), and Dickson quality index (DQI). Data were subjected to combined analysis and, after significant differences were detected ($p < 0.05$), the Scott-Knott test of means was applied. The management adopted in the nurseries influenced the development of the evaluated cultivars. Seedlings from nursery 5, of both evaluated cultivars; and from nursery 8, of cultivar IAC 144, exhibited a DQI above 0.2, indicating superior quality. Only nursery 5 showed seedlings of adequate quality for both cultivars. Regardless of their location, the other coffee-seedling nurseries still did not produce seedlings of satisfactory quality to be taken to the field.

Keywords: DQI. Catuaí. Nurseryperson. Combined analysis.

Referências

ALVES, J. D.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G., BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras-MG: UFLA, 2010. 215p.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L. J.; MAESTRI, M.; VIEIRA, L.; BRAGA, L. W. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.

CARVALHO, A. M.; GUIMARÃES, R. J.; MOURA, C. A.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R. Recuperação de mudas de cafeeiro em tubetes através de podas. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 2, n. 1, p. 79-86, jan./jun. 2007. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/42/37>. Acesso em: 24 jun. 2020.

CARVALHO, G. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; NOGUEIRA, A. M. Normas e padrões para a comercialização de sementes e mudas de cafeeiros em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 24-30, 2008.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: Inconfidentes**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/inconfidentes-176515/>. Acesso em: 2 set. 2018.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. Volume 4 - Safra 2017, n.3. Terceiro levantamento. Brasília, p. 1-107. 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/cafes>. Acesso em: 2 set. 2018.

DARDENGO, M. C. J. D.; SOUSA, E. F.; REIS, E. F.; GRAVINA, G.A. Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 8, n. 4, p. 500-509, 2013. Disponível em: http://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/512/pdf_68. Acesso em: 24 jun. 2020.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960. Disponível em: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc36010-1>. Acesso em: 2 set. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar 5.1 - **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2011. p.255-258.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Muil Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Jaboticabal, UEP, 2000. 113p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/27716/S0100-67622002000400015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jun. 2020.

FONTENO, W. C.; BILDERBACK, T. E. Impacto of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. **Journal American Society For Horticultural Science**, v. 118, n. 2, 1993. Disponível em: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/118/2/article-p217.xml>. Acesso em: 24 jun. 2020.

GASPARIN, E. **Armazenamento de sementes e produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan**. Santa Maria-SC: UFSA, 2012, 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)

– Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8691/GASPARIN%2c%20EZEQUIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jun. 2020.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: Propagação sexuada**. Viçosa, MG: UFV, 2004.

KAINUMA, R. H.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; MONTANARI, E.; FRANCO, E. Qualidade de mudas *Coffea arabica* desenvolvidas em diferentes substratos e doses de adubo de liberação lenta. In: II Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. 2002, Porto Seguro - BA. **Resumos**. p. 1865-1872. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio2/manejo40.pdf. Acesso em: 24 jun. 2020.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Die klimate der Erde**. Wall-map 150cm x 200cm, Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LEMONS, V. T.; FRANÇA, A. C.; SILVA, E. B.; MARINHO, R. L. S.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; FREITAS, A. F.; REIS, L. A. C.; CORREA, J. M.; CARVALHO, G. R. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 298-308, 2015. Disponível em: http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/858/pdf_183. Acesso em: 24 jun. 2020.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. de P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v38n1/a07v38n1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

MEIRELES, R. C.; ARAÚJO, E. F.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SAKIYAMA, N. S.; REIS, L. S. SECAFÉ: metodologia para acelerar a germinação das sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 90-96, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbs/v29n3/a12v29n3.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

MENEGHELLI, L. A. M.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, C. M.; KRAUSE, M. R.; VIEIRA, G. H. S. Produção de mudas de café arábica em substrato composto de resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 381-388, 2017. Disponível em: http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1312/pdf_1312. Acesso em: 24 jun. 2020.

MORAES, G. A. B. K.; CHAVES, A. R. M.; MARTINS, S. C. V.; BARROS, R. S.; DAMATTA, F. M. Why is it better to produce coffee seedlings in full sunlight than in the shade? A morphophysiological approach. **Photosynthetica** (Praha), v. 48, n. 2, p. 199-207, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-010-0025-4>. Acesso em: 24 jun. 2020.

MUNGUABE, J. F. **Qualidade morfológica de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição em viveiros comerciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. 73p. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13829/Dissertacao_Joao%20Faustino%20Munguambe.pdf?sequence=1#:~:text=Foram%20avaliadas%20mudas%20clonais%20de,calculados%20os%20seguintes%20%3ADndices%3A%20rela%3A7%3A3o. Acesso em: 24 jun. 2020.

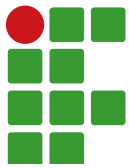
PEREIRA, I. S.; LIMA, K. C. C.; MELO JUNIOR, H. B. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1254/1369>. Acesso em: 24 jun. 2020.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfXz71qDkDx1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/131/pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

Submetido: 02/12/2019

Aceito: 24/06/2020



Inventário, flutuação das colônias e hábitos de nidificação de vespas sociais no IFSULDEMINAS - *Campus Machado*

Elenice Aparecida Fortes¹

Alice dos Reis Fortes²

Letícia Cruz de Almeida³

Lêda Gonçalves Fernandes⁴

Resumo

As vespas sociais oferecem importantes recursos ecossistêmicos como controle biológico e polinização. Muitas espécies são sinantrópicas, no entanto, ainda há poucos estudos sobre esses insetos em ambientes antropizados. Objetivou-se com este trabalho verificar a riqueza, a flutuação das colônias e os substratos preferenciais para nidificação de vespas sociais no IFSULDEMINAS *Campus Machado*. Foram realizados quatro censos/inventários no período de novembro de 2015 a junho de 2016; para a coleta de vespas, utilizou-se do método de coleta ativa com rede entomológica. Os espécimes encontrados foram montados, identificados e depositados na coleção do Laboratório de Entomologia da instituição. No total foram registradas 20 espécies de vespas sociais, os gêneros *Polybia*, *Polistes* e *Mischocyttarus* apresentaram maior riqueza de espécies. Houve um aumento no número de colônias do mês de novembro a março e um decréscimo em junho. *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903) apresentou maior abundância de colônias em todos os meses avaliados. De modo geral, os gêneros *Mischocyttarus* e *Polistes* apresentaram preferência de nidificação pelo substrato construção, enquanto o gênero *Polybia* apresentou preferência pelo substrato vegetação. O *Campus Machado* possui uma diversidade de ambientes que contribui para o estabelecimento de colônias de vespas sociais. Logo, é imprescindível a divulgação dessas informações para a comunidade, além de ações de educação ambiental que demonstrem a importância desses insetos para o ecossistema e a necessidade da conservação ambiental para garantia dos seus serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: Entomologia. Hymenoptera Vespidae. *Mischocyttarus*. Sinantropismo.

Introdução

As vespas sociais são conhecidas popularmente como marimbondos ou cabas, são reconhecidas principalmente pela presença da sua colônia, denominada caixa ou enxu, e também por suas dolorosas ferroadas (PREZOTO *et al.*, 2007). Tais insetos pertencem à ordem Hymenoptera, superfamília Vespoidea, família Vespidae e subfamília Polistinae. Polistinae são insetos eussociais cosmopolitas, no entanto a maior diversidade é constatada em regiões tropicais, especialmente na região neotropical. Essa subfamília possui 26 gêneros e 974 espécies. No Brasil está representada por 22 gêneros e

1 Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus Machado*. Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. forteselenice@gmail.com. Rodovia Machado, Paraguaçu, km 3, Bairro Santo Antônio, Machado/MG, 37.750-000.

2 IFSULDEMINAS – *Campus Machado*. Discente do curso de Engenharia Agrônoma. aliceifmachado@gmail.com.

3 IFSULDEMINAS – *Campus Machado*. Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. lehdealmeida@gmail.com.

4 IFSULDEMINAS – *Campus Machado*. Professora Doutora Engenheira Agrônoma. leda.fernandes@ifsuldeminas.edu.br.

mais de 300 espécies, sendo 104 endêmicas, caracterizando assim uma das faunas da subfamília Polistinae mais rica do mundo (CARPENTER; MARQUES, 2001; PREZOTO; CLEMENTE, 2010; RESENDE *et al.*, 2016). Em Minas Gerais, foram registradas 101 espécies e 17 gêneros (SOUZA; FERREIRO; ALBUQUERQUE, 2015). Como insetos eussociais, as vespas possuem sobreposição de gerações em uma mesma colônia, cuidado cooperativo com a prole e divisão de tarefas. Apresentam duas estratégias para a fundação de um novo ninho: fundação independente e fundação enxameante. Na primeira estratégia, uma ou mais fêmeas iniciam a nova colônia, que se caracteriza por apresentar um tamanho reduzido com poucas células. Por outro lado, na fundação enxameante, um grupo de operárias e rainhas iniciam a nova colônia, geralmente, essa fundação ocorre pelo abandono ou divisão da colônia antiga e se caracteriza pelo maior tamanho e maior população (RESENDE *et al.*, 2016).

As vespas possuem alto grau de sinantropismo (PREZOTO, 1999), pois possuem espécies oportunistas, sendo capazes de modificar seu comportamento de forrageio para aproveitar de novas e diferentes fontes de recursos alimentares (RESENDE *et al.*, 2016). No entanto, de acordo com Oliveira, Souza e Pires (2017) e Torres *et al.* (2014), a associação com ambientes urbanos pode estar relacionada à destruição de seus habitats naturais.

A seleção do local de nidificação e a orientação e a arquitetura das colônias são mecanismos importantes para regular o microclima dentro das colônias e para garantir o seu sucesso (ROCHA, 2011). Em ambientes antropizados, as vespas constroem suas colônias em diversos substratos, algumas são mais seletivas, outras mais generalistas (OLIVEIRA; SOUZA; PIRES, 2017); são consideradas mais eussinantrópicas as que utilizam como substrato apenas construções humanas (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000). Em ambientes urbanos, a duração de uma colônia tende a ser maior devido a benefícios como maior proteção contra intempéries, redução da competição e predação. Porém essa longevidade está condicionada diretamente à ação humana (PREZOTO *et al.*, 2007).

Em virtude de seu comportamento e número de indivíduos, as vespas sociais têm um enorme impacto sobre outros organismos (RICHTER, 2000), como são grandes predadoras garantem o equilíbrio trófico dos ecossistemas. Também são polinizadoras de algumas espécies e bioindicadoras de qualidade ambiental (RESENDE *et al.*, 2016; SOMAVILLA; KÖHLER, 2012). Possuem hábito de forrageamento, ou seja, busca de recursos como água, alimento e materiais como fibras e barro para construir suas colônias (RESENDE *et al.*, 2016). Na fase adulta se alimentam de carboidratos encontrados em flores e frutos e para alimentação de suas larvas caçam presas (CASTRO; GUIMARÃES; PREZOTO, 2011). A água é um recurso empregado na refrigeração da colônia, sendo de suma importância em dias com temperaturas elevadas (ELISEI *et al.*, 2010).

Ao realizar a busca por pólen, as vespas integram a comunidade de visitantes florais, sendo que uma parcela representa efetivos polinizadores (CLEMENTE *et al.*, 2017; SOMAVILLA; KÖHLER, 2012). Assim, diversos estudos buscam caracterizar quais espécies de vespas são visitantes florais mais frequentes e associá-las como efetivas polinizadoras. Sühs *et al.* (2009) coletaram as espécies *Polistes simillimus* Saussure (1853), *Polybia sericea* Olivier (1791) e *Polybia ignobilis* Haliday (1836) com grande quantidade de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi aglomerados em regiões de seu exoesqueleto. Tal fato confirmou a importância dessas espécies como transportadoras de pólen e como potenciais polinizadores. Dada a importância das vespas sociais, torna-se significativa sua conservação para manter a diversidade de ambientes naturais (SOMAVILLA; KÖHLER, 2012).

Além da importância na polinização, as vespas sociais contribuem para o controle biológico natural tanto em ambientes urbanos quanto em agroecossistemas devido a seu hábito de predação de outros insetos (CARPENTER; MARQUES, 2001; PREZOTO *et al.*, 2007; ROCHA, 2011). Entre os

insetos predados pelas vespas, 90% correspondem a lagartas de lepidópteros (PREZOTO *et al.*, 2007; RESENDE *et al.*, 2016), que são consideradas pragas-chave de diversas culturas (GALLO *et al.*, 2002). Essa preferência por tais presas foi observada em diversos trabalhos ao analisar os recursos forrageados, por exemplo, pelas espécies *Polistes versicolor* Olivier (1791) (PREZOTO; CLEMENTE, 2010), *Polybia occidentalis* Olivier (1791) e *Polybia paulista* Von Ihering (1896) (HERDINA *et al.*, 2016).

Mesmo com toda a importância dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelas vespas sociais, ainda há poucas pesquisas sobre elas em ambientes urbanos (ALVARENGA *et al.*, 2010; JACQUES *et al.*, 2012, 2015; OLIVEIRA; SOUZA; PIRES, 2017), inclusive na Região Sudeste, que é a mais estudada no Brasil (SOUZA; VALE; BARBOSA, 2016). Logo, são necessários mais estudos para melhor compreensão do processo de associação das vespas sociais com o ambiente urbano, bem como para um melhor relacionamento entre homens e insetos (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2015; FORTES *et al.*, 2017). Desta forma, objetivou-se com este trabalho inventariar as espécies de vespas sociais e verificar o número e flutuação de colônias e substratos preferenciais utilizados para nidificação nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Machado.

Material e métodos

O estudo foi conduzido no IFSULDEMINAS - *Campus* Machado, Machado/MG. O município possui vegetação típica da Floresta Estacional Semidecidual, bioma Mata Atlântica (IBGE, 2012) e se caracteriza pelo clima do tipo Cwa, subtropical úmido com inverno seco e verão quente (KÖPPEN, 1948), pela temperatura média anual de 21,2 °C e pluviosidade média anual de 1.824 mm (MOURA *et al.*, 2007). Para o inventário das vespas sociais foram realizadas coletas mensais em novembro de 2015 e em janeiro, março e junho de 2016, totalizando quatro coletas, com esforço amostral total de 96 horas. Para a realização do inventário foi utilizado o método de coleta ativa, definindo um percurso repetido mensalmente. Em cada coleta foram vistoriadas as áreas com edificações do *campus*, como prédios, postes e plantas de jardins, observando a presença de vespas sociais e contabilizando todas as colônias ao longo desse percurso. As vespas encontradas nas colônias ou em pleno voo foram coletadas com rede entomológica e armazenadas em recipientes com álcool 70 %. As colônias observadas foram fotografadas com câmera fotográfica digital NIKON D3100.

Os espécimes coletados foram montados em alfinete entomológico para identificação e se encontram depositados na coleção do Laboratório de Entomologia da instituição. A identificação foi feita utilizando chaves entomológicas (RICHARDS, 1978; CARPENTER; MARQUES, 2001) e da comparação com a coleção biológica de vespas sociais (CBVS) do IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes. A identificação das espécies foi confirmada pelo Dr. Marcos Magalhães de Souza da mesma instituição e alguns exemplares de *Mischocyttarus* de Saussure (1853) foram enviados para o Dr. Orlando Tobias Silveira do Museu Pará Emílio Goeldi em Belém/PA.

Os tipos de substratos utilizados pelas vespas sociais foram agrupados conforme Lima, Lima e Prezoto (2000) nas seguintes categorias: construção (paredes, estruturas de cimento e telhas); estruturas metálicas (ar condicionado, calhas, ferro de construção, pregos, parafusos e suporte de lâmpadas); materiais sintéticos (plásticos, borrachas, vidros); madeiras (estruturas de alvenaria) e vegetação (todas as plantas nas quais foram encontrados ninhos). Além do substrato, a altura das colônias em relação ao solo foi agrupada em três categorias: baixa (até dois metros), média (de dois a cinco metros) e alta (mais de cinco metros). Os dados coletados foram tabulados em planilhas

eletrônicas (Calc - LibreOffice) para avaliação da riqueza de espécies, abundância e flutuação do número de colônias ao longo dos meses estudados.

Resultados e discussão

No Campus Machado, no período de novembro de 2015 a junho de 2016, foi registrada uma riqueza total de 20 espécies de vespas sociais distribuídas em sete gêneros. Esta riqueza representa 11,76 % do total de espécies registradas na Mata Atlântica, área considerada como um importante refúgio para a conservação desses insetos no Brasil (SOUZA *et al.*, 2020). O gênero *Polybia* Lepeletier (1836) apresentou maior riqueza de espécies (sete), seguido de *Mischocyttarus* de Saussure (1853) com cinco, *Polistes* Latreille (1802) com três, *Agelaia* Lepeletier (1836) com duas e *Apoica* Lepeletier (1836), *Synoeca* de Saussure (1852) e *Brachygastra* Perty (1833) com uma espécie cada. Resultados semelhantes em ambientes antropizados foram encontrados por Oliveira, Souza e Pires (2017) e Jacques *et al.* (2012) que registraram uma riqueza de 16 espécies distribuídas em 6 gêneros e 20 espécies em 9 gêneros, respectivamente.

Entre as espécies inventariadas, *Agelaia vicina* de Saussure (1854), *Brachygastra lecheguana* Latreille (1824), *Polybia sericea* Olivier (1791) e *Polybia ignobilis* Haliday (1836) foram coletadas em pleno voo, porém suas colônias não foram localizadas. Foi notável a presença de *P. ignobilis* sobrevoando vasilhames de lixo, por outro lado, *A. vicina*, *B. lecheguana* e *P. sericea* foram encontradas próximas à vegetação. Geralmente o ninho dessas espécies não são encontrados em áreas antropizadas (JACQUES *et al.*, 2015; SOUZA, 2010).

Foram registradas colônias de 16 espécies e, do total de colônias observadas, 80,90% pertencem ao gênero *Mischocyttarus*, sendo que dessas, 94,15 % referem-se à espécie *M. cassununga* (TABELA 1). A elevada abundância dessa espécie pode estar relacionada ao pequeno tamanho das suas colônias e a sua baixa agressividade (CASTRO, 2010; CASTRO *et al.* 2014), não representando, assim, uma ameaça aos olhos humanos, o que diminui o risco de depredação antrópica.

Tabela 1 – Número de colônias das espécies de vespas sociais (Hymenoptera Vespidae) encontradas no IFSULDEMINAS - Campus Machado, no período de novembro de 2015 a junho de 2016. Machado/MG.

Espécies	Número de colônias					Abundância (%)
	Nov	Jan	Mar	Jun	Total	
<i>Mischocyttarus cassununga</i> R. von Ihering (1903)	401	793	735	422	2351	76,21
<i>Polistes</i> *	12	15	81	76	184	5,96
<i>Polistes versicolor</i> Olivier (1791)	19	54	19	61	153	4,96
<i>Polistes simillimus</i> Zikán (1951)	8	33	36	7	84	2,72
<i>Polistes ferreri</i> Saussure (1853)	11	19	20	7	57	1,85
<i>Mischocyttarus rotundicollis</i> Cameron (1912)	7	13	26	4	50	1,62
<i>Mischocyttarus</i> *	0	14	23	8	45	1,46
<i>Mischocyttarus drewseni</i> de Saussure (1954)	6	4	17	11	38	1,23
<i>Polybia</i> *	9	9	11	4	32	1,04
<i>Polybia platycephala slyventris</i> Richards (1978)	5	8	8	8	29	0,94
<i>Polybia scutellaris</i> White (1841)	2	2	9	6	19	0,62
<i>Polybia fastidiosuscula</i> Saussure (1854)	4	6	5	0	15	0,49
<i>Mischocyttarus paraguayensis</i> Zikán (1935)	1	3	7	1	12	0,39

(continua...)

Tabela 1 – Continuação.

Espécies	Número de colônias					Abundância (%)
	Nov	Jan	Mar	Jun	Total	
<i>Polybia paulista</i> Von Ihering (1896)	1	3	1	2	7	0,23
<i>Synoecca cyanea</i> Fabricius (1775)	0	0	0	5	4	0,13
<i>Agelaia multipicta multipicta</i> Haliday (1836)	0	0	0	1	1	0,03
<i>Apoica gelida</i> Van der Vecht (1972)	0	0	0	1	1	0,03
<i>Mischocyttarus parallellogrammus</i> Zikán (1935)	1	0	0	0	1	0,03
<i>Polybia bifasciata</i> Saussure (1854)	0	0	0	1	1	0,03
Total	486	976	998	625	3085	

*Não foi possível coletar indivíduos dessas colônias, pois estavam em um local de difícil acesso. Todavia, considerando o padrão da arquitetura das colônias, foi possível identificá-las ao nível de gênero.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

O segundo gênero mais representativo em número de colônias foi *Polistes* (15,49%) (TABELA 1). Segundo Prezoto *et al.* (2007), vespas desse gênero se alimentam de insetos como lagartas desfolhadoras e pulgões, comumente encontrados em jardins e lavouras agrícolas, ambientes comuns no *Campus* Machado, que podem estar propiciando a abundância de colônias da espécie.

O número significativo de colônias em áreas antrópicas demonstram que esses locais possuem condições favoráveis para o estabelecimento de vespas sociais (FERREIRA; SINZATO, 2007). Por sua vez, o *Campus* Machado possui uma diversidade de ambientes, como construções, jardins, áreas de produção agrícola e fragmentos florestais. Alvarenga *et al.* (2010), Bueno, Souza e Clemente (2019) e Jacques *et al.* (2012, 2015) descreveram que heterogeneidade ambiental, assim como presença de áreas verdes, são fundamentais para a ocorrência e abundância de vespas sociais.

Em regiões neotropicais, onde estações climáticas não são bem definidas, a fundação de novas colônias é assíncrona, podendo ocorrer em qualquer época do ano (ROCHA, 2011). Durante os quatro meses de coleta, foram observadas uma média mensal de 771,25 colônias de vespas sociais. De maneira semelhante para os gêneros *Mischocyttarus*, *Polistes* e *Polybia*, houve um acréscimo no número de colônias de novembro a março e um decréscimo no mês de junho (TABELA 1). Uma maior abundância de vespas sociais em períodos mais quentes e chuvosos também foi observada por Alvarenga (2012) e Souza *et al.* (2012). Isso ocorre devido à sazonalidade de fatores climáticos, a qual influencia nas atividades de forrageamento das vespas (PREZOTO *et al.*, 2007), sendo que a estação chuvosa é mais favorável pois há maior disponibilidade de recursos alimentares (CASTRO *et al.*, 2014).

Além dos fatores ambientais, a depredação antrópica influencia diretamente no declínio do número de colônias de maiores proporções, como do gênero *Polybia*, pois o tamanho da colônia é relacionado ao nível de perigo da espécie (LIMA; LIMA; PREZOTO, 2000), fato também observado no presente trabalho (FIGURAS 1 j-l). Rocha (2011) constatou que 60 % do abandono das colônias da espécie *Polybia platycephala slyventris* Richards (1978) ocorreu devido à ação antrópica, sobretudo no período que houve intensificação de obras civis.

O substrato encolhido para nidificação também interfere no sucesso da colônia (CASTRO *et al.*, 2014; TORRES *et al.*, 2014). No *Campus* Machado, os gêneros de fundação independente, *Mischocyttarus* e *Polistes*, que apresentaram a maior abundância de colônias, tiveram preferência por nidificar em substratos artificiais (construção, estruturas metálicas, madeira e material sintético) em detrimento do substrato vegetação (TABELA 2; FIGURAS 2 a-d, f-j, l; FIGURA 3), o que também foi constatado por Lima, Lima e Prezoto (2000). Esses substratos oferecem maior proteção contra

variações climáticas quando comparados a plantas herbáceas e àquelas que possuem folhas pequenas e decíduas (CASTRO *et al.*, 2014). Além da proteção contra intempéries, a nidificação em habitações humanas reduz a competição interespecífica e a predação (TORRES *et al.*, 2014).

Figura 1 – Colônias de vespas do Gênero *Polybia* e substratos utilizados encontrados no IFSULDEMINAS - *Campus Machado* no período de novembro de 2015 a junho de 2016.



Legenda. A-C: *Polybia platycephala slyventris* Richards (1978), D-E: *Polybia paulista* Von Ihering (1896), F: *Polybia* sp., G: *Polybia scutellaris* White (1841), H-I: *Polybia fastidiosuscula* Saussure (1854), J-L: Depredação de colônias de *P. scutellaris* (J-K) e *P. fastidiosuscula* (L).

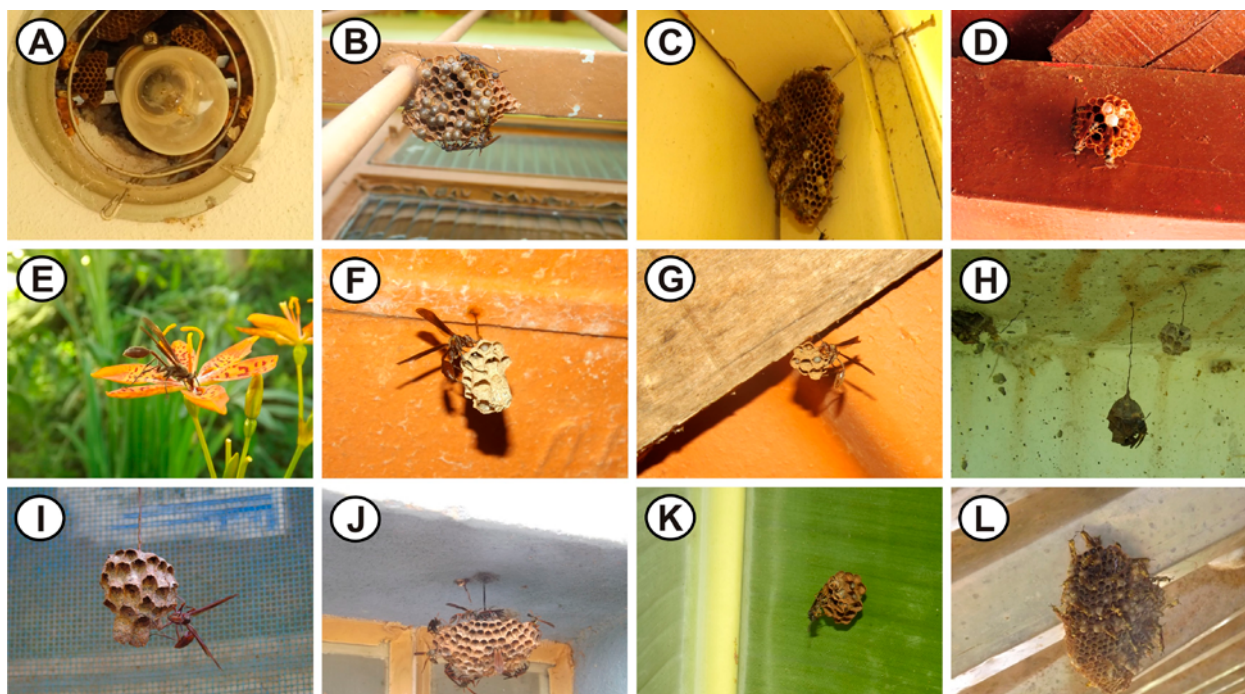
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Tabela 2 – Categorias de substratos utilizados para nidificação pelos gêneros de vespas sociais encontrados no IFSULDEMINAS - *Campus Machado*, no período de novembro de 2015 a junho de 2016. Machado/MG.

Gêneros	Construção	Porcentagem (%) de colônias			
		Estruturas metálicas	Materiais sintéticos	Madeiras	Vegetação
<i>Agelaiia</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
<i>Apoica</i>	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mischocyttarus</i>	46,57	22,01	9,53	20,69	1,19
<i>Polistes</i>	25,00	16,10	5,08	53,39	0,42
<i>Polybia</i>	22,55	26,47	0,98	20,59	29,41
<i>Synoeca</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

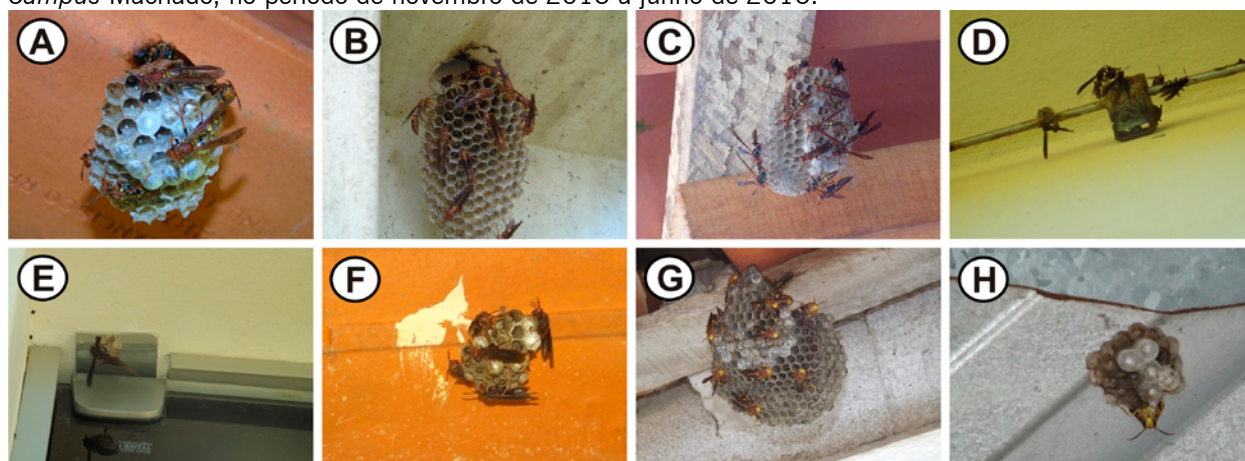
Figura 2 – Colônias de vespas do gênero *Mischocyttarus* e substratos utilizados encontrados no IFSULDEMINAS - Campus Machado, no período de novembro de 2015 a junho de 2016.



Legenda. A-D: *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903), E-G: *Mischocyttarus drewseni* de Saussure (1054), H-J: *Mischocyttarus rotundicollis* Cameron (1912), K: *Mischocyttarus parallelogrammus* Zikán (1935), L: *Mischocyttarus paraguayensis* Zikán (1935).

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Figura 3 – Colônias de vespas do gênero *Polistes* e substratos utilizados encontrados no IFSULDEMINAS - Campus Machado, no período de novembro de 2015 a junho de 2016.



Legenda. A-C: *Polistes versicolor* Olivier (1791), D-F: *Polistes ferreri* Saussure (1853), G-H: *Polistes simillimus* Zikán (1951).

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Entre as espécies de *Polistes*, vale destacar que *Polistes ferreri* Saussure (1853) apresentou preferência por estruturas metálicas (77 %) e a maioria de suas colônias foi encontrada próxima aos aparelhos de ar condicionado instalados nos prédios vistoriados (FIGURAS 3 d, e), onde as vespas

foram avistadas forrageando provavelmente pela água liberada pelo equipamento. Nas estações secas e frias, esse recurso é um fator determinante para a sobrevivência dos indivíduos devido ao decréscimo de recursos alimentares (ELPINO-CAMPOS; DEL-CLARO; PREZOTO, 2007).

Além do substrato, a altura das colônias é crucial para o seu sucesso, principalmente para aquelas espécies de fundação independente, que possuem poucos indivíduos por colônia (PREZOTO; CLEMENTE, 2010). No presente trabalho todas as espécies do gênero *Polistes* e a espécie *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903) construíram suas colônias a uma altura entre 2 e 5 metros do solo (79 % e 70 %, respectivamente). Essas espécies têm preferência por nidificar em habitações humanas, e a altura das colônias equivale a das janelas e dos telhados, tornando-as mais discretas para a percepção humana, o que possivelmente é uma estratégia contra a depredação (ALVARENGA *et al.*, 2010; FERREIRA; SINZATO, 2007; ALVARENGA, 2012; CASTRO *et al.*, 2014) (FIGURAS 2 a-d, f-h, j, l). Ao contrário de *M. cassununga*, as colônias das espécies *Mischocyttarus drewseni* de Saussure (1954) e *Mischocyttarus rotundicollis* Cameron (1912) foram encontradas preferencialmente na categoria de altura baixa (54 % e 59 %, respectivamente), mas geralmente estavam em locais mais protegidos e com menor fluxo de pessoas.

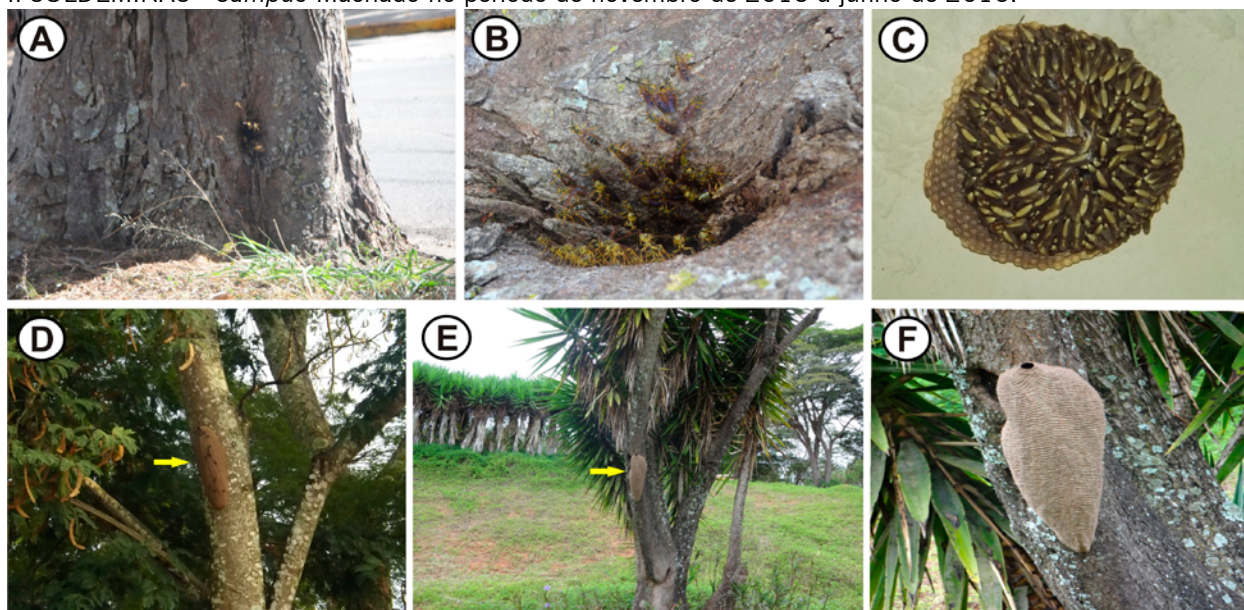
Da mesma forma que *Polistes* e *M. cassununga*, o gênero *Polybia* apresentou preferência por nidificar na categoria média de altura (70 %), porém o substrato preferencial para nidificação foi em plantas (TABELA 2 e FIGURA 1 a-c, f, h, i, l). Entre as espécies, *P. platycephala slyventris* foi encontrada principalmente na parte adaxial da palmeira *Livistona chinensis* (Jack.) R. Br. ex. Mart (FIGURA 1 b). Essa palmeira é abundante em jardins urbanos, possui altura considerável e folhas largas, o que proporciona abrigo e proteção às vespas sociais contra condições climáticas adversas (ALVARENGA *et al.*, 2010; ALVARENGA, 2012).

Além de *L. chinensis*, espécies do gênero *Polybia* também foram encontradas em outras plantas. *Polybia bifasciata* Saussure (1854) foi encontrada apenas uma vez em *Coffea arabica* L.; *P. platycephalla slyventris* foi encontrada em *Yucca elephantipes* Regel (FIGURA 1a) e em *Dypsis lutescens* (H.Wendl.) Beent. & J. Dransf. (FIGURA 1c); *Polybia sp.* foi encontrada em *Bambusa sp.* (FIGURA 1f) e em *Magnolia champaca* (L.) Baill. ex Pierre; *Polybia fastidiosuscula* Saussure (1854) foi encontrada em *Caesalpinia pluviosa* DC. (FIGURA 1h); *P. platycephalla slyventris* e *P. fastidiosuscula* foram encontradas em *Musa sp.* (FIGURA 1l). Rodríguez *et al.* (2012) também registraram *P. platycephalla slyventris* em folha de *Musa sp.*, e citaram que essa espécie pode contribuir para o controle biológico de lagartas pragas desta planta.

O gênero *Synoeca* apresentou apenas uma espécie, *Synoeca cyanea* Fabricius (1775) e todas as colônias foram registradas apenas no mês de junho (TABELA 1). Segundo Elisei *et al.* (2005), essa espécie tem preferência por forragear ao longo do dia sob condições de altas temperaturas e baixa umidade, condições típicas de estações mais secas. Vale ressaltar que Pádua *et al.* (2017) relataram que nessa estação as pessoas tendem a visualizar colônias de vespas sociais com maior facilidade devido à deciduidade das árvores.

As colônias de *S. cyanea* foram registradas apenas no substrato vegetação, no arbusto *Y. elephantipes* (FIGURAS 4 e, f) e em árvores da família Leguminosae como *Anadenanthera sp.* (FIGURAS 4 d) e *C. pluviosa*. Com relação à altura, no arbusto a colônia foi encontrada na categoria baixa e nas árvores na categoria alta. Oliveira, Souza e Pires (2017) também observaram essa espécie com nidificação restrita à vegetação e explicaram que isso ocorre devido ao tipo de colônia. Além disso, a nidificação de *S. cyanea* em *Anadenanthera sp.* pode facilitar a regulação térmica da colônia durante o inverno, uma vez que são plantas decíduas e permitem uma maior exposição aos raios solares (SOUZA, 2010).

Figura 4 – Colônias de vespas dos gêneros *Agelaia*, *Apoica* e *Synoeca*, e substratos utilizados encontrados no IFSULDEMINAS - *Campus* Machado no período de novembro de 2015 a junho de 2016.



Legenda. A-B: *Agelaia multipicta multipicta* Haliday (1836), C: *Apoica gelida* Van der Vecht (1972), D- F: *Synoeca cyanea* Fabricius (1775).

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Da mesma maneira que *Synoeca*, o gênero *Apoica* apresentou apenas uma espécie, *Apoica gelida* Van der Vecht (1972), sendo encontrada somente uma colônia no substrato construção a uma altura média (FIGURA 4 c). Espécies desse gênero se caracterizam por hábitos noturnos (CARPENTER; MARQUES, 2001) e por isso é mais difícil coletá-las durante o dia (JACQUES *et al.*, 2015).

Foram registradas duas espécies do gênero *Agelaia*, *A. vicina* e *Agelaia multipicta multipicta* Haliday (1836). Espécies desse gênero se caracterizam por nidificar em cavidades no solo e em tronco de árvores (SOMAVILLA; OLIVEIRA; SILVEIRA, 2012). No presente trabalho a colônia de *A. multipicta multipicta* foi encontrada na base do tronco de *C. pluviosa* (FIGURAS 4 a, b). Apesar de não ter sido encontrada a colônia de *A. vicina*, esta foi a mais abundante entre as espécies capturadas em armadilhas atrativas na horta do *Campus* Machado (FORTES; FORTES; FERNANDES, 2018).

A riqueza e a abundância de colônias de vespas sociais encontradas no IFSULDEMINAS - *Campus* Machado evidenciou que esses insetos fazem parte do cotidiano das pessoas. Entretanto, a ocorrência de muitas espécies em ambientes antropizados está ameaçada devido à depredação antrópica das colônias, principalmente pelo uso indiscriminado de inseticidas (SILVA FILHO; CASSINO, 2004). Dessa forma, a educação ambiental é imprescindível para informar sobre a importância ecossistêmica das vespas sociais e para promover a sua conservação (PÁDUA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2015; SOUZA, 2010).

Conclusão

O IFSULDEMINAS - *Campus* Machado possui uma diversidade de ambientes que contribuem para o estabelecimento de colônias de vespas sociais. Ao longo dos meses estudados, foi possível observar uma diminuição do número de colônias da estação chuvosa para a seca. O gênero *Polybia*

apresentou maior riqueza de espécies, porém o gênero *Mischocyttarus*, em destaque a espécie *Mischocyttarus cassununga*, apresentou maior abundância de colônias em todos os meses avaliados. Tal fato se deve à preferência de nidificação por habitações humanas e baixa agressividade. Dado o sinantropismo das vespas sociais, é importante que a comunidade, que tem contato direto com esses insetos, saiba da sua importância, assim como da importância de preservá-las. Logo se fazem necessárias ações de educação ambiental para divulgar tais informações, além de ensinar o correto manejo das colônias.

Agradecimentos

Ao IFSULDEMINAS - *Campus* Machado, pela concessão da bolsa de estudos e ao Prof. Dr. Marcos Magalhães de Souza pelo auxílio na identificação das espécies.

Inventory, colony fluctuation, and wasp nesting social habits in IFSULDEMINAS - Machado Campus

Abstract

Social wasps offer important ecosystem resources as biological control and pollination. Many species are synanthropic, however, there are still few studies of these insects in anthropized environments. The objective of this study was to verify the richness, colony fluctuation, and preferential substrates for social wasp nesting at IFSULDEMINAS Campus Machado. Four censuses/inventories were carried out from November 2015 to June 2016, and the active collection method with an entomological net was used for wasp collection. The specimens found were assembled, identified, and deposited in the collection of the entomology laboratory of the institution. In total, 20 species of social wasps were registered, from which the genera *Polybia*, *Polistes*, and *Mischocyttarus* showed a greater richness of species. The number of colonies increased from November to March, decreasing in June. *Mischocyttarus cassununga* R. von Ihering (1903) had more abundance of colonies in all months evaluated. Broadly, the genera *Mischocyttarus* and *Polistes* presented nesting preference for the building substrate, while the genus *Polybia* presented preference for the vegetation substrate. Machado Campus has a diversity of environments that contributes to the establishment of social wasp colonies. Therefore, it is essential to disseminate this information and environmental education actions to the community to demonstrate the importance of these insects for the ecosystem and the need for environmental conservation to guarantee their ecosystem services.

Keywords: Entomology. Hymenoptera Vespidae. *Mischocyttarus*. Synanthropism.

Referências

ALVARENGA, R. B. **Vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) em áreas antrópicas**. 2012. 46 p. Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

ALVARENGA, R. B.; CASTRO, M. M. de; PREZOTO, H. H. S.; PREZOTO, F. Nesting of social wasps (Hymenoptera, Vespidae) in urban gardens in Southeastern Brazil. **Sociobiology**,

v. 55, n. 2, p. 445–452, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266853554_Nesting_of_Social_Wasps_Hymenoptera_Vespidae_in_Urban_Gardens_in_Southeastern_Brazil. Acesso em: 22 jun. 2020.

BUENO, E. T.; SOUZA, M. M.; CLEMENTE, M. A. The effect of forest fragmentation on Polistinae. **Sociobiology**, v. 66, n. 3, p. 508-514, 2019. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/4378>. Acesso em: 22 jun. 2020.

CARPENTER, J. M.; MARQUES, O. M. Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia. **Publicações digitais**, v. 2. Universidade Federal da Bahia. 2001. 147 p.

CASTRO, M. M. de. **Desenvolvimento pós-embrionário, oofagia e relação entre as interações de dominância e a atividade forrageadora na vespa social *Mischocyttarus cassununga* (Von Ihering, 1903) (Hymenoptera, Vespidae)**. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

CASTRO, M. M. de; AVELAR, D. L. G. de; SOUZA, A. R. de; PREZOTO, F. Nesting substrata, colony success and productivity of the wasp *Mischocyttarus cassununga*. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 58, n. 2, p. 168–172, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbent/v58n2/a09v58n2.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

CASTRO, M. M. de; GUIMARÃES, D. L.; PREZOTO, F. Influence of environmental factors on the foraging activity of *Mischocyttarus cassununga* (Hymenoptera, Vespidae). **Sociobiology**, v. 58, n. 1, p. 1– 10, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266853624_Influence_of_Environmental_Factors_on_the_Foraging_Activity_of_Mischocyttarus_cassununga_Hymenoptera_Vespidae. Acesso em: 22 jun. 2020.

CLEMENTE, M. A.; VIEIRA, K. M.; CAMPOS, N. R.; DEL-CLARO, K.; PREZOTO, F. Social wasp guild (Hymenoptera: Vespidae) visiting flowers in two of the phytophysiognomic formations: Riparian Forest and campos rupestres. **Sociobiology**, v. 64, n. 2, p. 217, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/%20article/view/136>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ELPINO-CAMPOS, Á.; DEL-CLARO, K.; PREZOTO, F. Diversity of social wasps (Hymenoptera: Vespidae) in cerrado fragments of Uberlândia , Minas Gerais state , Brazil. **Ecology, Behavior and Bionomics**, v. 36, n. 5, p. 685–692, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2007000500008. Acesso em: 22 jun. 2020.

ELISEI, T.; RIBEIRO JUNIOR, C.; GUIMARÃES, D. L.; PREZOTO, F. Foraging activity and nesting of swarm-founding wasp *Synoeca cyanea* (Hymenoptera: Vespidae, Epiponini). **Sociobiology**, v. 46, n. 2, p. 317–327, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Thiago_Elisei/publication/236146814_Foraging_Activity_and_Nesting_of_SwarmFounding_Wasp_Synoeca_cyanea_Hymenoptera_Vespidae_Polistinae/links/0deec5165c1ef42558000000.pdf. Acesso em: 22 jun. 2020.

ELISEI, T.; VAZ, J.; RIBEIRO JUNIOR, C.; FERNANDES JUNIOR, A. J.; PREZOTO, F. Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,

v. 45, n. 9, p. 958–964, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n9/a04v45n9.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

FORTES, A. R.; FORTES, E. A.; FERNANDES, L. G. Avaliação de diferentes atrativos na coleta de vespas (Hymenoptera: Vespidae) em área de produção de hortaliças. In: *Cadernos de Agroecologia – Anais... VI CLAA, X CBA e V SEMDF – V*, v. 13, n. 1, 2018.

FORTES, E. A.; FORTES, A. R.; ALMEIDA, L. C. de; FERNANDES, L. G. Riqueza de vespas sociais (Hymenoptera Vespidae) no IFSULDEMINAS – Campus Machado. In: 9º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, E 6º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 6 a 8 novembro de 2017, Machado, MG. *Anais... Machado*, v. 9, 2017 Disponível em: <https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcpcs/jcpcs/paper/viewFile/943/700>. Acesso em: 22 jun. 2020.

FERREIRA, E. L.; SINZATO, D. M. S. Ocorrência e sítio de nidificação de vespas sociais *Polistes* sp. (Hymenoptera, Vespidae) no Parque Aquático Águas Quentes, Barra do Piraí/RJ. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007, Caxambu. *Actas... Caxambu*: [s.n.], 2007, p. 1-2. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiiiceb/pdf/2072.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA-NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI-FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Manual de Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

HERDINA, A. S.; BITTENCOURT, G.; DI MARE, R.; BARBOSA, B. C. *Polybia* (Myrapetra) *scutellaris* (Hymenoptera: Vespidae) foraging on flies at carcasses of *Rattus norvegicus* (Rodentia: Muridae). **Sociobiology**, v. 63, n. 1, p. 728–730, 2016. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/937>. Acesso em: 22 jun. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências (Manuais Técnicos de Geociências, 1), 2012. 271 p.

JACQUES, G. C.; CASTRO, A. A. de; SOUZA, G. K.; SILVA-FILHO, R.; SOUZA, M. M. de; ZANUNCIO, J. C. Diversity of social wasps in the Campus of the “Universidade Federal de Viçosa” in Viçosa, Minas Gerais state, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 1–10, 2012. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/566>. Acesso em: 22 jun. 2020.

JACQUES, G. C.; SOUZA, M. M.; COELHO, H. J.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, L. C. P. Diversity of social wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae) in an agricultural environment in Bambuí, Minas Gerais, Brazil. **Sociobiology**, v. 62, n. 3, p. 439–445, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/738/0>. Acesso em: 22 jun. 2020.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. 1948. 478 p.

LIMA, M. A. P.; LIMA, J. R.; PREZOTO, F. Levantamento dos gêneros, flutuação das colônias e hábitos de nidificação de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) no Campus da UFJF, Juiz de Fora, MG. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 2, n. 1, p. 57–67, 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/zoociencias/article/view/24289>. Acesso em: 22 jun. 2020.

MOURA, L. C.; MARQUES, A. F. S. M.; HADAD, R. M.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R. A Aptidão Agrícola das Terras do município de Machado - MG e a Cafeicultura. **Caderno de Geografia**, v. 17, n. 28, p. 141–162, 2007.

OLIVEIRA, T. C. T.; SOUZA, M. M.; PIRES, E. P. Nesting habits of Social wasps (Hymenoptera: Vespidae) in forest fragments associated with anthropic areas in southeastern Brazil. **Sociobiology**, v. 64, n. 1, p. 101–104, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/1073>. Acesso em: 22 jun. 2020.

OLIVEIRA, T. C. T.; SOUZA, M. M.; SOUZA, A. F. L.; PASSARI, G. J.; FERREIRA, J. S.; SILVA, R. A. Nidificação de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) em fragmentos urbanos do Sul de Minas Gerais. In: 7º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, E 4º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO, Poços de Caldas, Minas Gerais, 12 de novembro de 2015. **Anais...** Poços de Caldas, v. 7, 2015. 7p. Disponível em: <https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcpcs/jcpcs/paper/viewFile/943/700>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PÁDUA, D. C. de; SOUZA, M. de; BRUNISMANN, Â.; COELHO, E.; PIRES, E. Conhecimento popular sobre vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) nas comunidades do Entorno do Refúgio da Vida Silvestre do Rio Pandeiros, Norte do Estado De Minas Gerais. **Ethnoscientia**, v. 2, n. 1, p. 1–11, 2017. Disponível em: <http://www.ethnoscientia.com/index.php/revista/article/view/83>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PREZOTO, F. A importância das vespas como agentes no controle biológico de pragas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 2, n. 9, p. 24–26, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267445178_A_importancia_das_vespas_como_agentes_no_controle_biologico_de_pragas. Acesso em: 22 jun. 2020.

PREZOTO, F.; CLEMENTE, M. A. Vespas sociais do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **MG BIOTA**, v. 3, n. 4, p. 22–32, 2010.

PREZOTO, F.; RIBEIRO-JÚNIOR, C.; OLIVEIRA-CORTES, S. A.; ELISEI, T. Manejo de vespas e marimbondos em ambiente urbano. In: PINTO, A. S., ROSSI, M. M.; SALMERON, E. (orgs.). **Manejo de Pragas Urbanas**. Piracicaba, Editora CP2, 2007. 192 p.

RESENDE, L. de O.; PREZOTO, F.; BARBOSA, B. C.; GONÇALVES, E. L. **Sustentabilidade: Tópicos da Zona da Mata Mineira**. Juiz de Fora: Edição dos autores, [s.l.: s.n.], 2016, p. 19–30.

RICHARDS, O. W. **The social wasps of the America, excluding the Vespinae**. London, British Museum (Natural History), 1978. 580 p.

RICHTER, M. R. Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) foraging behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 121–150, 2000. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ento.45.1.121>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ROCHA, M. de P. **Biologia e ecologia comportamental da vespa social *Polybia platycephala* (Richards, 1978) (Hymenoptera, Vespidae, Epiponini)**. 2011. 76 p. Dissertação (Mestrado Comportamento e biologia animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

RODRÍGUEZ, F.; BARROS, L.; CAROLINE, P.; SOUZA, M. M.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Nidification of *Polybia platycephala* (Hymenoptera: Vespidae) on plants of *Musa* spp. in Minas Gerais state, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 457–461, 2012. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/609>. Acesso em: 22 jun. 2020.

SILVA-FILHO, R.; CASSINO, P. C. R. Marimbondos. **Informativo dos entomologistas do Brasil**, n. 2, p. 11–13, 2004.

SOMAVILLA, A.; KÖHLER, A. Preferência floral de vespas (Hymenoptera, Vespidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 5, n. 1, p. 21–28, 2012. Disponível em: <https://www.entomobrasilis.org/index.php/ebras/article/view/152>. Acesso em: 22 jun. 2020.

SOMAVILLA, A.; OLIVEIRA, M. L. de; SILVEIRA, O. T. Guia de identificação dos ninhos de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) na Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, n. 4, p. 405–414, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0085-56262012000400003&script=sci_arttext. Acesso em: 22 jun. 2020.

SOUZA, M. M. de. **Vespas sociais (Hymenoptera : Vespidae) indicadoras do grau de conservação de florestas ripárias**. 2010. 65 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SOUZA, M. M. de; FERREIRO, J. S.; ALBUQUERQUE, C. H. B. de. Coleção taxonômica de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de MG, Campus Inconfidentes. **MG BIOTA**, v. 8, n. 3, p. 16–30, 2015.

SOUZA, M. M.; PIRES, E. P.; FERREIRA, M.; LADEIRA, T. E.; PEREIRA, M. ELPINO-CAMPOS, A.; ZANUNCIO, J. C. Biodiversidade de vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **MG BIOTA**, v. 5, n. 1, p. 4–19, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267776727_Biodiversidade_de_vespas_sociais_Hymenoptera_Vespidae_do_Parque_Estadual_do_Rio_Doce_Minas_Gerais_Brasil. Acesso em: 22 jun. 2020.

SOUZA, M. M.; TEOFILU-GUEDES, G. S.; MILANI, L. R.; SOUZA, A. S. B. de; Gomes, P. P. Social Wasps (Vespidae: Polistinae) from the Brazilian Atlantic Forest. **Sociobiology**, v. 67, n. 1, p. 1–12, 2020. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/4597>. Acesso em: 22 jun. 2020.

SOUZA, C. A.; VALE, A. C.; BARBOSA, B. C. Vespas Sociais (Vespidae: Polistinae) em fitofisionomias urbanas: um checklist do município de Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 9,

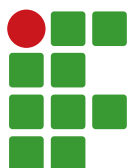
n. 3, p. 169–174, 2016. Disponível em: <https://www.entomobrasil.org/index.php/ebras/article/view/ebrasilis.v9i3.620>. Acesso em: 22 jun. 2020.

SÜHS, R. B. ; SOMAVILLA, A.; KÖHLER, A.; PUTZKE, J. Vespídeos (Hymenoptera, Vespidae) vetores de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. **Brazilian Journal of Biosciences**, v. 7, n. 2, p. 138–143, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/288273875_Vespideos_Hymenoptera_Vespidae_vetores_de_polen_de_Schinus_terebinthifolius_Raddi_Anacardiaceae_Santa_Cruz_do_Sul_RS_Brasil. Acesso em: 22 jun. 2020.

TORRES, R. F. ; TORRES, V. O.; SÚAREZ, Y. R.; ANTONIALLI, W. F. Effect of the habitat alteration by human activity on colony productivity of the social wasp *Polistes versicolor* (Olivier) (Hymenoptera: Vespidae). **Sociobiology**, v. 61, n. 1, p. 100–106, 2014. Disponível em <http://periodicos.uefs.br/ojs/index.php/sociobiology/article/view/243>. Acesso em: 22 jun. 2020.

Submetido: 07/03/2020

Aceito: 25/06/2020



Viabilidade de terreiro revestido com blocos de concreto porosos para secagem do grão de café

João Pedro Junqueira¹

Alisson Pinto Soares Ponzó²

Alisson Souza de Oliveira³

Resumo

O sucesso da atividade cafeeira depende do processo de secagem dos grãos, visto que influencia grandemente a qualidade físico-química do café, gerando bebidas de boa ou má qualidade. Neste sentido, o tipo de terreiro tem grande influência na qualidade final do produto. Portanto, neste trabalho foram avaliados terreiros de terra batida e bloco de concreto poroso, sendo o experimento conduzido no município de Cambuquira/MG. Para tanto, foram construídos blocos de concreto porosos e de terra batida com as dimensões de 50 x 50 x 10 cm, totalizando 10 blocos de cada tipo de terreiro. O delineamento experimental foi em blocos casualidades (DBC), sendo utilizado o café cereja, com 10 repetições, totalizando 20 parcelas. Para a avaliação da capacidade de infiltração de água no bloco de concreto poroso, utilizou-se de um cilindro de 30 cm de diâmetro colocado no centro do bloco de concreto poroso, com as bordas inferiores rejuntadas com cimento para garantir a utilização somente da área interna do cilindro. O processo de secagem do café em terreiro de bloco de concreto poroso proporcionou melhor qualidade tanto na bebida quanto na redução do número de defeitos nos grãos. No município de Cambuquira, o potencial de infiltração e armazenamento de água pluvial é de 58,8 m³/ano. Considerando um horizonte de 10 anos (vida útil), a construção do terreiro de bloco de concreto poroso é economicamente viável em relação ao terreiro de terra batida, proporcionando ganhos de até 15 %.

Palavras-chave: Qualidade do café. Infiltração da água pluvial. Água da chuva.

Introdução

O Brasil é um país que apresenta condições climáticas favoráveis para a cultura do café, proporcionando o plantio de Norte a Sul, diante de diversos fatores como clima, altitude, solos, entre outros, fazendo com que os nossos produtores consigam diversos padrões de qualidade e características únicas ao nosso produto.

A cultura do café, desde que foi implantada no Brasil, em meados do século XVII, adquiriu grande importância econômica e social, deixando o país como o maior exportador no cenário mundial. No ano de 2018, a produção nacional foi de aproximadamente 58,0 milhões de sacas, representando 36 % do mercado internacional. No estado de Minas Gerais, especialmente na Região Sul, a cultura do café é uma das principais atividades desenvolvidas nas propriedades rurais. Em 2018 a produção de café no estado atingiu cerca de 30,7 milhões de sacas, correspondendo a aproximadamente 53% de toda produção nacional (CONAB, 2018).

1 Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). Graduando em Agronomia. joaopedrojunqueiracbq@hotmail.com. Av. Castelo Branco, 82 - Chácara das Rosas, Três CoraçõesMG, 37417-150.

2 UninCor. Graduando em Agronomia. jonasponzo@yahoo.com.br

3 UninCor. Professor titular. alissonso@hotmail.com.

Existem várias espécies de café, sendo as principais com viabilidade econômica produzidas no Brasil, a robusta (*Coffea canephora* P.) e o arábica (*Coffea arabica* L.), que são viáveis economicamente no Brasil. A espécie arábica é a principal cultivada e também a mais conhecida. Conforme COSTE (1955), o café arábica apresenta um caule principal com os ramos secundários nos quais ocorre a frutificação com produção estimada 2019 em torno de 34,30 milhões de sacas. apresenta uma qualidade, aroma e sabor agradável, e um teor de cafeína menos acentuado, fazendo com que sua busca no mercado seja maior. Possui um selo de qualidade para os produtores que, visando assim uma qualidade de procedência. Destacam-se as variedades Bourbon Amarelo, Bourbon Vermelho, Catuaí Amarelo, Catuaí Vermelho, Obatã e Mundo Novo.

O café robusta, conhecido como conilon, é uma espécie com maior resistência às diversidades expostas em nosso país, como a seca e a precipitação. Sua produção predominante ocorre no Espírito Santo, Norte de Minas Gerais e Norte do País. O café robusta não apresenta caule principal, mas sim vários ramos onde ocorre a frutificação, possuem teores de cafeína maiores em relação à arábica (PAULINO *et al.*, 1987). Além de um sabor único e menor acidez, apresenta custo de produção bem menor, o que se torna um atrativo para muitos produtores que buscam escapar de maior investimento na manutenção da lavoura, porém, seu valor de mercado também é menor. Além do café robusta e arábica, existe o blend, que pode ser definido como misturas de dois ou mais tipos de café que podem ser da mesma espécie e/ou de diferentes espécies e ainda, de diferentes regiões e safras (FERNANDES *et al.*, 2003). A criação do blend é a maneira de se combinar cafés com características complementares, buscando-se o equilíbrio entre, corpo, acidez, doçura e grau de torração de tal forma que a mistura produza uma bebida com características específicas para determinado tipo de consumidor (MOURA *et al.*, 2007).

O processo da secagem do café é uma das etapas que mais influencia a qualidade dos grãos (SILVA; LACERDA FILHO, 1989), no Brasil existe a secagem em secadores mecânicos e em terreiros, sendo esses de vários materiais, os mais utilizados são: terra batida cujo material usado para tal é o próprio solo onde será limpo e compactado com rolo mecânico pé de carneiro ou soquete manual. A lama asfáltica, que além da área escolhida e compactada usa outros materiais para a sua fabricação como impermeabilizantes, pó de brita e emulsão asfáltica. O concreto para sua produção precisa de matérias como brita, areia, cimento para fazer o concreto propriamente dito. O terreiro suspenso, que pode usar na sua construção madeira da própria fazenda, como mourões, bambus, entre outras ou vigas de concreto para fazer a base onde será colocado o sombrite, o terreiro pavimentado possui um custo superior inicial de implantação por possuir uma quantidade superior de materiais e mão de obras (SANTOS; REINATO, 2017).

Alguns trabalhos vêm sendo realizados para determinar os impactos físicos e químicos do terreiro pavimentado e não pavimentado na qualidade final dos grãos (VIANA *et al.*, 2002; BORÉM *et al.*, 2004 REINATO *et al.*, 2005).

Estes impactos afetam a classificação final, bem como a qualidade do produto, pois grãos com defeitos físicos tendem a obter preço menor que o grão com características normais; por outro lado, com mudanças químicas em sua constituição, o grão perde preço de mercado e apresenta sabor desagradável, adstringência, aroma, acidez, isso se dá pela depreciação dos teores de açúcar - aumento da condutividade elétrica, lixiviação do potássio - que proporciona a redução da qualidade sensorial do café (MARQUES *et al.*, 2008).

Contudo, essa reação depende muito do pré e pós-colheita, pois, em grãos com danos físicos, a depreciação tende a ser mais intensa, por isso o processo de pré-secagem, ou seja, a colheita e o transporte dos grãos devem ser feitos de maneira rígida e cuidadosa para que, ao final, a característica morfológica (física) dos grãos seja afetada o mínimo possível.

O processo de secagem é um dos principais processos pós-colheita para obtenção de cafés com qualidade. A secagem no terreiro permite que os grãos colhidos com uma umidade inicial elevada, variando de 30,0 % a 65,0 %, dependendo do estágio de maturação, consigam por meio da evaporação perder água para o ambiente, buscando atingir um percentual adequado de conservação em torno de 11,0 % a 12,5 % de umidade (BORÉM, 2001).

Carvalho (1997) abordou em seu trabalho que a qualidade do café depende de vários fatores e processos, como manejo da lavoura e pré e pós-colheita, sendo esses os essenciais para buscar uma boa característica para os grãos.

Segundo o mesmo autor, a secagem artificial em terreiros é a mais utilizada pelos produtores, por apresentar um custo de implantação menor que os secadores mecânicos, porém o café fica exposto a fatores climáticos.

De acordo com o trabalho apresentado pelos autores (SANTOS; REINATO, 2017; REINATO, 2006), terreiros de lama asfáltica e terra apresentam, em sua maioria, bebida de qualidade inferior, tipo rio e riada, por sua vez, os terreiros de cimento e o suspenso apresentaram bebidas com qualidades superiores, em sua maioria, do tipo dura.

O terreiro suspenso apresenta um preço de instalação superior aos demais, aproximadamente R\$ 38,0 por metro quadrado, e sua durabilidade é menor. O terreiro de concreto armado apresenta preço de R\$ 22,30 por metro quadrado, com durabilidade maior. Enquanto o terreiro de terra batida tem um preço inicial baixo, na média de R\$ 2,70 por metro quadrado, entretanto, conforme apresentado acima, tem a qualidade muito baixa em relação aos demais, de acordo com o trabalho apresentado por Santos, 2017.

No terreiro com blocos de concreto poroso, devido ao processo de infiltração da água da chuva, espera-se que a umidade sobre a superfície seja reduzida e rapidamente dispersa para o ambiente, não sendo transferida para o grão, proporcionando um produto de melhor qualidade. A possibilidade de cobertura do terreiro para secagem do café aliado à infiltração de água da chuva para utilização na propriedade torna interessante a utilização desse material na construção dos terreiros.

Na atualidade, a ocorrência de longos períodos de estiagem, cada vez mais frequentes, reforça a necessidade de captação e armazenamento de água na propriedade, minimizando os impactos da falta desse importante recurso. Diante disso, toda proposta que vise à captação e ao armazenamento de água em períodos de maior disponibilidade é de suma importância, contribuindo para sua preservação e uso sustentável. Em se tratando do ambiente rural, a água apresenta diversas utilidades, como irrigação, limpeza da propriedade, manutenção dos rebanhos e outros afazeres.

O planeta vem sofrendo mudanças significativas no clima, seja por consequências naturais ou antrópicas. Alguns autores afirmam que “o aquecimento global, em breve, promoverá cenários de clima mais extremos, com secas, inundações e ondas de calor cada vez mais frequentes” (SALATI; SANTOS; NOBRES, 2004).

A água é um recurso natural essencial para a sustentação da vida e do ambiente, neste sentido, todas as ações que visem à captação e armazenamento da água na propriedade rural é de extrema necessidade e importância.

Na maioria das propriedades rurais produtoras de café, são reservadas grandes áreas para os terreiros de secagem do café. Essas áreas ficam ociosas na maioria do tempo, sendo utilizadas somente no período de colheita do café e poderiam ser utilizadas de outras maneiras, como para a infiltração da água da chuva, desde que ela tenha sido projetada para tal função. Diante disso, surge a possibilidade da construção desses terreiros com blocos de concreto porosos, que além de

cumprirem a função de retirar a umidade dos grãos de café, promoverá a infiltração da água da chuva, a qual poderá ser armazenada e utilizada para fins não potáveis, como limpeza do próprio terreiro, de currais, na lavagem do café e até mesmo para irrigação, economizando água potável na propriedade.

O processo de coleta e armazenamento da água da chuva se dará pela infiltração da água através dos poros de concreto poroso, sendo coletada por tubos de drenos e conduzida até um reservatório para armazenamento. Para aumentar a eficiência do sistema de drenagem e evitar perdas significativas para o solo, é recomendado o uso de uma manta plástica impermeável.

O concreto poroso ou permeável surgiu como uma solução nos Estados Unidos da América na drenagem urbana, permitindo a infiltração da água, reduzindo escoamento superficial. Esse fato ocorre porque o concreto apresenta espaços vazios interligados conforme mencionaram Polastre e Santos (2006). Sua durabilidade varia entre 20 a 40 anos, dependendo das manutenções de reparo constantes, pois é comum ocorrer entupimentos nos espaços vazios por diversos fatores, por exemplo, partículas de terra, elementos químicos dispersos no ambiente como sulfatos, além da degradação natural do mesmo (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Com relação à capacidade suporte de carga, o concreto poroso apresenta resistência menor que o concreto convencional, com variações entre 3 MPa e 30 Mpa, dependendo do material utilizado, por outro lado, a resistência do concreto armado pode chegar até 60 MPa (ACI – 522, 2010).

A permeabilidade do concreto varia segundo a densidade da mistura, quanto maior os espaços vazios, maior a absorção (KIM; LEE, 2010). Neste contexto, testes realizados por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS apresentaram resultados de permeabilidade de 0,3 cm/s para traço de 1:3 e 0,5 cm/s para traço 1:4, demonstrando que a permeabilidade do concreto poroso é suficiente para captar a água da chuva, uma vez que sua absorção pode chegar até 5 mm/s (IBRACON, 2014).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho analisar a viabilidade de implantação de um terreiro para secagem do café natural, utilizando como revestimento blocos de concreto poroso, sua influência na qualidade final da bebida do café, seu potencial para infiltração de água pluvial, bem como seus custos de implantação.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado no município de Cambuquira, localizado no sul do estado de Minas Gerais, cuja economia advém da agricultura, pecuária e turismo. Segundo a classificação de Köppen e Geiger, o clima é classificado como Cwa, com temperatura média de 19,5 °C e precipitação total anual de 1.470,0 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2012).

Construção dos blocos de concreto poroso

Para a construção dos blocos de concreto poroso, foram utilizados 270,0 litros de pedra brita número 1 em condições seca, 3,8 latas de 18,0 litros de cimento e 33,0 litros de água, os quais foram misturados utilizando equipamentos de pedreiro: enxada, balde e colher de pedreiro.

Inicialmente a brita foi misturada com o cimento até ficar uma mistura homogênea, acrescentando-se posteriormente os 33,0 litros de água, realizando uma nova mistura até que se obtivesse uma massa uniforme, com aparência semelhante ao concreto utilizado em construção civil. Após esse processo,

a massa obtida foi transportada em baldes e colocada em molduras de 50 x 50 x 10,0 cm totalizando 10 blocos, ue foram utilizados na montagem do experimento.

Figura 1 – A - Molduras de madeira utilizadas para a construção dos blocos. B - Bloco de cimento poroso finalizado.



Fonte: Elaboração dos autores (2019).

Montagem e Condução do Experimento

Para a realização do experimento utilizou-se café cereja. O experimento foi realizado em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 2 tratamentos e 10 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos consistiram pela disposição de café tipo cereja em dois tipos de terreiros, sendo terra batida e concreto poroso, sendo distribuído uma camada de 4 cm de café cereja.

As variáveis foram submetidas à análise de variância e as que foram significativas a nível de 5 % de probabilidade foram submetidas ao Teste de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2011).

Avaliação da presença de defeitos e da qualidade da bebida do café

A classificação dos defeitos é feita em uma amostra de 300 gramas de grãos secos de café, e é contabilizada na amostra para classificação de acordo com a Instrução Normativa nº 8 de 2003, que possui uma escala de avaliação de dois a oito respectivamente que será separado de acordo com os defeitos. Conseqüentemente, para classificar o defeito e remover as impurezas e matéria incomum presentes na amostra e, em seguida, pesados em uma balança digital, o defeito com maior gravidade na amostra prevalece como grão preto parcial preto, ácido, imaturo e quebrado. (BRASIL, 2003).

A “prova de xícara” convencional foi realizada por provador experiente, seguindo os procedimentos exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. As análises foram realizadas na Cooperativa dos Cafeicultores da Zona de Varginha (Minasul) no município de Cambuquira/MG.

De acordo com a normativa nº 8 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003), existem atualmente sete escalas de qualidade da bebida de café, que são Rio Zona, Rio, Riado, Duro, Apenas Mole, Mole e Estritamente Mole, sendo o Estritamente Mole a que representa melhores características e todos os requisitos de aroma e sabor “mole”.

Avaliação da infiltração da água nos blocos de concreto poroso e do potencial de infiltração de água da chuva

Para a realização do teste de infiltração nos blocos de concreto porosos, utilizou-se da metodologia descrita na NBR 16416 – Pavimentos Permeáveis de Concreto (ABNT, 2015).

Para dar início ao teste de infiltração, foi realizada a pré-molhagem dos blocos de concreto porosos, despejando 3,6 litros de água no cilindro e cronometrando o tempo gasto para que toda a água infiltrasse. Para tempos de pré-molhagem inferiores a 30 segundos, foram utilizados 18 litros de água para o ensaio, cronometrando o tempo novamente. Para tempos superiores a 30 segundos na etapa de pré-molhagem, a quantidade de água necessária para a realização do teste foi de 3,6 litros. Tanto na etapa de pré-molhagem quanto na realização do ensaio, buscou-se manter um fluxo constante de água dentro do cilindro para que fosse mantida uma lâmina entre 10,0 mm e 15,0 mm durante o procedimento. Para simular o impacto da umidade presente nos blocos de concreto porosos no processo de infiltração, foi simulada uma chuva de 20,0 mm, aplicando 5,0 litros de água sobre cada bloco; após 24 horas, realizou-se o teste de infiltração.

O teste de infiltração foi realizado em todos os blocos de concreto poroso. Para tanto, foi utilizado um cilindro de 30,0 cm de diâmetro com 50,0 cm de altura colocado no centro de cada bloco de concreto poroso, as bordas inferiores foram rejuntadas com cimento para garantir a utilização somente da área interna do cilindro. Foi calculado o tempo que todo volume de água gastou para infiltrar completamente na superfície do bloco, possibilitando o cálculo de permeabilidade do bloco.

Utilizou-se da equação abaixo citada no trabalho de Gonçalves e Bandeira (2017):

$$K = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad (1)$$

Em que:

K: é a taxa de infiltração dada em mm/h

m: massa de água infiltrada expresso em kg

d: diâmetro interno do cilindro expresso em mm

t: tempo que a água demorou a se infiltrar expresso em segundos

C: fator de conversão da unidade do sistema SI, com valor 4.583.666.000

Para a avaliação da infiltração potencial da água da chuva na área de estudo, foi calculada a precipitação média anual com base em uma série histórica de precipitação diária entre 1988 e 2018 da estação meteorológica conhecida como Fazenda Juca Casimiro código 02145008, localizada no município de Cambuquira/MG, sob a responsabilidade do IGAM-MG, coordenadas 21° 52' 27.12" S e 45° 15' 29.88" W, altitude de 875 m.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, está apresentado o custo de produção dos blocos de concreto poroso.

Tabela 1 – Valores gastos na confecção de 10 blocos de concreto poroso.

Componentes	Unidade	Valores (R\$)
Pedra Brita 1	15,0 latas	75,00
Cimento	3,8 latas	30,6
Água	33,0 litros	0,0
Total		105,6

Fonte: Gomes, J. P. J. (2019).

Adotando-se na construção do terreiro blocos de concreto porosos com 10 cm de altura, o custo de implantação equivaleu a R\$ 42,24 por m². Quando se compara com os custos de implantação de

um terreiro de terra batida, este valor é aproximadamente 11 vezes maior. Segundo Santos; Reinato, (2017), que avaliaram diversos tipos de terreiro, concluíram que o custo de implantação do terreiro de terra batida na época foi de R\$ 2,70 o m², equivalendo a 6,4 % do valor de implantação do terreiro com blocos porosos. Nos dias atuais seria um valor de R\$ 3,73 o m², sendo esse o valor considerado nos cálculos seguintes.

Embora o custo de implantação seja muito elevado em relação ao terreiro de terra batida, o mesmo apresenta como vantagem a possibilidade de infiltração da água da chuva, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Classificação da qualidade da bebida e análise dos defeitos físicos do grão de café

Na Tabela 2, são apresentados os resultados estatísticos da qualidade e dos defeitos em grãos de café para os dois tipos de terreiros de secagem.

Tabela 2 – Qualidade da bebida e tipos de defeitos em grãos de café submetidos à secagem em bloco poroso e secagem em terreiro de terra batida.

Variável*	Bloco poroso	Terra batida
Qualidade da bebida	4,0a	2,8b
Tipos de defeito	3,4b	5,9a

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si, por meio do teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores (2019).

Conforme exposto no Tabela 2, o terreiro de terra batida proporcionou menor qualidade na bebida do café, fruto da interação de vários fatores, como o processo de fermentação indesejável durante o processo de secagem. Resultados semelhantes também foram observados por Santos (2014).

A melhor bebida foi obtida quando os grãos de café foram secos no terreiro de concreto poroso, fato que poderá incentivar a implantação desse tipo de terreiro pelos produtores de café.

O terreiro de terra batida, em sua maioria, proporcionou café com bebida Riado ou Rio, ou seja, nota de 2 a 3, com exceção de apenas uma amostra com classificação Duro, nota 4. Por sua vez, o café com secagem em terreiro de bloco de concreto poroso produziu, em sua maioria, cafés com bebida dura, com nota 4, com exceção de duas amostras que apresentaram bebida do tipo Riado, nota 3, e Mole, nota 5.

O café secado em terreiro de terra batida, em sua maioria, gerou bebida com baixo valor de apreciação dos clientes, em média nota 2,8, gerando um menor valor de mercado, concluindo-se em relação à qualidade da bebida do café, aquele seco em terreiro de bloco de concreto poroso produziu uma bebida de melhor qualidade, apresentando estaticamente melhor resultado, conforme analisado, média de 4,0, conforme analisado. Resultados semelhantes foram obtidos por Reinato (2006) em relação ao terreiro de terra batida, que concluíram ser esse o terreiro menos viável para o processo de secagem.

Com relação aos defeitos encontrados, conforme Tabela 2, o resultado fornecido pela classificação em relação aos defeitos de cada amostra foi dado pelo 'tipo' que varia de 2,0 a 8,0, sendo classificados como 2,0, o que possui menos defeitos e como 8,0 o que apresenta maior número de defeito (CARVALHO, 1997).

Os grãos de café secados em terreiro de terra batida apresentaram defeitos entre 5 e 7, apresentado uma média 5,9a. Já os grãos secos em terreiro de bloco de concreto poroso, os defeitos variaram entre 3 e 4, com uma média de 3,4b.

Dado estes resultados, pode-se concluir que o terreiro de terra batida apresenta maior número de defeito do que o terreiro de bloco de concreto poroso. Segundo Reinato (2006), o fato de o terreiro de terra batida apresentar maiores números de defeitos se dá pela questão sanitária, que o mesmo proporciona no momento da secagem, favorecendo o surgimento de grãos ardidos e pretos.

Desta maneira, fica evidente que o terreiro de terra batida proporciona no momento de secagem situações e sanidade que não favorecem a qualidade final do produto, gerando uma desvalorização do mesmo no mercado. Neste sentido, o terreiro de bloco de concreto poroso em relação ao de terra batida mostrou melhores resultados estaticamente, porém, mesmo apresentando os melhores resultados, o terreiro de bloco de concreto poroso não obteve a melhor pontuação para tal classificação, que é o tipo 2. Talvez isso se dê pelo número de grãos quebrados, devido ao terreiro que apresenta uma superfície mais áspera que os demais terreiros.

Análise da permeabilidade do bloco de concreto poroso

O teste de infiltração foi realizado em todos os blocos de concreto poroso utilizado, evidenciando a capacidade de infiltração de água que passa pelos blocos por unidade de tempo.

Os resultados mostraram que a capacidade de infiltração de água dos blocos de concreto poroso variaram entre 3.637,8 mm h⁻¹ e 3.960,0 mm h⁻¹, com valor médio de 3.842,8 mm h⁻¹, representando um volume potencial de infiltração da água da chuva igual a 3.842,8 l / m² h⁻¹.

O resultado acima demonstrou a excelente permeabilidade do bloco de concreto poroso obtido com traço 1:3, uma parte de cimento para três partes de pedra brita número 1, sendo esse traço e o traço 1:4 os mais recomendados quando o objetivo for a infiltração da água, segundo (KIM; LEE, 2010).

Potencial de infiltração da água da chuva pelo terreiro de bloco de concreto poroso no município de Cambuquira/MG

Com base na série histórica de precipitação da estação meteorológica conhecida como Fazenda Juca Casimiro, no município de Cambuquira/MG, foi calculada a precipitação média anual para o município, encontrando o valor de 1.470,0 mm.

De acordo com Araújo, Tucci, Goldefum (2000), a infiltração efetiva de água que atravessa o bloco de concreto poroso pelo sistema de drenagem corresponde a 40 %, caso os drenos tenham sido dispostos sobre o solo, ou seja, sem a manta plástica. Os 60 % restantes são perdidos pela evaporação, percolação no solo e pela não infiltração do próprio sistema de drenagem.

Desta maneira, considerando que não foi utilizada uma manta plástica abaixo do terreiro de concreto poroso, do total precipitado anualmente, 1.470,00 mm, seria possível a infiltração de 588,0 mm por ano. Considerando um terreiro para secagem de café com área de 100,0 m², seria possível captar e armazenar 58,8 m³ no ano. Esse volume seria utilizado para fins não potáveis, quando não há a necessidade de tratamento, reduzindo o consumo de água potável para fins menos nobres.

Análise da viabilidade econômica da implantação de um terreiro de bloco de concreto poroso

Considerando uma distribuição de 50,0 litros de café cereja por metro quadrado de terreiro e que uma saca de café corresponde a 500,0 litros, seriam necessários 10 m² de terreiro para cada saca de café em grãos. Para a análise da viabilidade de implantação do terreiro de blocos de concreto poroso, foram considerados os custos para a produção dos blocos de concreto poroso, o sistema de drenagem e um reservatório com capacidade de armazenamento de água para 20 m³. As cotações das sacas de café tipo 4 bebida dura e tipo 6 bebida riada foram obtidas na Cooperativa

dos Cafeicultores da Zona de Varginha (Minasul), em novembro de 2019, representando a região sul do estado de Minas Gerais. Os valores médios encontrados foram, respectivamente, R\$ 505,00 e R\$ 418,00 para as sacas de café tipo 4 bebida dura e tipo 6 bebida riada. Desta maneira, foi possível avaliar o ganho por metro quadrado esperado em cada tipo de terreiro para a secagem do café.

No terreiro de terra batida, o tipo de bebida predominante foi a bebida riada, que proporcionou um rendimento aproximado de R\$ 41,80 m², o café secado no terreiro de bloco de concreto poroso gera ganhos de R\$ 50,50 m², ou seja, lucro de R\$ 8,70 m² em relação ao café secado em terreiro de terra batida.

Para um terreiro de 100 m², seriam gastos R\$ 4.224,00 para a implantação do terreiro de bloco de concreto poroso, mais R\$ 600,00 para o sistema de drenagem e R\$ 1.000,00 na aquisição de um reservatório de polietileno para armazenamento da água infiltrada, com capacidade de 20 m³, totalizando um custo de implantação de R\$ 5.824,00. Para o terreiro de terra batida os custos seriam de R\$ 373,00.

Considerando uma vida útil de 10 anos, desde que sejam realizadas as devidas manutenções, os custos de implantação dos terreiros seriam pagos no primeiro ano para o terreiro de terra batida e a partir do segundo ano para o terreiro de bloco de concreto poroso, ou seja, no restante do período da vida útil, o produtor teria 100 % de lucro. Para o terreiro de terra batida, o ganho no período de vida útil corresponde a R\$ 41.427,00. Para o terreiro de bloco de concreto poroso, o ganho é igual a R\$ 44.676,00, um lucro de aproximadamente 8,0 % em relação ao de terra batida, equivalendo a R\$ 3.249,00.

Ainda tomando como base o potencial de infiltração de água pelo terreiro de bloco de concreto poroso para o município de Cambuquira igual a 58,8 m³ ano e considerando um valor de R\$ 5,00 o m³ de água tratada, que seria utilizada para fins não potáveis (ambientalmente incorreto) que deixaria de ser pago, o lucro em relação ao volume captado seria de R\$ 2.940,00 em 10 anos, totalizando, ao final, R\$ 47.616,00 de lucro para o terreiro de concreto poroso, R\$ 6.189,00 acima do lucro proporcionado pelo terreiro de terra batida, aproximadamente 15%.

Conclusão

O processo de secagem do café cereja em terreiro de bloco de concreto poroso proporcionou melhor qualidade tanto na bebida quanto na redução do número de defeitos nos grãos.

A construção do terreiro de bloco de concreto poroso é economicamente viável em relação ao terreiro de terra batida.

Foi identificado um potencial de infiltração de água pluvial na área do terreiro de bloco de concreto poroso de 3,8 m³ m² h⁻¹. No município de Cambuquira/MG, o volume com potencial de ser infiltrado e armazenado correspondeu a 58,8 m³ ano.

Viability of a terrace covered with porous concrete paving blocks for coffee bean drying

Abstract

The success of the coffee activity depends on the beans drying process since it influences the physical and chemical coffee quality, whose result can be good or bad quality beverages. In this sense, the type of terrace has considerable influence on the product's final quality. Therefore, in this study, ground soil terraces and porous concrete paving blocks will be evaluated, and the experiment was conducted

in the city of Cambuquira/MG. For this purpose, porous concrete and compressed earth blocks with dimensions of 50 cm x 50 cm x 10 cm were built, totaling 10 blocks of each type of terrace. The experimental design was in randomized blocks (RB), using cherry coffee, with 10 replications, with a total of 20 plots. For the evaluation of the water infiltration capacity in the porous concrete paving block, a cylinder of 30 cm in diameter was used placed in the center of the porous concrete block, and the lower edges rejoined with cement to guarantee the use of the internal area of the cylinder only. The drying process of coffee on a porous concrete paving block terrace provided better quality both in the beverage and in the reduction of the number of defects in the beans. In the city of Cambuquira, the potential for infiltration and storage of rainwater is 58.8 m³ year⁻¹. Considering a 10-year lifespan, the construction of the porous concrete paving block terrace is economically viable concerning the ground soil terrace, providing gains of up to 15%.

Keywords: Coffee quality. Rainwater infiltration. Rain water.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **16416**: Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

ACI – 522 - Cartilha da Associação Brasileira de Cimento Portland. Specification for Pervious Concrete Pavement. **American Concrete Institute**, 2010.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. Porto Alegre, “RBRH: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, jul/set 2000, 21-29. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BORÉM, F. M. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Pós Colheita do café, Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p. (Textos Acadêmicos).

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1605-1615, set./out. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500038&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jun. 2020.

BRASIL, **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado e de café verde. Instrução Normativa n. 8 de 11/06/03. Brasília, 2003.

CARVALHO, V. D. **Qualidade do Café**. Curso de Especialização Pós-Graduação “Lato-Senso” por Tutoria à Distância-Cafeicultura Empresarial: Produtividade e Qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. v. 2, 73 p.

CLIMATE-DATA, **Dados Climáticos**. 2012. Disponível em: www.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/cambuquira-176308/. Acesso em: 8 jun. 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2018. Disponível em: www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2626-producao-do-cafe-em-2018-e-recorde-e-supera-61-milhoes-de-sacas. Acesso em: 25 maio 2019.

COSTE, R. **Les caféiers et les cafés dans le monde**. Paris: Larose, 1955. 365 p.

FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; PINTO, N. A. V. D.; NERY, M. C.; PÁDUA, F. R. M. de. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000500015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jun. 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, nov./dez. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542011000600001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jun. 2020.

GONÇALVES, C.M.; BANDEIRA, R. A.M. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Revista Transporte**, v. 25 n. 2 2017.

IBRACON – **Instituto Brasileiro do Concreto**. 2014 Disponível em: www.ibracon.org.br. Acesso em: 23 maio 2019.

KIM, H. K.; LEE, H. K. Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete. **Elsevier Journal**. Applied Acoustics, 2010.

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500030&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 jun. 2020.

MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M.; ANJOS, V. D. de A.; MORI, E. E. M.; MATTOSO, L. H. C.; FIRMINO, A.; NASCIMENTO, C. J. F. Avaliações físicas, químicas e sensoriais de blends de café arábica com café canephora (Robusta). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 04, p. 271-277, out./dez. 2007.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, A. E.; BRAGANÇA, J. B. **Cultura do café conilon (instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil)**. Rio de Janeiro: IBC/DIPRO, 1987. 43 p.

POLASTRE, B.; SILVA, L. D. **Concreto permeável**. Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202006/Concreto%20perme%C3%A1vel.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

REINATO, C. H. R. **Secagem e armazenamento do café: aspectos qualitativos e sanitários**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2006.

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; SILVA, P.; ABRAHÃO, E. J. Qualidade da bebida dos cafés descascado, cereja, bóia e roça secados em terreiros de terra e lama asfáltica. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 31., 2005, Guarapari.

SALATI, E; SANTOS, A. A. dos NOBRES, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. (2004). Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SANTOS, O. L.; REINATO, C. H. R.; JUNQUEIRA, J. D.; FRANCO, E. L.; SOUZA, C. W. A.; REZENDE, A. N. Custo-benefício da secagem de café em diferentes tipos de terreiro. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre v. 9, n. 4, dez. 2017. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/966>. Acesso em: 25 jun. 2020.

SILVA, J. S.; LACERDA FILHO, A. F. **Construção de secador para produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 17 p. (UFV. Informe técnico, 41).

VIANA, A. S.; MATIELLO, J. B.; SOUZA, T. Estudo do efeito de revestimento de terreiros no tempo de seca e na qualidade do café. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 2002. p. 53-56.

Submetido: 16/03/2020

Aceito: 25/06/2020