

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/08/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

VISCOSIDADE DA SOLUÇÃO E RESPIRAÇÃO SOLO

Arianis Ibeth Santos Nicolella

**Engenheira em Manejo de Bacias
Hidrográficas e Ambiente**

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

VISCOSIDADE DA SOLUÇÃO E RESPIRAÇÃO DO SOLO

Arianis Ibeth Santos Nicolella

**Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala
Júnior**

**Co-orientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo
Panosso**

**Dissertação, apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).**

2023

N642v

Nicolella, Arianis Ibeth Santos

Viscosidade da solução e respiração do solo / Arianis Ibeth Santos Nicolella. -- Jaboticabal, 2023

41 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Newton La Scala Júnior.

Coorientador: Alan Rodrigo Panosso

1. Metabolismo do solo. 2. Mudanças climáticas. 3. Captura de carbono. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

REGISTRO DE IMPACTO

O estudo envolve um novo conhecimento até agora não abordado sobre as saídas de CO₂ do solo microbiano. O que contribui na geração de estratégias mais eficientes de uso e manejo do solo que visem aumentar a captura e armazenamento de carbono orgânico no solo, assim como diminuições das saídas de CO₂, atendendo assim o objetivo 13 de Desenvolvimento sustentável, sobre adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

IMPACT RECORD

The study involves new knowledge that so far was not addressed about the CO₂ outputs of the microbial soil. This contributes to the generation of more efficient strategies for soil use and management aimed at increasing the capture and storage of organic carbon in the soil, as well as decreases in CO₂ outputs, thus meeting the objective 13 of Sustainable Development, on adaptation and mitigation of climate change.

REGISTRO DE IMPACTO

El estudio involucra un nuevo conocimiento hasta ahora no abordado sobre las salidas de CO₂ del suelo microbiano. Contribuyendo a la generación de estrategias más eficientes de uso y manejo de suelo dirigidas a aumentar la captura y almacenamiento de carbono orgánico y la disminución de emisiones de CO₂, atendiendo el objetivo 13 de Desarrollo Sostenible, sobre adaptación y mitigación del cambio climático.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VISCOSIDADE DA SOLUÇÃO E RESPIRAÇÃO DO SOLO

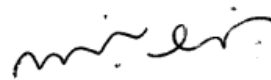
AUTORA: ARIANIS IBETH SANTOS NICOLELLA

ORIENTADOR: NEWTON LA SCALA JUNIOR

COORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

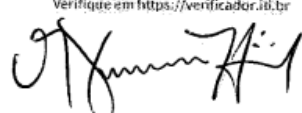


Prof. Dr. EDUARDO BARRETTO DE FIGUEIREDO (Participação Virtual)
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR / São Carlos/SP

gov.br

Documento assinado digitalmente
EDUARDO BARRETTO DE FIGUEIREDO
Data: 28/02/2023 08:52:32-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal



Jaboticabal, 27 de fevereiro de 2023

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Arianis Ibeth Santos Nicolella, Filha de Amilcar Santos e Vielka Nicolella, nasceu em 23 de setembro de 1994, na cidade de David, província de Chiriquí, Panamá. Todos os seus estudos foram realizados na educação pública de seu país, começando na “*Escuela Bilingue José María Roy*” desde os cinco até os doze anos e no “*Colegio Instituto David*” desde os 13 até 18 anos. No ano de 2018 formou-se em Engenharia em manejo de bacias hidrográficas e ambiente na “*Facultad de Ciencias Agropecuarias*” da “*Universidad de Panamá*”. Durante seus estudos universitários fez parte de grupos, como “*Reforestando Centroamérica*” e a “*Red de Jóvenes por el agua de Centroamérica*”. No ano de 2018, integrou parte da “*Primera academia de jóvenes sobre cambio climático en Panamá*”. No ano de 2019, atuou como coordenadora chefe no estabelecimento de café orgânico no Distrito de “*Tierras Altas*” na empresa TRONCOGRIS INC. No mesmo ano, prestou a convocatória de bolsas para Doutorado em Ciências Agrárias da “*Secretaria Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación*” (SENACYT) de Panamá, para cursar estudos no exterior. Posteriormente, no ano de 2020, foi contemplada com a bolsa e em 2021 ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, em Jaboticabal, São Paulo.

DEDICO

Á meus pais, Amilcar Santos Rivera e Vielka Iris Nicolella, minha irmã Daneth Cristina Santos Nicolella, minha amada sobrinha Alice Rangel Santos e meu avô Marcel Gaitan, vocês são minha principal inspiração e motivação.

OFEREÇO

Aos futuros leitores, jovens pesquisadores. Cujo esforço é de grande importância para o desenvolvimento da ciência, assim como também um meio ambiente e setor agrícola mais sustentável. É possível!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tem sido minha fortaleza a cada dia neste processo de formação acadêmico e profissional.

Aos meus pais, Amilcar Santos e Vielka Nicolella; minha irmã e sobrinha Daneth Santos e Alice Rangel, que tem sido meus pilares e principal motivação.

Ao Joseph Kaled Grajales Cedeño, meu noivo, cujo apoio abrangeu o emocional, prático e intelectual.

Ao meu orientador, professor Dr. Newton La Scala Júnior, por sua paciência em todos os momentos e pelo apoio acadêmico e ensinamentos. Sua orientação e apoio, que superaram as diferentes distâncias, culturas e idiomas.

Ao meu co-orientador, professor Dr. Alan Rodrigo Panosso, pelo seu carisma, paciência e contribuições no desenvolvimento deste estudo.

Ao professor Dr. Glauco de Souza Rolim pela disponibilidade da área do experimento.

Aos professores e membros da banca de defesa, Dr. Marcilio Vieira Martins Filho e Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo que disponibilizaram seu tempo para contribuir com esta pesquisa.

Aos funcionários da Estação agrometeorológica da FCAV, Carlos Alberto Santa Capita e Vanessa Sayury Nakata Corrêa Santa Capita, pelo apoio, carinho e cuidado durante todo o período do estudo, tanto para mim como para os colegas que contribuíram dia a dia nos trabalhos de campo.

À professora Dra. Luciana Maria Saran do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental da FCAV, pôr o fornecimento de equipamentos de laboratório para o teste de viscosidade.

Aos colegas e pessoas que contribuíram para o levantamento deste projeto: Kleve Canteral por seu importante apoio em todos os trabalhos de campo e sua contribuição intelectual em cada fase do estudo, assim como seu acolhimento e carinho que fizeram meu caminho no mestrado mais alegres. A Wanderson Benerval de Lucena por sua contribuição na formulação do projeto apesar da distância e contribuição nas análises estatísticas. Também agradeço a Maria Elisa Vicentini cujo apoio intelectual no funcionamento dos equipamentos e análises estatísticas neste estudo superou as barreiras da distância.

Aos demais funcionários do departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV, professores e colegas do programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) que direta ou indiretamente contribuem com a nossa formação, obrigada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, SP pelos conhecimentos transmitidos ao longo da minha formação no programa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo fornecimento dos equipamentos utilizados neste estudo.

À “Secretaria de Ciencia, Tecnologia e Innovación” (SENACYT), pela concessão da bolsa de estudos.

VISCOSIDADE DA SOLUÇÃO E RESPIRAÇÃO DO SOLO

RESUMO – As perdas de carbono do solo via dióxido de carbono (CO_2) são produto principalmente da respiração microbiana; no entanto, a viscosidade da solução do solo influencia na locomoção dos microrganismos. Neste estudo se propõe que a alteração da viscosidade da solução do solo interfere na respiração microbiana e conseqüentemente nos efluxos de CO_2 do solo (FCO_2). O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações de Polietilenoglicol 6000 (PEG6000) na FCO_2 e sua relação com variáveis climáticas e propriedades do solo. Foram aplicados quatro tratamentos a concentrações de 0, 50, 75 e 100 gramas PEG6000 por litro de água em lisímetros diferentes. Um ajuste quadrático entre tratamentos e FCO_2 mostrou que os FCO_2 dos tratamentos C_{50} , C_{75} e C_{100} foram 20,8%, 25,6% e 12,27% menores em comparação com C_0 . O ajuste quadrático nos FO_2 mostrou aumentos de 20% no tratamento C_{100} em comparação com C_0 . A umidade do solo (U_{solo}) mostrou grande influência na variabilidade da FCO_2 , C_{75} reportou a menor U_{solo} ($4,84 \pm 0,43\%$) e C_0 a maior U_{solo} ($6,23 \pm 0,56\%$). De acordo com as matrizes de correlação de Spearman, U_{solo} , temperatura do solo (T_{solo}), FO_2 e a viscosidade da solução lixiviada do solo são as propriedades do solo que contribuíram na caracterização da variabilidade dos FCO_2 nas condições deste estudo. Portanto, são variáveis importantes nos estudos de respiração do solo. Em conclusão, a modificação da viscosidade da solução do solo diminuiu os FCO_2 em doses de 50 e 75 g de PEG6000 por litro de água. A incorporação da viscosidade da solução do solo em estudos de respiração do solo pode contribuir no melhor entendimento dos processos e fatores que participam na respiração do solo, permitindo a geração de estratégias mais eficientes de uso e manejo do solo que procuram aumentar a captura de carbono orgânico.

Palavras chaves: metabolismo do solo, mudanças climáticas, captura de carbono.

SOLUTION VISCOSITY AND SOIL RESPIRATION

ABSTRACT – Soil carbon losses by the way of carbon dioxide (CO₂) are mainly a product of microbial respiration; however, the viscosity of the soil solution influences the locomotion of microorganisms. It is proposed that the change in soil solution viscosity interferes with microbial respiration and consequently in soil CO₂ (FCO₂) efflows. The aim of this study was to evaluate the effect of the application of different concentrations of Polyethylene glycol 6000 (PEG6000) in soil FCO₂ and its relationship with climatic variables and soil properties. Four treatments were applied at concentrations of 0, 50, 75 and 100 grams PEG6000 per liter of water in different lysimeters. A quadratic adjustment between treatments and FCO₂ showed that the FCO₂ of treatments C₅₀, C₇₅ and C₁₀₀ were 20.8%, 25.6% and 12.27% lower compared to C₀. Quadratic adjustment in FO₂ showed increases of 20% only in C₁₀₀ treatment compared to C₀. Usolo showed great influence on the variability of FCO₂, C₇₅ reported the lowest Usolo ($4.84 \pm 0.43\%$) and C₀ the highest Usolo ($6.23 \pm 0.56\%$). According to the correlation matrices of Spearman, Usolo, Tsolo, FO₂ and the viscosity of the soil leached solution are the soil properties that contributed to the characterization of the variability of FCO₂ in the conditions of our study, so they are important variables in soil respiration studies. In conclusion, the modification of the viscosity of the soil solution decreased the FCO₂ at doses of 50 and 75 g of PEG6000 per liter of water. The incorporation of soil solution viscosity in soil respiration studies can contribute to a better understanding of the processes and factors that participate in soil respiration, allowing the generation of more efficient soil use and management strategies that seek to increase organic carbon capture.

Keywords: soil metabolism, climate changes, carbon capture.

VISCOSIDAD DE LA SOLUCIÓN Y RESPIRACIÓN DEL SUELO

RESUMEN – Las pérdidas de carbono del suelo a través del dióxido de carbono (CO_2) son el producto principalmente de la respiración microbiana; sin embargo, la viscosidad de la solución del suelo influye en la locomoción de los microorganismos. En este estudio se propone que la alteración de la viscosidad de la solución del suelo interfiere con la respiración microbiana y, en consecuencia, con la salida de CO_2 del suelo (FCO_2). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de Polietilenglicol 6000 (PEG6000) sobre el FCO_2 y su relación con variables climáticas y propiedades del suelo. Se aplicaron cuatro tratamientos a concentraciones de 0, 50, 75 y 100 gramos de PEG6000 por litro de agua en diferentes lisímetros. Un ajuste cuadrático entre tratamientos y FCO_2 mostró que el FCO_2 de los tratamientos C_{50} , C_{75} y C_{100} fue 20.8%, 25.6% y 12.27% respectivamente menor en comparación con C_0 . El ajuste cuadrático en la FO_2 mostró incrementos del 20% en el tratamiento C_{100} respecto a C_0 . La humedad del suelo (U_{solo}) mostró una gran influencia en la variabilidad del FCO_2 , C_{75} reportó el U_{solo} más bajo ($4.84 \pm 0.43\%$) y C_0 el U_{solo} más alto ($6.23 \pm 0.56\%$). Según las matrices de correlación de Spearman, U_{solo} , la temperatura del suelo (T_{solo}), la FO_2 y la viscosidad de la solución lixiviada del suelo son las propiedades del suelo que contribuyeron a la caracterización de la variabilidad del FCO_2 en las condiciones de este estudio. Por lo tanto, son variables importantes en los estudios de respiración del suelo. En conclusión, la modificación de la viscosidad de la solución del suelo disminuyó los FCO_2 a dosis de 50 y 75 g de PEG6000 por litro de agua. La incorporación de la viscosidad de la solución del suelo en los estudios de respiración del suelo puede contribuir a una mejor comprensión de los procesos y factores que participan en la respiración del suelo, permitiendo la generación de estrategias más eficientes de uso y manejo del suelo que buscan aumentar la captura de carbono orgánico.

Palavras chaves: metabolismo del suelo, cambio climático, captura de carbono.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, as emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂) foram aproximadamente 10,9 petagramas de carbono por ano; 144% superior as emissões desde a época pré-industrial. Este gás junto com o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), cujas emissões entre 2010 e 2019 foram 335 - 383 teragramas de CH₄ por ano e 4,2-11,4 teragramas de N₂O por ano são considerados os principais gases de efeito estufa (GEE), responsáveis pelas mudanças climáticas antropogênicas (Canadell et al., 2021). Tais mudanças são produto principalmente de duas atividades: 1) a exploração dos combustíveis fósseis; 2) as mudanças no uso e gestão da terra, o que engloba emissões por parte da agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU) (IPCC, 2022).

AFOLU por sua vez foi responsável de 13% a 21% das emissões mundiais de GEE no período entre 2010 e 2019; o que equivale a 5,9 giga toneladas de CO₂ por ano, 157 Mega toneladas de CH₄ por ano e 6,6 Mega toneladas de N₂O por ano (IPCC, 2022). No Brasil, as emissões de CO₂ equivalente, produto da agropecuária e mudanças no uso da terra, compreenderam 477.670 Gg CO₂ equivalente (25,8%) e 637.039 Gg CO₂ equivalente (38,0%) das emissões nacionais em 2020, respectivamente (MCTI, 2022).

Com o intuito de gerar medidas de mitigação e adaptação para as mudanças climáticas, surgem iniciativas como: 1) os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), especificamente o objetivo 13 sobre a ação climática, que prevê a adoção de medidas para combater as mudanças climáticas e seus efeitos (ONU, s. d.); 2) medidas como a recarbonização dos solos agrícolas em nível mundial (RECSOIL), cuja finalidade é promover o manejo sustentável do solo com enfoque no carbono orgânico do solo (COS), sendo uma de suas prioridades a prevenção das perdas e o aumento dos estoques de COS (FAO, s. d.).

No Brasil, as emissões de CO₂ equivalente projetadas para o ano 2020 (3.236 milhões de Toneladas de CO₂ equivalente) foram reduzidas em 48,2%, o que atingiu o compromisso da Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) de reduzir as emissões de CO₂ equivalente entre 36% e 39% das emissões projetadas para esse ano (MCTI, 2022). Além disso, Brasil comprometeu-se em reduzir as emissões de GEE para o ano 2025 e 2030 em 37% e 50% respectivamente, em comparação com

as emissões do ano 2005, em função de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ante o Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) adotado pelas Partes da UNFCCC e seu Acordo de Paris durante a Conferência das Partes número vinte seis (COP26) (Nationally Determined Contributions, 2022).

Apesar das emissões por parte de AFOLU, estas atividades, também são consideradas um sumidouro importante de carbono (C), porque possuem um grande potencial para a mitigação das mudanças climáticas por meio da melhoria na captura e redução de emissões de GEE, e é o único setor econômico capaz de promover a remoção de dióxido de carbono (RDC) em grande escala e em curto prazo por meio de medidas como o manejo COS (IPCC, 2022). Isto é atribuído ao fato de que o solo é o principal reservatório terrestre de carbono, com uma magnitude global de 677 Pg de C nos 30 centímetros de profundidade do solo, e com uma capacidade técnica global de sequestro média de 2,45 Pg de C por ano (Lal, 2018).

Para gerar medidas de mitigação eficientes sobre as perdas de carbono do solo é importante levar em consideração que independentemente da capacidade natural do solo para armazenar carbono, uma das principais causas de suas perdas é através da respiração microbiana, a qual consiste em um subproduto da decomposição da matéria orgânica (MO) (Zhang et al., 2022). No solo, os microrganismos acessam a matéria orgânica através dos poros inter e intra-agregados (Six, et al., 2002; Kravchenko, et al., 2015) devido sua mobilidade no meio da solução do solo (Yang e Van Elsas, 2018).

Em solos tropicais a mineralização da matéria orgânica é maior em função das condições climáticas mais acentuadas como a temperatura e a umidade, que contribuem na atividade microbiana e sua decomposição de MO (Silva et al., 2019; Xavier, et al., 2020; Moitinho et al., 2021 e La Scala et al., 2022). No entanto, os esforços para compreender os mecanismos que influenciam a eficiência dos microrganismos, para acessar e mineralizar o COS, continuam a ser de interesse para garantir de forma eficiente a fixação do C no solo e diminuir suas perdas via CO₂.

A solução com a qual os microrganismos são transportados no solo (Yang e Van Elsas, 2018) possui propriedades reológicas como a viscosidade, a qual determina a capacidade de um fluido para fluir com determinada facilidade (Holthusen

et al., 2012). Em outros fluidos diferentes da solução do solo, como a água do mar, o suco gástrico de animais e soluções de laboratórios verificou-se que a viscosidade de destas soluções influenciava na velocidade de locomoção dos microrganismos (Schneider e Doetsch, 1974; Bolton e Havenhand, 1997; Larsen et al., 2008; Sohn et al., 2013; Mirbagheri e Fu, 2016; Joiner et al., 2019). Assim, La Scala et al. (2022) propuseram que a viscosidade poderia ter influência na taxa de FCO₂ microbiana associada com a difusão pela lei de Difusão de Einstein-Stokes. No entanto não se tem relatos ou dados práticos que permitam corroborar esta teoria que relacionem a viscosidade da solução do solo com os efluxos de CO₂, produto da atividade microbiana.

A aplicação de produtos modificadores da viscosidade como gelatina, alginato de sódio, goma xantana e poliacrilamida, tem sido utilizada em solos para estudos de evapotranspiração, porém ao final do estudo era reportada a baixa infiltração destes produtos no solo (Adhikari, et al., 2019). No entanto, o Polietilenoglicol 6000 (PEG6000), que também é um modificador de viscosidade das soluções tem a capacidade de infiltrar na matriz do solo, por sua solubilidade em água (Castanho et al., 2010), sem prejudicar a saúde das plantas por sua baixa ou nula toxicidade (Aliniaiefard et al., 2020).

A hipótese deste estudo é que a modificação da viscosidade da solução do solo tem influência na respiração microbiana e conseqüentemente, nos efluxos de CO₂. Nesse sentido o objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações de PEG6000 nos efluxos de CO₂ do solo e sua relação com variáveis climáticas e propriedades do solo.

6. CONCLUSÃO

Doses entre 50 e 75 g de PEG6000 por litro de água diminuíram os efluxos de CO₂ nos tratamentos C₅₀ e C₇₅. O que pode ser consequência da afetação da atividade microbiana nos lisímetros aplicados com essas doses. A umidade do solo, a temperatura do solo, o influxo de O₂ e a viscosidade da solução do solo são as propriedades do solo que contribuíram para a caracterização da variabilidade dos efluxos de CO₂ nas condições de nosso estudo. Da mesma forma, a viscosidade como propriedade reológica dos fluidos teve influência na umidade do solo, propriedade determinante nos processos de difusão de CO₂, incluindo na respiração radicular das plantas, assim como na atividade microbiana.

Incluir a viscosidade nos modelos das perdas de carbono do solo via CO₂ produto da respiração microbiana pode contribuir para um melhor entendimento dos processos e fatores envolvidos na respiração do solo, assim como na redução de erros nas estimativas, permitindo a geração de estratégias mais eficientes de uso e manejo do solo que visem aumentar a captura e armazenamento de carbono orgânico no solo.

REFERENCIAS

Adhikari R, Mingtarja H, Freischmidt G, Bristow KL, Casey PS, Johnston P, Sangwan P (2019) Effect of viscosity modifiers on soil wicking and physico-mechanical properties of a polyurethane based sprayable biodegradable polymer membrane. **Agricultural Water Management** 222: 346–353.

Ahmad MA, Javed R, Adeel M, Rizwan M, Yang Y (2020) PEG 6000-Stimulated Drought Stress Improves the Attributes of In Vitro Growth, *Steviol glycosides* Production, and Antioxidant Activities in *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Plants** 2020 9: 1552.

AliniaEIFard S, Asayesh ZM, Driver J, Vahdati K (2020) Stomatal features and desiccation responses of *Persian walnut* leaf as caused by in vitro stimuli aimed at stomatal closure. **Trees - Structure and Function** 34:1219–1232.

Almeida RF, Teixeira DB, Montanari R, Bolonhezi AC, Teixeira EB, Moitinho MR, Panosso AR, Spokas KA, La Scala N (2018) Ratio of CO₂ and O₂ as index for categorising soil biological activity in sugarcane areas under contrasting straw management regimes. **Soil Research** 56:373.

Angert A, Yakir D, Rodeghiero M, Preisler Y, Davidson EA, Weiner T (2015) Using O₂ to study the relationships between soil CO₂ efflux and soil respiration. **Biogeosciences** 12:2089.

Bolton TF, Havenhand JN (1997) Physiological versus viscosity-induced effects of water temperature on the swimming and sinking velocity of larvae of the serpulid polychaete *Galeolaria caespitosa*. **Marine Ecology Progress Series** 159: 209–218.

Campbell Scientific (2011) HS2 and HS2P (HydroSense II). Instruction Manual. Logan, Utah.

Canadell JG, Monteiro PMS, et al. (2021) Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In.: Masson-Delmotte V, Zhai A, et al. (Eds.) **Climate Change The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 673–816. doi:10.1017/9781009157896.007

Castanho GM, Regitano JB, Tornisielo VL, Abdalla AL (2010) Sorption and mobility of polyethylene glycol (PEG 4000) in tropical soils. **Toxicological & Environmental Chemistry** 91:1263–1271. doi.org/10.1080/02772240802607386

Centurion JF (1998) **Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo. 272 p. (Tese – Livre Docência).

Darvell BW, Wong NB (1989) Viscosity of dental waxes by use of Stokes' Law. **Dental Materials** 5:176–180.

Lucena WB, Vicentini ME, Santos GADA, Silva BDO, Costa DVMDa, Canteral KFF, Neira Román JÁ, Rolim GDS, Panosso AR, La Scala N (2023) Temporal variability of the CO₂ emission and the O₂ influx in a tropical soil in contrasting coverage conditions. **Journal of South American Earth Sciences** 121:104120.

Delsarte I, Cohen GJV, Momtbrun M, Höhener P, Atteia, O (2021) Soil carbon dioxide fluxes to atmosphere: The role of rainfall to control CO₂ transport. **Applied Geochemistry** 127:104854.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (Solos) (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: 5.ed. Embrapa. 356 p.

Faimon J, Lang M (2018) What actually controls the minute to hour changes in soil carbon dioxide concentrations? **Geoderma** 323:52–64.

Fruijtjer-Pölloth, C (2005) Safety assessment on polyethylene glycols (PEGs) and their derivatives as used in cosmetic products. **Toxicology** 214:1–38.

Hilman B, Weiner T, Haran T, Masiello CA, Gao X, Angert A (2022) The Apparent Respiratory Quotient of Soils and Tree Stems and the Processes That Control It. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences** 127.

Holthusen D, Haas C, Peth S, Horn R (2012) Are standard values the best choice? A critical statement on rheological soil fluid properties viscosity and surface tension. **Soil and Tillage Research** 125:61–71.

IPCC (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA. Shukla PR, Skea J, et al. (Eds.). Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926

Joiner KL, Baljon A, Barr J, Rohwer F, Luque A (2019) Impact of bacteria motility in the encounter rates with bacteriophage in mucus. **Scientific Reports** 2019 9:1–12.

Jothimani K, Arulbalachandran D (2020) Physiological and biochemical studies of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) under polyethylene glycol induced drought stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 29:101777.

Kravchenko NA, Negassa WC, Guber AK, Rivers ML (2015) Protection of soil carbon within macro-aggregates depends on intra-aggregate pore characteristics. **Scientific Reports** 5:1–10.

Lal R (2018) Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology** 24:3285–3301.

Larsen OS, Madsen CV, Riisgård HU (2008) Effect of temperature and viscosity on swimming velocity of the copepod *Acartia tonsa*, brine shrimp *Artemia salina* and rotifer *Brachionus plicatilis*. **Aquatic Biology** 4:47–54.

La Scala NJ, Martinez AS, Spokas KA, Gonçalves DRP, Etto RM (2022) Should alterations in water viscosity be addressed in soil carbon models? Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2204.00405v1>. Acesso em: 22 out. 2022.

LI-COR INC. (2007) Automated Soil CO₂ Flux System & LI-8150 Multiplexer Instruction Manual. Lincoln, Nebraska.

Linn DM, Doran JW (1984) Effect of Water-Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production in Tilled and Nontilled Soils. **Soil Science Society of America Journal** 48:1267–1272.

Luo Y, Zhou X (2006) Processes of CO₂ Production in Soil. **Soil Respiration and the Environment** 35–59.

Manokari M, Priyadharshini S, Cokulraj M, Jayaprakash K, Dey A, Faisal M, Alatar A A, Alok A, Shekhawat M S (2022) Polyethylene glycol mediated improved shoot

proliferation, foliar morpho-anatomy, and rooting of micropropagated shoots of *Spathoglottis plicata* Blume. **South African Journal of Botany** 146:897–904.

MINISTERIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI) (2022) Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 6. ed. Brasília.

Mirbagheri AS, Fu HC (2016) *Helicobacter pylori* Couples Motility and Diffusion to Actively Create a Heterogeneous Complex Medium in Gastric Mucus. **Physical Review Letters** 116:198101.

Moitinho MR, Ferraudo AS, et al. (2021) Effects of burned and unburned sugarcane harvesting systems on soil CO₂ emission and soil physical, chemical, and microbiological attributes. **CATENA** 196:104903.

Nationally Determined Contributions (2022). In: Nationally Determined Contributions Registry. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 18 abr. 2023.

Neira J, Ortiz M, Morales L, Acevedo E (2015) Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling. **Chilean journal of agricultural research** 75:35–44.

OBJETIVOS DE DESARROLLO – ONU (s.d.) Disponível em: <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

Patmi YS, Pitoyo A, Solichatun S (2020) Effect of drought stress on morphological, anatomical, and physiological characteristics of Cempo Ireng Cultivar Mutant Rice (*Oryza sativa* L.) strain 51 irradiated by gamma-ray. **Journal of Physics: Conf. Series** 1436:12015. doi:10.1088/1742-6596/1436/1/012015

Panosso AR, Marques J, Pereira GT, La Scala, N (2009) Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research** 105:275–282.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011) R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0.

FAO (s.d.). Recarbonization of global soils | global soil partnership. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponível em: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/recarbonization-of-global-soils/en/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

Salazar A, Sulman BN, Dukes JS (2018) Microbial dormancy promotes microbial biomass and respiration across pulses of drying-wetting stress. **Soil Biology and Biochemistry** 116:237–244.

Santos GA, Moitinho, MR, De Oliveira Silva B, Xavier CV, Teixeira DDB, Corá JE, La Scala NJ (2019) Effects of long-term no-tillage systems with different succession cropping strategies on the variation of soil CO₂ emission. **Science of The Total Environment** 686:413–424.

- Schneider WR, Doetsch RN (1974) Effect of Viscosity on Bacterial Motility. **Journal of Bacteriology** 117:696–701.
- Silva BO, Moitinho MR, Santos GAA, Teixeira DDB, Fernandes C, La Scala N (2019) Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. **Soil and Tillage Research** 186:224–232.
- Six J, Conant RT, Paul EA, Paustian K (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil** 241:155-176.
- Sohn MH, Lim S, Seo KW, Lee SJ (2013) Effect of ambient medium viscosity on the motility and flagella motion of *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae). **Journal of Plankton Research** 35:1294–1304.
- Tátrai ZA, Sanoubar R, Pluhár Z, Mancarella, S, Orsini F, Gianquinto G (2016) Morphological and Physiological Plant Responses to Drought Stress in *Thymus citriodorus*. **International Journal of Agronomy** 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4165750>
- Tavares DS, Fernandes TEK, Rita YL, Rocha DC, Sant'Anna-Santos BF, Gomes MP (2021) Germinative metabolism and seedling growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) under salt and osmotic stress. **South African Journal of Botany** 139:399–408.
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG (Eds) (2017) Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília, DF: EMBRAPA, 574 p.
- Verslues PE, Ober ES, Sharp RE (1998) Root Growth and Oxygen Relations at Low Water Potentials. Impact of Oxygen Availability in Polyethylene Glycol Solutions. **Plant Physiology** 116:1403–1412.
- Vicentini ME, Pinotti CR, Hirai WY, De Moraes MLT, Montanari R, Teixeira MCM, Milori DMBP, La Scala N, Panosso AR (2019) CO₂ emission and its relation to soil temperature, moisture, and O₂ absorption in the reforested areas of Cerrado biome, Central Brazil. **Plant Soil** 444:193–211. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04262-z>
- Whittaker ET, Robinson G (1967) Trapezoidal and Parabolic rules. A Treatise of Numerical Mathematics, Dover, NY, The Calculus Observation.
- Xavier CV, Moitinho MR, Teixeira DDB, Santos GADA, Corá JE, La Scala N (2020) Crop rotation and sequence effects on temporal variation of CO₂ emissions after long-term no-till application. **Science of The Total Environment** 709:136107.
- Yan Z, Bond-Lamberty B, Todd-Brown KE, Bailey VL, Li S, Liu C, Liu C. A moisture function of soil heterotrophic respiration that incorporates microscale processes. **Nature Communications** 2018 9:1–10.
- Yang P, Van Elsas JD (2008) Mechanisms and ecological implications of the movement of bacteria in soil. **Applied Soil Ecology** 129:112–120.

Zhang S, Pei H, Plötze M, Ying H (2022) Molecular dynamics modeling of hydraulic conductivity of soil considering variable viscosity and adsorbed water. **Applied Clay Science** 228:106598.

Zhang Y, Zhu G, et al. (2022) Optimal soil water content and temperature sensitivity differ among heterotrophic and autotrophic respiration from oasis agroecosystems. **Geoderma** 425:116071. 2022.