

IDEAU

## **ANÁLISE DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA E EFEITO AO AMBIENTE PRODUTIVO**

### **ANALYSIS OF COVER CROP USE AND ITS EFFECT ON THE PRODUCTIVE ENVIRONMENT**

### **ANÁLISIS DEL USO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y SU EFECTO EN EL AMBIENTE PRODUCTIVO**

**Gabriel Francisco Rambo**

Bacharel em Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Educacional de Passo Fundo (IDEAU), Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.  
E-mail: gabrielrambo03@gmail.com

**Guilherme Victor Vanzetto**

Doutor em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: guilhermevanzetto@gmail.com

#### **RESUMO**

O estudo analisou a eficiência de diferentes manejos de plantas de cobertura na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, visando otimizar a produtividade agrícola. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade rural, em Mormaço – RS, em um latossolo de clima subtropical úmido (Cfa, Köppen). O experimento durou 104 dias, com delineamento inteiramente casualizado. Foram testados dez tratamentos, incluindo espécies como aveias, centeio, ervilhaca, nabo forrageiro, misturas de aveias e misturas de plantas comerciais. A produção de biomassa, características químicas, físicas e biológicas dos solos foram avaliadas, com validação estatística pelo teste de Tukey 5%. Os resultados mostraram que o Nabo forrageiro, o Mix de plantas Green Cover 2.4A e a Ervilhaca tiveram a maior produção de biomassa, sendo o Nabo o mais eficiente em massa verde e massa seca. Além disso, o Nabo forrageiro e o Green Cover 2.4A reduziram a compactação do solo e favoreceram o crescimento radicular, com o Mix de plantas Green Cover 2.4A apresentando melhor estrutura do solo. Conclui-se que essas coberturas foram as mais eficazes no armazenamento de nutrientes e na melhoria estrutural do solo. Recomenda-se o monitoramento contínuo e o uso estratégico de plantas de cobertura para promover a sustentabilidade e a produtividade agrícola.

**Palavras-chave:** Biomassa. Qualidade do Solo. Produtividade. Manejo do Solo. Sustentabilidade Agrícola.

---

DOI:10.55905/ramviv12n1-001

Submitted on: 4.13.2025 | Accepted on: 4.14.2025 | Published on: 4.22.2025

## ABSTRACT

The study analyzed the efficiency of different cover crop management systems in improving soil chemical, physical, and biological conditions, thereby enhancing agricultural productivity. The research was conducted on a rural property in Mormaço, RS, in a humid subtropical region with Oxisoil (Cfa, Köppen). The experiment lasted 104 days and followed a completely randomized design. Ten treatments were tested, including species such as oats, rye, vetch, forage radish, oat mixtures, and commercial plant mixtures. Biomass production, as well as the chemical, physical, and biological characteristics of the soil, were evaluated, with statistical validation using Tukey's test at a 5% significance level. The results showed that forage radish, the Green Cover 2.4A plant mix, and vetch had the highest biomass production, with forage radish being the most efficient in terms of fresh and dry mass. Additionally, forage radish and Green Cover 2.4A reduced soil compaction and promoted root growth, with the Green Cover 2.4A mix contributing to better soil structure. It was concluded that these cover crops were the most effective in nutrient storage and soil structural improvement. Continuous monitoring and the strategic use of cover crops are recommended to enhance sustainability and agricultural productivity.

**Keywords:** Biomass. Soil Quality. Productivity. Soil Management. Agricultural Sustainability.

## RESUMEN

El estudio analizó la eficiencia de diferentes manejos de cultivos de cobertura para mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, con el objetivo de optimizar la productividad agrícola. La investigación se realizó en una propiedad rural, en Mormaço – RS, en un oxisol con clima subtropical húmedo (Cfa, Köppen). El experimento tuvo una duración de 104 días, con un diseño completamente al azar. Se probaron diez tratamientos, incluidas especies como avena, centeno, arveja, nabo forrajero, mezclas de avena y mezclas de plantas comerciales. Se evaluó la producción de biomasa, las características químicas, físicas y biológicas de los suelos, con validación estadística mediante la prueba de Tukey al 5%. Los resultados mostraron que el Nabo forrajero, la mezcla vegetal Green Cover 2.4A y la Vicia tuvieron la mayor producción de biomasa, siendo el Nabo el más eficiente en masa verde y masa seca. Además, el nabo forrajero y Green Cover 2.4A redujeron la compactación del suelo y favorecieron el crecimiento de las raíces, mientras que la mezcla de plantas Green Cover 2.4A mostró una mejor estructura del suelo. Se concluye que estas coberturas fueron las más efectivas para almacenar nutrientes y mejorar la estructura del suelo. Se recomienda el seguimiento continuo y el uso estratégico de cultivos de cobertura para promover la sostenibilidad y la productividad agrícola.

**Palabras clave:** Biomasa. Calidad del Suelo. Productividad. Manejo del Suelo. Sostenibilidad Agrícola.

## 1 INTRODUÇÃO

A adoção de plantas de cobertura tem se expandido na agricultura moderna devido ao seu papel fundamental na conservação e melhoria da estrutura do solo. Para alcançar altos tetos produtivos, é essencial que o solo apresente fertilidade biológica e química, além de características físicas favoráveis ao desenvolvimento das culturas. No entanto, práticas agrícolas inadequadas podem comprometer esses atributos, reduzindo a produtividade e a sustentabilidade do sistema produtivo.

Historicamente, a agricultura no Brasil iniciou-se com o plantio convencional, caracterizado pelo revolvimento do solo. Com o avanço das pesquisas, o Sistema Plantio Direto (SPD) foi introduzido como uma alternativa conservacionista, reduzindo a exposição do solo a processos erosivos e mantendo a cobertura vegetal. Contudo, desafios como a compactação do solo ainda persistem, afetando a infiltração de água, aeração e o desenvolvimento da biota edáfica. O uso inadequado de monoculturas também intensifica a degradação, limitando a ciclagem de nutrientes e comprometendo a sustentabilidade do agroecossistema.

Diante desse cenário, estratégias como a diversificação de coberturas vegetais no período outonal surgem como alternativas viáveis para mitigar os impactos negativos no solo. Além de reduzir a compactação, essas práticas promovem a atividade biológica e contribuem para o equilíbrio nutricional do ecossistema agrícola. Assim, compreender os efeitos das diferentes coberturas vegetais no ambiente produtivo torna-se essencial para otimizar a eficiência dos sistemas agrícolas e garantir a longevidade dos recursos naturais.

O presente estudo tem como objetivo analisar o efeito de diferentes coberturas vegetais sobre as condições químicas, físicas e biológicas do solo. Especificamente, busca-se:

- Avaliar a influência das coberturas vegetais na mitigação da compactação do solo;
- Quantificar a produção de biomassa e sua contribuição para a ciclagem de nutrientes;

- Examinar os impactos das coberturas vegetais na atividade biológica do solo;
- Verificar a melhoria das condições químicas do solo, como disponibilidade de nutrientes;
- Identificar as espécies de cobertura mais eficazes para adoção em sistemas agrícolas sustentáveis.

Os resultados permitirão recomendar as melhores estratégias de manejo, considerando a eficiência das coberturas vegetais na conservação do solo e na promoção da produtividade agrícola.

## 2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como um experimento de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e qualitativa. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade rural, localizada no município de Mormaço, Rio Grande do Sul (28°40'38.6"S; 52°41'04.2"W), durante o período de 26/05/2023 a 07/09/2023, totalizando 104 dias de cultivo. A propriedade, encontra-se a 405 metros de altitude e está inserida no Bioma Mata Atlântica, sob clima subtropical úmido (Cfa) conforme a classificação de Köppen.

Geologicamente, a região integra o derrame basáltico sul-americano da bacia sedimentar do Paraná, com predominância de rochas da Formação Serra Geral, de origem toleítica. Os solos locais são majoritariamente Argissolos e Latossolos (90%), seguidos por Neossolos (5%) e Gleissolos (5%) (KUHNS et al., 2018). A área experimental apresenta um Latossolo Eutrófico, caracterizado por perfil profundo, textura argilosa, saturação de bases superior a 50% e alto teor de ferro, com horizonte diagnóstico B Latossólico (Bw).

O experimento avaliou diferentes coberturas vegetais, sendo conduzido com 10 tratamentos e 4 repetições. A área abrange 480 m<sup>2</sup>, dividida em 40 parcelas de 12 m<sup>2</sup> cada, adotando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), o que assegura equidade na distribuição das unidades experimentais. A Tabela 1 apresenta a classificação textural da área experimental, enquanto a Tabela 2 detalha os tratamentos, incluindo

recomendações de semeadura e a composição das misturas de sementes utilizadas (consórcios de plantas).

Tabela 1- Análise física da área (Granulométrica).

Composição Granulométrica [%]		Classe Textural	Tipo de solo (Textura)	
Areia Silte	Argila	Argiloso	MAPA 2/2008	MAPA 1/2022
33 21	46		TIPO 3 AD5	

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 2 – Tratamentos, recomendações de semeadura e composição dos mix.

Tratamentos	Kg/ha <sup>-1</sup>	Composição dos Tratamentos [%]				
		Aveia B.	Aveia P.	Centeio	Ervilhaca	Nabo
Testemunha (Pousio)	-	-	-	-	-	-
Aveia Branca*	80	100	-	-	-	-
Aveia Preta*	80	-	100	-	-	-
Centeio*	140	-	-	100	-	-
Ervilhaca*	60	-	-	-	100	-
Nabo Forrageiro*	35	-	-	-	-	100
Cobertura bagual*	45	90	10	-	-	-
Green Cover 1.3A*	45	-	53	40	7	-
Green Cover 2.3A*	45	60	10	15	15	-
Green Cover 2.4A*	45	60	10	15	-	15

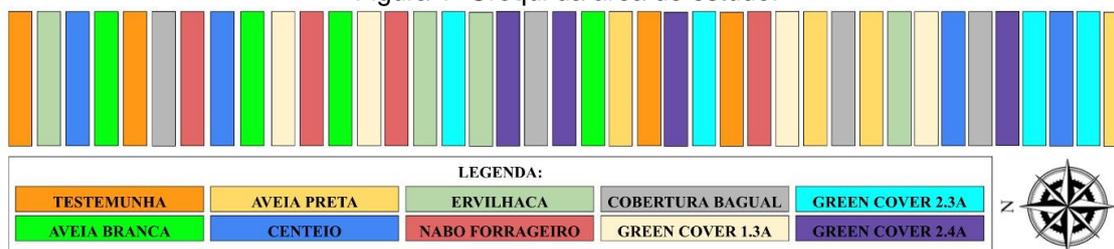
\*Aveia branca (GMX Tambo); Aveia preta (GMX Picasso); Centeio (BRS Progresso); Ervilhaca (SS Ametista); Nabo forrageiro (GMX Tatu); Cobertura Bagual (GMX Tambo e GMX Picasso); Green Cover 1.3A (GMX Picasso; BRS Progresso e SS Ametista); Green Cover 2.3A (GMX Tambo; GMX Picasso; BRS Progresso; SS Ametista); Green Cover 2.4A (GMX Tambo; GMX Picasso; BRS Progresso e IPR 116).

Fonte: Autores, 2023.

A implantação do experimento incluiu a dessecação pré-semeadura, realizada 15 dias antes da semeadura (DAS), com aplicação de 1,5 Kg.ha<sup>-1</sup> de Glifosato 720 g.Kg<sup>-1</sup>, 0,5 L.ha<sup>-1</sup> de Cletodim 240 g.L<sup>-1</sup>, 0,07 Kg.ha<sup>-1</sup> de Saflufenacil 700 g.Kg<sup>-1</sup> e óleo vegetal 0,5 L.ha<sup>-1</sup>, em 7 DAS foi aplicado 2L.ha<sup>-1</sup> de Glufosinato-Sal de amônio 200g.L<sup>-1</sup>, ambas as aplicações foram conduzidas com volume de calda de 120 L.ha<sup>-1</sup>.

Não foi utilizada adubação de base, e a preparação do solo incluiu gradagem pré-semeadura para homogeneização da palhada e revolvimento do solo. Os tratamentos foram semeados a lanço de forma casualizada, seguidos por gradagem para recobrimento das sementes. A Figura 1 apresenta o croque da área.

Figura 1- Croqui da área de estudo.



Fonte: Autores, 2023.

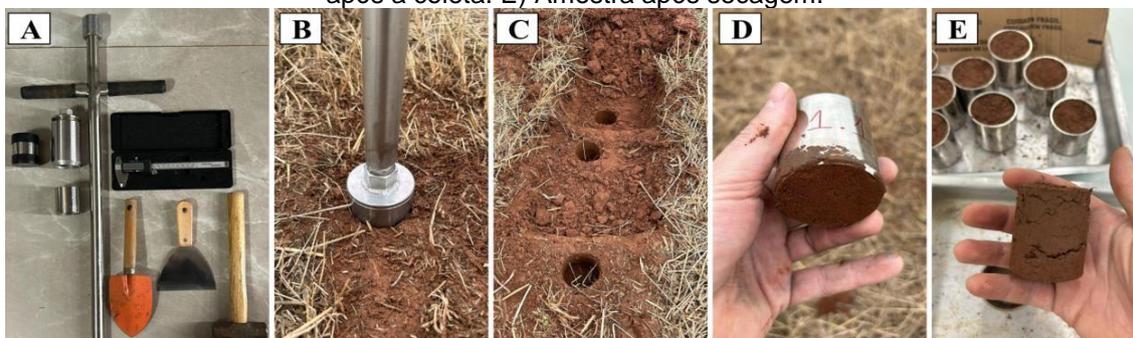
Após 100 DAS, quando as culturas atingiram o período reprodutivo, foi realizada a coleta da biomassa, seguida da dessecação da área total com 2 Kg.ha<sup>-1</sup> de Glifosato 720g.Kg, 0,5 L.ha<sup>-1</sup> de Cletodim 240 g.L, 0,08 Kg.ha<sup>-1</sup> de Clorimurrom Etilico 250 g.Kg e 0,5 L.ha<sup>-1</sup> de Óleo Vegetal (Adjuvante), o volume de calda utilizado foi de 150 L.ha<sup>-1</sup>. Três dias após, uma roçadeira foi utilizada para o manejo das coberturas e início das avaliações.

A precipitação foi monitorada por meio de 10 pluviômetros distribuídos nas parcelas. A biomassa vegetal foi avaliada pela massa verde, seca e a umidade do tecido vegetal, utilizando amostras de 1 m<sup>2</sup> por repetição. As amostras foram pesadas e em seguida, secas em estufa (75°C por 48h).

A resistência a penetração do solo, foi medida com o penetrógrafo Falker Penetrolog, seguindo a referencia de 1500 kPa como limite para o crescimento das raízes (FLOSS, 2022). Os resultados foram expressos como médias em três camadas do solo (0-6 cm, 6-12 cm e 12-18 cm). A densidade do solo foi determinada por anéis volumétricos nas mesmas profundidades (0-18 cm). Para maior precisão, a coleta foi feita com solo úmido, evitando deformações em solos excessivamente secos ou molhados (TEIXEIRA, et al., 2017).

A densidade do solo foi determinada com amostras coletadas via trado castelinho e anéis volumétricos, identificadas conforme tratamento e profundidade. Após pesagem da massa fresca, as amostras foram secas a 105°C por 48h para cálculo da densidade, considerando o volume conhecido dos anéis. A Figura 2 apresenta detalhadamente as etapas deste processo e os equipamentos utilizados para essa amostragem.

Figura 2- A) Trado castelinho, anéis volumétricos; pá, espátula, marreta e paquímetro; B) Coleta amostral; C) Coletas nas diferentes profundidades (0-18cm); D) Identificação do anel após a coleta. E) Amostra após secagem.



Fonte: Autores, 2023.

A avaliação biológica do solo foi realizada por meio da tecnologia BioAS, que incorpora as enzimas arilsulfatase e beta-glicosidase, indicadoras da ciclagem de nutrientes e da qualidade biológica do solo. O Índice de Qualidade Química e Biológica do Solo (IQSFERTBIO) foi calculado com base na fertilidade e funções do solo, como reciclagem e suprimento de nutrientes (EMBRAPA, 2021). A coleta para a BioAS ocorreu 15 dias após a dessecação das plantas de cobertura, utilizando um trado calador para amostras de 0-10 cm, posteriormente enviadas ao laboratório Laborsolo, em Londrina-PR.

A análise estatística foi conduzida no programa Sisvar, utilizando ANOVA e teste de Tukey (5% de probabilidade). Os dados pluviométricos foram analisados pelo coeficiente de variação dos pluviômetros instalados na área experimental.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 CONDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO

A efetivação do evento El Niño favoreceu a ocorrência de chuvas regulares, com volumes acumulados significativos. As projeções climáticas indicaram uma maior frequência e distribuição uniforme das precipitações, resultando em volumes acima da média em todo o estado (SIMAGRORS, 2023). Na Tabela 3 são apresentados os registros pluviométricos obtidos na área de pesquisa.

Tabela 3- Resultados obtidos a partir do acompanhamento pluviométrico (Período experimental, ou seja, de 26/05/2023 até 07/09/2023, totalizando 104 dias após a semeadura).

<b>Registro Pluviométrico [mm]</b>			
<b>Equipamentos</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Média Diária</b>	<b>Média Mensal</b>
10 Pluviômetros	846,38	8,14	247,54
<b>CV [%]</b>	1,18	1,18	1,18

Fonte: Autores, 2023.

A precipitação durante o período experimental totalizou 846,38 mm em 104 dias, com uma média diária de 8,14 mm e mensal de 247,54 mm. No entanto, a distribuição irregular alternou estiagens com chuvas intensas, impactando o solo.

As plantas de cobertura desempenham um papel essencial na proteção do solo, reduzindo a erosão e melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Ao serem cultivadas entre os ciclos produtivos, ajudam a manter a estrutura do solo e aumentar sua matéria orgânica (Pruski, 2009).

A vegetação também dissipa o impacto das gotas de chuva, reduzindo o deslocamento de partículas e minimizando a erosão. Além disso, a decomposição dessas plantas enriquece o solo com matéria orgânica e húmus, melhorando sua porosidade e capacidade de retenção de água (Bertoni; Lombardi Neto, 2017).

### 3.2 ANÁLISE DE BIOMASSA

A produção agrícola é crucial para a sustentabilidade global, pois as plantas, durante o cultivo, absorvem CO<sub>2</sub>, liberam oxigênio e geram biomassa. A geração de palha aumenta a matéria orgânica no solo, melhorando suas propriedades e evitando que o CO<sub>2</sub> retorne rapidamente à atmosfera, contribuindo para o sequestro de carbono (Floss, 2022). Antes da realização da dessecação visou-se avaliar os resultados de fitomassa que cada tratamento apresentou. Portanto, na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos através da mensuração massa fresca, massa seca e umidade retida na palhada (Sem considerar raízes).

Tabela 4- Resultados da massa fresca, seca e umidade vegetal (Período experimental 104 dias da semeadura).

Tratamentos	Massa fresca	Massa seca	Umidade
	Ton/ha <sup>-1</sup>		%
Testemunha	7,21 h	1,68 g	76,37 c
Aveia Branca (GMX Tambo)	18,01 e	3,28 e	81,41 b
Aveia Preta (GMX Picasso)	10,05 g	3,99 c	60,12 d
Centeio (BRS Progresso)	10,45 g	3,68 d	64,90 d
Ervilhaca (SS Ametista)	33,66 b	3,99 c	88,09 a
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	41,44 a	6,25 a	84,98 b
Cobertura bagual	18,97 d	2,61 f	80,37 b
Green Cover 1.3 A	12,13 f	2,34 f	80,40 b
Green Cover 2.3 A	18,62 d	3,60 d	80,38 b
Green Cover 2.4 A	27,35 c	5,66 b	79,45 b
<b>CV [%]</b>	1,64	6,14	5,16

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

Os resultados destacam o Nabo Forrageiro como a cultura com maior produção de massa fresca, seguido pela Ervilhaca e o Green Cover 2.4 A. Na sequência, tiveram bom desempenho a Cobertura Bagual, Green Cover 2.3A, Aveia Branca e Green Cover 1.3A. O Centeio e a Aveia Preta apresentaram resultados semelhantes, ficando à frente apenas da Testemunha, que obteve o menor rendimento.

Na produção de massa seca, o Nabo Forrageiro também liderou, seguido pelo Green Cover 2.4 A e pela Ervilhaca, que não diferiram estatisticamente da Aveia Preta. Em seguida, apareceram o Centeio e o Green Cover 2.3A, com a Aveia Branca na quinta posição. O Cobertura Bagual e o Green Cover 1.3A ficaram na penúltima colocação, enquanto a Testemunha teve o pior desempenho.

O Nabo Forrageiro mostrou grande potencial como cultura de cobertura, com produção de biomassa entre 20 e 65 t/ha e matéria seca de 3 a 9 t/ha (CARVALHO et al., 2022). O teor de água nas plantas também foi avaliado, destacando as dicotiledôneas solteiras, como Ervilhaca e Nabo Forrageiro,

seguidas pela Aveia Branca e pelos consórcios vegetais. A Testemunha ficou na penúltima posição, e a Aveia Preta na última.

Para o sucesso do plantio direto, são necessárias de 8 a 12 t/ha de resíduos vegetais anuais (Denardin; Lemainski, 2017). A rotação entre soja e pousio não gera essa quantidade, comprometendo a qualidade do solo. Assim, o cultivo de três ou mais culturas anuais, por rotação, consorciação ou sucessão, é essencial.

A ausência de cobertura acelera a decomposição da matéria orgânica, reduz a atividade biológica e intensifica a erosão. A fitomassa protege o solo contra chuvas, reduz o escoamento superficial e fortalece sua resistência à erosão hídrica e eólica (Pruski, 2009). Além disso, 10 t/ha de palha seca contêm cerca de 5 t de carbono, fixando anualmente 18 t de CO<sub>2</sub> por hectare, o equivalente às emissões da queima de 8 mil litros de gasolina (Floss, 2022).

### 3.3 ANÁLISES DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

A estrutura física do solo, incluindo sua permeabilidade e porosidade, é essencial para a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes às plantas. A compactação do solo reduz os macroporos, dificultando a penetração das raízes, a infiltração de água e a retenção de ar. A compactação pode ser avaliada com um penetrômetro ou cilindros volumétricos para determinar a densidade aparente do solo (Floss, 2022).

Essa questão é uma preocupação crescente entre os produtores, pois um diagnóstico preciso depende do uso de ferramentas adequadas e da compreensão da gravidade e profundidade da compactação (Falker, 2007). Na Tabela 5, os tratamentos são comparados quanto à menor profundidade em que se encontra a resistência do solo à penetração superior a 1500 kPa, considerada crítica ao desenvolvimento radicular (Floss, 2022).

Tabela 5- Profundidade em que a resistência à penetração foi menor que a RP limitante (1500 kPa), (Período experimental 104 dias da semeadura).

Tratamentos	Resistência a Penetração <1500 [kPa]
	Profundidade [cm]
Testemunha	5,50 c
Aveia Branca (GMX Tambo)	13,00 b
Aveia Preta (GMX Picasso)	12,75 b
Centeio (BRS Progresso)	9,50 b
Ervilhaca (SS Ametista)	11,00 b
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	17,50 a
Cobertura bagual	9,50 b
Green Cover 1.3 A	10,00 b
Green Cover 2.3 A	13,5 b
Green Cover 2.4 A	16,50 a
<b>CV [%]</b>	<b>28,68</b>

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia Preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

De acordo com a literatura, resistências superiores a 1500 kPa podem restringir o crescimento das raízes, como observado na Testemunha, que atingiu essa resistência a apenas 5,5 cm de profundidade. Em contraste, o Nabo Forrageiro e o consórcio Green Cover 2.4A se destacaram com profundidades de 17,5 cm e 16,5 cm, respectivamente, e resistência abaixo de 1500 kPa, demonstrando sua eficácia na melhoria da qualidade do solo.

A soja, principal cultura econômica da região de Mormaço RS, exige resistências inferiores a 1700 kPa até 30 cm de profundidade para alcançar produtividade acima de 4,2 t/ha (Sako *et al.*, 2016). Na Tabela 6 é possível visualizar os resultados da resistência à penetração em diferentes camadas do solo, que incluem as profundidades de 0 a 6 cm, de 6 a 12 cm e de 12 a 18 cm.

Tabela 6- Resistência à penetração (média por camadas), (Período experimental 104 dias da semeadura).

Tratamentos*	Resistência à penetração [kPa]		
	0 a 6 cm	6 a 12 cm	12 a 18 cm
Testemunha	420,62 a	1680,50 c	2004,54 a
Aveia Branca (GMX Tambo)	472,00 a	1292,16 b	1868,75 a
Aveia Preta (GMX Picasso)	300,79 a	1229,04 b	1938,70 a
Centeio (BRS Progresso)	312,54 a	1236,62 b	1683,95 a
Ervilhaca (SS Ametista)	409,12 a	1263,25 b	1759,66 a
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	419,87 a	1011,41 b	1515,54 a
Cobertura bagual	519,12 a	1478,37 b	1769,12 a
Green Cover 1.3 A	464,83 a	1452,75 b	1761,50 a
Green Cover 2.3 A	352,37 a	1138,37 b	1822,50 a
Green Cover 2.4 A	195,79 a	651,33 a	1385,54 a
<b>CV [%]</b>	45,03	30,97	22,69

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia Preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

Nos resultados de resistência à penetração, observou-se que na camada de 0 a 6 cm não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, devido ao papel das raízes e da gradagem na descompactação. Na camada de 6 a 12 cm, a Testemunha foi o tratamento menos eficiente, com resistência superior a 1500 kPa, enquanto os consórcios vegetais mantiveram valores abaixo dessa marca, destacando o Green Cover 2.4A com 651,33 kPa. Já na camada de 12 a 18 cm, não houve alterações significativas na resistência à penetração, embora as raízes de várias culturas tivessem algum impacto. Na Tabela 7, estão registrados os resultados obtidos por meio da análise de densidade do solo em três camadas distintas, sendo de 0 a 6 cm, de 6 a 12 cm e de 12 a 18 cm.

Tabela 7- Densidade do solo g/cm<sup>3</sup> obtido através de anéis volumétricos, Período experimental 104 dias da semeadura).

Tratamentos*	Densidade do Solo [g.cm <sup>3</sup> ]		
	0 a 6 cm	6 a 12 cm	12 a 18 cm
Testemunha	1,58 a	1,73 e	1,85 e
Aveia Branca (GMX Tambo)	1,56 a	1,66 d	1,72 d
Aveia Preta (GMX Picasso)	1,48 a	1,66 d	1,67 c
Centeio (BRS Progresso)	1,56 a	1,60 c	1,63 b
Ervilhaca (SS Ametista)	1,42 a	1,65 d	1,64 b
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	1,39 a	1,51 b	1,60 b
Cobertura bagual	1,45 a	1,62 c	1,65 b
Green Cover 1.3 A	1,54 a	1,55 c	1,65 b
Green Cover 2.3 A	1,53 a	1,56 c	1,64 b
Green Cover 2.4 A	1,42 a	1,46 a	1,48 a
<b>CV [%]</b>	7,95	4,58	3,90

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

A densidade do solo foi avaliada nas mesmas camadas, com destaque para a camada de 6 a 12 cm, onde o tratamento Green Cover 2.4A obteve a menor densidade (1,46 g/cm<sup>3</sup>), seguido pelo Nabo Forrageiro (1,51 g/cm<sup>3</sup>). Na camada de 12 a 18 cm, o Green Cover 2.4A também se destacou com uma densidade de 1,48 g/cm<sup>3</sup>, evidenciando o efeito benéfico das culturas de cobertura na melhoria da estrutura do solo. A diversidade radicular dos consórcios vegetais favorece a taxa de infiltração de água e a formação de agregados, reduzindo a densidade e a resistência à penetração (Santos, 2022).

Para solos ideais, a resistência à penetração deve ser inferior a 1500 kPa, e a densidade aparente abaixo de 1,25 g/cm<sup>3</sup>. Resistências de 1500 a 3000 kPa ou densidades de 1,25 a 1,5 g/cm<sup>3</sup> são toleráveis e podem ser corrigidas pela ação das raízes, mas valores superiores a 1,5 g/cm<sup>3</sup> são problemáticos (Floss, 2022).

### 3.4 ANÁLISE BIOLÓGICA E RELAÇÃO QUÍMICA

A BioAS, por meio do atributo ciclagem, analisa a reciclagem de nutrientes, a formação e desintegração da matéria orgânica e a capacidade do solo de armazenar e suprir nutrientes. Essa avaliação considera a composição do solo, suas partículas de argila e a qualidade da matéria orgânica (EMBRAPA, 2021). Na Tabela 8, apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 8- Análise biológica do solo (BioAS), avaliação da dinâmica de nutrientes no solo, resultados expressos em Quantitativos (Quant.) e Qualitativos (Quali).

Tratamentos*	BioAS-Dinâmica dos Nutrientes no Solo					
	Ciclagem		Armazenamento		Suprimento	
	Quant.	Quali.	Quant.	Quali.	Quant.	Quali.
Testemunha	0,77 e	Alto	0,79 f	Alto	0,84 a	Muito Alto
Aveia Branca (GMX Tambo)	0,79 c	Alto	0,94 a	Muito Alto	0,84 a	Muito Alto
Aveia Preta (GMX Picasso)	0,76 f	Alto	0,82 e	Muito Alto	0,84 a	Muito Alto
Centeio (BRS Progresso)	0,80 b	Alto	0,88 d	Muito Alto	0,84 a	Muito Alto
Ervilhaca (SS Ametista)	0,78 d	Alto	0,77 f	Alto	0,84 a	Muito Alto
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	0,71 g	Alto	0,91 b	Muito Alto	0,84 a	Muito Alto
Cobertura bagual	0,82 a	Muito Alto	0,77 f	Alto	0,84 a	Muito Alto
Green Cover 1.3 A	0,77 e	Alto	0,74 g	Alto	0,84 a	Muito Alto
Green Cover 2.3 A	0,71 g	Alto	0,78 f	Alto	0,84 a	Muito Alto
Green Cover 2.4 A	0,77 e	Alto	0,90 c	Muito Alto	0,84 a	Muito Alto
<b>CV [%]</b>	1,50		1,39		1,37	

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

Os resultados da análise biológica do solo indicam variações na dinâmica dos nutrientes. Na ciclagem, a Cobertura Bagual se destacou com um índice médio de 0,82 (muito alto), seguida pelo centeio, aveia branca, ervilhaca, testemunha (com azevém) e Green Cover 1.3A. Na última posição ficaram a aveia preta, Green Cover 2.3A e nabo forrageiro. Essas diferenças podem estar relacionadas ao histórico da área, cultivada por décadas com soja e trigo, e à presença do azevém, que influenciou a microbiota local. Além disso, culturas

distintas liberam exsudatos variados, atraindo microrganismos específicos (Floss, 2022).

Na avaliação do armazenamento de nutrientes, a Aveia Branca GMX Tambo teve o melhor desempenho (0,94 – muito alto), seguida pelo nabo forrageiro (0,91), Green Cover 2.4A (0,90), centeio (0,88) e aveia preta (0,82). Os demais tratamentos foram classificados como altos, com diferenças estatísticas não significativas entre si, enquanto o Green Cover 1.3A teve o pior desempenho.

No suprimento de nutrientes, todos os tratamentos foram classificados como muito altos, sem diferenças estatísticas significativas. A absorção dos nutrientes pelas plantas depende não apenas da disponibilidade no solo, mas também do transporte até as raízes, o que pode ser afetado por compactação e deficiência hídrica (Novais *et al.*, 2007).

A sustentabilidade na agricultura exige práticas que maximizem a fertilidade do solo e minimizem impactos ambientais (RAIJ, 2019). O uso de culturas de cobertura e consórcios vegetais aumenta a população de microrganismos benéficos, promovendo o equilíbrio biológico e a supressão de patógenos (Floss, 2022). Sistemas conservacionistas garantem maior resiliência do solo, pois a diversidade microbiana compensa possíveis perdas funcionais devido a fatores adversos (Franchini; Costa; Debiasi, 2011).

O IQS biológico mede a capacidade do solo de ciclar nutrientes, enquanto o IQS químico avalia sua habilidade de armazenar e suprir nutrientes. O IQS fertibio relaciona os atributos biológicos e químicos, fornecendo um panorama completo da qualidade do solo (EMBRAPA, 2021). A Tabela 9 apresenta esses índices.

Tabela 9- Análise biológica do solo (BioAS), avaliações dos índices de qualidade do solo, resultados expressos em Quantitativos (Quant.) e Qualitativos (Quali).

Tratamentos*	BioAS-Índices de Qualidade do Solo (IQS)					
	Biológico		Químico		FertBio	
	Quant.	Quali.	Quant.	Quali.	Quant.	Quali.
Testemunha	0,77 e	Alto	0,81 e	Muito Alto	0,80 e	Alto
Aveia Branca (GMX Tambo)	0,79 c	Alto	0,89 a	Muito Alto	0,86 a	Muito Alto
Aveia Preta (GMX Picasso)	0,76 f	Alto	0,83 d	Muito Alto	0,81 d	Muito Alto
Centeio (BRS Progresso)	0,80 b	Alto	0,86 c	Muito Alto	0,84 b	Muito Alto
Ervilhaca (SS Ametista)	0,78 d	Alto	0,80 f	Alto	0,79 f	Alto
Nabo forrageiro (GMX Tatu)	0,71 g	Alto	0,88 b	Muito Alto	0,82 c	Muito Alto
Cobertura bagual	0,82 a	Muito Alto	0,81 e	Muito Alto	0,81 d	Muito Alto
Green Cover 1.3 A	0,77 e	Alto	0,79 f	Alto	0,78 g	Alto
Green Cover 2.3 A	0,71 g	Alto	0,81 e	Muito Alto	0,78 g	Alto
Green Cover 2.4 A	0,77 e	Alto	0,87 b	Muito Alto	0,84 b	Muito Alto
<b>CV [%]</b>	1,50		1,78		1,42	

\*Análise de Variância (ANOVA), com a aplicação do teste de médias (Tukey) a significância de 5%. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos analisados, enquanto letras iguais demonstram que não houve diferenças significativas.

\*\*Composição dos mix: Cobertura Bagual (90% Aveia Branca e 10% Aveia preta); Green Cover 1.3A (53% Aveia Preta, 40% Centeio e 7% Ervilhaca); Green Cover 2.3A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Ervilhaca); Green Cover 2.4A (60% Aveia Branca, 10% Aveia Preta, 15% Centeio e 15% Nabo Forrageiro).

Fonte: Autores, 2023.

O IQS biológico, baseado na capacidade do solo de ciclar nutrientes, já foi apresentado na Tabela 9. Quanto ao IQS químico, a Aveia Branca foi o tratamento de maior destaque, com um índice de 0,89 (muito alto), seguida pelo Nabo Forrageiro e Green Cover 2.4A, ambos com 0,88 e 0,87 (muito alto). O centeio obteve 0,86, a aveia preta 0,83, e a testemunha, Cobertura Bagual e Green Cover 2.3A apresentaram 0,81, sem diferenças estatísticas significativas. Os tratamentos com menor índice químico foram a ervilhaca e Green Cover 1.3A, classificados como "alto".

No índice FertBio, que relaciona atributos biológicos e químicos, a Aveia Branca novamente se destacou (0,86 – muito alto), seguida pelo centeio e Green Cover 2.4A (0,84), Nabo Forrageiro (0,82), e aveia preta e Cobertura Bagual (0,81). A testemunha apresentou um índice de 0,80 (alto), seguida pela ervilhaca (0,79) e os consórcios Green Cover 1.3A e 2.3A (0,78).

O fato de a testemunha ter um desempenho superior em alguns aspectos não significa que o solo esteja melhorando. Pode indicar um declínio na sua qualidade, enquanto os demais tratamentos atuam na reestruturação do solo.

Apenas análises contínuas podem confirmar esses efeitos ao longo do tempo. A BioAS permite identificar problemas antes que se manifestem visivelmente, alertando para a necessidade de manejo adequado (Mendes *et al.*, 2020).

O solo possui uma "memória biológica", acessível por meio da análise enzimática, pois a atividade enzimática resulta da interação entre organismos vivos (microrganismos, plantas e animais) e enzimas não-vivas, ligadas à fração inanimada do solo e protegidas por partículas de argila e matéria orgânica (Wallenstein; Burns, 2011).

A construção biológica do solo não se define por um único cultivo, mas pelo histórico de manejo e seus benefícios futuros. A palhada residual e a descompactação do solo favorecem o desenvolvimento biológico, fornecendo subsídios para decisões futuras no manejo agrícola.

#### **4 CONCLUSÃO**

O Nabo Forrageiro, o Green Cover 2.4 A e a Ervilhaca destacaram-se na produção de biomassa, sendo o nabo superior em massa fresca e seca. A Ervilhaca apresentou a maior umidade retida, e o Green Cover 2.4 A teve bom desempenho na massa seca.

A compactação do solo foi reduzida, com o Nabo Forrageiro e o Green Cover 2.4A apresentando maior profundidade de ação das raízes. O Green Cover 2.4A se sobressaiu na melhoria da resistência à penetração e densidade do solo entre 6 e 18 cm. O tratamento testemunha foi o menos eficiente nesses atributos.

A análise enzimática indicou influência do histórico da área, ressaltando a necessidade de acompanhamento agrônomo para avaliar os benefícios a longo prazo das coberturas. O Green Cover 2.4A e o Nabo Forrageiro mostraram potencial para armazenamento de nutrientes, ficando atrás apenas da Aveia Branca no IQSQUÍMICO e bem posicionados no IQSFERTBIO.

Diante desses resultados, recomenda-se o monitoramento dos próximos cultivos, especialmente da soja, e o investimento nessas coberturas para aprimorar a sustentabilidade e a eficiência do sistema produtivo.

## REFERÊNCIAS

BERTONI, José; LONBRADI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 10. Ed. São Paulo-SP: Ícone 2017, 392 p. Acesso em: 23 de Out. 2023.

CARVALHO, Martha, Lustosa. *et al.*; **Guia Prático de Plantas e Cobertura: Aspectos Fitotécnicos e Impactos Sobre a Saúde do Solo**. Esalq-Usp, 2022.

DENARDIN, José, Eloir; LEMAINSKI, Jorge. **Agricultura conservacionista e disponibilidade de água**. Passo Fundo-RS: Embrapa Trigo, 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia BioAS: Tecnologia de Bioanálise de Solo Embrapa Como a Mais Nova Aliada Para a Sustentabilidade Agrícola**. Brasília-DF; Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: <<https://laborsolo.com.br/laravel-filemanager/arquivos/bioanalise/tecnologia-bioas.pdf>>. Acesso em: 20 de Out. 2023.

FALKER. FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Exemplos de Utilização do Penetrolog**. Porto Alegre-RS, 2007. Acesso em: 20 de Out. 2023. Disponível em: <<https://materiais.falker.com.br/compactacao-do-solo-guia>>

FLOSS, Elmar, Luiz. **Maximizando o Rendimentos da Soja: “Ecofisiologia Nutrição e Manejo”**. 3. Ed. Passo Fundo-RS: Aldeia Sul; Passografic, 2022.

FRANCHINI, Julio, Cezar; COSTA, Joaquim, Mariano da; DEBIASI, Henrique. Rotação de Culturas: Prática Que Confere Maior Sustentabilidade à Produção Agrícola no Paraná. Piracicaba. **International Plant Nutrition Institute-Brasil**, p. 1-13, 2011.

KUHN, José, Alвори, Silva. *et al.* **Plano de Desenvolvimento Rural do Município de Mormaço**. Prefeitura Municipal de Mormaço, Mormaço-RS, 2018. Disponível em: <<https://www.mormacors.com.br/leis/uploads/publicacoes/1410/1522936649.pdf>> Acesso em: 20 de Out. 2023.

MENDES, Iêda, Carvalho. *et al.* Bioanálise de Solo: A Mais Nova Aliada Para a Sustentabilidade Agrícola. **Plantas Ciência e Tecnologia- NPCT**, Piracicaba-SP, 2020.

NOVAIS, Roberto, Ferreira. *et al.* **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, ViçosaMG, 2007. Acesso em: 27 de Out. 2023.

PRUSKI, Fernando, Falco. **Conservação do Solo e da água: Práticas Mecânicas Para o Controle da Erosão Hídrica**. 2. Ed. Viçosa-MG: Editora Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2019.

RAIJ, Bernardo, Van. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. 2. Ed. Piracicaba-SP. Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia - NPCT, 2019.

SAKO, Henry. *et al.* **Fatores Decisivos Para se Obter Produtividade de Soja Acima de 4.200 kg/ha**. Circular Técnica V. 2, 2016. Disponível em: <<https://www.cesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/07/Fatores-acima-4200-CircularTecnica-2-final.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

SANTOS, Maurício, Siqueira dos. Consórcio de Plantas de Cobertura é Estratégia Para Promover Boa Cobertura do Solo e Diversificar Espécies no Sistema Plantio Direto. **Mais soja**. Santa Maria-RS, 2022.

SIMAGRORS. SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL. **Prognóstico Climático Trimestral: Junho, Julho e Agosto de 2023**. Porto Alegre-RS, 2023. Disponível em:<<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202306/06090955-boletimclimasimagro2023-n11.pdf>>. Acesso em: 21 de Out. 2023.

TEIXEIRA, Paulo, César. *et al.* **Manual e Métodos de Análise de Solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa, Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176633/1/Densidade-solo.pdf>>. Acesso em: 22 de Out. 2023.

WALLENSTEIN, Matthew.; BURNS, Richard. G.; Ecology of extracellular enzyme activities and organic matter degradation in soil: A complex community-driven process. In: DICK, R. P. (Ed.). *Methods of soil enzymology*. **Madison: Soil Science Society of America**. 2011.