

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAURA VITÓRIA DOS ANJOS FUCILINI

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
COM E SEM TERRACEAMENTO**

DOIS VIZINHOS

2026

LAURA VITÓRIA DOS ANJOS FUCILINI

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
COM E SEM TERRACEAMENTO**

**Microbiological attributes of soil under no-tillage system with and without
terracing**

Trabalho conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Carlos Alberto Casali

DOIS VIZINHOS

2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LAURA VITÓRIA DOS ANJOS FUCILINI

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
COM E SEM TERRACEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25/junho/2026

Carlos Alberto Casali
Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Elisandra Pocojeski
Doutora em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Caroline Amadori
Doutora em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS
2026**

RESUMO

A erosão hídrica do solo é um dos principais processos de degradação dos sistemas agrícolas, causando perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes, além de comprometer a produtividade das culturas e a sustentabilidade ambiental. Entre as práticas conservacionistas utilizadas para minimizar esse problema, destaca-se o terraceamento, diminui a velocidade do escoamento superficial e favorece a infiltração de água no solo. Essas alterações podem influenciar diretamente os atributos biológicos do solo, especialmente a atividade e a biomassa microbiana. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os atributos microbiológicos do solo em áreas sob Sistema Plantio Direto com e sem terraceamento, por meio da análise de parâmetros como respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana e nitrogênio microbiano. A pesquisa envolve a coleta de amostras de solo em áreas submetidas aos diferentes manejos, seguida de análises laboratoriais para determinação dos atributos microbiológicos. Os resultados demonstraram que a adoção do terraceamento, além de contribuir para o controle da erosão hídrica, promove alterações na atividade microbiológica do solo, influenciando sua qualidade biológica e sua capacidade de manutenção dos processos ecológicos. O estudo contribuiu para o entendimento das relações entre práticas conservacionistas, controle da erosão e qualidade do solo, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: manejo conservacionista; indicadores biológicos do solo; sustentabilidade agrícola; saúde do solo.

ABSTRACT

Soil water erosion is one of the main processes responsible for the degradation of agricultural systems, causing losses of soil, water, organic matter, and nutrients, while also compromising crop productivity and environmental sustainability. Among the conservation practices adopted to mitigate this problem, terracing stands out for reducing surface runoff velocity and promoting water infiltration into the soil. These changes may directly influence the biological attributes of the soil, particularly microbial activity and microbial biomass. In this context, the present study aimed to evaluate the microbiological attributes of soil under a No-Tillage System with and without terracing by analyzing parameters such as basal soil respiration, microbial biomass carbon, and microbial biomass nitrogen. The research involved collecting soil samples from areas under different management systems, followed by laboratory analyses to determine microbiological attributes. The results demonstrated that the adoption of terracing, in addition to contributing to water erosion control, promotes changes in soil microbiological activity, influencing its biological quality and its capacity to maintain ecological processes. The study contributed to a better understanding of the relationships between conservation practices, erosion control, and soil quality, providing support for the development of more sustainable agricultural systems.

Keywords: conservation management; soil biological indicators; agricultural sustainability; soil health.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná
PMISA	Programa de Manejo Integrado de Solo e Água e de Desenvolvimento Rural do Paraná
RBS	Respiração basal do solo
C _{mic}	Carbono da biomassa microbiana
N _{mic}	Nitrogênio da biomassa microbiana do solo
qCO ₂	Quociente metabólico do solo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo geral	9
2.2 Objetivo específico	9
3 JUSTIFICATIVA.....	10
4 REVISÃO DE LITERATURA	11
4.1 Processos erosivos em áreas agrícolas	11
4.2 O terraceamento para a conservação do solo e da água	12
4.3 Importância dos atributos microbiológicos do solo	13
4.4 Bioindicadores da qualidade do solo	14
4.5 Respiração basal do solo	15
4.6 Impacto da conservação do solo nos atributos microbiológicos	16
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
5. 1 Rede de agropesquisa, localização e caracterização da área experimental.....	17
5.2 Implantação e condução do experimento	19
6 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	21
6.1 Biomassa microbiana	21
6.2 Respiração basal do solo	24
7 ANÁLISE E ESTATÍSTICA	26
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
9 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo constitui um dos principais processos de degradação dos sistemas agrícolas, sendo responsável por perdas significativas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes. Além de comprometer a produtividade das culturas, esse processo afeta a qualidade ambiental, reduz a capacidade produtiva dos solos e favorece o assoreamento de cursos d'água e reservatórios (Bertol et al., 2015; Didoné et al., 2017).

No Sul do Brasil, especialmente no Estado do Paraná, a ocorrência de eventos pluviométricos intensos tem aumentado a preocupação com os processos erosivos em áreas agrícolas. Chuvas de elevada intensidade, associadas ao relevo ondulado e ao manejo inadequado do solo, potencializam o escoamento superficial e elevam os riscos de perdas de solo e água. Nesse contexto, a adoção de práticas conservacionistas torna-se fundamental para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Bertol et al., 2015; PARANÁ, 1984).

Entre as práticas utilizadas para o controle da erosão hídrica destaca-se o terraceamento, técnica que consiste na construção de estruturas mecânicas destinadas a interceptar e reduzir a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração de água no solo. Quando associado ao Sistema Plantio Direto (SPD), o terraceamento contribui para a conservação dos recursos naturais, reduzindo perdas por erosão e promovendo melhores condições para o desenvolvimento das culturas agrícolas (Denardin; Kochhann, 2000; Bertol et al., 2015).

O SPD consolidou-se como uma das principais estratégias de conservação do solo no Brasil, baseando-se na mobilização mínima do solo, na manutenção da cobertura permanente e na rotação de culturas. Esses princípios favorecem a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aumentando sua capacidade de armazenamento de água, reduzindo processos erosivos e promovendo maior estabilidade dos agroecossistemas (Vezzani; Mielniczuk, 2011).

A manutenção da qualidade do solo é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois está diretamente relacionada à produtividade das culturas, à conservação ambiental e à resiliência dos agroecossistemas. Nesse sentido, o Estado do Paraná possui histórico de incentivo à adoção de práticas conservacionistas, como terraceamento, plantio direto, rotação de culturas e cobertura permanente do solo, que

contribuem para a redução da degradação e para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Além dos atributos físicos e químicos, os atributos biológicos do solo têm recebido crescente atenção por sua relação direta com o funcionamento dos ecossistemas agrícolas. Os microrganismos desempenham papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, formação e estabilização de agregados e manutenção da fertilidade do solo. Dessa forma, alterações nas condições ambientais e nas práticas de manejo podem influenciar significativamente a atividade e a biomassa microbiana (Moreira; Siqueira, 2006).

Entre os principais indicadores microbiológicos utilizados na avaliação da qualidade biológica do solo destacam-se o carbono da biomassa microbiana (Cmic), o nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) e a respiração basal do solo (RBS). O Cmic representa a fração viva da matéria orgânica e reflete o tamanho da comunidade microbiana presente no solo, enquanto o Nmic está diretamente relacionado aos processos de transformação e disponibilização desse nutriente. A RBS, por sua vez, expressa a atividade metabólica dos microrganismos por meio da quantificação do dióxido de carbono liberado durante a decomposição da matéria orgânica (Alef; Nannipieri, 1995; Moreira; Siqueira, 2006).

Embora os benefícios do terraceamento para o controle da erosão sejam amplamente reconhecidos, ainda são limitadas as informações sobre seus efeitos nos atributos microbiológicos do solo, especialmente em áreas conduzidas sob SPD. Considerando que alterações na dinâmica da água, na distribuição de resíduos vegetais e nas condições ambientais do solo podem influenciar a atividade microbiana, torna-se importante compreender de que forma essa prática conservacionista interfere na qualidade biológica do solo.

Dessa forma, este estudo avaliará os atributos microbiológicos do solo em áreas agrícolas sob SPD com e sem terraceamento, por meio da determinação da RBS, do Cmic e Nmic. Espera-se que os resultados contribuam para ampliar o conhecimento sobre a relação entre práticas conservacionistas, controle da erosão hídrica e a qualidade biológica do solo, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar atributos microbiológicos do solo em lavouras sob sistema plantio direto com e sem terraceamento.

2.2 Objetivo específico

a) Quantificar o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo nos diferentes sistemas de manejo.

b) Determinar a respiração basal do solo e o quociente metabólico (qCO_2), comparando as áreas com e sem terraceamento.

3 JUSTIFICATIVA

A conservação do solo é um dos principais desafios para a sustentabilidade da agricultura moderna, especialmente em regiões sujeitas à erosão hídrica. Embora o SPD seja uma eficiente estratégia para isso, a ocorrência de chuvas intensas e o escoamento superficial ainda podem provocar perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes, tornando necessária a adoção de práticas complementares, como o terraceamento (Bertol et al., 2015; Denardin; Kochhann, 2000).

A avaliação da qualidade do solo tem sido baseada em atributos físicos e químicos, entretanto, esses parâmetros nem sempre são suficientes para detectar alterações decorrentes do manejo em curto prazo. Nesse contexto, os atributos microbiológicos têm se destacado como importantes indicadores da qualidade do solo, uma vez que os microrganismos participam diretamente dos processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, formação de agregados e manutenção da fertilidade do solo (Moreira; Siqueira, 2006). Entre os principais indicadores biológicos utilizados em estudos de qualidade do solo destacam-se o Cmic, o Nmic e a RBS, que são sensíveis às alterações promovidas pelas práticas de manejo, permitindo avaliar mudanças na atividade biológica e no funcionamento dos ecossistemas agrícolas (Alef; Nannipieri, 1995).

Apesar da ampla utilização do terraceamento como prática conservacionista para o controle da erosão hídrica, ainda são limitadas as informações sobre seus efeitos nos atributos microbiológicos do solo, especialmente em áreas conduzidas sob SPD. Considerando que o terraceamento modifica a dinâmica da água no perfil do solo, influencia a distribuição de resíduos vegetais e interfere nas condições ambientais que afetam os microrganismos, torna-se relevante investigar sua influência sobre a atividade e a biomassa microbiana.

Dessa forma, a realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre a relação entre terraceamento e qualidade biológica do solo. Os resultados obtidos poderão contribuir para o entendimento dos efeitos dessa prática conservacionista sobre os processos microbiológicos do solo, fornecendo informações que auxiliem no desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis e na adoção de estratégias de manejo voltadas à conservação dos recursos naturais e à manutenção da produtividade agrícola.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Processos erosivos em áreas agrícolas

Os processos erosivos em áreas agrícolas correspondem à remoção, transporte e deposição das partículas do solo, sendo desencadeados principalmente pela ação da chuva e do escoamento superficial, podendo ser intensificados por práticas inadequadas de manejo. No sudoeste do Paraná, região caracterizada por relevo ondulado e intensa atividade agrícola baseada em sistemas como soja e milho, a erosão hídrica é um dos principais fatores de degradação do solo, especialmente quando há exposição do solo em períodos de preparo ou baixa cobertura vegetal. A erosão pode ocorrer em diferentes formas, como erosão laminar, em sulcos e voçorocas, sendo a laminar mais difícil de ser percebida, porém responsável por perdas significativas de nutrientes e matéria orgânica ao longo do tempo.

A intensidade dos processos erosivos está diretamente relacionada a fatores naturais, como declividade, tipo de solo e intensidade das chuvas, e também a fatores antrópicos, como uso e manejo do solo. No Paraná, eventos de chuva de alta intensidade associados a solos altamente intemperizados, como Latossolos e Nitossolos, aumentam a vulnerabilidade à erosão quando não há adoção de práticas conservacionistas adequadas. Segundo estudos realizados na Bacia do Paraná III e em áreas experimentais do estado, a ausência ou falha na implementação de práticas como terraceamento, plantio em nível e manutenção de palhada favorece o aumento do escoamento superficial e a consequente perda de solo (Lucas; Poggere; Bortolini, 2025).

A substituição da vegetação natural por sistemas agrícolas intensivos altera significativamente a estrutura do solo, reduzindo a infiltração de água e aumentando a suscetibilidade ao impacto direto das gotas de chuva, o que promove a desagregação das partículas do solo. Além disso, o uso contínuo do solo sem rotação de culturas ou sem cobertura vegetal adequada contribui para a compactação superficial, reduzindo ainda mais a infiltração e favorecendo o início do processo erosivo. Em regiões como Dois Vizinhos, onde há forte presença de agricultura mecanizada, esses efeitos são agravados em áreas com declividade mais acentuada, exigindo planejamento conservacionista mais rigoroso.

Diante disso, práticas de conservação do solo têm sido amplamente estudadas e recomendadas no estado do Paraná, especialmente dentro de programas de

pesquisa e extensão rural. O uso do sistema de plantio direto, associado à rotação de culturas e ao terraceamento agrícola, tem demonstrado eficiência na redução da perda de solo e da água superficial. Pesquisas desenvolvidas por instituições estaduais evidenciam que áreas com adoção de práticas conservacionistas apresentam menores taxas de erosão quando comparadas a áreas sem controle mecânico ou vegetal, reforçando a importância da gestão integrada do solo e da água para a sustentabilidade agrícola (PARANÁ, 2023).

Assim, os processos erosivos em áreas agrícolas representam um dos principais desafios ambientais da agricultura moderna no sudoeste do Paraná, exigindo a adoção contínua de práticas de manejo sustentável para garantir a conservação dos recursos naturais e a manutenção da produtividade agrícola a longo prazo.

4.2 O terraceamento para a conservação do solo e da água

O terraceamento é uma prática conservacionista amplamente utilizada para reduzir o escoamento superficial da água, controlar processos erosivos e aumentar a infiltração de água no solo. Os terraços consistem em estruturas construídas transversalmente ao declive do terreno, formadas basicamente pelo camalhão (parte elevada) e pelo canal ou vala de retenção, responsável por armazenar e conduzir a água da chuva de forma controlada. O dimensionamento e a construção dos terraços devem considerar critérios como a declividade do terreno, o tipo e a profundidade do solo, a capacidade de infiltração da água, o uso e manejo da área, além da intensidade das chuvas da região. Conforme as recomendações do boletim técnico do IAPAR (2015), esses fatores são fundamentais para definir o espaçamento entre terraços e a capacidade de armazenamento necessária, garantindo maior eficiência na conservação do solo e da água. O terraceamento é adotado para combater a erosão do solo e melhorar a retenção de água em áreas com topografia acidentada. Esse manejo visa estabilizar o solo, reduzir o escoamento superficial e aumentar a produtividade agrícola em terrenos inclinados, promovendo a sustentabilidade da produção agrícola.

No Brasil, mesmo em regiões de altas precipitações e independentemente da permeabilidade do solo ou da declividade do terreno, o terraço em nível tem sido utilizado de maneira generalizada entre os agricultores. Em áreas de produção de

cana-de açúcar em São Paulo, isso tem resultado no rompimento de terraços, ocasionando problemas de erosão hídrica severa (Franco, 2018).

4.3 Importância dos atributos microbiológicos do solo

Os microrganismos do solo desempenham funções essenciais na decomposição da matéria orgânica, na mineralização de nutrientes e na manutenção da estrutura física do solo, influenciando diretamente a fertilidade, a ciclagem de nutrientes e o funcionamento dos agroecossistemas. Dessa forma, constituem um componente fundamental para a compreensão dos processos ecológicos que sustentam a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Moreira; Siqueira, 2006; Paul, 2015).

A biodiversidade microbiana desempenha papel fundamental na formação e estabilização dos agregados do solo. A ação de bactérias, fungos e actinobactérias favorece a agregação das partículas do solo por meio da produção de substâncias cimentantes e do desenvolvimento de hifas fúngicas, contribuindo para a melhoria da porosidade, da infiltração e da retenção de água. Esses processos representam importantes mecanismos biológicos responsáveis pela manutenção da estrutura do solo, especialmente em sistemas agrícolas conservacionistas (Six et al., 2004; Bronick; Lal, 2005).

A RBS é amplamente utilizada como indicador da atividade microbiana, uma vez que reflete a taxa de liberação de dióxido de carbono (CO_2) proveniente da decomposição da matéria orgânica. Esse parâmetro está diretamente associado à intensidade da atividade metabólica da microbiota e à disponibilidade de substratos orgânicos no solo, sendo considerado um importante indicador da qualidade biológica do solo (Anderson; Domsch, 2010; Bareth; Kuhn, 2018).

O terraceamento, como prática conservacionista, exerce influência indireta sobre os atributos microbiológicos do solo ao modificar o escoamento superficial, a redistribuição de água e a retenção de sedimentos. Essas alterações podem favorecer o acúmulo de matéria orgânica e melhorar as condições ambientais para a atividade microbiana, contribuindo para a ciclagem de C e N no solo (Bertol et al., 2015; Lal, 2018).

O Cmic representa a fração viva da matéria orgânica do solo e está diretamente relacionado à dinâmica do carbono orgânico. Em sistemas conservacionistas, sua manutenção ou aumento indica maior estabilidade biológica e maior eficiência na

ciclagem de nutrientes. Já o Nmic está associado à imobilização e liberação de nitrogênio mineral, sendo um importante indicador da disponibilidade de nutrientes para as plantas (Paul, 2015; Schimel; Bennett, 2004).

Dessa forma, práticas como o terraceamento, quando associadas ao SPD, podem influenciar positivamente a atividade microbiana e a qualidade biológica do solo, promovendo maior eficiência nos processos de ciclagem de nutrientes e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

4.4 Bioindicadores da qualidade do solo

Bioindicadores de qualidade do solo são características mensuráveis que permitem avaliar a situação atual do solo e sugerir técnicas de manejo adequadas (Silva et al., 2011). Como os microrganismos são sensíveis a alterações do ambiente, eles podem ter 100% da sua atividade inibida, o que os torna naturalmente como indicadores da saúde ou qualidade do solo.

Os indicadores biológicos mais utilizados para avaliar a qualidade do solo incluem a biomassa microbiana, a RBS, qCO_2 e as atividades enzimáticas. Esses atributos são considerados sensíveis às alterações decorrentes do manejo, permitindo avaliar a qualidade biológica do solo e sua capacidade de responder às mudanças ambientais. Nesse contexto, o aumento da degradação ambiental tem impulsionado a busca por indicadores capazes de diagnosticar o estado de conservação do solo e subsidiar estratégias voltadas à sua recuperação (Andrews; Carroll, 2001; Herrick et al., 2002; Araújo et al., 2013).

A avaliação das propriedades biológicas do solo atende à maioria dos critérios estabelecidos para indicadores de qualidade do solo (Doran; Zeiss, 2000), embora esse componente tenha sido frequentemente negligenciado em diversos estudos. A elevada sensibilidade às mudanças no ambiente edáfico e o fato de a atividade microbiana refletir a interação entre processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Behera; Sahani, 2003) justificam a utilização de microrganismos e de processos microbiológicos como ferramentas para avaliação da qualidade do solo.

A microbiota do solo apresenta grande potencial para estudos de qualidade edáfica, uma vez que os microrganismos constituem fonte e reservatório de nutrientes em ecossistemas terrestres, além de participarem de processos essenciais como a estruturação do solo, a formação de húmus, a solubilização de nutrientes e a

degradação de compostos orgânicos persistentes (Gama-rodrigues; gama-rodrigues, 2008; Kaschuk; Alberton; Hungria, 2010).

As propriedades microbiológicas têm sido amplamente reconhecidas como indicadores sensíveis da qualidade do solo, pois refletem rapidamente alterações nas condições edáficas e estão diretamente relacionadas à decomposição da matéria orgânica, à ciclagem de nutrientes e ao funcionamento dos ecossistemas (Nannipieri et al., 2003).

Em uma síntese de estudos realizados em agroecossistemas brasileiros ao longo de três décadas, Kaschuk, Alberton e Hungria (2010) observaram que o carbono da biomassa microbiana varia conforme o ambiente, sendo geralmente menor em solos cultivados quando comparados a áreas sob vegetação nativa.

4.5 Respiração basal do solo

A RBS representa a atividade metabólica global da microbiota do solo, sendo os microrganismos os principais responsáveis pela emissão de CO₂ durante o processo de decomposição da matéria orgânica (Islam; Weil, 2000). Esse indicador também está relacionado à taxa de mineralização da matéria orgânica, de modo que valores elevados de RBS podem indicar maior atividade biológica e, em alguns casos, alta disponibilidade de substratos orgânicos, embora também possam refletir maior instabilidade do sistema ao longo do tempo.

Em estudos conduzidos em solos sob diferentes manejos no Cerrado, Lourente et al. (2011) observaram maiores taxas de emissão de CO₂ em áreas de vegetação nativa em comparação a áreas antropizadas, o que foi associado a maiores teores de carbono da biomassa microbiana. Os autores também destacaram a influência de fatores ambientais, como temperatura e umidade, sobre a atividade microbiana, com maiores valores de RBS no período chuvoso em relação ao período seco.

A umidade do solo interfere na atividade microbiana, agindo no componente do protoplasma, modificando as trocas gasosas e dissolvendo e transportando diferentes nutrientes. Em temperaturas abaixo de 25°C e acima de 38°C ocorre um decréscimo nas taxas de reações microbianas, o que justifica a sua maior atividade no verão (Moreira; Siqueira, 2006).

4.6 Impacto da conservação do solo nos atributos microbiológicos

O terraceamento pode exercer efeitos variáveis sobre a microbiota do solo, dependendo de fatores como tipo de solo, cobertura vegetal e condições climáticas locais. Em muitos casos, essa prática contribui para a melhoria da qualidade microbiológica do solo, uma vez que reduz a erosão, favorece a infiltração de água e diminui a compactação, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento da biota edáfica.

Estudos indicam que a diversidade de microrganismos do solo, incluindo bactérias e actinobactérias, pode ser maior em áreas manejadas com práticas conservacionistas, em função da maior estabilidade ambiental e da disponibilidade de nutrientes. Além disso, o terraceamento pode influenciar RBS, bem Cmic e Nmic, os quais estão diretamente relacionados à dinâmica do ciclo de nutrientes no solo (Bastida et al., 2006; Janzen, 2006). O manejo inadequado do solo, especialmente em condições de compactação e erosão, pode reduzir populações microbianas benéficas, comprometendo sua estrutura e sua capacidade de retenção de água e nutrientes (LAL, 1998).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5. 1 Rede de agropesquisa, localização e caracterização da área experimental

O Napi Prosolo é uma ferramenta para incentivar a inovação e pesquisa científica e tecnológica, a qual está realizando um estudo em seis mesorregiões com o objetivo de coletar dados sobre a ocorrência de erosão no Estado. As estações são compostas por mega parcelas, de 2 hectares cada uma, instaladas em áreas rurais de sete municípios e divididas em metade com terraços e a outra sem.

Em Dois Vizinhos, a UTFPR-DV faz o estudo dentro da fazenda experimental da universidade. Em outros locais, os estudos ocorrem também em áreas de produtores rurais. Nas mega parcelas os manejos feitos nas plantações são os mesmos praticados em cada região a fim de demonstrar a eficácia dos terraços para ajudar na contenção das chuvas e evitar a erosão em diferentes cultivos.

Figura 1 - Localização das estações experimentais do Napi Prosolo com as megaparcels com e sem terraços instaladas.



Fonte: Aníbal (2021).

A Mesoregião 04 (Sudoeste) está representada pela área experimental alocada em uma bacia hidrográfica de segunda ordem, localizada no município de Dois Vizinhos, na Mesoregião Geográfica do Sudoeste Paranaense (IBGE, 1990; IPARDES, 2004b), dentro da área da Fazenda experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV). Geograficamente, O sudoeste

paranaense, inserido no Terceiro Planalto, tem seu relevo modelado pelo Rio Iguaçu e seus afluentes, sendo o Rio Chopim o principal. A área está situada a 25°41'55" sul e 53°06' 01" oeste e em altitude média de 560 m acima do nível do mar. O córrego que drena a bacia hidrográfica em estudo é um afluente do Riacho Erveira, que deságua próximo à foz do Rio Chopim, na região hidrológica do Baixo Iguaçu. A vegetação original nessa região pertence à Floresta Estacional Semidecidual (FES) em transição para a Floresta Ombrófila Mista (FOM).

As megaparcelas experimentais foram instaladas em maio de 2019 em uma vertente retilínea, com declividade média de 8%. A área tem terraços de base larga e vinha sendo cultivada sob plantio direto há mais de 15 anos. Regionalmente, a vocação agrícola está associada à homogeneidade geomorfológica da paisagem decorrente do predomínio de relevo plano a ondulado, com declividade <10% na maior parte da região, onde predominam solos profundos e mais desenvolvidos pedogeneticamente.

Figura 2 – Localização das megaparcelas instaladas na Mesoregião Sudoeste do PR, no município de Dois Vizinhos-PR. A área com terraços à esquerda e onde os terraços foram retirados à direita.



Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR-DV (2022).

A área de mata nativa é um ecótono entre floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila mista em estágio secundário de sucessão e foi delimitada em 2019 concomitantemente à instalação das áreas experimentais. Nessa área, foram estabelecidos 32 pontos amostrais distribuídos de maneira a representar sua variabilidade espacial. A mata foi utilizada apenas como área de comparação, servindo

como condição de referência para a avaliação dos atributos do solo em relação às áreas submetidas ao manejo agrícola, não sendo aplicada qualquer prática de manejo ou tratamento experimental.

O clima na região é do tipo subtropical úmido (Cfa), com precipitações bem distribuídas durante as quatro estações do ano e acumulado entre 1900 e 2200 mm por ano (Alvares et al., 2014). Em relação à precipitação no município de Dois Vizinhos, outubro é o mês mais chuvoso, com média de 243 mm (Vieira et al., 2018). A erosividade média na região é a maior do Estado do Paraná e varia entre 10.000 e 12.000 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ (Waltrick et al., 2015).

Antes do início do experimento, foi realizada em 2019 a amostragem do solo com pá de corte na camada de 0-20 cm em cada parcela para caracterização química do solo para definição das doses de adubo a serem aplicadas de cada tratamento.

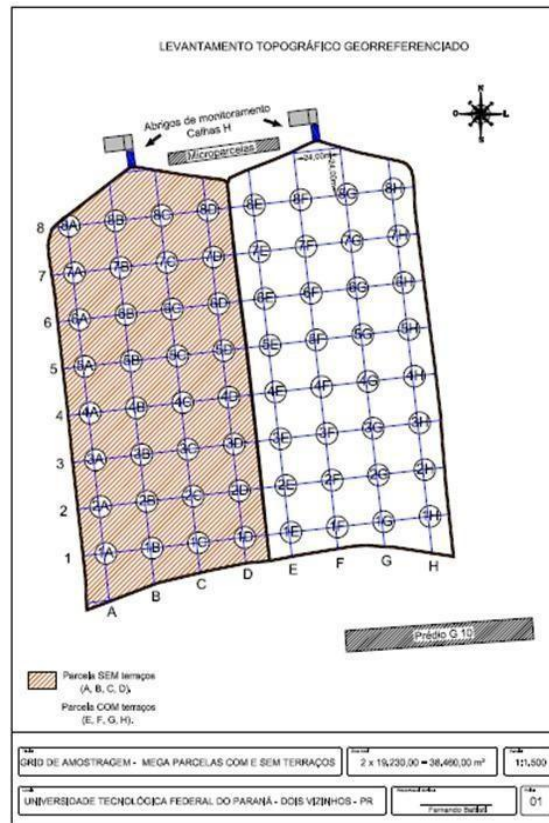
5.2 Implantação e condução do experimento

Foram estabelecidos 32 pontos amostrais em cada megaparcela, sendo as coletas de solo realizadas desde 2019 uma vez por ano e após a safra de inverno. A entrelinha de cultivo foi estabelecida como posição da amostragem do solo, a fim de diminuir a variabilidade horizontal dos atributos e evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo, em detrimento dos efeitos da adubação em sulco da cultura anterior.

Para o presente estudo, as amostragens de solo foram realizadas nos anos de 2023 e 2024, durante o mês de outubro de cada ano. Em 2023, a cultura de inverno antecedente ao período de avaliação foi o trigo, enquanto em 2024 a cultura anterior foi a aveia. As condições climáticas anteriores às amostragens foram caracterizadas pela precipitação pluviométrica média registrada por três pluviômetros instalados na área experimental. A precipitação média foi de 631,4 mm em 2023 e de 144,6 mm em 2024, evidenciando um regime hídrico consideravelmente menor no segundo ano de avaliação. Os dados pluviométricos utilizados correspondem aos registros meteorológicos obtidos na própria área experimental.

Em cada ponto amostral a coleta foi realizada com pá de corte na camada de 0-10 cm. Após a coleta, o solo foi homogeneizado e peneirado em malha de 4,0 e 2,0 mm e armazenado a 4°C até a realização das avaliações microbiológicas.

Figura 3 – Croqui experimental das áreas sob Sistema Plantio Direto com e sem terraceamento, indicando a distribuição dos pontos amostrais – Dois Vizinhos, PR



Fonte: Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo – UTFPR-DV (2022).

6 VARIÁVEIS ANALISADAS

6.1 Biomassa microbiana

No laboratório, parte do solo foi seca em estufa com circulação forçada a 105 °C para determinação da umidade. As análises microbiológicas seguiram a metodologia de fumigação-extração, na qual as amostras foram pesadas em duplicata e metade delas foram expostas ao clorofórmio para eliminação da microbiota, sendo posteriormente submetidas à extração química com solução de K_2SO_4 . Esse método permite a quantificação do Cmic e Nmic, liberados após a lise celular, conforme descrito por Vance, Brookes e Jenkinson (1987) e Tate, Ross e Feltham (1988).

De cada amostra, foram pesados 20 g de solo, que foram colocados em frascos “snap-cap”. Em seguida, as amostras foram pré-incubadas e metade delas foram fumigadas com o clorofórmio por 24h (em capela com exaustão forçada). As amostras não fumigadas foram mantidas a temperatura ambiente. Posteriormente, foi feita a extração nas amostras, com adição de 50 mL de K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹ e agitação horizontal (220 rpm) das amostras durante 30 minutos. Após 2h, o material foi filtrado em papel filtro e a alíquota guardada em geladeira.

Figura 4-Adição de clorofórmio para o processo de fumegação em amostras de solo para extração do Cmic e Nmic.



Fonte: Autoria própria.

O Cmic foi determinado por meio de oxidação química utilizando dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) como agente oxidante, conforme metodologia descrita por Mendonça e Matos (2017). O método baseia-se na oxidação do carbono orgânico presente no extrato da biomassa microbiana em meio fortemente ácido, sendo a quantidade de dicromato consumida diretamente proporcional ao teor de carbono presente na amostra.

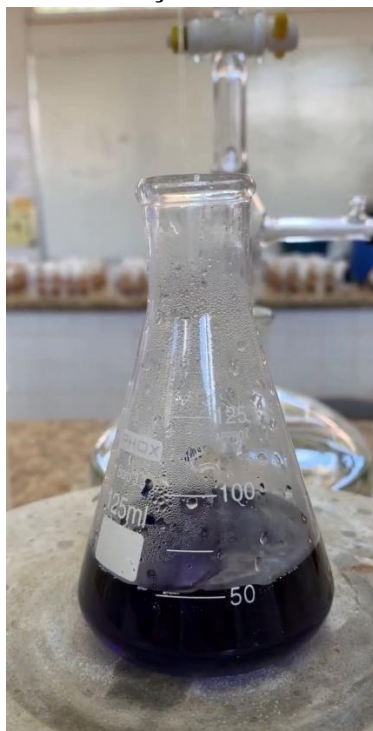
Inicialmente, foi preparada uma solução $K_2Cr_2O_7$ $0,066 \text{ mol L}^{-1}$, utilizada como agente oxidante. Em seguida, uma alíquota do extrato foi transferida para um erlenmeyer de 250 mL com o auxílio de uma pipeta automática, sendo adicionada uma quantidade conhecida da solução de dicromato. Posteriormente, adicionou-se ácido sulfúrico concentrado, proporcionando um meio altamente ácido e liberando calor suficiente para promover a oxidação do carbono orgânico presente na amostra.

Após o término da reação de oxidação, foi adicionado ácido ortofosfórico (H_3PO_4), cuja função é intensificar a mudança de coloração do indicador e minimizar possíveis interferências durante a titulação. Em seguida, adicionou-se o indicador difenilamina a 1% em ácido sulfúrico, responsável por evidenciar o ponto final da titulação por meio da mudança de cor da solução.

O excesso de dicromato de potássio que não reagiu com o carbono da amostra foi determinado por titulação com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ $0,033 \text{ mol L}^{-1}$, utilizando bureta ou titulador automático com precisão de 0,01 mL. Durante a titulação, os íons ferro (Fe^{2+}) reduzem o dicromato remanescente até que todo o agente oxidante seja consumido, momento identificado pela mudança de coloração do indicador.

O princípio da metodologia consiste em uma reação de oxirredução, na qual o dicromato de potássio (Cr^{6+}) oxida o carbono orgânico da biomassa microbiana, sendo reduzido a cromo trivalente (Cr^{3+}). Assim, quanto maior a quantidade de carbono presente na amostra, maior será o consumo de dicromato e menor será o volume de sulfato ferroso amoniacal necessário para titular o excesso do agente oxidante. A diferença entre a quantidade inicial de dicromato adicionada e a quantidade remanescente após a reação foi utilizada para calcular o teor de Cmic, expresso em mg de C kg^{-1} de solo.

Figura 5 - Procedimento de titulação utilizado na determinação do Cmic



Fonte: Autoria própria.

O Nmic foi determinado conforme metodologia descrita pela Embrapa (2011), onde após digestão sulfúrica de uma alíquota do extrato, foi realizada leitura em espectrofotômetro a 630 nm. Os compostos orgânicos nitrogenados, quando digeridos com ácido sulfúrico (H_2SO_4), são convertidos em íons amônio (NH_4^+), os quais, em meio alcalino e na presença de hipoclorito de sódio, formam um complexo de coloração azul, conforme descrito por Feigl e Anger (1972).

Figura 6- Procedimento de destilação utilizado na determinação do Nmic.



Fonte: Autoria própria.

O C_{mic} e N_{mic} foram estimados com base na diferença entre os teores de C e N presentes nos extratos de amostras fumigadas e não fumigadas. Para isso, foram utilizados os fatores de correção KC = 0,33 e KN = 0,54, respectivamente, conforme proposto por Brookes et al. (1985) e Sparling e West (1988).

6.2 Respiração basal do solo

A RBS, foi determinada conforme a metodologia proposta por Jenkinson e Powlson (1976), com adaptações descritas por Alef (1995). Para a avaliação realizada em 2023 e 2024, foram utilizados 50 g de solo, acondicionados em frascos hermeticamente fechados contendo um béquer com 10 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, utilizado para a captura do CO₂ liberado pela atividade microbiana, com incubação por sete dias.

O período de incubação foi de 7 dias, sendo realizada uma leitura nesse intervalo, e após 15 dias, com nova determinação ao final desse período. Em ambos os anos avaliados, as amostras foram mantidas em ausência de luz, e os recipientes permaneceram hermeticamente fechados, a fim de evitar a entrada de CO₂ atmosférico e a perda do CO₂ produzido durante o processo de incubação.

Ao final de cada período, foram adicionadas duas gotas de fenolftaleína a 1% (m/v), sendo o NaOH remanescente quantificado por titulação com solução padronizada de HCl 0,5 mol L⁻¹ sob agitação magnética. A quantidade de CO₂ respirado foi estimada a partir do volume de HCl consumido na titulação. O qCO₂ foi calculado pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993).

Figura 7 - Incubação das amostras para determinação RBS e posterior titulação do CO₂ liberado.



Fonte: Autoria própria.

O qCO_2 foi calculado pela razão entre a taxa de RBS e o C_{mic} , conforme metodologia descrita por Anderson et al. (1993), pela seguinte expressão: $qCO_2 = RBS / (BMS-C \times 10^{-3})$. Onde: qCO_2 = quociente metabólico do solo ($mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ CBMS\ dia^{-1}$); RBS = respiração basal do solo ($mg\ C-CO_2\ kg^{-1}\ solo\ dia^{-1}$); BMS-C = carbono da biomassa microbiana do solo ($mg\ C\ kg^{-1}\ solo$).

7 ANÁLISE E ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado com dois tratamentos (com e sem terraceamento) e 32 repetições. Para as variáveis N_{mic} e qCO_2 , os dados foram transformados pela expressão $(x + 0,1)^{1/2}$, com $k = 0,1$, a fim de atender aos pressupostos da análise estatística. Em seguida, os resultados dos atributos do solo avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos microbiológicos do solo avaliados neste estudo evidenciam diferenças importantes relacionadas ao manejo adotado e ao período de amostragem, refletindo diretamente na qualidade biológica do solo em sistemas sob SPD consolidado com e sem terraceamento.

Em 2023, a área de mata apresentou valores significativamente maiores de C_{mic} , N_{mic} , RBS e qCO_2 , comparativamente as áreas com e sem terraços, sendo utilizada como condição de referência ecológica (Tabela 1). Esses atributos estão diretamente relacionados à atividade da biomassa microbiana e à ciclagem de C e N no solo. E esse comportamento é esperado em ecossistemas naturais, devido ao maior aporte contínuo de resíduos orgânicos, ausência de revolvimento do solo e elevada estabilidade ambiental, fatores que favorecem o desenvolvimento e a diversidade da microbiota do solo (Paul, 2015; Wardle, 1992). Ressalta-se que a área de mata foi utilizada apenas no ano de 2023, sendo empregada exclusivamente como referência inicial de comparação.

Entre as áreas agrícolas, observou-se diferença significativa para os atributos C_{mic} e N_{mic} . A área com terraço apresentou valores de 210 mg kg^{-1} para C_{mic} e $22,7 \text{ mg kg}^{-1}$ para N_{mic} (Tabela 1), enquanto a área sem terraço apresentou valores de 145 mg kg^{-1} e $17,4 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados demonstram maior biomassa microbiana e maior conteúdo de N associado à biomassa microbiana na área com terraceamento.

Para a RBS, não foram observadas diferenças significativas entre as áreas com e sem terraço, ambas apresentando valor de $0,9 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Da mesma forma, para o qCO_2 , as áreas agrícolas não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores de $7,0$ e $6,6 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$ para as áreas com e sem terraço, respectivamente, embora ambas tenham apresentado valores inferiores aos observados na área de mata. A RBS representa a atividade metabólica dos microrganismos por meio da liberação de CO_2 durante a decomposição da matéria orgânica. Em 2023, os valores mais elevados na mata indicam maior atividade biológica associada à elevada disponibilidade de substratos. Nos sistemas agrícolas, valores menores refletem menor entrada de resíduos orgânicos e maior limitação energética da microbiota.

Para o qCO_2 , a área de mata apresentou valor superior às áreas agrícolas. Entretanto, não foram observadas diferenças estatísticas entre as áreas com e sem terraço. Esse resultado indica que, em 2023, embora o terraceamento tenha promovido diferenças na biomassa microbiana, a eficiência metabólica da microbiota foi semelhante entre os sistemas agrícolas avaliados.

Tabela 1. Atributos microbiológicos do solo em áreas sob SPD consolidado, com e sem terraceamento e mata 2023

Tratamento	C microbiano	N microbiano	Respiração Basal	qCO_2
	----- mg kg ⁻¹ -----		mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	mg C-CO ₂ g ⁻¹ BMS-C h ⁻¹
Floresta	275 a	47,0 a	2,1 a	11,1 a
Com terraço	210 b	22,7 b	0,9 b	7,0 b
Sem terraço	145 c	17,4 c	0,9 b	6,7 b
CV (%)	44	16	26	32

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Para as variáveis NMIC e qCO_2 , os dados foram transformados por $(x+k)^{1/2}$, com $k=0,1$, para atender aos pressupostos da análise estatística.

Observou-se, em ambos os anos avaliados, aumento dos valores de Cmic e Nmic nas áreas com terraceamento em comparação às áreas sem terraceamento, indicando maior biomassa microbiana e maior acúmulo de nitrogênio associado à microbiota do solo nessas condições de manejo. Em 2024, o Cmic foi de 237,9 mg kg⁻¹ nas áreas com terraceamento e de 202,5 mg kg⁻¹ nas áreas sem terraceamento. Para o Nmic, foram observados valores de 24,6 mg kg⁻¹ e 19,1 mg kg⁻¹, respectivamente, evidenciando maior acúmulo de carbono e nitrogênio na biomassa microbiana do solo sob a presença de terraços.

Em 2024, os valores de RBS, não permitem afirmar que houve intensificação da atividade microbiana em função do terraceamento. Entretanto, o manejo com terraços pode contribuir para a melhoria das condições físicas do solo, como maior retenção de umidade, redução da erosão e maior estabilidade estrutural, fatores que favorecem a manutenção da biomassa microbiana. Além disso, esses resultados podem estar relacionados ao efeito combinado do manejo conservacionista, das condições climáticas do período e da cultura anterior (aveia), que pode ter proporcionado maior aporte de resíduos vegetais e disponibilidade de substrato para os microrganismos do solo.

O qCO_2 expressa a eficiência da microbiota do solo ao relacionar RBS com a biomassa microbiana. Valores elevados indicam maior gasto energético para manutenção da biomassa, podendo estar associados a condições de estresse, baixa eficiência metabólica ou desequilíbrios ambientais. Em contrapartida, valores reduzidos indicam maior eficiência no uso do carbono e maior estabilidade do sistema (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Em 2024, o qCO_2 não diferiu significativamente entre os tratamentos, apresentando valores de $1,66 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$ nas áreas com terraceamento e $1,65 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$ nas áreas sem terraceamento. Esses resultados indicam que o terraceamento não alterou a eficiência metabólica da microbiota do solo nesse período.

Tabela 2. Atributos microbiológicos do solo em áreas sob SPD consolidado, com e sem terraceamento 2024

Tratamento	C microbiano	N microbiano	Respiração Basal	qCO_2
	----- mg kg^{-1} -----	----- mg kg^{-1} -----	$\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{Mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$
Com terraço	237,9 a	24,6 a	0,39 a	1,66 a
Sem terraço	202,5 b	19,1 b	0,34 b	1,65 a
CV (%)	30	36	20	44

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Para a variável qCO_2 , os dados foram transformados por $(x+k)^{1/2}(x+k)^{1/2}(x+k)^{1/2}$, com $k=0,1$, $k=0,1$, $k=0,1$

De forma integrada, o aumento de C_{mic} , N_{mic} no solo com terraços em relação a área sem terraço em ambos os anos de avaliação, demonstra que essa prática exerce influência positiva na microbiota do solo. Isso ocorre porque os terraços reduzem o escoamento superficial, diminuem perdas de solo e água, aumentam a infiltração hídrica e favorecem a retenção de matéria orgânica, criando um ambiente mais estável e favorável à atividade microbiana.

Além disso, a maior retenção de carbono em sistemas terraceados está associada à menor erosão e à melhoria da estrutura do solo, favorecendo a preservação da matéria orgânica e a continuidade dos processos biológicos (Wallenstein et al., 2009). Estudos também indicam que práticas conservacionistas podem aumentar a diversidade e a atividade microbiana, incluindo grupos como bactérias e actinobactérias, em função da maior estabilidade ambiental e da maior disponibilidade de nutrientes (Bastida et al., 2006).

De maneira geral, os resultados demonstram que o terraceamento promove melhorias consistentes na qualidade biológica do solo ao longo do tempo. Esses

fatores evidenciam um sistema mais equilibrado e sustentável, reforçando a importância de práticas conservacionistas para a manutenção da saúde do solo e da produtividade agrícola.

Observou-se que o terraceamento exerceu efeito positivo sobre a qualidade biológica do solo, promovendo aumento dos valores de C_{mic} , N_{mic} , que indicam maior desenvolvimento da biomassa microbiana, maior atividade metabólica e maior eficiência no uso do C pela microbiota do solo.

Destaca-se ainda que a área de mata, utilizada como referência em 2023, apresentou os maiores valores de atividade e biomassa microbiana, reforçando seu papel como condição de equilíbrio ecológico e comparação para sistemas manejados.

Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que práticas conservacionistas, como o terraceamento, contribuem significativamente para a melhoria da qualidade biológica do solo, favorecendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a manutenção da fertilidade a longo prazo. Assim, recomenda-se a adoção dessas práticas como estratégia de manejo para conservação do solo e incremento da atividade microbiológica em áreas agrícolas.

9 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os atributos microbiológicos do solo são sensíveis às práticas de manejo adotadas, evidenciando que o terraceamento promove aumento do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e da respiração basal do solo, enquanto diminui o quociente metabólico do solo, melhorando a qualidade biológica do solo.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. London: Academic Press, 1995.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 2029–2037, 2010.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251–255, 1990. [https://doi.org/10.1016/00380717\(90\)90094-G](https://doi.org/10.1016/00380717(90)90094-G)
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
- ANDREWS, S. S.; CARROLL, C. R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agricultural systems. **Ecological Applications**, v. 11, n. 4, p. 1–12, 2001.
- ARAÚJO, A. S. F. et al. Soil microbial activity in agricultural systems under different management. **Applied Soil Ecology**, v. 67, p. 1–9, 2013.
- BARETH, G.; KUHN, M. Soil respiration as an indicator of soil health. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 1–10, 2018.
- BASTIDA, F. et al. Microbiological processes in soils under different land use systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 3413–3421, 2006.
- BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to different agricultural management practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 95, p. 23–32, 2003.
- BERTOL, I. et al. Soil and water losses by water erosion in different soil management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1–12, 2015.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3–22, 2005.
- BROOKES, P. 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, p. 837–842, 1985. [https://doi.org/10.1016/00380717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/00380717(85)90144-0)

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. **Sistema Plantio Direto: Princípios e Práticas Conservacionistas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Quantificação da erosão hídrica em áreas agrícolas sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, 2017.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3–11, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FEIGL, F.; ANGER, V. **Spot Tests in Inorganic Analysis**. 7. ed. Amsterdam: Elsevier, 1972.

FIDALSKI, J. **Espaçamento entre Terraços em Sistema Plantio Direto**. Londrina: IAPAR, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana do solo e ciclagem de nutrientes. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 6, p. 1–44, 2008.

HERRICK, J. E. et al. Indicators of soil quality: a review of selected literature. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 81, p. 77–90, 2002.

HUNGRIA, M. et al. The importance of biological indicators for soil quality evaluation. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, p. 1–10, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. 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.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209–213, 1976.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, p. 33–40, 2010.

LAL, R. Soil conservation and ecosystem services. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 9–18, 2013.

LAL, R. Soil degradation and climate change. **Soil and Tillage Research**, v. 188, p. 1–7, 2018.

LOURENTE, E. R. et al. Soil microbial activity under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1–10, 2011.

LUCAS, T. D. M.; POGGERE, G. C.; BORTOLINI, J. Estimativa da perda de solo na bacia hidrográfica do Paraná III. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 18, n. 7, 2025.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

PARANÁ. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná). **Manejo Conservacionista do Solo Agrícola no Paraná: Recomendações Técnicas**. Londrina: IDR-Paraná, 2023.

PARANÁ. **Nota Técnica sobre Conservação do Solo**. Curitiba, 2023.

PAUL, E. A. **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2015.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Drought effects on phosphorus and potassium accumulation in plant biomass and soil enzymatic activities. **Ecology**, v. 86, p. 565–576, 2005.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7–31, 2004.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 337–343, 1988.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method for measuring microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 521–527, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703–707, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 367–378, 2011.

VIEIRA, Frederico Márcio Corrêa; MACHADO, Juliane Mayara Casarim; VISMARA, Edgar de Souza; POSSENTI, Jean Carlo. Probability distributions of frequency analysis of rainfall at the southwest region of Paraná State, Brazil. **Revista de Ciências**

Agroveterinárias, Lages, v. 17, n. 2, p. 260–266, 2018.
<https://doi.org/10.5965/223811711722018260>.

WALLENSTEIN, M. D.; HALL, E. K.; KAYE, J. P. Factors affecting soil N cycling and microbial dynamics in forest ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 1091–1101, 2009.

WALTRICK, C. et al. Erosividade da chuva no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1–14, 2015.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen in soil. **Biological Reviews**, v. 67, p. 321–358, 1992.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.