

---

## **2 ATRIBUTOS DO SOLO E IMPACTOS AMBIENTAIS DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL**

---

Leonardo Deiss, Nerilde Favaretto, Jeferson Dieckow, George Gardner Brown, João Augusto Coblinski, Caroline Amadori, Lilianne dos Santos Maia, Luiz Antonio Corrêa Lucchesi e Anibal de Moraes

### **2.1. Introdução**

Quando se deseja conciliar o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas com a viabilidade econômica e a minimização do impacto ambiental, o uso de práticas conservacionistas e dos SIPA se consolida como manejo adequado. As práticas da agricultura conservacionista como o não revolvimento do solo (plantio direto), cobertura permanente do solo e rotações de culturas promovem vários benefícios à saúde do solo e produtividade dos cultivos comerciais. Além disso, o uso dos SIPA em plantio direto pode melhorar ainda mais as condições do solo para a produção agropecuária. Os aumentos de rendimento das culturas agrícolas verificados nesses sistemas têm sido atribuídos a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, resultado da sinergia entre os componentes produtivos e propriedades emergentes resultantes da interação solo-planta-animal-atmosfera.

A área experimental está localizada na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Iraí, a qual constitui uma unidade territorial criada pelo Decreto Estadual nº 1.753/96, conforme a Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981), que veda o uso de defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas e fungicidas) na produção agropecuária, mas não impõe limitações quanto ao manejo do solo, por exemplo o uso do revolvimento do solo (aração e/ou, gradagem). Este último caso é de certa forma controverso, porque uma das principais razões que levaram à criação desta área de proteção ambiental foram os baixos índices de qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Iraí, verificados nos anos 80 e 90. A Bacia do Iraí é uma das principais fontes de água para Curitiba e região metropolitana e o problema com a qualidade da água durante aquela época, foi determinante para a criação da área de proteção ambiental. A qualidade da água da APA do Iraí foi afetada negativamente devido às elevadas concentrações de nutrientes na água, os quais podem ter sido transportados das áreas agrícolas, pela perda de solo (erosão) e pelo escoamento de água. O excesso de nutrientes na água pode causar eutrofização (crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas), tornar a água tóxica para animais e humanos (por exemplo excesso de nitrato e trihalometanos) e causar desequilíbrio ecológico nos corpos d'água.



**Figura 2.1. Estado da degradação do solo durante a implantação do projeto NITA em 2012. Fotos: Anibal de Moraes.**

Entre as várias mudanças que aconteceram em relação a urbanização, pecuária e agricultura na região, a implantação da APA do Rio Iraí desestimulou o uso de práticas mais sustentáveis de manejo do solo. Em outras palavras, a restrição do uso de defensivos agrícolas promoveu a intensificação do revolvimento do solo. Sem a possibilidade de usar os herbicidas, os produtores rurais passaram a utilizar o preparo do solo para o controle das plantas daninhas. Esse fato contribuiu para o aumento na degradação dos solos da região da bacia do Iraí. A perda de solo por erosão é geralmente maior em áreas que revolvem o solo, por exemplo, com arado ou nivelador, em relação a áreas que não revolvem o solo. Como em grande parte das áreas agrícolas da Bacia do Iraí, a área de estudo foi afetada pelo uso intensivo do preparo do solo e no início do

experimento estava com evidências de compactação do solo e perda de solo por erosão (Figura 2.1).

Para melhor entender os efeitos da degradação do solo e criar alternativas mais sustentáveis para fazer o uso do solo nas APAs, o NITA estabeleceu um experimento de longa duração dentro da Bacia do Iraí. O experimento foi criado para avaliar como o aumento da diversificação de sistemas integrados de produção agropecuária em plantio direto afetam a produção e a qualidade ambiental desses sistemas. A diversificação desses sistemas foi determinada pela integração ou não de componentes agrícolas que incluem lavoura, pastagem e silvicultura.

Este capítulo vai abordar como estava o estado de degradação do solo no início do experimento e como o uso de SIPA em plantio direto tem contribuído para melhorar as condições do solo nesta área. Serão abordados os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, os estoques de carbono, a emissão de gases do efeito estufa e as perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial.

## 2.2. Condição inicial do solo no início do experimento

No início do experimento, na primavera de 2012, a área foi georreferenciada em uma malha de pontos equidistantes em 20 metros (Figura 2.2). Em cada ponto foi determinado a profundidade do horizonte A do solo (até 1,0 m) e os primeiros 20 cm do solo foram coletados para caracterização da fertilidade química do solo.

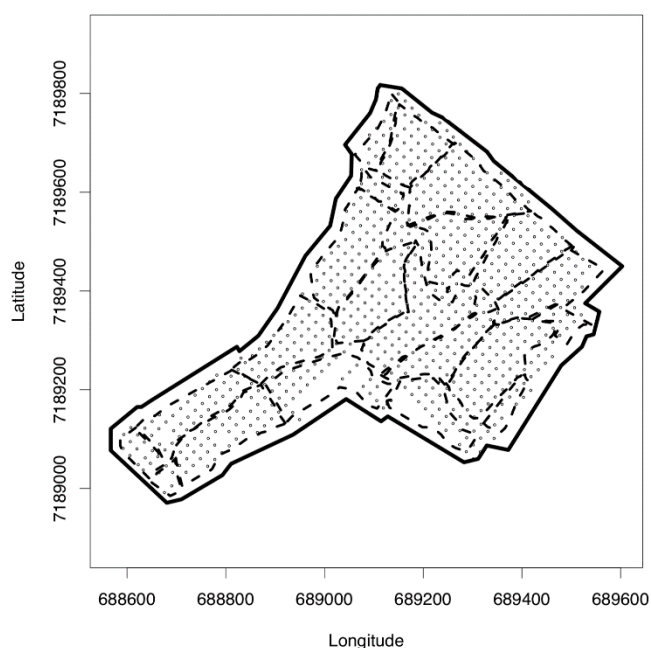


Figura 2.2. Pontos de amostragem do solo (pontos pretos) em malha de 20x20 m na área experimental do NITA. Linhas tracejadas indicam as unidades experimentais.



Como se pode observar na Figura 2.3, no início do experimento a área estava em um estado avançado de degradação do solo. As áreas com maior altitude e declividade tinham a menor profundidade do horizonte A do solo. Em função do manejo intensivo do solo nos anos anteriores à implantação do experimento, grande parte do Horizonte A foi levado por erosão para as baixadas do terreno. Estes resultados representam um efeito claro de degradação do solo causada por erosão.

A degradação do solo teve um impacto direto sobre as propriedades da fertilidade do solo (Figura 2.4). As maiores concentrações de carbono orgânico do solo foram verificadas nas áreas com maior profundidade, onde foi depositado grande parte do solo erodido. Por outro lado, nestas mesmas áreas de deposição, o solo estava mais ácido possivelmente em função da maior liberação de ácidos orgânicos da matéria orgânica, os quais podem contribuir para redução do pH.

As áreas com menor profundidade do solo (áreas mais degradadas) apresentaram menores valores de capacidade de troca catiônica (CTC) e maior saturação por bases (Figura 2.4). Os resultados dessas duas propriedades do solo estão diretamente relacionados com a perda de solo superficial, que é rico em matéria orgânica, e a consequente acidificação do solo nas áreas de deposição do solo erodido. Os maiores valores de CTC foram encontrados nas áreas de deposição e, possivelmente, ocorreram em função do excesso de íons trocáveis de  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , os quais geralmente ocorrem em maiores concentrações nos solos mais ácidos. Isso foi confirmado pelos menores valores de saturação de bases (não inclui os cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  na soma de bases) nas áreas mais degradadas (menor profundidade do horizonte A).

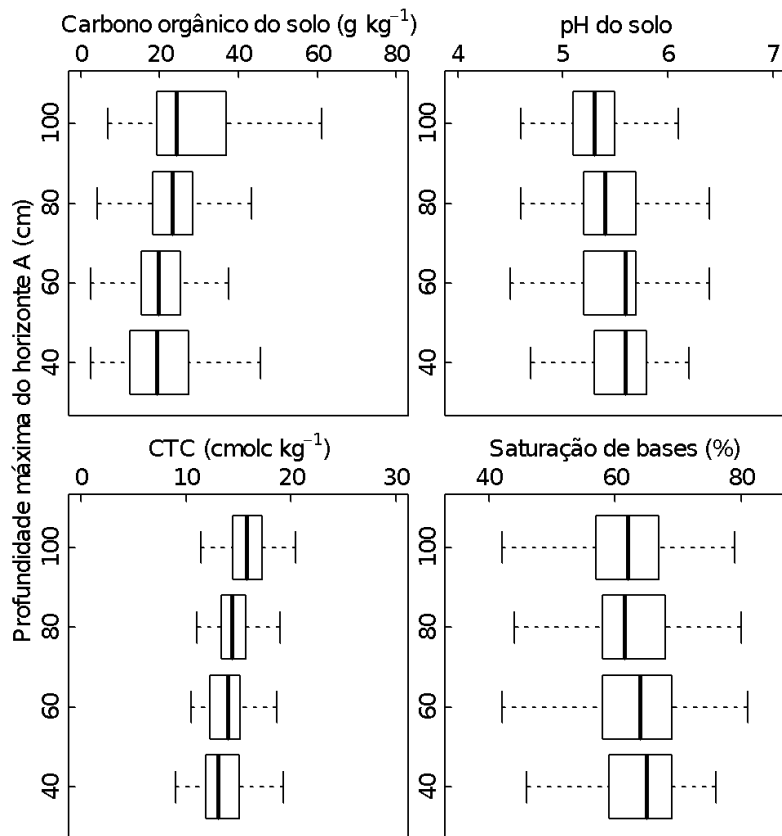


Figura 2.4. Impacto da degradação na fertilidade do solo (0-20 cm profundidade). As menores profundidades do horizonte A indicam maior degradação do solo. Março de 2013.

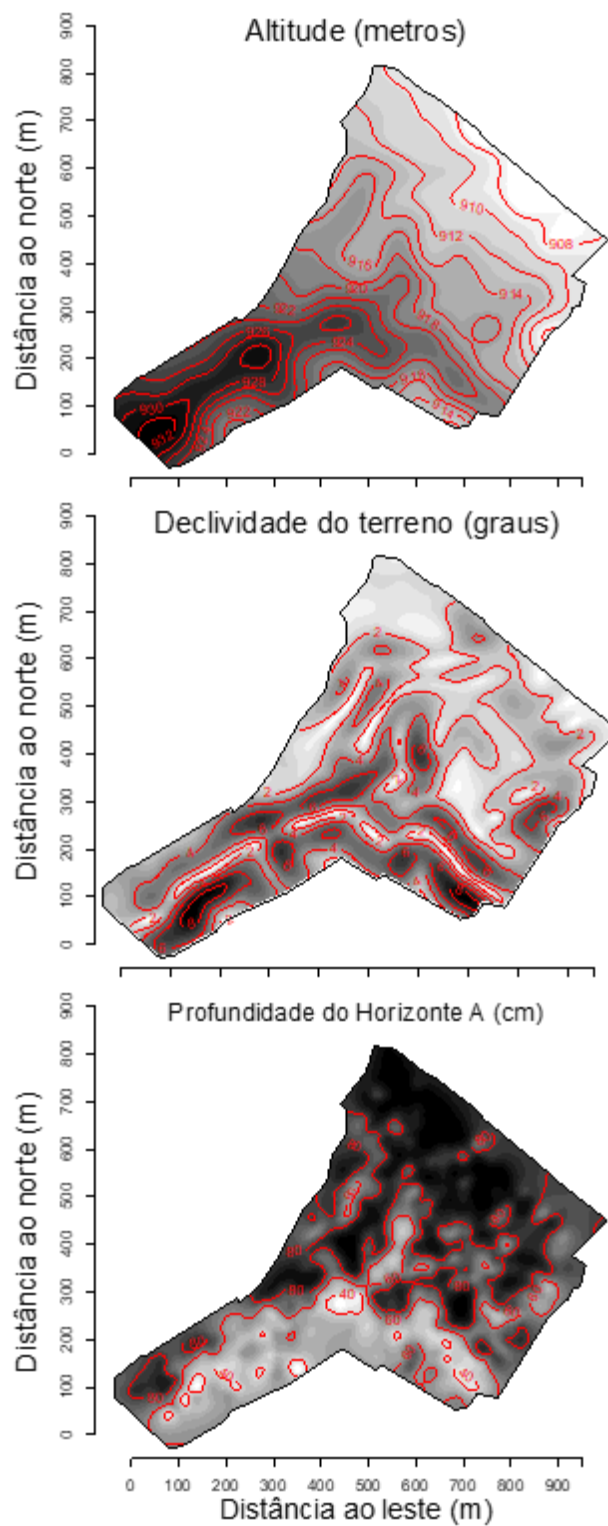


Figura 2.3. Atributos do terreno (altitude e declividade) e profundidade do horizonte A do solo. Março de 2013.

## 2.3. Resultados de atributos do solo

A qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade de um solo em suportar o crescimento e desenvolvimento de plantas (produtividade) e de animais (atividade biológica), manter ou melhorar a qualidade ambiental (solo, água e ar) e proporcionar saúde humana e animal. Essa qualidade é considerada sob três aspectos principais: físicos, químicos e biológicos. O uso e manejo do solo alteram esses atributos do solo e, com isso, na busca por sistemas mais conservacionistas, é importante observar como ocorrem essas modificações ao longo do tempo. Os resultados apresentados a seguir se referem ao efeito dos diferentes sistemas de produção sobre os atributos do solo ao longo do tempo. Os resultados apresentados são de épocas diferentes e de tratamentos específicos, os quais estão especificadas no decorrer do texto.

### 2.3.1. Atributos físicos do solo

Foram avaliados os atributos físicos do solo em três sistemas de uso e manejo: Lavoura (L), Lavoura-Pecuária (LP) e Pastagem (P), depois de mais dois anos após a implantação do experimento (janeiro de 2015), em diferentes profundidades do solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm). Os resultados não indicaram diferenças significativas entre os sistemas, o que era esperado, considerando ser a fase inicial do experimento.

**Tabela 2.1. Atributos físicos do solo avaliados em janeiro de 2015.**

Sistema	Profundidade cm	Ds Mg m <sup>-3</sup>	Pt			DMPs		DMPu		Granulometria (%)		
			Mic	Mac	mm		Argila	Silte	Areia			
L	0-5	1,2	0,56	0,44	0,12	2,0	1,7	62	12	26		
	5-10	1,3	0,54	0,44	0,10	1,8	1,5	63	10	27		
	10-15	1,2	0,49	0,38	0,10	2,2	1,8	62	10	28		
P	0-5	1,2	0,55	0,46	0,08	2,0	1,7	56	9	34		
	5-10	1,2	0,54	0,43	0,11	2,1	1,7	59	10	31		
	10-15	1,3	0,55	0,43	0,11	2,1	1,8	57	10	33		
LP	0-5	1,1	0,49	0,41	0,08	2,2	1,9	59	10	31		
	5-10	1,3	0,53	0,43	0,10	1,9	1,5	58	11	31		
	10-15	1,1	0,49	0,38	0,10	2,0	1,7	59	10	31		

Ds: Densidade do solo, Pt: Porosidade total, Mic: Microporosidade, Mac: Macroporosidade, Ksat: Condutividade hidráulica saturada, DMPs: Diâmetro médio ponderado seco, DMPu: Diâmetro médio ponderado úmido. Adaptado de Coblinski (2016).

Todos os sistemas apresentaram solo de textura argilosa ou muito argilosa. Estes solos possuíam alta capacidade de retenção de água e sendo mais resistentes à erosão. No entanto, também foram altamente susceptíveis à compactação, fazendo com que mereçam cuidados especiais durante seu manejo. A densidade do solo em todas as profundidades e tratamentos ficou entre 1,1 e 1,3 t/m<sup>3</sup> (Tabela 2.1), abaixo do valor considerado impeditivo ao desenvolvimento de raiz (1,5 t/m<sup>3</sup>). A porosidade total do solo variou entre 0,49 e 0,57 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, e devido a textura argilosa e ao não revolvimento do solo (plantio direto), foram encontrados maiores valores de microporosidade em relação à macroporosidade, contribuindo para a maior retenção de água nestes solos. De modo geral, uma macroporosidade  $\geq 0,10$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> é desejável, a fim de proporcionar uma aeração mínima para o bom desenvolvimento das plantas e, de modo geral, todos os sistemas apresentaram essa condição mínima. Em relação aos agregados do solo, os valores de diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) ficaram entre 1,5 e 1,9 mm, e para diâmetro médio ponderado seco (DMPs) ficaram entre 1,8 e 2,2 mm. Estes valores são considerados bons em termos de agregação, refletindo em maior resistência do solo ao impacto das gotas de chuva e conseqüentemente ao processo erosivo.

### **2.3.2. Atributos químicos do solo**

Os atributos químicos do solo foram avaliados em janeiro de 2015 e janeiro 2017, na camada de 0-20 cm e 0-25 cm, respectivamente (Tabela 2.2). Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas para a maioria das variáveis analisadas, exceto no teor de fósforo e potássio disponíveis no primeiro ano de avaliação, que tiveram maiores valores no sistema pecuária (P). Observou-se uma acentuada acidificação do solo entre os anos de 2015 e 2017, com redução do pH em todos os sistemas. Esse resultado é tipicamente encontrado nos solos do experimento. De acordo com o manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017), os teores de potássio de 0,22 a 0,45 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> são classificados como altos (verificados em todos os sistemas) e fósforo de 3 a 6 mg/dm<sup>3</sup> em solos com teor de argila superior a 40% são considerados níveis baixos. No ano de 2015, o solo apresentava alta CTC, com grande parte das cargas negativas do solo ocupadas por cátions, o que garante boa capacidade de retenção e disponibilidade de nutrientes. No ano de 2017, os valores de CTC e saturação por bases tiveram um decréscimo, mas as diferenças entre os sistemas continuaram sendo pouco significativas para essas variáveis. Esta redução indicou necessidade de reposição de bases que estavam sendo exportadas através dos produtos (grãos e carne) extraídos dos sistemas de produção e, possivelmente, perdidos para o ambiente e escurrimto da água.



**Tabela 2.2. Atributos químicos do solo na área experimental do NITA nas profundidades de 0 a 20 cm (janeiro de 2015) e 0 a 25 cm (janeiro de 2017).**

Ano	Sistema	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	CTC	V	P
			(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )						%	mg/dm <sup>3</sup>
2015	L	5,55	0,18	5,38	7,83	3,68	0,23	17	68,3	3,58
	P	5,88	0,05	4,4	8,33	3,88	0,4	16,9	74,3	6,23
	LP	5,83	0,08	4,58	8,28	3,95	0,28	17,1	73,5	3,4
2017	L	5,13	0,03	7,07	3,9	2,8	0,2	14	49,4	4,7
	P	5,13	0,03	6,6	3,63	2,77	0,26	13,3	50,2	4,67
	LP	5,07	0,07	7,97	3,6	2,77	0,19	14,5	45,1	4,37
	LPF	5,17	0	6,27	3,53	2,6	0,22	12,6	50,3	4,03

Dados de 2015 foram obtidos por Coblinski (2016) e de 2017 por Kleina (2017).

### 2.3.3. Atributos biológicos do solo

O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais pode afetar a população e atividade de organismos no solo. Assim, o ambiente biológico do solo foi avaliado quanto à abundância da macrofauna e à atividade e biomassa microbiana, com avaliações feitas nos sistemas L, P, LP e LPF.

A extração da mesofauna edáfica foi realizada em setembro de 2016, por dois métodos: as armadilhas de queda (*Pitfall Traps*) e o funil de Berlese-Tulgreen modificado. Avaliou-se o número total de indivíduos e abundância dos principais grupos da mesofauna encontrados.

Nas armadilhas de queda, predominou o grupo Collembola e sua abundância foi maior no sistema P (Figura 2.5). Os colêmbolos desempenham papel importante nos processos de decomposição e de mineralização da matéria orgânica, alimentando-se de fungos e de material vegetal, favorecendo a decomposição microbiana (Greenslade, 1983; Hasegawa, 2001).

Com o funil de Berlese-Tulgreen, os grupos Acari e Collembola foram os mais representativos. Estes grupos foram mais abundantes no sistema L. A população de ácaros pode variar de acordo com o teor de matéria orgânica, a cobertura do solo, o tipo de espécie vegetal cultivada e o microclima (Mello e Ligo, 1999). A mesofauna do solo foi influenciada pelos sistemas de produção, apresentando maior abundância nos sistemas L e P. No sistema L, a cobertura vegetal pode ter influenciado a presença de organismos fitófagos e fungívoros, e na área P os excrementos dos animais podem ter contribuído para a presença de organismos saprófagos e predadores.

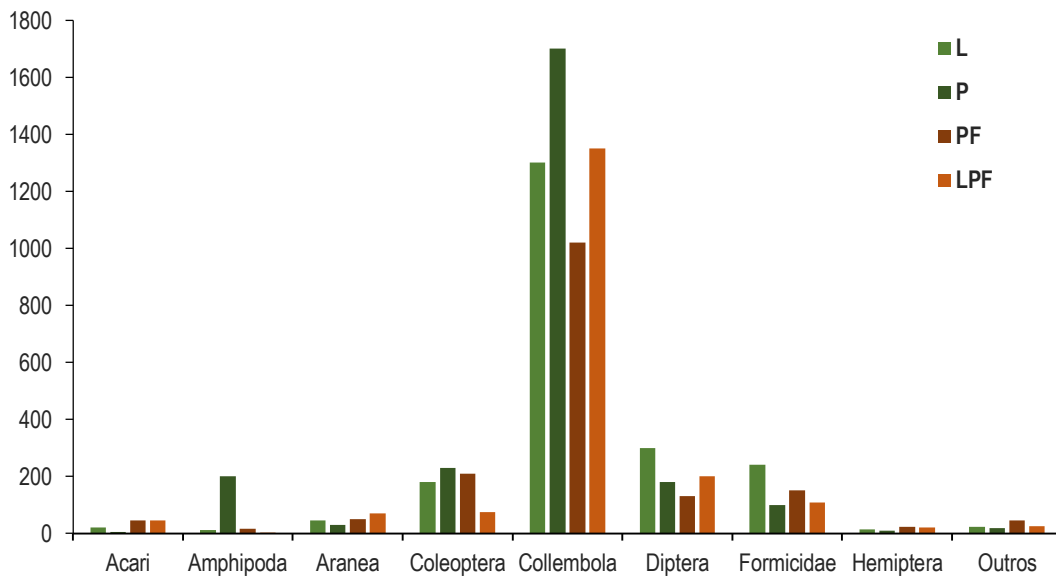
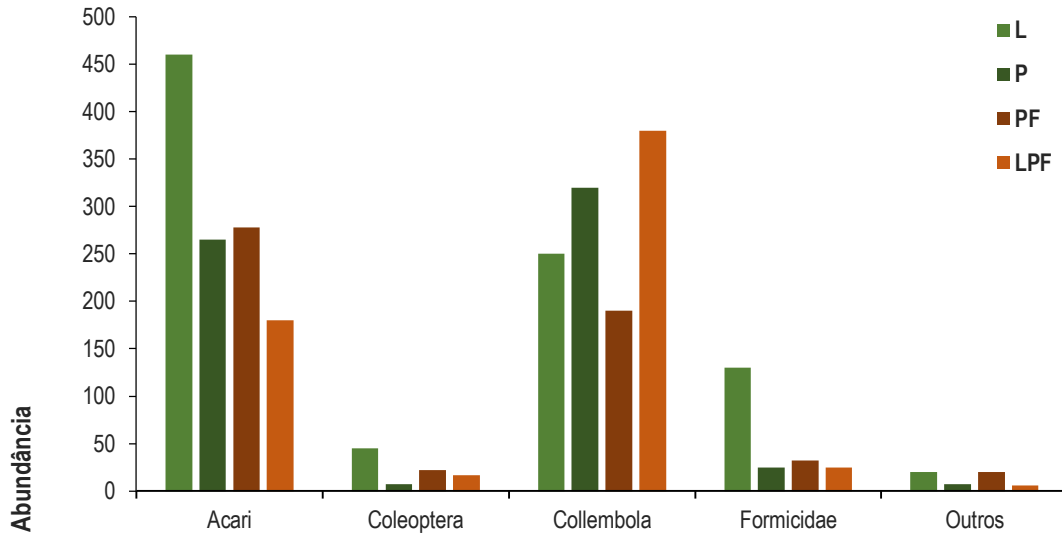


Figura 2.5. Abundância da mesofauna do solo na área experimental do NITA. Setembro de 2016. A - Método Pitfall. B- Funil de Berlese-Tulgreen modificado.

A microfauna do solo foi avaliada a partir de amostras de solo coletadas em duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm), em três avaliações entre setembro 2016 a março de 2017. Foram feitas quantificações da biomassa microbiana, mineralização de carbono (determinado pelo fluxo de CO<sub>2</sub> acumulado em incubação de 24 dias), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e quociente microbiano (q<sub>mic</sub>). Estes dois últimos índices representam a razão do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo pelo conteúdo de carbono da biomassa microbiana e a razão do conteúdo de carbono da biomassa microbiana pelo carbono orgânico total do solo, respectivamente.

Os valores de carbono da biomassa microbiana não diferiram entre os sistemas de produção. A mineralização de carbono resultante da atividade microbiana do solo foi diferente

entre os sistemas. O sistema L teve o maior potencial de mineralização de nutrientes no solo ao longo do tempo, possivelmente em função dos maiores teores de matéria orgânica encontrados nesses sistemas. Porém, o menor  $q_{CO_2}$  e o maior  $q_{mic}$  no solo foram verificados no sistema LPF. Esses resultados indicam que os sistemas de produção mais complexos foram mais eficientes na utilização dos substratos de carbono orgânico do solo, promovendo melhor qualidade do solo a longo prazo.

### 2.3.4. Estoque de carbono orgânico no solo

O conhecimento dos teores e estoques de carbono ajuda a compreender a qualidade do solo e a gestão sustentável do seu uso. O carbono orgânico do solo é balanceado de acordo com taxas de entrada e saída no sistema. A entrada ocorre por meio da adição de resíduos vegetais e/ou animais. A saída ocorre pela decomposição destes resíduos pelos microrganismos, pela exportação dos produtos de origem animal e vegetal e pelas perdas de solo por erosão e emissão de gases.

Os teores e estoques de carbono orgânico no solo foram avaliados em duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm), entre setembro 2016 a março de 2017, nos sistemas L, P, LP e LPF. O sistema L apresentou maiores teores e estoques de carbono orgânico do que o sistema LPF nas duas profundidades do solo (Tabela 2.3). Os sistemas P e LP tiveram teores e estoques de carbono orgânico intermediários em relação aos primeiros sistemas. É provável que os sistemas sem o componente arbóreo tenham sido beneficiados pela maior produção vegetal das culturas herbáceas (culturas de cobertura, pastagem e lavoura) em relação ao sistema que tinha as árvores (LPF).

**Tabela 2.3. Conteúdo e estoques de carbono orgânico no solo nos diferentes sistemas na área experimental do NITA. Média de três amostragens de solo entre setembro 2016 a março de 2017.**

Sistema	Carbono orgânico total		Estoque de carbono orgânico	
	(g/kg)		(t/ha)	
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
Lavoura	47,35	36,82	25,29	25,07
Pecuária	42,77	33,84	24,82	24,13
Lavoura-Pecuária	43,13	34,48	23,69	24,19
Lavoura-Pecuária-Floresta	38,41	32,19	21,14	21,65

Médias seguidas de letras distintas na coluna no sistema e na coleta separadamente diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Kleina, 2017.

## 2.4. Resultados de perdas de água, solo e nutrientes

A atividade agrícola, se conduzida de forma inadequada, é um grande contribuinte para a poluição dos recursos hídricos. Solo e nutrientes podem ser carreados em grandes quantidades dos sistemas agrícolas para a rede de drenagem. Além do transporte de nutrientes na forma solúvel, o escoamento superficial transporta partículas minerais e orgânicas do solo (erosão) nos quais os nutrientes ou outros poluentes estão associados, causando problemas não somente ambientais, mas também econômicos (perda de produtividade e aumento do custo de produção) e sociais (redução da qualidade da água para consumo, assoreamento e enchentes). O fósforo e o nitrogênio são nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, porém, em ambientes aquáticos são poluentes. Portanto, um dos grandes desafios de sistemas agrícolas sustentáveis é controlar as perdas desses nutrientes do solo para o sistema hídrico.

O monitoramento das perdas de água, solo e nutrientes solúveis (fósforo, nitrato, amônio e carbono orgânico) (Tabela 2.4) foram realizadas durante um ano (01/11/2014 a 30/10/2015) em encostas (0,3 a 1,1 ha) de três sistemas (L, LP e P). A perda acumulada de água variou de 0,4 a 7 mm/ano, com coeficiente de escoamento de 0,03 a 0,62%. Portanto, menos de 1% da precipitação anual (média de 1140 mm) foi perdida via escoamento superficial. As maiores perdas de água, encontradas no sistema L, devem-se possivelmente à menor cobertura vegetal do solo, principalmente em eventos específicos de precipitação (entre safras).

**Tabela 2.4. Perda de água, solo e nutrientes na área experimental do NITA no período de novembro de 2014 a outubro de 2015.**

Sistema	PPT	ES	CFE	Solo kg/ha	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>s</sub>	CO <sub>s</sub>
	mm/ano		%					
L	1134	7,0	0,62	2,6	30,8	14,2	2,9	353,6
LP	1142	0,5	0,05	0,9	7,2	4,5	2,4	133,7
P	1145	0,4	0,03	0,6	4,7	2,1	1,2	85,5

Obs: Neste período de monitoramento o componente animal não tinha ainda sido implementado e os tratamentos de ILP e P estavam somente sob pastagem. PPT:Precipitação; ES:Escoamento superficial; CFE: Coeficiente de escoamento superficial; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Amônio; P<sub>s</sub>: Fósforo solúvel; CO<sub>s</sub>: Carbono orgânico solúvel. Fonte: Coblinski, 2016.

Devido às maiores perdas de água, maiores perdas de solo também ocorreram no sistema L. No entanto, são valores muito baixos (0,6 a 2,6 kg/ha/ano), comparativamente a outros estudos com plantio direto. Conforme Derpsch et al. (1991), as perdas médias de solo em plantio direto no estado do Paraná são próximas de 7 t ha/ano. Merten et al. (2015) em estudo com plantio direto no estado do Paraná (14 anos de coleta de dados), observaram perda de solo média de 400 kg

ha/ano em pequenas parcelas (77 m<sup>2</sup>) e 50 kg ha/ano em grandes parcelas (10.000 m<sup>2</sup>), reduzindo mais de 70% as perdas de solo em comparação com sistema de preparo convencional do solo.

A perda anual de fósforo solúvel foi maior no sistema L, no entanto, a quantidade perdida é muito baixa (1,2 a 2,9 g/ha/ano). As perdas de nitrogênio solúvel também foram maiores no sistema L, mas também com valores muito baixos (4,3 a 30,8 g ha/ano de nitrato e 2,1 a 14,2 g/ha/ano de amônio).

Conforme já mencionado anteriormente, apesar das maiores perdas de água, solo e nutrientes encontrados no sistema L, esses valores são muito baixos comparados com perdas em sistemas intensivos, como plantio convencional, mostrando que é possível aliar a produtividade e conservação dos recursos naturais utilizando sistemas de produção conservacionistas.

## **2.5. Emissão de gases do efeito estufa**

Atualmente a demanda por alimentos e sustentabilidade ambiental tem exigido mudanças nos sistemas de produção, visando maior eficiência produtiva por área. Os SIPA estão sendo adotados como importante alternativa a essa demanda. Entre os benefícios dessa adoção está o potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estes gases, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) têm tido sua concentração aumentada na atmosfera causando sérias mudanças climáticas. Esse aumento é decorrente da atividade antrópica, sendo o setor agropecuário responsável por um terço das emissões brasileiras. Assim, avaliou-se o potencial dos SIPA em mitigar as emissões de GEE a partir do solo em relação a sistemas simples, puramente agrícolas.

As avaliações dos GEE ocorreram durante três ciclos de cultivo, a partir de setembro de 2016 a maio de 2018, nos sistemas L, P, LP, P e LPF. As amostras de ar foram coletadas (aproximadamente a cada 21 dias) através do método da câmara estática fechada, conforme Mosier (1989) e Parkin et al. (2003). Durante esses ciclos ocorreram três adubações nitrogenadas, somando 900 kg/ha de ureia (405 kg N/ha) adicionados ao solo.

O sistema P emitiu em torno de 14 kg N-N<sub>2</sub>O ha/ano para a atmosfera a partir do solo, enquanto que os sistemas integrados e o sistema L emitiram em torno de 9 kg N-N<sub>2</sub>O ha/ano (Tabela 2.5). Em relação ao CH<sub>4</sub>, em todos os sistemas houve influxo, ou seja, o solo foi capaz de absorver mais CH<sub>4</sub> da atmosfera, em relação ao que foi emitido. Considerando a emissão total dos gases, em CO<sub>2</sub> equivalente, as elevadas emissões de N<sub>2</sub>O são mais danosas ao ambiente do que as emissões de CH<sub>4</sub> devido ao potencial de aquecimento global dessas moléculas, que são 310 e 21 vezes mais potentes em relação ao CO<sub>2</sub>, respectivamente.



A emissão acumulada foi um reflexo do fluxo de emissão, onde o sistema P perdeu maior quantidade de N-N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Isso pode ter ocorrido devido ao maior adensamento da camada superficial do solo pela presença constante do animal na área, propiciando condições físicas de maior permanência da água nos poros do solo, o que beneficia os processos microbianos anaeróbicos responsáveis pelas emissões. Os SIPA (LP e LF) e somente o sistema L, emitiram menor quantidade de N<sub>2</sub>O para a atmosfera do que o sistema P, apresentando-se como sistemas potenciais para mitigação das emissões de GEE. A utilização de ciclos de lavoura e a inclusão de espécies arbóreas podem amenizar a emissão de gases por área equivalente da pecuária em sistemas exclusivos de pastagem.

**Tabela 2.5. Emissões anuais de gases do efeito estufa na área experimental do NITA durante o período de setembro de 2016 a maio de 2018.**

SISTEMAS	C-CH <sub>4</sub>	N-N <sub>2</sub> O	Emissão total
	kg/ha/ano		Mg CO <sub>2</sub> eq/ha/ano
L	-1,58	8,23	1,6
P	-0,76	14,42	2,83
LP	-1,05	9,86	1,93
PF	-0,45	8,44	1,66
LPF	-1,14	10,38	2,03

## 2.6. Considerações finais

A área onde o experimento foi implantado, estava em estado avançado de degradação do solo. Isso reflete a condição do solo de várias outras propriedades rurais na região da APA do Iraí. O fato do solo estar degradado não inviabilizou o uso da terra para produção agrícola (Figura 2.6 e 2.7), mas pode diminuir o potencial de uso para gerar mais produtos por unidade de área e de nutriente aplicados aos sistemas de produção.

O uso dos SIPA, sem o revolvimento do solo, aliado a outras práticas conservacionistas, pode contribuir para melhorar as condições do solo, a qualidade ambiental e a aumentar a produção agropecuária. De modo geral, o aumento da complexidade dos SIPA melhora os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, reduz as perdas de nutrientes por erosão e escoamento superficial e diminui as emissões de gases do efeito estufa.



Figura 2.6. Estado da conservação do solo em 2016, quatro anos após a implantação do experimento do NITA. Fotos: Leonardo Deiss.





Figura 2.7. Imagem aérea do experimento do NITA, três anos após a implantação. As fotos para elaboração ortomosaico foram coletadas com veículo aéreo não tripulado (DRONE) em Março de 2015.

## 2.7. Referências

- BRASIL. Lei n.º 6.938; de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm) > Acesso em: 08 de dez. de 2015.
- COBLINSKI, J.A. Perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial em sistemas de uso e manejo do solo. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2016. 38p. (Dissertação de Mestrado).
- DERPSCH, R. et al. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Schborn: GTZ/Londrina: IAPAR, 1991.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006.
- GREENSLADE, P.J.M. Ecology of soil invertebrates. In: Soils: an Australian viewpoint. Division of Soils, CSIRO: Academic Press: London, 1983. pp. 645–669.
- HASEGAWA, M. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community. *European Journal of Soil Biology* 37: 281–284, 2001.
- KLEINA, G.B. Biomassa microbiana e carbono mineralizável no solo em sistemas integrados de produção agropecuária. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2017. 60p. (Dissertação de Mestrado).
- MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Brasília: MCTI, 2016.
- MELO, L.A.S., LIGO, M.A.V. Amostragem de solo e uso de “litterbags” na avaliação populacional de microartrópodos edáficos. *Scientia Agricola* 56: 523–528, 1999.
- Merten, G.H. et al. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. *Soil & Tillage Research* 152, 85–93, 2015.
- MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: Andreae MO, Schimel, DS. ed. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. Berlin: Wiley, 1989. pp.175–187.
- PARKIN, T. et al. Chamber-based trace gas flux measurement protocol. USDA-ARS GRACE net, 2003.
- SBCS-NEPAR - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Estadual Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (2017). Curitiba, SBCS/NEAPR, 2017. 482 p.