

Efeito do crescimento de plântulas de eucalipto na microbiota de um latossolo com diferente legado de cobertura vegetal

Palavras-Chave: microbiota do solo, fungos micorrízicos, glomalina

Autoras:

Gabrielle Henriquetto Cassiano [Instituto de Biologia/UNICAMP]

Ma. Ellen Aparecida Nunes [Instituto de Biologia/UNICAMP]

Dr.^a Adriana Parada D. da Silveira [Instituto Agrônomico]

Prof.^a Dr.^a Sara Adrian L. de Andrade (orientadora) [Instituto de Biologia/UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

Em 2020, a área ocupada por florestas plantadas chegou a 9,3 mi de ha no Brasil, sendo 80,3% ocupada por plantações comerciais de eucalipto (IBGE, 2020), com destaque para aquelas de *Eucalyptus globulus* e de *E. grandis* (TURNBULL; ADAMS; WARREN, 2007). Espécies do gênero são cultivadas para diversos fins econômicos, na produção de madeira, papel e celulose, e óleos essenciais. Devido ao rápido crescimento dos eucaliptos e sua grande produção de biomassa, seu interesse como cultura energética tem crescido nos últimos anos (PÉREZ-CRUZADO; MERINO; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO et al., 2011; CUNHA et al., 2021).

Ecossistemas florestais, naturais ou plantados, têm sua sustentabilidade relacionada à estabilidade do balanço de nutrientes a curto, médio e longo prazo. Os ciclos biogeoquímicos condicionam a circulação de nutrientes na biosfera, e influenciam e são influenciados pela utilização de nutrientes pelas plantas e pela sua interrelação com a microbiota do solo (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002). A atividade da microbiota do solo, é determinante para o desenvolvimento e eficiência das plantas no uso de nutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N).

O solo é um ecossistema diverso e complexo, onde bactérias, fungos, protistas, plantas e animais interagem entre si, e que incluem relações ecológicas que abrangem um amplo espectro do mutualismo ao comensalismo ou ao antagonismo. No geral, os microrganismos do solo constituem um *pool* significativo da biomassa viva do solo, que é responsável pela transformação, imobilização, solubilização e mineralização de elementos como carbono (C), N e P (HAYAT et al., 2010). Assim a microbiota do solo exerce um papel crucial no ciclo global do C e N, sendo a principal responsável pela decomposição da matéria orgânica, e pelos ganhos e perdas de C e N no sistema (HARGREAVES & HOFMOCKEL, 2014).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constituem um grupo chave de microrganismos do solo, com função relevante na aquisição de nutrientes pelas plantas, além de constituírem uma entrada direta do CO₂ fixado pela fotossíntese no solo, e, portanto, possuem papel multifuncional no ecossistema do solo influenciando a ciclagem de nutrientes, no sequestro de C, na estabilização de matéria orgânica e na formação de agregados do solo (QIAO et al., 2022). A glomalina é uma substância complexa cuja síntese é atribuída em grande parte aos FMA e que reúne glicoproteínas e substâncias húmicas (ZHANG et al., 2020). Com um *pool* significativo de C e N, a glomalina possui entre 25 e 59% de C e entre 3 e 5% de N e, portanto, desempenha um papel importante no acúmulo de C e N no solo (SCHINDLER; MERCER; RICE et al., 2007).

Além dos fatores climáticos, o uso do solo e as espécies vegetais influenciam de forma importante a composição da microbiota do solo, e modulam sua atividade, gerando alterações nas suas funções e, portanto, na ciclagem de nutrientes e sua dinâmica (GIANFREDI, 2015). A abundância e composição das comunidades microbianas, bem como a sua atividade são moduladas pela atividade radicular, principalmente por meio dos seus exsudatos (TKACZ et al., 2015; REZAEI-CHIYANEH et al., 2021). A microbiota do solo e a exsudação radicular são responsáveis pelo efeito de “*priming*” (GIANFREDI, 2015) gerando mudanças rápidas e significativas na composição da matéria orgânica do solo, as quais regulam o ciclo do C e do N.

Portanto, na interação planta-solo, a atividade da microbiota do solo pode promover o crescimento das plantas (VAN DER HEIJDEN; BARDGETT; VAN STRAALLEN, 2008) e garantir as demandas nutricionais das plantas ao longo do seu desenvolvimento. As plantas influenciam o solo onde crescem de formas diversas, e isto depende da abundância e da diversidade de espécies vegetais presentes em uma determinada área, em um feedback planta-solo (HEINEN et al, 2018). Logo, é difícil prever como os efeitos do legado do solo criados por diferentes comunidades vegetais influenciarão o crescimento de outras plantas em um solo (KOSTENKO; BEZEMER, 2020).

Nesse contexto, este projeto visou compreender melhor a interação entre o legado de um solo sob diferentes coberturas vegetais e o crescimento de plantas jovens de eucalipto em indicadores microbianos relacionados com os ciclos de C e N no solo.

METODOLOGIA:

Descrição e coleta de solos. Foram utilizadas duas amostras de um solo latossolo vermelho distrófico coletado na Fazenda Santa Elisa do Instituto Agronômico (IAC) em Campinas, São Paulo, de áreas adjacentes ocupadas por: 1) plantação de eucalipto de aproximadamente 20 anos de idade e 2) vegetação de capoeira caracterizada pela cobertura de arbustos esparsos de mata secundária. Para a coleta do solo, foi previamente retirada a vegetação superficial e/ou a serrapilheira, e coletados aproximadamente 85 L de solo da camada 0 a 20 cm, em cada uma das áreas. Os solos foram peneirados em peneira de 4 mm e subamostras coletadas para análises químicas e biológicas especificadas abaixo peneiradas novamente em peneira de 2 mm.

Delineamento experimental. Foi realizado um experimento em microcosmos que permitiu o estudo da atividade microbiana do solo e sua interrelação com plântulas de eucalipto. O experimento teve delineamento totalmente casualizado, seguindo modelo fatorial 2 x 3, sendo os fatores constituídos por dois solos com diferentes coberturas vegetais: plantio eucalipto (Eucalipto) e capoeira (Mata Secundária); com cultivo das espécies: *E. grandis* (GR) e *E. globulus* (GL) e sem cultivo de planta (Sem cultivo), com 5 repetições de cada tratamento.

Experimento de microcosmos. As amostras de solo peneiradas foram acondicionadas em vasos de 1,7 L, em seguida, plântulas de aproximadamente 1 mês de idade de *E. grandis* e *E. globulus* foram transplantadas para os vasos dos tratamentos de solo correspondentes. Para produção das plântulas, sementes de cada espécie foram germinadas em vermiculita estéril por autoclavagem. O experimento ocorreu em condições de casa de vegetação com luz e temperatura naturais e irrigação manual com água destilada. Os tratamentos sem planta foram mantidos sob as mesmas condições e receberam água de irrigação na mesma frequência que os tratamentos com planta. A umidade do solo foi mantida ao redor de 60-70% da capacidade de retenção de água do solo por meio de pesagens periódicas dos vasos. O experimento teve uma duração de 5 meses, quando foi realizada a coleta de amostras de solo e plantas (Tempo Final). Na coleta, subamostras de solo foram imediatamente coletadas e armazenadas sob refrigeração para determinação das da biomassa microbiana, da respiração basal do solo e para extração e quantificação da glomalina.

Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e respiração basal do solo. O C e o N da biomassa microbiana foram determinados no Tempo Zero e no Tempo Final pelo método da fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; BROOKES; POWLSON; JENKINSON, 1982). Após extração do C orgânico, este foi quantificado pela oxidação ácida com dicromato de potássio (JOERGENSEN; MUELLER, 1996). Para determinação do N da biomassa microbiana, os extratos de solo, fumigados e não fumigados foram submetidos à digestão sulfúrica e titulação com H_2SO_4 a 0,005 N (BROOKES et al., 1985). A respiração basal do solo (RBS) foi determinada pela liberação de CO_2 e determinada por titulação conforme Alef & Nannipieri (1995). Com os resultados de C da biomassa e respirometria, foi calculado o quociente metabólico do solo (qCO_2).

Avaliação da colonização micorrízica arbuscular. Sub-amostras de raízes foram utilizadas para estimar a colonização micorrízica, após clareamento das raízes com KOH 10% e coloração com vinagre e tinta de caneta (VIERHEILIG et al. 1998) e sob microscópio óptico pelo método da lâmina (TROUVELOT; KOUGH; GIANINAZZI-PEARSON, 1986).

Extração e quantificação de glomalina. A glomalina (GRSP, *Glomalin Related Soil Protein*) foi extraída pelo método descrito em Wright e Upadhyaya (1996, 1999) e Nichols (2003), por meio de autoclavagem de aliquotas de 1 g das amostras de solo junto com 8 mL de solução de citrato de sódio a 121°C por 1 h, seguida de centrifugação a 8.000 g por 15 min, e coleta do sobrenadante após ciclos de autoclavagem quando o mesmo tornou-se claro. A quantificação desta glicoproteína foi feita pelo método de Bradford (1976).

Análise estatística. Os dados seguiram análise da variância ANOVA, seguida de teste de Tukey ($P < 0,05$) para comparação das médias, ou T de Student no caso de dados do Tempo Zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Nos solos recém coletados das áreas em estudo (Tempo Zero), o C da biomassa microbiana (BMS-C) (Figura 1A) não apresentou diferenças significativas entre os solos. No Tempo Final, após a coleta do experimento de microcosmos, houve uma redução de 50% da BMS-C no solo de plantação de eucalipto em relação ao observado no solo recém coletado, no Tempo Zero. Quando cultivadas plantas de *E. grandis*, a BMS-C foi quase 50% maior no solo de mata secundária do que no solo da plantação de eucalipto. Já quando não houve cultivo de plantas, a BMS-C foi 82% superior no solo de eucalipto do que no solo da mata secundária. Ainda, no solo de mata secundária, a presença de plantas de eucalipto aumentou a BMS-C em relação ao solo que permaneceu sem cultivo de plantas (Figura 1A). A BMS-C representa a porção da matéria orgânica viva do solo, e é considerada um indicador sensível a alterações no uso do solo (DADALTO, 2014). Nesse sentido, após a condução do experimento de microcosmos, o solo de mata secundária apresentou maior quantidade de C na biomassa microbiana quando plantas de eucalipto

foram crescidas nele, indicando efeito positivo da atividade radicular na biomassa microbiana do solo. Em solos sem a influência do crescimento de plantas de eucalipto, a BMS-C foi maior no solo de plantação de eucalipto do que no solo de mata secundária, indicando maior imobilização de C na microbiota no solo de plantação de eucalipto, o que pode estar relacionado com a qualidade da matéria orgânica e da serrapilheira, que pode ser relativamente rica em P e ter efeitos positivos na microbiota do solo (SANTOS et al., 2018). Esse resultado pode evidenciar o efeito da cobertura vegetal na microbiota, dado que o conteúdo e qualidade da matéria orgânica condicionam a incorporação de C na biomassa microbiana e sua atividade (HÄTTENSCHWILER et al., 2011).

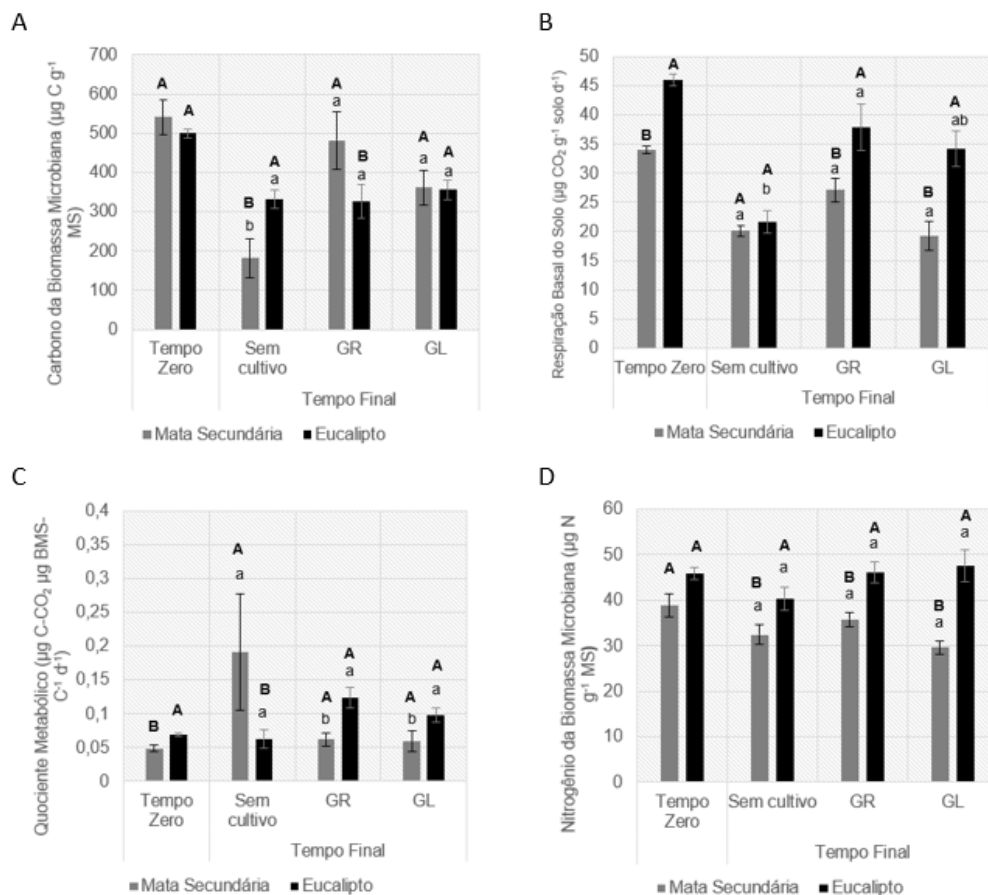


Figura 1: Carbono da biomassa microbiana (A), respiração basal do solo (B), quociente Metabólico (C) e nitrogênio da biomassa microbiana (D) em solos de mata secundária (Mata secundária) e plantio de eucalipto (Eucalipto) por ocasião da amostragem de solo (Tempo Zero) e após 5 meses (Tempo Final) de experimento de microcosmos com cultivo de *E. grandis* (GR) e *E. globulus* (GL) e sem cultivo (Sem cultivo). No Tempo Zero letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos de solo pelo teste T de Student. Para o Tempo Final, letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos de solo, dentro de cada espécie de eucalipto, e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre espécies de eucalipto, dentro de cada solo, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

microrganismos aeróbios heterotróficos (SILVA, AZEVEDO, DE-POLLI, 2007), possivelmente indicando uma microbiota mais ativa na decomposição de compostos de C. Porém, altas taxas de respiração podem não representar maior produtividade e biomassa microbiana no solo, mas sim uma indicação de que a microbiota é menos eficiente na incorporação de C na sua biomassa (ISLAM; WEIL, 2000 *apud* DADALTO, 2014).

Isto é mais bem refletido pelo quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993), indicador do grau de estresse ou estabilidade da microbiota do solo. No Tempo Zero, o $q\text{CO}_2$ foi 43% maior no solo de plantio de eucalipto (Figura 1C). No Tempo Final, diferenças significativas foram observadas apenas no solo de mata secundária, com $q\text{CO}_2$ maior na ausência de plantas de eucalipto, do que quando eucaliptos estavam presentes. A presença das plantas jovens de eucalipto não alterou o $q\text{CO}_2$. Segundo Moreira e Siqueira (2006), maior respiração do solo e de $q\text{CO}_2$ podem indicar que o solo encontra-se sob estresse, em que a comunidade microbiana utiliza o seu estoque de C para processos de manutenção ou adaptação às condições do solo (DADALTO, 2014). Quanto ao Tempo Final, os maiores valores observados em solo de mata secundária, na ausência de cultivo, indicam uma menor eficiência da microbiota do solo em incorporar C à biomassa.

No Tempo Zero, a respiração basal foi 26% maior no solo de plantação de eucalipto do que no de mata secundária, e esta diferença se manteve no Tempo Final, após o crescimento de plantas das duas espécies de eucalipto (Figura 1B). Já quando o solo não teve cultivo de plantas, houve uma redução de 53% da RBS em solo de mata secundária, e de 34% no solo de eucalipto. Na presença de plantas de eucalipto, e independentemente da espécie, o solo da plantação de eucalipto apresentou maior respiração do que o solo da mata secundária. Estes resultados indicam o efeito positivo do plantio de eucalipto na atividade microbiana, possivelmente pela maior quantidade de compostos de C utilizáveis pelos microrganismos provenientes da atividade radicular (SIQUEIRA et al., 1994). No geral, o solo de plantação de eucalipto apresentou maior atividade microbiana, indicada pela maior liberação de CO_2 de

O N da biomassa microbiana (BMS-N) (Figura 1D) apresentou um claro padrão, sendo maior no solo oriundo da plantação de eucalipto. O BMS-N representa um reservatório de N para as plantas, compondo um pool de N potencialmente mineralizável, essencial para a manutenção do ecossistema (PEREZ; RAMOS; MCMANUS., 2005). Nesse sentido, quanto maior o BMS-N, mais rápida pode ser a sua ciclagem (COCHRAN; HORTON; COLE, 1988; ANDERSON, 2003).

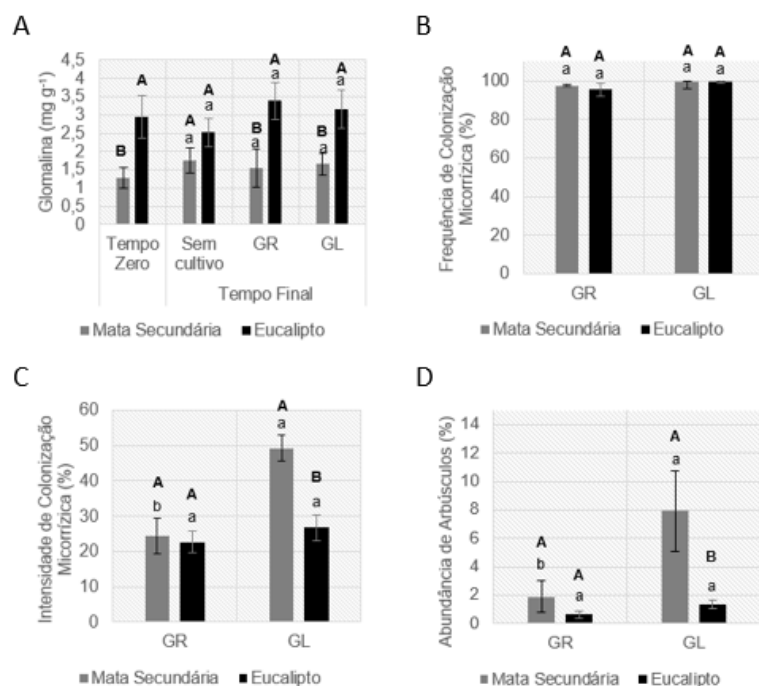


Figura 2: Conteúdo de glomalina (A) em solos de mata secundária (Mata Secundária) e de plantação de eucalipto (Eucalipto) por ocasião da amostragem de solo (Tempo Zero) e após 5 meses (Tempo Final) de experimento de microcosmos com cultivo de *E. grandis* (GR), *E. globulus* (GL) e sem cultivo (Sem cultivo). Frequência de colonização micorrízica (B), intensidade de colonização (C) e abundância de arbúsculos (D) em raízes de *E. grandis* e *E. globulus*. Para glomalina, no Tempo Zero, letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos com solo pelo teste T de Student. Para glomalina, no Tempo Final, e parâmetros de colonização, letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos de solo, dentro de cada espécie de eucalipto, e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre espécies de eucalipto, dentro de cada solo, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

micorrízica diferencial. Nesse sentido, espera-se que o crescimento e desenvolvimento das plantas seja distinto quanto ao solo cultivado, em função de diferentes processos biogeoquímicos em solos de mata secundária e de plantação de eucalipto.

CONCLUSÕES:

Os resultados mostram as respostas da microbiota ao legado de um solo com diferentes coberturas vegetais e ao crescimento de duas espécies de *Eucalyptus*. A presença de cultivo de plantas de eucalipto influenciou positivamente a biomassa microbiana do solo e sua atividade. A herança deixada pela cobertura vegetal prévia modulou a resposta da microbiota do solo à presença de espécies de eucaliptos e, consequentemente, deve haver variações nos padrões de ciclagem de nutrientes que influenciam a nutrição mineral das plantas e seu desenvolvimento.

De modo geral, os solos da plantação de eucalipto possuíram maior atividade microbiana, maior N na biomassa e maior conteúdo de glomalina, o que pode estar relacionado com a qualidade da matéria orgânica deixada pela serrapilheira de eucalipto. Raízes de *E. globulus* crescidas no solo de mata secundária apresentaram maior intensidade micorrízica e abundância de arbúsculos, sugerindo que as espécies de eucalipto tiveram preferência diferencial pelas comunidades destes simbiossiontes neste solo.

A ausência de plantas levou à diminuição significativa da atividade microbiana do solo coletado de mata secundária, possivelmente pelo menor aporte de compostos C utilizáveis pelos microrganismos. Adicionalmente, a microbiota do solo da mata secundária teve menor eficiência de incorporação de C à biomassa microbiana, com

O conteúdo de glomalina nos solos recém coletados (Tempo Zero) foi significativamente maior no solo de plantação de eucalipto do que o solo da área de mata secundária, o que, no geral, se manteve após a coleta do experimento de microcosmos no Tempo Final. Sob influência do cultivo de *E. grandis*, o conteúdo de glomalina também foi maior no solo de plantação de eucalipto. Os demais tratamentos não influenciaram significativamente o conteúdo de glomalina do solo. O conteúdo de glomalina, maior no solo de plantação de eucalipto, pode indicar maior sequestro de C pela via da simbiose micorrízica (ZHANG et al., 2015).

Plantas de ambas as espécies e crescidas nos dois solos apresentaram alta frequência de colonização micorrízica nas raízes. No entanto, plantas de *E. globulus* cultivadas no solo de mata secundária tiveram maior intensidade da colonização e maior abundância de arbúsculos do que plantas crescidas no solo da plantação de eucalipto.

De modo geral, em termos de efeito do legado do solo em interação com o crescimento de espécies de eucalipto, destaca-se a diferença nos atributos microbiológicos entre os solos quando cultivados e quando não cultivados, após o experimento de microcosmos, sobretudo quanto ao BMS-C e RBS. Distintas condições da microbiota edáfica foram observadas entre os solos e, adicionalmente, entre as *E. globulus* e *E. grandis*, com destaque à colonização

perda de C quando comparado ao solo da plantação de eucalipto. Em oposição, a microbiota do solo de plantação de eucalipto teve maior imobilização de C na biomassa microbiana, mas também maior efluxo de CO₂.

Logo, os resultados evidenciam a complexidade dos efeitos do legado do solo sobre a microbiota do solo quando em interação com o crescimento de plantas de eucalipto. De modo geral, o solo da plantação de eucalipto apresentou maior reservatório de N e C na biomassa microbiana do que o solo de mata secundária, o que reflete na maior atividade microbiana na presença de plantas jovens de eucalipto.

BIBLIOGRAFIA:

- ALEF, Kassem.; NANNIPIERI, Paolo. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p. 576.
- ALVES, Tatiane D. S.; CAMPOS, Lizia. L.; ELIAS NETO, Nicolau.; MATSUOKA, Marcia; LOUREIRO, Maria F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, 2011.
- ANDERSON, Traute-Heidi.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, Traute-Heidi. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.98, p.285-293, 2003.
- BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 7 maio 1976.
- BROOKES, Philip. C.; POWLSON, David. S.; JENKINSON, David S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1 jan. 1982.
- BROOKES, Philip. C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1 jan. 1985.
- COCHRAN, V.L.; HORTON, K.A.; COLE, C.V. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.293-298, 1988.
- CUNHA, Thammi Queuri Gomes Da et al. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. **Research, Society and Development**, v. 144, 1 jan. 2021.
- DADALTO, Juliana P. Preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- GIANFREDI, Luigi. Enzymes of importance to rhizosphere processes. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 2, p. 283-306, 1 jun. 2015.
- HAYAT, Rifat et al. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology** 2010 60:4, v. 60, n. 4, p. 579-598, 28 ago. 2010.
- HARGREAVES, Sarah K.; HOFMOCKEL, Kirsten S. Physiological shifts in the microbial community drive changes in enzyme activity in a perennial agroecosystem. **Biogeochemistry**, v. 117, n. 1, p. 67-79, 27 jan. 2014.
- HÄTTENSCHWILER, Stephan et al. Leaf traits and decomposition in tropical rainforests: revisiting some commonly held views and towards a new hypothesis. **New Phytologist**, [s. l.], v. 189, p. 950-965, 2011.
- HEINEN, Robin et al. Plant community composition but not plant traits determine the outcome of soil legacy effects on plants and insects. **Journal of Ecology**, v. 106, p. 1217-1229, 2018.
- IBGE (2020). Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2020 PEVS. (n.d.). Retrieved December 14, 2021, from <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=o-que-e>
- ISLAM, Rafiq.; WEIL, Raymond R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p. 69-78, 2000.
- JOERGENSEN, Rainer Georg; MUELLER, Torsten. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the KEN value. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 1, p. 33-37, 1 jan. 1996.
- KOSTENKO, Olga; BEZEMER, T. Martijn. Abiotic and Biotic Soil Legacy Effects of Plant Diversity on Plant Performance. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 8, p. 87, 3 abr. 2020.
- LEITE, Fernando P et al. (2011). Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 949-959.
- MOREIRA, Fátima M.S.; SIQUEIRA, José O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- NICHOLS, Kristine A. Characterization of glomalin, a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. Ph.D. Dissertation. University of Maryland, College Park. 2003. 285 p.
- PÉREZ-CRUZADO, César; MERINO, Agustín; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, Roque. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens grown as short rotation woody crops in north-west Spain. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2839-2851, 1 jul. 2011.
- PEREZ, Kátia S. S., RAMOS, Maria L. G., McMANUS, Concepta. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]. 2005, v. 40, n. 2, pp. 137-144.
- QIAO, Yangui et al. Arbuscular mycorrhizal fungi outcompete fine roots in determining soil multifunctionality and microbial diversity in a desert ecosystem. **Applied Soil Ecology**, v. 171, p. 104323, 1 mar. 2022.
- REZAEI-CHIYANEH, Esmaeil et al. Improvement of dragonhead (Dracocephalum moldavica L.) yield quality through a coupled intercropping system and vermicompost application along with maintenance of soil microbial activity. **Land Degradation and Development**, v. 32, n. 9, p. 2833-2848, 30 maio 2021.
- ROSS SEDEROFF, Ronald et al. Hardwood Tree Genomics: Unlocking Woody Plant Biology. **Front. Plant Sci**, v. 9, p. 1799, 2018.
- SANTANA, Reynaldo Campos; BARROS, Nairam Félix De; NEVES, Júlio César Lima. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 447-457, ago. 2002.
- SANTOS, Felipe Martini et al. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia mangium. **Plant and Soil** 2017 423:1, [s. l.], v. 423, n. 1, p. 141-155, 2017.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H.. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Comunicado Técnico 99. Embrapa. 2007.
- SIQUEIRA, José O.; MOREIRA, Fátima M. S.; GRISI, Breno M.; HUNGRIA, Mariangela; ARAUJO, Ricardo S. **Micro-organismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 142.
- SCHINDLER, Frank V.; MERCER, Erin J.; RICE, James A. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 1, p. 320-329, 1 jan. 2007.
- TKACZ, Andrzej et al. Stability and succession of the rhizosphere microbiota depends upon plant type and soil composition. **ISME Journal**, v. 9, n. 11, p. 2349-2359, 1 nov. 2015.
- TROUVELOT, A., KOUGH, J.L. & GIANINAZZI-PEARSON, V. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. **Physiol. Genet. Asp. mycorrhizae**. INRA, Paris, 217-221.
- TURNBULL, Tarryn L.; ADAMS, Mark A.; WARREN, Charles R. Increased photosynthesis following partial defoliation of field-grown Eucalyptus globulus seedlings is not caused by increased leaf nitrogen. **Tree Physiology**, v. 27, n. 10, p. 1481-1492, 1 out. 2007.
- VAN DER HEIJDEN, Marcel G.A.; BARDGETT, Richard D.; VAN STRAALLEN, Nico M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v. 11, n. 3, p. 296-310, 1 mar. 2008.
- VANCE, Eric D.; BROOKES, Philip C.; JENKINSON, David S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1 jan. 1987.
- VIERHEILIG, Horst et al. Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 64, n. 12, p. 5004, 1998.
- WRIGHT, Sara F.; UPADHYAYA, Abha. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Sci.**, 161:575-586. 1996.
- WRIGHT, Sara F.; UPADHYAYA, Abha. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. **Mycorrhiza**, 8:283-285. 1999.
- ZHANG, Jing et al. Glomalin-related soil protein responses to elevated CO₂ and nitrogen addition in a subtropical forest: Potential consequences for soil carbon accumulation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 83, p. 142-149, 1 abr. 2015.
- ZHANG, Jing et al. The influence of soil warming on organic carbon sequestration of arbuscular mycorrhizal fungi in a sub-arctic grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 147, p. 107826, 1 ago. 2020.