

**Acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura em cultivo solteiro,  
consórcio e policultivo na Região Sul do Brasil**  
**Accumulation and release of nutrients by cover crops in single cultivation, consortium  
and polyculture in the South Brazil Region**  
**Acumulación y liberación de nutrientes por plantas de cobertura en cultivos  
individuales, intercalados y policultivos en el Sur de Brasil**

Recebido: 24/08/2020 | Revisado: 02/09/2020 | Aceito: 05/09/2020 | Publicado: 06/09/2020

**Edson Lucas Camilo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8170-0866>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: edsonluks@gmail.com

**Marcelo Marques Lopes Muller**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5466-2398>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: mmuller@unicentro.br

**Leandro Rampim**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8300-7424>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: rampimleandro@yahoo.com.br

**Marcelo Luiz Camilo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4591-7739>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: mcamilo664@gmail.com

**Weslei Ricardo Graffunder**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4434-4695>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: wesleigravfunder@gmail.com

**Jonas Luiz Kulik**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9916-4432>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: kulikjonas08@gmail.com

**Cristiano Andre Pott**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4630-2659>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [cpott@unicentro.br](mailto:cpott@unicentro.br)

## **Resumo**

O objetivo do trabalho foi avaliar a produção e decomposição da biomassa, acúmulo e ciclagem de nutrientes pelo cultivo solteiro, consorciado ou policultivo de plantas de cobertura. O estudo foi conduzido em duas áreas experimentais, no *Campus* Cedeteg, caracterizada como área de baixa fertilidade, e fazenda escola, caracterizada como área de alta fertilidade, pertencentes a UNICENTRO em Guarapuava, PR. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com 3 tratamentos e 4 repetições, sendo os tratamentos: cultivo solteiro, consórcio e policultivo de plantas de cobertura de inverno. Foram avaliadas a produção de biomassa, acúmulo de nutrientes na biomassa (N, P, K, Ca e Mg), relação C/N, decomposição, e liberação de nutrientes. Para solos de baixa fertilidade: o cultivo solteiro apresentou maior produção de biomassa e concentração de P e K; para relação C/N não houve diferença; o cultivo solteiro e policultivo apresentaram maior residual de biomassa aos 120 dias após o manejo; o cultivo solteiro apresentou menor tempo de ½ vida para a maioria dos nutrientes. Para solos de elevada fertilidade: o consórcio e policultivo apresentaram maior produção de biomassa e acúmulo de Mg; o policultivo apresentou maior quantidade acumulada de N, o consórcio acumulou maior quantidade de Ca; o cultivo solteiro apresentou menor relação C/N e menor tempo de ½ vida para nutrientes. O cultivo solteiro apresenta aptidão na ciclagem de nutrientes e incremento de biomassa em solos de baixa fertilidade. O consórcio e policultivo são opções para ciclagem de nutrientes e elevada produção de biomassa em solos férteis.

**Palavras-chave:** Manejo do solo; Ciclagem de nutrientes; Cobertura do solo; Sistema plantio direto.

## **Abstract**

The objective of the work was to evaluate production and decomposition of biomass, accumulation and cycling of nutrients by single, intercropped or polyculture cover crops. The study was conducted in two experimental areas, at the Cedeteg *Campus*, characterized as a low fertility area, and a school farm, characterized as a high fertility area, belonging to UNICENTRO in Guarapuava, PR. The design used was randomized blocks, with 3 treatments

and 4 repetitions, being the treatments: single cultivation, intercropping and polyculture of winter cover plants. Biomass production, accumulation of nutrients in biomass (N, P, K, Ca and Mg), C / N ratio, decomposition, and nutrient release were evaluated. For low fertility soils: single cultivation showed higher biomass production and concentration of P and K; for C/N ratio there was no difference; single and polyculture cultivation showed higher residual biomass at 120 days after management; single cultivation had a shorter half life time for most nutrients. For soils with high fertility: consortium and polycultures showed higher biomass production and Mg accumulation; polycultivation presented a greater accumulated amount of N, the consortium accumulated a greater amount of Ca; single cultivation presented a lower C/N ratio and a half life span for nutrients. Single cultivation has an aptitude for nutrient cycling and an increase in biomass in low fertility soils. For highly fertile soils, the consortium and polyculture are options for nutrient cycling and high biomass production.

**Keywords:** Soil management; Nutrient cycling; Soil cover; No-tillage system.

### **Resumen**

El objetivo del trabajo fue evaluar la capacidad de producción y decomposición de biomasa, la acumulación y el ciclo de nutrientes por cultivos individuales, intercalados o policultivo. El estudio se realizó en dos áreas experimentales, en el *Campus* Cedeteg, caracterizado por un área de baja fertilidad, y una granja escolar, caracterizada como un área de alta fertilidad, pertenecientes a UNICENTRO en Guarapuava, PR. El diseño utilizado fue bloques al azar, con 3 tratamientos y 4 repeticiones, siendo los tratamientos: cultivo individual, intercalado y policultivo de plantas de cobertura invernal. Se evaluó la producción de biomasa, la acumulación de nutrientes en la biomasa (N, P, K, Ca y Mg), la relación C/N, la descomposición y la liberación de nutrientes. Para suelos de baja fertilidad: el cultivo individual mostró mayor producción de biomasa y concentración de P y K; para la relación C/N no hubo diferencia; el cultivo individual y policultivo mostró mayor biomasa residual a 120 días después de la manipulación; el cultivo individual tuvo una vida media más corta para la mayoría de los nutrientes. Para suelos con alta fertilidad, el consorcio y policultivo mostraron mayor producción de biomasa y acumulación de Mg; el policultivo presentó una mayor cantidad acumulada de N, el consorcio acumuló una mayor cantidad de Ca; el cultivo individual presentó una menor relación C/N y una menor vida media de los nutrientes. El cultivo individual tiene aptitud para el ciclo de nutrientes y un aumento de la biomasa en suelos de baja fertilidad. El consorcio y el policultivo son opciones para el ciclo de nutrientes y una alta producción de biomasa para suelos fértiles.

**Palabras clave:** Manejo del suelo; Ciclo de nutrientes; Cobertura del suelo; Sistema de labranza cero.

## 1. Introdução

Ao longo do desenvolvimento da agricultura brasileira o Sistema Plantio Direto (SPD) tornou-se alternativa para redução das perdas de solo por erosão, além de incrementar a produtividade da maioria das culturas. Contudo, o não revolvimento dos solos, juntamente com a manutenção da palha das culturas comerciais, nem sempre são capazes de impedir a ação de processos erosivos no solo, sendo necessária série de práticas conservacionistas para que ocorra adequado estabelecimento do plantio direto aliado à conservação do solo.

A cobertura do solo por plantas de cobertura durante o período de entressafra auxilia na redução de perdas de solo por erosão, e isto se dá pela cobertura do solo durante o ciclo dos mesmos, além da proteção oferecida pela palha após serem manejadas (Ziech et al., 2015). Em solos degradados, o uso de plantas de cobertura permite a recuperação da fertilidade além da incorporação de matéria orgânica no solo (Alcântara et al., 2000; Rampim et al., 2020). Nos solos de alta fertilidade, o SPD promove a manutenção da fertilidade, incremento constante de matéria orgânica, além de promover a proteção contra lixiviação de nutrientes.

Além dos benefícios de proteção do solo, as plantas de cobertura também atuam como recicladoras de nutrientes do solo, pois após o seu manejo, inicia-se o processo de decomposição da biomassa, ocorrendo a mineralização dos nutrientes (Favarato et al., 2020). A acumulação dos nutrientes na biomassa está relacionada à maior produção de matéria seca pelas culturas (Wendling et al., 2016). Na decomposição dos resíduos vegetais, é importante se atentar à relação carbono/nitrogênio (C/N) da espécie de plantas de cobertura, pois plantas da família *Poaceae* geralmente apresentam relações C/N mais elevadas, podendo imobilizar temporariamente os nutrientes para a cultura subsequente (Brito et al., 2019).

Para reduzir imobilização de nutrientes, pesquisadores tem utilizado o consórcio de plantas de cobertura, sendo os mais comuns são aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca (Silva et al., 2007; Ziech et al., 2015). Estes consórcios buscam otimizar os benefícios com a inserção de outras espécies de plantas de cobertura no sistema produtivo, porém, geralmente limitados à utilização de poucas espécies.

A utilização de diversas espécies no sistema de rotação de culturas em área no mesmo período é denominada de policultivo de culturas. O policultivo, além de aumentar a produção

de biomassa, pode promover melhorias na qualidade química dos resíduos, maior supressão de plantas daninhas, proteção do solo, influência nos atributos físicos do solo, devido aos diferentes sistemas radiculares e relação C/N equilibrada (Hunter et al., 2019; Tambara et al., 2017). Devido à escassez de trabalhos que abordam o maior número de espécies em consorciação, como o policultivo de plantas de cobertura, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção e decomposição da biomassa, acúmulo e ciclagem de nutrientes através do cultivo solteiro, consorciado ou policultivo de plantas de cobertura.

## 2. Metodologia

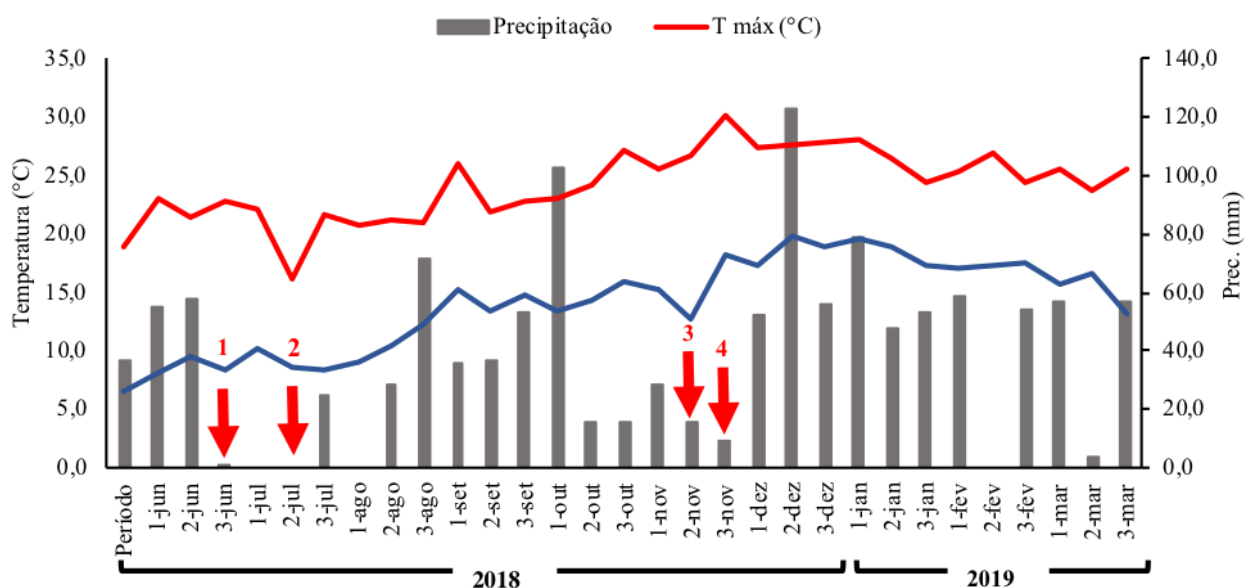
O presente trabalho consistiu em uma pesquisa experimental quantitativa (Pereira et al., 2018) com instalação e condução de dois experimentos de campo no período de 2018 a 2019 no município de Guarapuava, que está localizado no Terceiro Planalto, Região Centro Sul do Estado do Paraná, Brasil. O Experimento I foi instalado no Campus Cedeteg da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e o Experimento II foi instalado na Fazenda Escola da UNICENTRO. O clima é classificado como Cfb, segundo classificação de Köppen, subtropical mesotérmico úmido (IAPAR, 2018). O comportamento climático durante o período do estudo pode ser observado na Figura 1.

O solo das áreas experimentais estão situados na área de predominância LBd1 do Mapa de Solos do Brasil, sendo classificados como Latossolo Bruno Distrófico (EMBRAPA, 2018). Para ambos os experimentos foram definidos como cultivo solteiro de planta de cobertura o uso de uma espécie isolada, consórcio com utilização de duas espécies e policultivo com utilização de oito (Experimento I) ou seis (Experimento II) espécies de plantas de cobertura.

*Experimento I:* As características químicas do solo para a área do Experimento I são: pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,46; Fósforo (P) (mg dm<sup>-3</sup>): 1,18; Potássio (K) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,08; Alumínio (Al<sup>3+</sup>) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,13; Cálcio (Ca<sup>2+</sup>) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 5,01; Magnésio (Mg<sup>2+</sup>) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 1,68; H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 7,58; Soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 6,77; capacidade de troca de cátions (CTC pH 7,0) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 14,4; saturação por bases (V%): 47,2; Matéria orgânica: 4,4% para a camada de 0-10 cm e de: pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,29; P (mg dm<sup>-3</sup>): 1,34; K (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,06; Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,19; Ca<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 4,29; Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 1,49; H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 8,11; Soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 5,83; CTC pH 7,0 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 13,9; V%: 41,9; Matéria orgânica: 4,5% para a camada de 10-20 cm. Segundo (NEPAR-SCBS, 2019), os valores de P, K e V% obtidos para o solo da área experimental nas camadas de 0 – 10 e 10 –

20 cm são classificados como muito baixo, baixo e médio, respectivamente, sendo assim, caracterizou-se o solo do Experimento I como de baixa fertilidade. A área utilizada para o experimento encontrava-se em pousio durante o último ano agrícola, sendo realizada a roçada e dessecação da área experimental com 2,5 litros ha<sup>-1</sup> de glifosato antes da semeadura das plantas de cobertura.

**Figura 1** – Dados de precipitação pluviométrica (mm) e de temperatura (°C) de junho de 2018 a março de 2019, obtidos na Estação Meteorológica da UNICENTRO - Guarapuava - PR, 2020. **1)** Semeadura das plantas de cobertura no Experimento I. **2)** Semeadura das plantas de cobertura no Experimento II. **3)** Semeadura da cultura do milho no Experimento I e deposição das bolsas de decomposição no campo. **4)** Semeadura da cultura da soja no Experimento II e deposição das bolsas de decomposição no campo.



Fonte: Autores.

No Experimento I foram utilizadas oito espécies de plantas de cobertura indicadas para o cultivo de inverno na região de Guarapuava, segundo (Wutke et al., 2014), sendo instalados três tratamentos com quatro repetições: 1) Cultivo solteiro de aveia preta (70 kg ha<sup>-1</sup>); 2) Consórcio de aveia preta (40 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo forrageiro (15 kg ha<sup>-1</sup>); 3) Policultivo com aveia preta (15 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo forrageiro (08 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca (15 kg ha<sup>-1</sup>) + aveia branca (15 kg ha<sup>-1</sup>) + azevém (05 kg ha<sup>-1</sup>) + centeio (15 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço branco (15 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço azul (15 kg ha<sup>-1</sup>). A semeadura foi realizada em 26 de junho de 2018 utilizando semeadora múltipla para plantio direto, sem utilização de adubação de base no momento da semeadura. As plantas de cobertura foram dessecadas no dia 23 de outubro de 2018 (119 dias de ciclo), com 2,5 litros ha<sup>-1</sup> de glifosato.

*Experimento II:* As características químicas do solo para a área do Experimento II são: pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,5; P (mg dm<sup>-3</sup>): 17,8; K (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,56; Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,27; Ca<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 6,0; Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 2,68; H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 4,57; Soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 9,24; CTC pH 7,0 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 13,8; V%: 66,9; Matéria orgânica: 3,2% para a camada de 0-10 cm e de: pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,2; P (mg dm<sup>-3</sup>): 8,6; K (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,34; Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 0,3; Ca<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 3,4; Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 1,59; H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 5,32; Soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 5,33; CTC pH 7,0 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>): 10,7; V%: 50,0; Matéria orgânica: 2,4% para a camada de 10-20 cm. De acordo com NEPAR-SCBS (2019), os valores obtidos para P, K, Ca, Mg para a camada de 0 – 10 cm são classificados como muito alto. Para a camada de 10 - 20 cm, foram classificados como médio para P e alto para K, Ca e Mg. Para V% o valor obtido foi classificado como alto na camada 0 – 10 cm e médio para a camada 10 – 20 cm. Com base nas características químicas do solo da área experimental, o Experimento II foi classificado como de alta fertilidade. A área de instalação do experimento havia sido cultivada com soja no último ano agrícola.

Para a instalação deste experimento foram utilizadas seis espécies de plantas de cobertura hibernais. Foram realizados 3 tratamentos com 4 repetições cada: 1) Cultivo solteiro de aveia preta (65 kg ha<sup>-1</sup>); 2) Consórcio de aveia preta (40 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo forrageiro (15 kg ha<sup>-1</sup>); 3) Policultivo com aveia preta (15 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo forrageiro (8 kg ha<sup>-1</sup>) + aveia branca (15 kg ha<sup>-1</sup>) + centeio (15 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço branco (20 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca (15 kg ha<sup>-1</sup>). A semeadura das plantas de cobertura foi realizada no dia 11 de julho de 2018. O manejo ocorreu no dia 29 de outubro de 2018 (110 dias de ciclo) com o auxílio de rolo faca e posterior dessecação da área com a utilização de 2,5 litros ha<sup>-1</sup> de glifosato.

A produção de biomassa das plantas de cobertura foi avaliada aos 118 dias após a semeadura (DAS) para o Experimento I e aos 104 DAS para o Experimento II, sendo realizada a coleta da biomassa de área com 0,25m<sup>2</sup> em dois pontos de cada parcela, e posteriormente seca em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55°C, por 72 horas até atingirem massa constante. Depois de completamente secas, ocorreu a quantificação em balança de precisão para se obter a biomassa seca de cada tratamento.

A taxa de decomposição das plantas de cobertura foi realizada através de bolsas de decomposição (*litter bags*), confeccionadas com tecido com malha inferior a 1 mm (*voil*) com dimensões de 0,20 x 0,20 m com material vegetal previamente seco, utilizando-se a proporção de biomassa seca em cada bolsa equivalente à média de produção de biomassa seca encontrada para cada tratamento. As bolsas foram depositadas nas entrelinhas das culturas de verão após a semeadura do milho e soja, sendo posicionadas acima do solo. Em cada parcela

foram depositadas sete bolsas, sendo retirada uma bolsa por parcela nos respectivos tempos: 0, 7, 15, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura da cultura de verão, para determinar a taxa de decomposição dos resíduos. A taxa de decomposição foi determinada pela diferença de peso entre os diferentes tempos de permanência das bolsas à campo, com o tempo zero. Após serem retiradas do campo, o material contido nas bolsas foi seco em estufa de circulação de ar forçada a temperatura de 55°C e pesados.

Para modelar a decomposição das coberturas vegetais utilizou-se o modelo exponencial descrito pela equação citada por Thomas e Asakawa (1993):

$$m = m_0 \cdot e^{-kt}$$

em que:  $m$  é a massa presente após decorrido tempo  $t$ ;  $m_0$  é a massa inicial;  $t$  é o tempo decorrido em dias;  $K$  é o coeficiente de decomposição de cada cobertura vegetal;  $e = 2,718281...$  base do sistema de Logaritmos Neperiano.

Foi realizado o desdobramento da fórmula, sendo que para a determinação do coeficiente de decomposição  $k$  foi utilizada a equação abaixo, obtida a partir do modelo exponencial descrito acima:

$$K = \ln(m_0/m)/t$$

A partir da constante de decomposição ( $k$ ) calculada para cada tratamento, foi possível determinar o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida. A equação proposta por Rezende et al. (1999), para calcular o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida está descrita abaixo:

$$T_{\frac{1}{2}} = \ln(2)/K$$

Para a determinação de P, K, Ca e Mg na biomassa foi realizada a extração dos nutrientes através da digestão úmida com  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$  (3:1) com utilização de aproximadamente 0,25 g de tecido vegetal. O teor de N foi determinado utilizando o método Kjeldahl, utilizando-se aproximadamente 0,10 g das amostras das plantas de cobertura (Silva, 2010). Para a determinação do carbono presente na biomassa foi utilizada metodologia adaptada de (Claessen, 1997), utilizando-se aproximadamente 0,05 g de tecido vegetal. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), pelo programa computacional *Sisvar* (Ferreira, 2011).



### 3. Resultados

#### *Experimento I:*

O cultivo solteiro apresentou maior produção de biomassa, sendo 28 e 15% superior ao consórcio e policultivo respectivamente (Figura 2A). Aos 120 dias após aplicação das bolsas de decomposição, o cultivo solteiro e policultivo apresentavam maior residual de biomassa sobre o solo, sendo que para todos os tratamentos ocorreram tempos de  $\frac{1}{2}$  vida para biomassa próximos a 60 dias após a aplicação das bolsas de decomposição. O cultivo solteiro e policultivo foram 34 e 24% superiores ao consórcio para a quantidade de N acumulada (Tabela 1). A menor concentração do nutriente foi observada para o cultivo solteiro, sendo relacionada ao avançado ciclo da cultura, apresentando baixos teores do nutriente quando comparado às plantas de cobertura (Tabela 1). O cultivo solteiro apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para o N, inferior a 100 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, sendo relacionado a rápida degradação inicial da biomassa (Figura 2B).

O cultivo solteiro apresentou maior acúmulo de P, sendo 56 e 43% mais eficiente em acumular P que o consórcio e o policultivo, respectivamente (Tabela 1). Esse resultado está relacionado a rusticidade da cultura, com vantagem quanto ao desenvolvimento radicular em solos de fertilidade baixa, sendo capaz de extrair e reciclar maiores quantidades de P quando comparado a outras espécies de plantas de cobertura na mesma condição. O cultivo solteiro foi mais eficiente na liberação do P remanescente nos resíduos, liberando 63% de todo o nutriente acumulado aos 120 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, sendo que o consórcio e policultivo, promoveram a liberação de 44 e 46% do nutriente (Figura 2C).

O cultivo solteiro apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para o P, inferior a 100 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, sendo que o policultivo, apresentou maior tempo de  $\frac{1}{2}$  vida, superior a 130 dias após aplicação das bolsas de decomposição (Figura 2C). Maiores quantidades do nutriente nos tecidos proporcionam maior taxa de liberação através da decomposição da biomassa. Este comportamento foi observado para o cultivo solteiro, estando relacionado a menores tempos de  $\frac{1}{2}$  vida apresentados para a biomassa do tratamento, o que permite compreender o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida inferior aos demais tratamentos.

O cultivo solteiro e consórcio apresentaram elevada eficiência na absorção de K em solos de baixa fertilidade, apresentando maiores concentrações do nutriente na biomassa, sendo 20 e 22% superiores à concentração do nutriente obtida para o policultivo (Tabela 1). O cultivo solteiro apresentou maior acúmulo do nutriente, estando relacionado principalmente à

concentração do nutriente e produção de biomassa nos diferentes tratamentos. O cultivo solteiro apresentou quantidade liberada de K superior às observadas para os demais tratamentos, sendo relacionado com maior disponibilidade do nutriente nos tecidos e a rápida mineralização do mesmo para o solo.

**Tabela 1** - Teores e acúmulo total de macronutrientes da biomassa das plantas de cobertura para o Experimento I- Guarapuava-PR, 2018/2019. <sup>1</sup> Consórcio de aveia preta + nabo forrageiro. <sup>2</sup> Policultivo de aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca + aveia branca + azevém + centeio + tremoço branco + tremoço azul. \* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>ns</sup>: médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Plantas de Cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	Concentração (g kg <sup>-1</sup> )				
Aveia preta	19,56 b*	4,77 a	29,82 a	3,97 b	0,89 <sup>ns</sup>
Consórcio <sup>1</sup>	20,42 ab	4,26 b	30,39 a	4,18 b	0,89
Policultivo <sup>2</sup>	21,39 a	3,95 b	24,84 b	5,01 a	0,92
<b>CV (%)</b>	<b>2,98</b>	<b>4,89</b>	<b>2,49</b>	<b>7,04</b>	<b>1,04</b>
Plantas de Cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	Acúmulo Total (kg ha <sup>-1</sup> )				
Aveia preta	104,5 a	25,47 a	159,27 a	23,39 ab	4,76 a
Consórcio <sup>1</sup>	77,7 b	16,23 b	115,59 b	20,68 b	3,50 c
Policultivo <sup>2</sup>	96,4 a	17,76 b	112,15 b	25,12 a	4,01 b
<b>CV (%)</b>	<b>7,56</b>	<b>4,12</b>	<b>7,83</b>	<b>6,99</b>	<b>4,93</b>

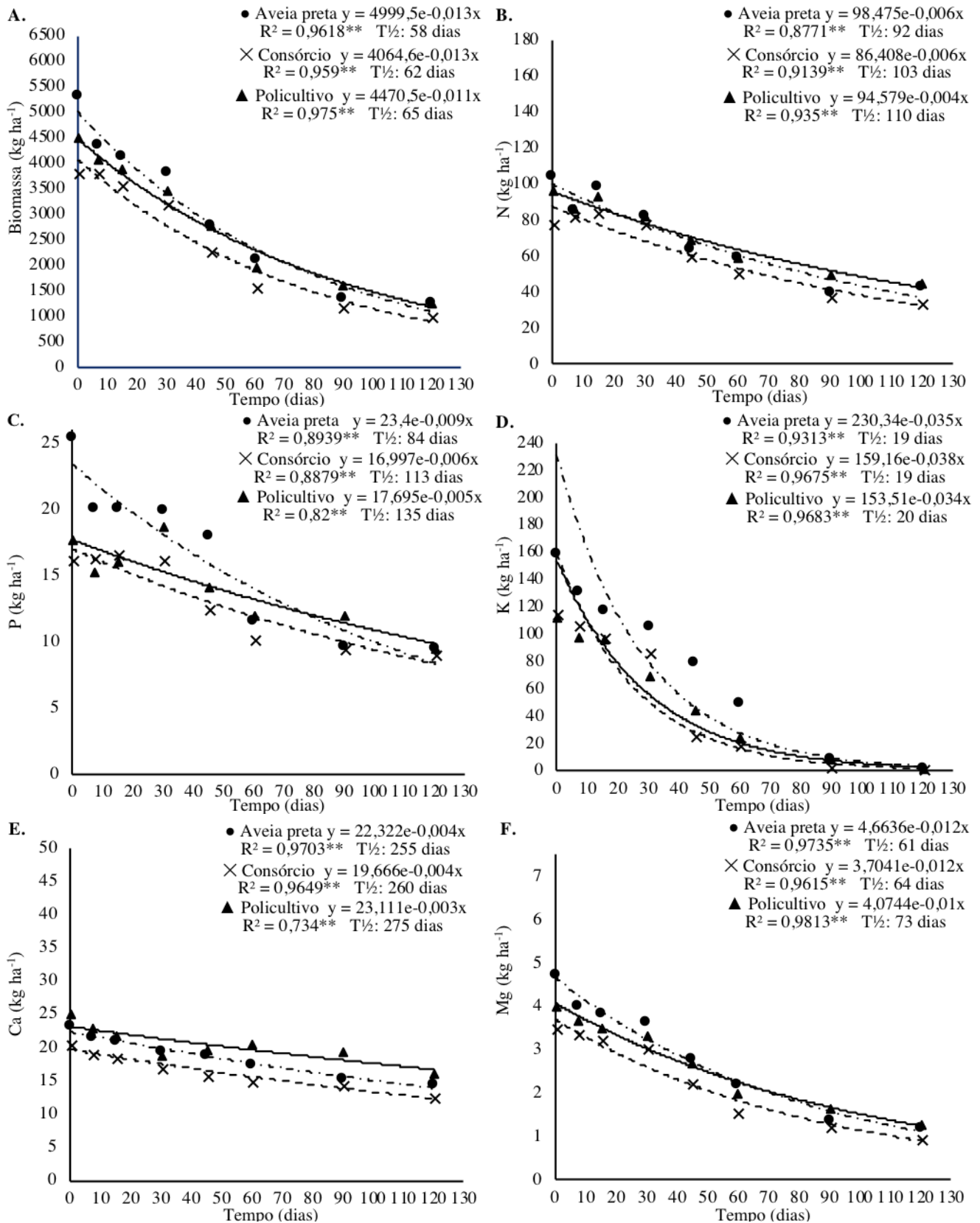
Fonte: Autores.

Os resultados da Tabela 1 evidenciam que o acúmulo total de nutrientes é influenciado pela produção de biomassa, demonstrando dependência de maior produção de biomassa para maior ciclagem de nutrientes através das plantas de cobertura em solos de baixa fertilidade. Ao final do tempo de permanência das bolsas de decomposição no campo, ocorreu liberação superior a 97% do K contido na biomassa de todos os tratamentos, sendo observados tempos de  $\frac{1}{2}$  vida próximos a 20 dias para todos os tratamentos (Figura 2D).

A maior média de concentração e acúmulo de Ca foram obtidas para o policultivo, porém, para o acúmulo do nutriente não ocorreu diferença estatística para o cultivo solteiro devido a elevada produção de biomassa do mesmo (Tabela 1). Para o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida, foram obtidos valores superiores a 250 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, devido à baixa liberação do nutriente pelos tecidos das plantas (Figura 2E).

A concentração de Mg na biomassa não variou entre os diferentes tratamentos, sendo o acúmulo total de Mg influenciado pela produção de biomassa de cada tratamento (Tabela 1). A maior quantidade acumulada de Mg foi encontrada para o cultivo solteiro, tratamento que apresentou a maior produção de biomassa inicial.

**Figura 2** - Biomassa (A), Nitrogênio (B), Fósforo (C), Potássio (D), Cálcio (E) e Magnésio (F) remanescentes nos tratamentos cultivo solteiro, consórcio e em policultivo para o Experimento I, Guarapuava - PR, 2018/2019. \*\* Regressão significativa ( $p < 0,01$ ).



Fonte: Autores.

Aos 120 dias após a aplicação das bolsas de decomposição ocorreu liberação de 74, 72 e 68% do Mg acumulado pelos tratamentos cultivo solteiro, consórcio e policultivo, respectivamente (Figura 2F). O tempo de  $\frac{1}{2}$  vida calculado para o policultivo foi 19 e 16% superior que o encontrado para o cultivo solteiro e consórcio, respectivamente.

É importante observar que os diferentes nutrientes apresentaram comportamentos distintos da mineralização (Figura 2), estando relacionado com características de cada nutriente. Para os tratamentos, foram observados comportamentos semelhantes para mineralização dos nutrientes ao longo do tempo, estando relacionado com a similaridade de relação C/N obtida para os diferentes tratamentos.

Para a relação C/N da biomassa dos diferentes tratamentos não houve influencia do número de espécies de plantas de cobertura (Tabela 2). O predomínio de plantas da família *Poaceae* no consórcio e policultivo, aliado a baixa fertilidade do solo e baixa pluviosidade, proporcionaram plantas com tecidos mais lignificados, e conseqüentemente, elevada relação C/N.

Tabela 2 - Relação C/N da biomassa das plantas de cobertura para o Experimento I-Guarapuava-PR, 2018/2019. 1 Consórcio de aveia preta + nabo forrageiro. 2 Policultivo de aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca + aveia branca + azevém + centeio + tremoço branco + tremoço azul. ns: médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<b>Tratamento</b>	<b>Relação C/N</b>
Aveia Preta	28,6 <sup>ns</sup>
Consórcio <sup>1</sup>	29,3
Policultivo <sup>2</sup>	29,0
<b>CV (%)</b>	<b>7,15</b>

Fonte: Autores.

### ***Experimento II:***

Para o Experimento II, devido ao menor número de espécies e menor quantidade de sementes presentes no policultivo, foram mitigados os efeitos de competição entre as plantas por recursos essenciais ao seu desenvolvimento. O consórcio e policultivo apresentaram os maiores incrementos de biomassa, sendo 33 e 30 % superiores à produção obtida para o cultivo solteiro (Figura 3A). O cultivo solteiro apresentou maior velocidade de decomposição dentre os tratamentos, sendo relacionado a menor relação C/N e menor produção de biomassa. Para os tratamentos com mais de uma espécie foram observadas manutenções de quantidades 125 e 164 % superiores ao cultivo solteiro. Para a dinâmica de decomposição da biomassa, pode-se observar maior velocidade inicial, seguida de fase mais lenta (Figura 3A). O cultivo

solteiro apresentou menor tempo de ½ vida para a biomassa, sendo aproximadamente 35% menor que o consórcio e policultivo, resultado este, relacionado à relação C/N dos resíduos de cada tratamento.

O cultivo solteiro de aveia preta apresentou maior concentração de N na biomassa, seguido do policultivo e consórcio (Tabela 3). O policultivo apresentou maior quantidade acumulada de N, sendo aproximadamente 13% superior aos demais tratamentos.

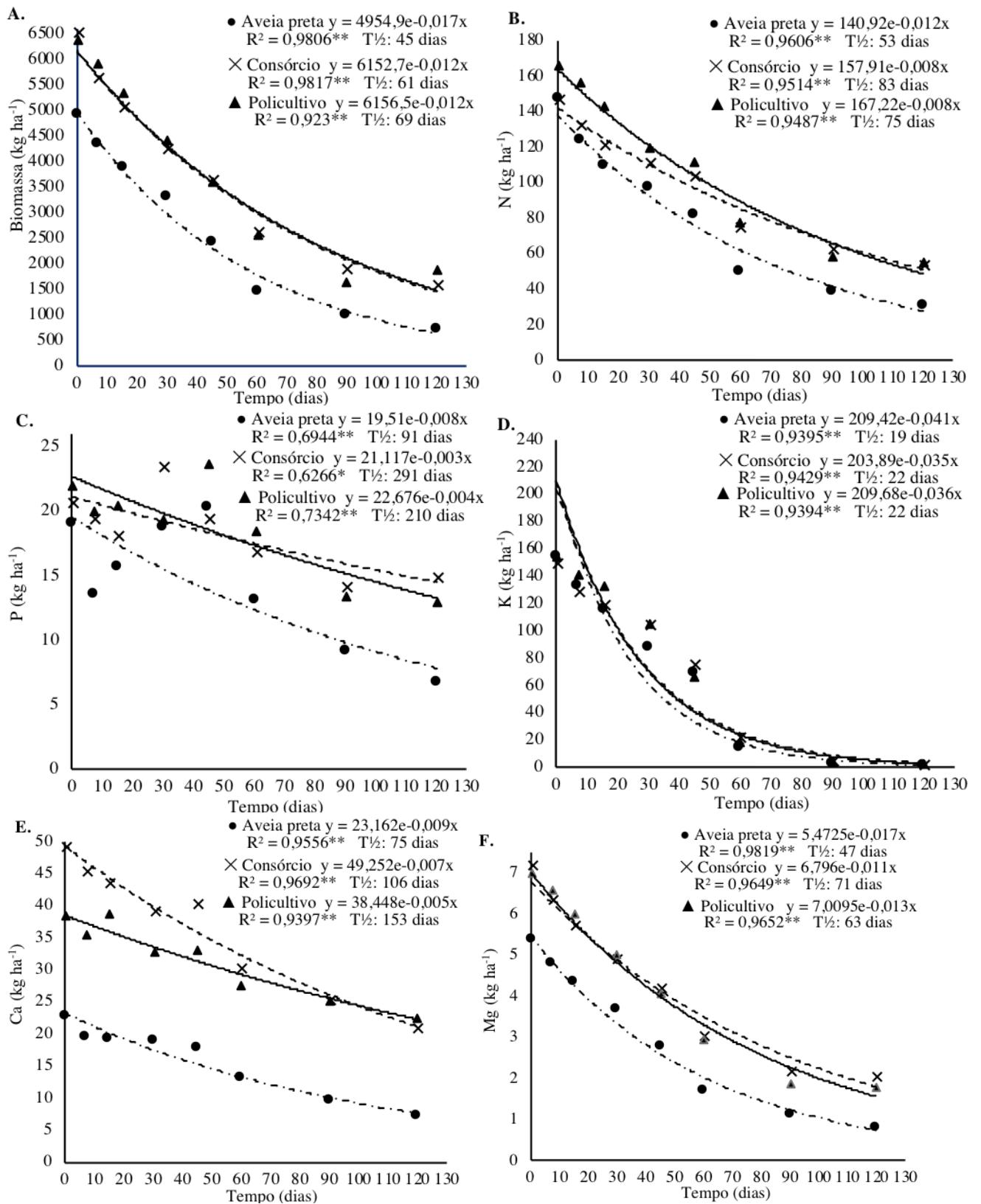
**Tabela 3** - Teores e acúmulo total de macronutrientes da biomassa das plantas de cobertura para o Experimento II - Guarapuava-PR, 2018/2019. <sup>1</sup> Consórcio de aveia preta + nabo forrageiro. <sup>2</sup> Policultivo de aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca + aveia branca + centeio + tremoço branco em sucessão com soja. \* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (p<0,05). <sup>ns</sup>: médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Plantas de Cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	Concentração (g kg <sup>-1</sup> )				
Aveia preta	29,90 a*	3,89 <sup>ns</sup>	31,54 a	4,65 c	1,09 <sup>ns</sup>
Consórcio <sup>1</sup>	22,54 c	3,16	22,98 b	7,52 a	1,10
Policultivo <sup>2</sup>	26,02 b	3,45	24,14 b	6,00 b	1,09
<b>CV (%)</b>	<b>6,14</b>	<b>17,71</b>	<b>2,88</b>	<b>5,97</b>	<b>0,81</b>
Plantas de Cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	Acúmulo Total (kg ha <sup>-1</sup> )				
Aveia preta	147,06 b	19,12 <sup>ns</sup>	155,09 <sup>ns</sup>	22,87 c	5,38 b
Consórcio <sup>1</sup>	148,08 b	20,75	150,84	49,31 a	7,22 a
Policultivo <sup>2</sup>	166,46 a	22,05	154,48	38,38 b	6,99 a
<b>CV (%)</b>	<b>8,30</b>	<b>15,99</b>	<b>5,08</b>	<b>5,61</b>	<b>3,55</b>

Fonte: Autores.

Em linhas gerais, observa-se na Tabela 3 que solos com maior fertilidade apresentam reduzida influência da produção de biomassa sobre o acúmulo total dos nutrientes, se relacionando muitas vezes com o melhor estabelecimento e desenvolvimento das diferentes espécies de plantas, com menores prejuízos decorrentes de competição por recursos. Para sistemas com maior disponibilidade de nutrientes torna-se visível a habilidade de diferentes espécies na absorção de maiores quantidades de nutrientes, favorecendo o acúmulo total. A diversidade de plantas dentro dos tratamentos favoreceu o incremento de biomassa, proporcionando maiores acúmulos totais do nutriente através da maior produção de biomassa.

Figura 3 - Biomassa (A), Nitrogênio (B), Fósforo (C), Potássio (D), Cálcio (E) e Magnésio (F) remanescentes nos tratamentos cultivo solteiro, consórcio e em policultivo para o Experimento II, Guarapuava - PR, 2018/2019. \* Regressão significativa ( $p < 0,05$ ). \*\* Regressão significativa ( $p < 0,01$ ).



Fonte: Autores.

Na Figura 3 verifica-se que a mineralização dos nutrientes N e P, Ca e Mg nos diferentes tratamentos de plantas de cobertura foram diretamente influenciados pelas características dos resíduos. O tratamento aveia preta em cultivo solteiro teve menor relação C/N (Tabela 4) também teve a liberação mais acelerada dos nutrientes, enquanto que o consórcio e o policultivo, que tiveram maiores relações C/N com tendência de imobilização, apresentam maiores tempos de  $\frac{1}{2}$  vida e menor liberação total de nutrientes.

Para a liberação de N aos 120 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, ocorreu comportamento distinto entre os tratamentos, ocorrendo liberação de 46, 58 e 60% do nutriente acumulado na biomassa. O cultivo solteiro apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para N, sendo o consórcio e policultivo 46 e 52% superiores (Figura 3B).

Para o Fósforo (P), não houve diferença entre os tratamentos para a concentração do nutriente na biomassa e acúmulo total (Tabela 3). Aos 120 dias após a aplicação das bolsas de decomposição o cultivo solteiro liberou aproximadamente 65% do P acumulado na biomassa, enquanto os demais tratamentos liberaram respectivamente, 28 e 41% para o consórcio e policultivo (Figura 3D).

O cultivo solteiro apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para P, inferior à 100 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, estando relacionado a elevada decomposição dos resíduos da cultura, promovendo a rápida mineralização do nutriente frente aos demais tratamentos.

O cultivo solteiro apresentou maior concentração de K, sendo 27 e 23% superior que os tratamentos consórcio e policultivo, respectivamente, demonstrando elevada capacidade de absorção do nutriente por plantas da família *Poaceae* (Tabela 3). Para o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida, foram observados valores próximos a 19 dias após a aplicação das bolsas de decomposição para o K no cultivo solteiro, sendo observados valores aproximadamente 15% superiores para o consórcio e policultivo. Aos 120 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, ocorreu para todos os tratamentos, liberação superior aos 97% (Figura 3D).

Para o Cálcio (Ca) foi observada influência do número de espécies de plantas de cobertura na concentração e acúmulo total do nutriente na biomassa. A maior concentração e acúmulo do nutriente foram obtidos para o consórcio (Tabela 3). O cultivo solteiro de aveia preta apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para o nutriente, sendo que os tratamentos consórcio e policultivo apresentaram tempo de  $\frac{1}{2}$  vida 41 e 104% superiores ao cultivo solteiro (Figura 3E).

Para o consórcio e policultivo, ocorreu acúmulo 34 e 30% superior ao cultivo solteiro para o Mg (Tabela 3). As concentrações do nutriente foram próximas à  $1 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo o

acúmulo do nutriente relacionado ao incremento de biomassa para cada tratamento. O cultivo solteiro apresentou liberação de aproximadamente 84% de todo o nutriente contido na biomassa, enquanto o consórcio e o policultivo apresentaram liberação de 71 e 73%. O consórcio e policultivo apresentaram tempos de  $\frac{1}{2}$  vida 53 e 36% superiores ao cultivo solteiro (Figura 3F).

O cultivo solteiro apresentou menor relação C/N (Tabela 4), o que explica a maior velocidade de decomposição dos resíduos e maior velocidade de liberação dos nutrientes da biomassa. A maior relação C/N obtida para o consórcio e policultivo, juntamente com a elevada produção de biomassa foram responsáveis pelo maior residual de biomassa sobre a superfície do solo aos 120 dias após o manejo das plantas de cobertura.

**Tabela 4** - Relação C/N da biomassa das plantas de cobertura para o Experimento II - Guarapuava-PR, 2018/2019. <sup>1</sup> Consórcio de aveia preta + nabo forrageiro. <sup>2</sup> Policultivo de aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca + aveia branca + centeio + tremoço branco em sucessão com soja. \* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	Relação C/N
Aveia Preta	20,7 b*
Consórcio <sup>1</sup>	29,9 a
Policultivo <sup>2</sup>	27,2 a
CV (%)	8,28

Fonte: Autores.

#### 4. Discussão

Os resultados obtidos para a produção de biomassa no Experimento I são condizentes com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2016), com 5.263 kg ha<sup>-1</sup> para o cultivo solteiro de aveia preta e 4.030 kg ha<sup>-1</sup> para o consórcio. A menor fertilidade do solo neste experimento e a baixa pluviosidade no início do desenvolvimento das plantas de cobertura, influenciaram negativamente o desenvolvimento das demais plantas, proporcionando maior desenvolvimento do cultivo solteiro, estando o resultado relacionada a tolerância da cultura a solos com reduzida fertilidade além da ausência de competição com outras espécies, promovendo maior incremento de biomassa (Wutke et al., 2014). A produção de biomassa pelas espécies de plantas de cobertura é diretamente influenciada pela precipitação pluviométrica e pela época de semeadura (Torres & Pereira, 2014). Ziech et al. (2015) verificou produções inferiores de biomassa para policultivos com três espécies quando



comparado com o cultivo solteiro de aveia preta, também em condições de menor disponibilidade hídrica.

Para o Experimento II, a produção de biomassa obtida para o consórcio foi superior ao obtido por Cremonez (2018), com produção de biomassa no consórcio de aproximadamente 5.360 kg ha<sup>-1</sup>, porém, essa diferença pode ser explicada pelo menor ciclo das plantas de coberturas cultivadas pelo autor, que foram 95 dias, frente a 110 dias para o presente estudo. A maior produção de biomassa promovida pelo consórcio e policultivo para o Experimento II está ligada a maior disponibilidade de nutrientes no solo, proporcionando melhor desenvolvimento das plantas e mitigando efeitos de competição por recursos.

O menor residual de biomassa sobre o solo para o cultivo solteiro pode ser relacionado a menor relação C/N do tratamento, menor produção inicial de biomassa e ao fato de que, em comparação ao Experimento I, ocorreu manejo das plantas de cobertura com utilização de rolo-faca, que aumenta o contato das plantas com o solo, acelerando a decomposição dos resíduos, principalmente da cultura da aveia (Bortoluzzi & Eltz, 2000; Alvarenga et al., 2001).

A velocidade de decomposição dos resíduos provenientes do cultivo de plantas de cobertura foi diretamente influenciado pela quantidade e qualidade dos resíduos, condições climáticas, como temperatura e umidade além da relação C/N dos resíduos, sendo a velocidade de decomposição inversamente proporcional ao aumento da relação C/N (Hentz et al., 2014; Radicetti et al., 2016). Para ambos os experimentos, pode-se observar tendência de rápida decomposição inicial da biomassa, conforme relatado por Pellin et al. (2019), ocorrendo a decomposição de frações mais lábeis da biomassa.

A variabilidade dos valores de tempo de ½ vida descritos pela literatura e obtidos nos experimentos demonstram a influência dos fatores climáticos, características dos resíduos, e aporte inicial de biomassa tem sobre a velocidade de decomposição de determinados resíduos vegetais. Para Oliveira et al. (2016), o tempo de ½ vida encontrado para o cultivo solteiro de aveia preta e o consórcio aveia + nabo, foram de 58 e 54 dias após a aplicação das bolsas de decomposição, respectivamente, com incrementos de biomassa semelhantes aos obtidos no Experimento I.

A menor concentração de N obtida para o Experimento I está relacionada a menor fertilidade do solo, que proporciona maior lignificação dos tecidos das plantas, com conseqüente redução de ciclo, interferindo diretamente na quantidade de N nos tecidos. Para Wolschick et al. (2016), ao avaliar o acúmulo de nutrientes na biomassa de diversas espécies de plantas de cobertura obtiveram 91,6 e 211,2 kg ha<sup>-1</sup> de N para o cultivo solteiro de aveia

preta e para o consórcio aveia + nabo + ervilhaca, com concentrações de 9,24 e 21,8 g kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

A elevada concentração de N nos tecidos de aveia preta para o Experimento II pode ser relacionada ao ciclo prolongado da cultivar utilizada (IAPAR 61), aliado a dessecação realizada no início da floração da cultura, o que confere maiores teores de N nos tecido e consequentemente menor relação C/N da biomassa (Pissinati et al., 2016). Khan et al. (2019) ao estudarem diferentes fontes e doses de N obtiveram concentrações entre 30 e 45 g kg<sup>-1</sup> aproximadamente aos 21 dias após a semeadura da aveia, Menezes (2016) descreve concentrações de 22 g kg<sup>-1</sup> de N na biomassa seca de aveia preta, para o consórcio. Filho et al. (2019) descreve concentrações de N para o uso de policultivos com predominância de *Poaceae* e *Fabaceae* próximos a 33 g kg<sup>-1</sup>, apresentando tempo de ½ vida para o nutriente entre 80 e 100 dias após o manejo. De acordo com Toom et al. (2019), a cultura do centeio foi capaz de acumular entre 20 e 35 kg ha<sup>-1</sup> de N com produção de biomassa de 667 e 1188 kg ha<sup>-1</sup>, com concentração nos tecidos de aproximadamente 30 g kg<sup>-1</sup> de N, para a cultura do nabo são relatados acúmulos entre 70 e 103 kg ha<sup>-1</sup>, com concentração nos tecidos próximas a 26 g kg<sup>-1</sup> de N.

Para o Experimento I, a velocidade de liberação do N foi condicionada a características dos resíduos (incremento de biomassa, relação C/N) e do ambiente (pluviosidade e temperatura). Geralmente, culturas com maiores teores de N na biomassa apresentam menores tempos de ½ vida para o nutriente, porém, deve-se considerar a dinâmica de decomposição da biomassa, fator que pode influenciar na liberação do nutriente, mesmo para resíduos com menores teores do nutriente (Poffenbarger et al., 2015).

Para a liberação do N presente na biomassa do Experimento II, ocorreu influência da relação C/N e concentração do nutriente, sendo que o tratamento que apresentou maior concentração, obteve o menor tempo de ½ vida (Halde & Entz, 2016). Os valores obtidos para o tempo de ½ vida de N para o cultivo solteiro foram inferiores ao observado por Mattei et al. (2018), em que sem pastoreios, o tempo de ½ vida foi de 178 dias após o manejo para o nutriente, para o tratamento com dois pastoreios ocorreu tempo de ½ vida semelhante ao obtido para o presente experimento, com aproximadamente 50 dias após o manejo. O resultado evidencia a maior concentração e liberação do nutriente em tecidos menos lignificados, como é o caso do tratamento com mais pastoreios.

O acúmulo de P no Experimento I apresentou similaridade aos valores observados por Koefender et al. (2016) para o cultivo solteiro, com acúmulo total de P de 25 kg ha<sup>-1</sup>. Para Pavinato et al. (2017), o cultivo solteiro de aveia preta obteve acúmulo de aproximadamente

16 kg ha<sup>-1</sup> de P com produção de biomassa de 6.000 kg ha<sup>-1</sup>. O cultivo de plantas de cobertura é eficiente no aumento da disponibilidade de P na biomassa microbiana do solo, quando comparado ao pousio contínuo durante o inverno (Rheinheimer et al., 2019). Para Wolschick et al. (2016) foram descritas concentrações de 2 e 3,5 g kg<sup>-1</sup> de P para o cultivo solteiro de aveia preta e consórcio aveia preta + nabo + ervilhaca. Freitas et al. (2019) ao avaliarem policultivos com diferentes proporções de *Poaceae* e *Fabaceae* observaram concentrações entre 3,04 e 3,50 g kg<sup>-1</sup> de P na biomassa, aos 135 dias após o manejo, segundo os autores, o tratamento com maior proporção de *Fabaceae* apresentou a maior liberação do nutriente, com aproximadamente 30 %.

A concentração de nutrientes na biomassa de plantas de cobertura é influenciada pela concentração dos nutrientes e pela produção de biomassa. Para N e P a produção de biomassa é capaz de influenciar fortemente no acúmulo total dos nutrientes (Wendling et al., 2016). Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2016), o cultivo solteiro apresentou liberação de aproximadamente 80% de todo o P acumulado aos 90 dias após o manejo, sendo que para o consórcio aveia + nabo, ocorreu a liberação de aproximadamente 90% do nutriente para o mesmo período, liberação superior a observada para todos os tratamentos em ambos os experimentos.

Para ambos experimentos o cultivo solteiro apresentou tempos de ½ vida inferior a 100 dias após o manejo, estando relacionado a maior porcentagem de decomposição apresentada pelo cultivo solteiro e a maior quantidade acumulada do nutriente, devido a capacidade de absorção do nutriente por plantas da família *Poaceae*. Para Mattei et al. (2018), o tempo de ½ vida do P obtido para o cultivo solteiro e sem pastejo foi de 116 dias, sendo superior ao observado para a cultura no presente trabalho.

Para o Experimento I, ocorreram concentrações superiores as descritas pelos autores para o cultivo solteiro e consórcio, no policultivo foi observada concentração similar a descrita pelo autor, e todos os tratamentos obtiverem acúmulos superiores a 110 kg ha<sup>-1</sup>. Com base na quantidade de K acumuladas e a liberação do nutriente para a próxima cultura, pode-se destacar a capacidade de reciclar K pelos diferentes tratamentos com plantas de cobertura (Wolschick et al., 2016). Para Drost et al. (2020), a utilização de plantas de cobertura, resultam no aumento dos teores deste nutriente no solo, promovendo a reciclagem de K, reduzindo suas perdas por lixiviação. Para Oliveira et al. (2017), o cultivo solteiro de aveia preta e consórcio apresentaram concentração do nutriente nos tecidos de 42 e 36 g kg<sup>-1</sup>. Em trabalho realizado por Koucher et al. (2017), as concentrações do nutriente para os respectivos

tratamentos foram próximas a  $15 \text{ g kg}^{-1}$ , demonstrando a variabilidade de acúmulo do nutriente na biomassa.

O K é o nutriente presente na biomassa remanescente mais rapidamente disponibilizado para o solo, sendo os altos índices pluviométricos responsáveis pelo aumento da solubilização do nutriente, demonstrando a grande influência das condições climáticas sobre a liberação de K, sendo que esta rápida liberação está relacionada a características do nutriente nos tecidos das plantas, estando na forma iônica e não de maneira estrutural (Costa et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2018). Em trabalho realizado por Favarato et al. (2020) o cultivo solteiro e consórcio aveia + tremoço apresentaram tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para K de 14 e 12 dias após o manejo com relações C/N de 30 e 21 para os respectivos tratamentos. Mattei et al. (2018) ao avaliarem o K remanescente na biomassa de aveia preta estimaram o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida em 21 dias após o manejo.

Koefender et al. (2016) relatam acúmulos de Ca similares aos obtidos para o cultivo solteiro no Experimento I, com acúmulos de 28 e 25  $\text{kg ha}^{-1}$  de Ca na biomassa respectivamente. A cultura do nabo forrageiro apresenta elevado acúmulo do nutriente e elevada produção de biomassa, mesmo em consórcio influenciando diretamente no maior acúmulo do nutriente (Koefender et al., 2016), como obtido pelo consórcio no Experimento II. Favarato et al. (2020) ao avaliar o acúmulo e liberação de Ca na biomassa de aveia e em consórcio com tremoço, observou quantidades acumuladas de 28 e 51  $\text{kg ha}^{-1}$ , com tempos de  $\frac{1}{2}$  vida de 41 e 29 dias após o manejo respectivamente, demonstrando capacidade de acúmulo do nutriente por espécies da família *Fabaceae*.

O elevado tempo de  $\frac{1}{2}$  vida obtido para o Ca nos Experimentos I e II são relacionadas ao fato de que o Ca é um nutriente que apresenta maior dificuldade de ser liberado para o solo devido a características do próprio nutriente, sendo constituinte da estrutura celular, como por exemplo, a parede celular (Taiz et al., 2016). Para tecidos com maior lignificação como no Experimento I, torna-se necessário maior degradação dos tecidos para que ocorra a liberação do nutriente.

A concentração de Mg nos tecidos dos diferentes tratamentos em ambos os experimentos não variou, sendo o acúmulo total do nutriente influenciado pela produção de biomassa. Comin et al. (2018) descrevem concentrações próximas a  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg ao avaliar a influência de doses de calagem para o cultivo de aveia preta, resultado esse, relacionado a maior disponibilidade do nutriente no solo. Toom et al. (2019) observaram que plantas de cobertura das famílias *Brassicaceae* e *Fabaceae* apresentam aptidão na absorção de Mg quando comparadas a plantas da família *Poaceae*, sendo obtidas concentrações próximas

a 5, 3 e 1 g kg<sup>-1</sup> para ervilhaca, nabo forrageiro e centeio, respectivamente, porém essa aptidão não pode ser observada nos experimentos do presente trabalho, sendo que para nenhum dos tratamentos foram obtidas concentrações superiores a 1,1 g kg<sup>-1</sup> de Mg.

O nutriente Mg apresenta tempo de ½ vida inferior a 100 dias após o manejo para todos os tratamentos. Em estudo realizado por Favarato et al. (2020), a aveia preta em cultivo solteiro e seu consórcio com tremoço apresentaram tempo de ½ vida de 29 e 22 dias após o manejo respectivamente, para o Experimento II, o cultivo solteiro apresentou tempo de ½ vida menor que os demais tratamentos devido a maior decomposição da biomassa durante o tempo de permanência das bolsas no campo.

Para a relação C/N, no Experimento I, ocorreu a influencia da baixa fertilidade do solo e da baixa pluviosidade, aliado ao predomínio de plantas da família *Poaceae* nos tratamentos com mais de uma espécie, resultando em maior lignificação dos tecidos e consequente aumento da relação C/N dos tratamentos. O regime hídrico influencia diretamente a relação C/N das plantas de cobertura, resultando em aumento da relação C/N em anos com precipitação reduzida (Ziech et al., 2015). Hunter et al. (2019) ao avaliarem diferentes misturas de plantas de coberturas, obtiveram relação C/N próxima a 30 para a mistura de centeio + aveia + trevo, e superior a 33 para o cultivo solteiro de aveia.

Para o Experimento II, ocorreu comportamento distinto do Experimento I, com redução da relação C/N no cultivo solteiro. Para Duval et al. (2016) o maior residual de N pelo cultivo anterior de soja possibilitou maior absorção do nutriente e redução da relação C/N de culturas de cobertura da família *Poaceae*, conferindo relação C/N de 29 e 22 para o cultivo solteiro de aveia e consórcio aveia + ervilhaca, respectivamente. As maiores relações C/N apresentadas pelo consórcio e policultivo podem ser relacionadas a maior produção de siliquis pela cultura do nabo forrageiro, com consequente redução do teor de N dos tecidos com o avanço do ciclo da cultura (Pissinati et al., 2016). Varela et al. (2017) obteve relação C/N entre 23 e 30 para o cultivo solteiro de aveia e entre 14 e 19 para o cultivo solteiro de azevém, valores condizentes aos observados para o Experimento II. Nevins et al. (2020) observou relação C/N próxima a 20 para o cultivo de centeio como planta de cobertura, resultado semelhante ao observado para o cultivo solteiro de *Poaceae*, evidencia variação da relação C/N em diferentes cultivos de plantas de cobertura, relacionados ao ciclo da cultura e características do ambiente de produção.

Relações C/N abaixo de 25 são capazes de proporcionar maiores índices de mineralização dos nutrientes contidos na biomassa das plantas de cobertura, proporcionando menores tempos de ½ vida, como observado para o cultivo solteiro. Para o policultivo com 6

espécies, Hunter et al. (2019) observaram relação C/N próxima a 25, semelhantes ao observado para o Experimento II.

## 5. Considerações Finais

Para solos de baixa fertilidade, o cultivo solteiro apresentou maior produção de biomassa e maior concentração de P e K. A relação C/N não foi influenciada pelo aumento do número de espécies de plantas de cobertura. O cultivo solteiro e policultivo apresentaram maior residual de biomassa aos 120 dias após o manejo, e o cultivo solteiro apresentou menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para a maioria dos nutrientes. Plantas de cobertura cultivadas em solos de baixa fertilidade apresentam maior relação C/N.

Para solos de elevada fertilidade, o consórcio e policultivo apresentaram maior produção de biomassa e acúmulo de Mg. O policultivo apresentou maior quantidade acumulada de N, o consórcio acumulou maior quantidade de Ca. O cultivo solteiro apresentou menor relação C/N e menor tempo de  $\frac{1}{2}$  vida para os nutrientes.

O cultivo solteiro apresenta aptidão no acúmulo e ciclagem de nutrientes e incremento superior de biomassa em solos de baixa fertilidade.

Para solos de alta fertilidade, o consórcio e policultivo são opções para maior acúmulo e ciclagem de nutrientes e elevada produção de biomassa.

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho, identificou-se limitações que ocorrem no campo, especialmente nas definições adequadas em relação a proporção de sementes indicadas aos policultivos. Assim, no futuro, investigações com proporções diferentes de sementes/plantas por hectare são necessárias a fim de aprimorar os trabalhos com plantas de cobertura cultivadas em sistemas de policultivos. Isso é necessário, pois dependendo das proporções e quantidade de sementes, pode-se gerar competição das diferentes espécies por recursos (água, luz, nutrientes). Assim, se isto for bem definido, pode-se potencializar a utilização das plantas de cobertura em policultivos, proporcionando maior desenvolvimento das plantas de cobertura e favorecendo o efeito sinérgico das diferentes características intrínsecas de cada espécie.

## Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico

e Tecnológico) e Fundação Araucária (Fundação Araucária de Apoio Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná), pelo apoio financeiro.

## Referências

Alcântara, F. A. D., Neto, F., Eduardo, A., Paula, M. B. D., Mesquita, H. A. D., & Muniz, J. A. (2000). Green manuring in the recovery of degraded oxisoil fertility. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(2), 277–288. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200006>

Alvarenga, R. C., Cabezas, W. A. L., Cruz, J. C., & Santana, D. P. (2001). Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, 25–36.

Bortoluzzi, E. C., & Eltz, F. L. F. (2000). Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24(2), 449–457. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200021>

Brito, L. F., Galvão, J. C. C., Giehl, J., Coelho, S. P., Campos, S. de A., Barrella, T. P., Dos Santos, T. R., Mendonça, B. F., & De Jesus, E. V. (2019). Decomposition of cover crop mulch and weed control under a no-till system for organic maize. *Bioscience Journal*, 35(5). <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n5a2019-41836>

Claessen. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. (2a ed). EMBRAPA-CNPQ.

Comin, J. J., Ambrosini, V. G., Rosa, D. J., Basso, A., Loss, A., Melo, G. W. B. de, Lovato, P. E., Lourenzi, C. R., Ricachenevsky, F. K., & Brunetto, G. (2018). Calagem como forma de redução da toxidez por cobre em aveia preta. *Ciência Rural*, 48(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170278>

Costa, C. H. M. da, Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., & Neto, J. F. (2016). Phytomass decomposition and nutrients release from pearl millet, guinea grass and palisade grass. *Bioscience Journal*, 32(5). <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n5a2016-32982>

Cremones, F. E. (2018). *Uso de plantas de cobertura na entressafra de milho e soja*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Drost, S. M., Rutgers, M., Wouterse, M., de Boer, W., & Bodelier, P. L. E. (2020). Decomposition of mixtures of cover crop residues increases microbial functional diversity. *Geoderma*, 361, 114060. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114060>

Duval, M. E., Galantini, J. A., Capurro, J. E., & Martinez, J. M. (2016). Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil and Tillage Research*, 161, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.006>

EMBRAPA (Org.). (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. (5a ed).

Favarato, L. F., Souza, J. L. de, Guarçoni, R. C., Fornazier, M. J., & Martins, A. G. (2020). Persistência e liberação de nutrientes de diferentes palhadas no sistema plantio direto orgânico de milho verde. *Impacto, Excelência e Produtividade das Ciências Agrárias no Brasil 4*, 26–41. <https://doi.org/10.22533/at.ed.5372021053>

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039–1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Filho, A. P., Filho, J. T., Salviano, A. M., Yuri, J. E., & Giongo, V. (2019). Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. *African Journal of Agricultural Research*, 14(5), 241–251. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13600>

Freitas, M. do S. C. de, Souto, J. S., Gonçalves, M., Almeida, L. E. da S., Salviano, A. M., & Giongo, V. (2019). Decomposition and nutrient release of cover crops in mango cultivation in Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 43. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170402>

Halde, C., & Entz, M. H. (2016). Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(1), 59–71. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0095>



Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., & Hawrylak-Nowak, B. (2018). *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer.

Hentz, P., Carvalho, N. L., Luz, L. V., & Barcellos, A. L. (2014). Ciclagem de Nitrogênio em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. *Ciência e Natura*, 36(2), 663–676. <https://doi.org/10.5902/2179460X12629>

Hunter, M. C., Schipanski, M. E., Burgess, M. H., LaChance, J. C., Bradley, B. A., Barbercheck, M. E., Kaye, J. P., & Mortensen, D. A. (2019). Cover crop mixture effects on maize, soybean, and wheat yield in rotation. *Agricultural & Environmental Letters*, 4(1). <https://doi.org/10.2134/ael2018.10.0051>

IAPAR. (2018). *Class\_clim—Instituto Agronômico do Paraná—IAPAR*. Recuperado de <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>

Khan, Md. T., Nadeem, F., Gao, Y., Yang, Y., Wang, X., Zeng, Z., & Hu, Y. (2019). A larger root system in oat (*Avena nuda* L.) is coupled with enhanced biomass accumulation and hormonal alterations under low nitrogen. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17, 4631–4653. [https://doi.org/10.15666/aeer/1702\\_46314653](https://doi.org/10.15666/aeer/1702_46314653)

Koefender, J., Schoffel, A., Manfio, C. E., & Golle, D. P. (2016). Biomass and nutrient cycling by winter cover crops. *Revista Ceres*, 63(6), 816–821. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201663060010>

Koucher, L. de P., Brunetto, G., Müller Júnior, V., Souza, M., Lima, A. P., Giacomini, S. J., Couto, R. da R., Kurtz, C., Carranca, C. L. V. de A. F., & Comin, J. J. (2017). Nitrogen transfer from cover crop residues to onion grown under minimum tillage in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 41. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160347>

Mattei, E., Oliveira, P. S. R. de, Rampim, L., Egewarth, J. F., Rego, C. A. R. de M., Piano, J. T., & Herrera, J. L. de. (2018). Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. *Bioscience Journal*, 34(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n6a2018-42036>

Menezes, C. R. J. (2016). *Adubação nitrogenada no milho em sucessão à plantas de cobertura sob sistemas de cultivo do solo*. Recuperado de <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/1696>

NEPAR-SCBS. (2019). *Manual de métodos de análise de solo* (2a ed).

Nevins, C. J., Lacey, C., & Armstrong, S. (2020). The synchrony of cover crop decomposition, enzyme activity, and nitrogen availability in a corn agroecosystem in the Midwest United States. *Soil and Tillage Research*, 197, 104518. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104518>

Oliveira, R. A. de, Brunetto, G., Loss, A., Gatiboni, L. C., Kürtz, C., Müller Júnior, V., Lovato, P. E., Oliveira, B. S., Souza, M., & Comin, J. J. (2016). Cover crops effects on soil chemical properties and onion yield. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150099>

Oliveira, R. A. de, Comin, J. J., Tiecher, T., Piccin, R., Somavilla, L. M., Loss, A., Lourenzi, C. R., Kürtz, C., & Brunetto, G. (2017). Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160272>

Pavinato, P. S., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Sartor, L. R., & Withers, P. J. A. (2017). Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. *Agronomy Journal*, 109(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.06.0323>

Pellin, D. M. P., Souza, F. R., Wendland, S. B., Bergamin, A. C., Vitorino, A. C. T., & Colla, J. A. A. (2019). Soil coverage plants preceding maize culture submitted to doses of nitrogen fertilization. *Brazilian Journal of Agriculture*, 94(2), 153–165. <https://doi.org/10.37856/bja.v94i2.3236>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Brasil. Recuperado de <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/15824>

Pissinatti, A., Moreira, A., & Santoro, P. H. (2016). Biomass Yield and Nutrients Concentration in Shoot Dry Weight of Winter Cover Crops for No-Tillage System. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(20), 2292–2305. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1243711>

Poffenbarger, H. J., Mirsky, S. B., Weil, R. R., Kramer, M., Spargo, J. T., & Cavigelli, M. A. (2015). Legume proportion, poultry litter, and tillage effects on cover crop decomposition. *Agronomy Journal*, 107(6), 2083–2096. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0065>

Radicetti, E., Mancinelli, R., Moschetti, R., & Campiglia, E. (2016). Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 155, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.004>

Rampim, L., Pott, C. A., Volanin, A. J. D., Spliethoff, J., Camilo, E. L., Camilo, M. L., Conrado, A. M. C., Kolling, C. E., Conrado, P. M., & Neto, E. G. (2020). Influência do manejo mecânico e da adubação verde nos atributos físicos de Latossolo. *Research, Society and Development*, 9(5), e173953258. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3258>

Rezende, C. d. P., Cantarutti, R. B., Braga, J. M., Gomide, J. A., Pereira, J. M., Ferreira, E., Tarré, R., Macedo, R., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Cadisch, G., Giller, K. E., & Boddey, R. M. (1999). Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54(2), 99–112. <https://doi.org/10.1023/A:1009797419216>

Rheinheimer, D. dos S., Fornari, M. R., Bastos, M. C., Fernandes, G., Santanna, M. A., Calegari, A., dos Santos Canalli, L. B., Caner, L., Labanowski, J., & Tiecher, T. (2019). Phosphorus distribution after three decades of different soil management and cover crops in subtropical region. *Soil and Tillage Research*, 192, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.018>

Silva, A. A. da, Silva, P. R. F. da, Suhre, E., Argenta, G., Strieder, M. L., & Rambo, L. (2007). Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos

do milho em sucessão. *Ciência Rural*, 37(4), 928–935. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400002>

Silva, F. C. da. (2010). *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes* (Edição: 2ª). Embrapa.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2016). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal* (6a ed.). Artmed.

Tambara, A. A. C., Sippert, M. R., Jauris, G. C., Flores, J. L. C., Henz, É. L., & Velho, J. P. (2017). Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3), 235–241. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i3.34661>

Thomas, R. J., & Asakawa, N. M. (1993). Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(10), 1351–1361. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L)

Toom, M., Talgre, L., Mäe, A., Tamm, S., Narits, L., Edesi, L., Haljak, M., & Lauringson, E. (2019). Selecting winter cover crop species for northern climatic conditions. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35(4), 263–274. <https://doi.org/10.1080/01448765.2019.1627908>

Torres, J. L. R., & Pereira, M. G. (2014). Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num Latossolo no Cerrado mineiro. *Comunicata Scientiae*, 5(4), 419–426. <https://doi.org/10.14295/cs.v5i4.508>

Varela, M. F., Barraco, M., Gili, A., Taboada, M. A., & Rubio, G. (2017). Biomass decomposition and phosphorus release from residues of cover crops under no-tillage. *Agronomy Journal*, 109(1), 317–326. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0168>

Wendling, M., Büchi, L., Amossé, C., Sinaj, S., Walter, A., & Charles, R. (2016). Influence of root and leaf traits on the uptake of nutrients in cover crops. *Plant and Soil*, 409(1), 419–434. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2974-2>

Wolschick, N., Barbosa, F., Bertol, I., Fiorentin dos Santos, K., Werner, R., & Bagio, B. (2016). Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 15, 134–143. <https://doi.org/10.5965/223811711522016134>

Wutke, E. B., Calegari, A., & Wildner, L. do P. (2014). Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In *ADUBAÇÃO VERDE E PLANTAS DE COBERTURA NO BRASIL: Fundamentos e Prática* (1º ed, Vol. 1, p. 61–167).

Ziech, A. R. D., Conceição, P. C., Luchese, A. V., Balin, N. M., Candiotto, G., & Garmus, T. G. (2015). Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(5), 374–382. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Edson Lucas Camilo – 45%

Marcelo Marques Lopes Muller – 10%

Leandro Rampim – 10%

Marcelo Luiz Camilo – 05%

Weslei Ricardo Graffunder – 05%

Jonas Luiz Kulik – 05%

Cristiano Andre Pott – 20%