

**RELATÓRIO DE PROGRESSO RELATIVO
AO ANO DE 2025**

**VALORIZAÇÃO DAS TERRAS COM
LONGEVIDADE E INCREMENTOS
SIGNIFICATIVOS DA PRODUÇÃO
FORRAGEIRA COM INCORPORAÇÃO
NO SOLO DE DOSE MACIÇA DO
SUBSTRATO ORGÂNICO DA MUSAMI**

ENSAIO DE SANTO ANTÔNIO ALÉM CAPELAS

JUNHO 2026

Projeto financiado pela:

MUSAMI - OPERAÇÕES MUNICIPAIS DO AMBIENTE, EIM, AS

Trabalho coordenado por:

Carlos Manuel de Arruda Pacheco | Doutor em Engenharia Agronómica

Com a colaboração de:

André Miranda Oliveira | Mestre em Engenharia Agronómica

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1.1. Tipo de Perfil Pedológico	11
4.1.2. Granulometria da Terra Fina e Elementos Grosseiros.....	12
4.1.3. Caraterização química dos horizontes Ap1, Ap2 e camada C	13
4.2. Caraterização Química e Físico-química dos Horizontes Culturais.....	14
4.2.1. Horizontes Culturais Ap1 e Ap2	14
4.2.2. Horizonte Cultural Ap (0-25 cm)	14
4.3. Variáveis Biométricas do Milho Forrageiro	17
4.4. Outras Variáveis com Interesse Agronómico.....	18
4.4.1. Biomassa radicular e teores em carbono e azoto totais.....	18
4.4.2. Determinação do Ct e Nt existentes na fração granulométrica saibro.....	20
4.4.3. Precipitação ocorrida ao longo do ciclo cultural	21
5. CONCLUSÕES.....	23

VALORIZAÇÃO DAS TERRAS COM LONGEVIDADE E INCREMENTOS SIGNIFICATIVOS DA PRODUÇÃO FORRAGEIRA COM INCORPORAÇÃO NO SOLO DE DOSE MACIÇA DO SUBSTRATO ORGÂNICO DA MUSAMI

1. INTRODUÇÃO

O ano de 2025 corresponde ao 6.º ano de monitorização do campo de ensaio localizado em Santo António Além Capelas (ilha de São Miguel, RAA). O estudo teve início em maio de 2020 com a incorporação de 40 kg/m² do substrato orgânico **SO-MUSAMI**, doseando à data cerca de 20% de MO e 40% de humidade.

O sistema cultural definido pela rotação "azevém x milho forrageiro", por vezes o azevém à mistura com leguminosas, com destroçamento das toíças do milho e mobilização superficial da terra com rototerra para a sementeira do azevém e mobilização, à profundidade dos 25 cm, com charrua seguida de passagem do rototerra para a sementeira do milho com semeador de precisão. A variedade do milho variou ao longo dos anos, começando por milho de ciclo (400) e terminando com ciclo (500). A aplicação de herbicidas foi semelhante em A e B.

O foco centrou-se no milho forrageiro destinado a silagem com monitorização do rendimento em biomassa verde e seca e colheita de amostras do solo nos horizontes culturais Ap1 e Ap2 para análise de variáveis físicas e químicas. Ao longo dos 6 anos de ensaio a metodologia da amostragem do milho e dos solos manteve-se constante. Os resultados foram sujeitos a análise estatística robusta, confirmando o impacto muito positivo e significativo do tratamento B comparativamente a A, tanto em relação ao rendimento em biomassa quanto à concentração em carbono total, nutrientes NPK e aumento dos valores de variáveis químicas e físico-químicas do solo.

A condução do azevém envolveu pastoreio direto (1.º corte) e só os últimos cortes (2.º e 3.º) foram mecânicos e destinados a feno silagem. Por razões operacionais relacionadas com os prestadores de serviços, a fertilização mineral (NP) de cobertura na cultura do azevém foi semelhante nos tratamentos A e B.



2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A folha do terreno em forma de lomba com declive N-S da ordem dos 12 a 15% e W-E de 5 a 10%, com área de 2,3ha, foi dividida, no sentido W-E, em duas parcelas localizando-se a 1 do lado S (entrada na parcela) e a 2 do lado N (mar). Em ambas as parcelas foram definidas 4 faixas de terreno, cada uma com 750 m² para implantação dos tratamentos A (sujeito exclusivamente a fertilização mineral) e B (fertilização orgânica aplicada apenas no início do ensaio).

O delineamento experimental, constituído por 8 parcelas agrupadas em dois blocos distintos apenas pelo declive, maior no 2 localizado a norte, foi mantido durante 6 anos, cujo esboço é apresentado na **figura 1**. A morfologia do terreno, bem como o tipo de maquinaria utilizada na preparação do terreno para o azevém, é apresentada nas **fotos 1A e 1B**.

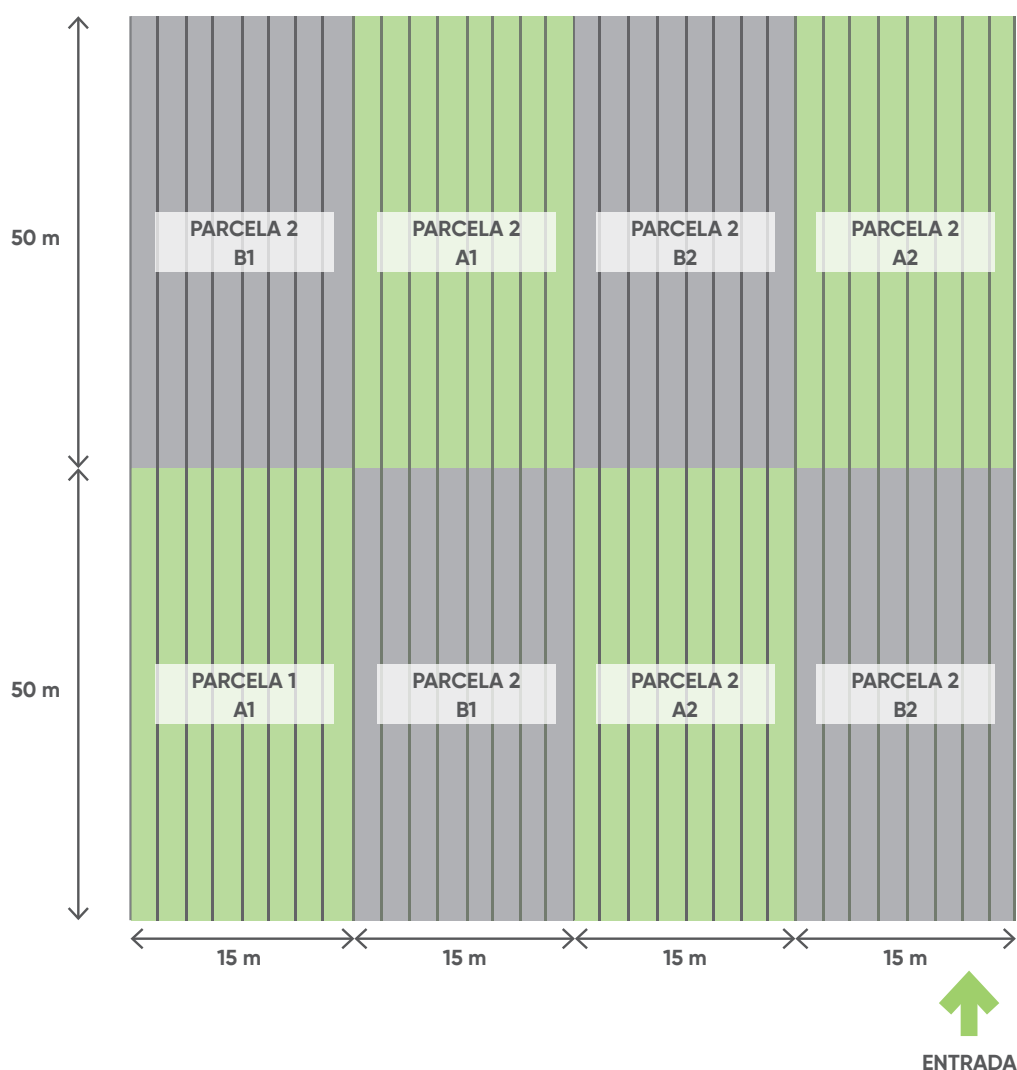


Figura 1 - Esboço do delineamento experimental



Foto 1A - Morfologia do terreno, pós colheita, no sentido S-N. A área útil do ensaio foi implantada na metade sul da parcela



Foto 1B - Preparação do solo superficial com rototerra para a sementeira do azevém

A cultura do azevém sofreu 3 cortes, sendo o 1.º por pastoreio direto com novilhas e o 2.º e 3.º cortes mecânico para feno silagem. Após cada corte a cultura foi fertilizada (adubação de cobertura) com adubo NP (20-17-0) no 1.º corte e NP (25-15-0) no 2.º e 3.º cortes.

O plano de fertilização para a cultura do milho forrageiro, tratamento A, consistiu em duas aplicações:

- **1.ª aplicação:** 80 kg/alqueire (1393,44 m²) de adubo NPK (20-17-0) pós lavoura e antes da passagem do rototerra, equivalente a 114,72 kgN/ha e 97,15 kg/ha de P₂O₅;
- **2.ª aplicação:** no semeador de precisão, 30 kg/alqueire de adubo NPK (20-8-10), equivalente a 43,02 kg/ha de N; 17,02 kg/ha de P₂O₅ e 21,51 kg/ha de K₂O.
- Os quantitativos de fertilizantes minerais por culturas e globais para os tratamentos A e B são indicados na **tabela 1**.

Tabela 1 - Plano de fertilização aplicado às culturas do azevém e do milho forrageiro

Plano de fertilização - 2025						
Cultura do azevém - outubro de 2024 a maio de 2025						
Tratamento A				Tratamento B		
	Azoto (N)	Fósforo (P2O5)	Potássio (K2O)	Azoto (N)	Fósforo (P2O5)	Potássio (K2O)
kg/ha						
1.º corte	35,00	29,75	0,00	35,00	29,75	0,00
2.º corte	43,75	26,25	0,00	43,75	26,25	0,00
3.º corte	43,75	26,25	0,00	43,75	26,25	0,00
Totais	122,50	82,25	0,00	122,50	82,25	0,00
Cultura do milho - 29 de maio a 20 setembro de 2025						
1.ª aplicação (*)	114,72	97,51	0,00	0,00	0,00	0,00
2.ª aplicação (**)	43,02	17,20	21,51	43,02	17,20	21,51
Totais	157,74	114,71	21,51	43,02	17,20	21,51
	N	P2O5	K2O			
	114,72	97,51	0,00			

(*) Pós lavoura e antes do rototerra; (**) Sementeira.

Por razões operacionais relacionadas com as dificuldades dos prestadores de serviços cumprirem o estipulado no delineamento experimental, o tratamento B recebeu na cultura do azevém e na sementeira do milho (semeador de precisão) a mesma quantidade de adubo do tratamento A.

No cômputo global, o tratamento A recebeu mais do que B (A-B) 114,72 kg/ha de azoto e 97,51 kg/ha de fósforo (P2O5). O preço do saco de 25 kg do adubo (20-17-0) foi de 18,70€, logo o plano de fertilização mineral do tratamento A apresenta relativamente ao tratamento B um custo acrescido de 429,05€.

O estado das plantas à colheita nos tratamentos A e B são distintos com as plantas de A bastante mais secas do que as plantas de B.

As **fotos 2A e 2B** revelam as diferenças acima referidas.



Foto 2A - Tratamento A: Estado de secura das plantas muito avançado



Foto 2B - Tratamento B: Plantas à colheita ainda com folhas verdes abaixo da maçaroca

Os teores de humidade das componentes caules (74,50%), folhas (46,00%) e maçarocas (51,15%) do tratamento B, eram significativamente superiores, cerca de 4% por componente, comparativamente a A.

A unidade de amostragem para o milho foi de 2,8 m², correspondendo a 2 linhas adjacentes ao longo de 2 m, num total de 8 repetições por tratamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

São solos classificados de Antrossolos Pardacentos (solos profundamente alterados pelo homem com grande movimentação de terras aquando do arroteamento dos matos, de cor parda) derivados de cinzas e material piroclástico de natureza pomítica de origem vulcânica recente, com perfil do tipo ApCIIIC1C2, sendo IIC1C2 sinónimo de solo soterrado, por nova erupção vulcânica. A espessura do solo rizosférico (rotação azevém x milho) não vai além dos 35 cm de profundidade, e o horizonte cultural Ap(0-25 cm) apresenta cor pardo-escuro a pardo (10YR3,5/3) no estado húmido e a camada mais profunda cor pardo acinzentado muito escuro (10YR3/2) no estado húmido, classe textural na fronteira entre franca e franca-arenosa com algum saibro (10 a 12%) e pouco cascalho (5 a 7%), agregação anisoforme angulosa média e grosseira fraca, compactidade média, moderadamente poroso, com algumas a bastantes raízes finas e médias distribuídas segundo modelo agregado. As camadas soterradas apresentam sintomas de hidromorfismo temporário (processo da gleização), com cor cinzenta clara (10YR7/1) estado húmido e localizam-se a profundidades diferentes consoante o declive do terreno. A morfologia do terreno, designada por lomba, apresenta declives nos sentidos S-N (parte central do terreno), W-E e E-W (laterais), tendo a E e W grotas (cursos de água temporário).

Para a amostragem do solo foram abertos perfis perpendiculares às linhas de sementeira, com 1,40 m de frente de observação (duas fileiras de plantas adjacentes, compasso de 0,7 m e distância entre plantas de 0,18 m) e profundidade de 0,4 m, sendo as amostras colhidas em correspondência com os horizontes Ap1(0-15 cm) e Ap2(15-25 cm). Por tratamento foram realizados 8 pontos de amostragem, num total de 16 amostras de terra por tratamento.

Nas **fotos 3A e 3B**, apresentamos perfis do solo representativos dos tratamentos A (cor parda amarelada) e B (cor parda muito escura), bem como quanto ao padrão de distribuição dos sistemas radiculares, mais disperso e irregular e menos denso em A; muito denso e agregado (concentrado) nos volumes de acumulação do SO no tratamento B. No tratamento A as raízes distribuem-se preferencialmente na projeção do colmo da planta (cilindro com cerca de 20 cm de diâmetro e 15 cm de altura) e na camada do fundo da lavoura (20-30 cm) de acumulação de MO. No tratamento B as raízes distribuem-se segundo o padrão de distribuição do **SO-MUSAMI**, padrão que evoluciona com os ciclos culturais, consequência das inversões das camadas do solo provocadas pela mobilização com charrua.



Foto 3A - Perfil cultural e morfologia radicular do tratamento A



Foto 3B - Perfil cultural e morfologia radicular do tratamento B associada ao padrão de distribuição do SO

A morfologia do sistema radicular do milho no bolbo de terra adjacente ao colmo, associados à presença do **SO-MUSAMI**, são apresentados nas **fotos 4A, 4B e 4C**.



Foto 4A - Morfologia e densidade de raízes ligadas ao colmo do milho



Foto 4B - Volume do solo, densidade, diâmetro e comprimento das raízes emitidas pelo milho



Foto 4C - Colmos do milho invertidos, morfologia e densidade radicular, após libertação da terra por agitação manual

A afinidade entre a presença de quantidades significativas do SO e o desenvolvimento do sistema radicular do milho está bem patente nas fotos apresentadas.

Os dois colmos com raízes coronárias, grossas e médias próximas da frente de observação do perfil do solo foram colhidos para posterior determinação da biomassa seca que permanece no solo após corte do milho e determinação analítica do Nt e do Ct. Os resultados são apresentados no item 4.4.1.

Após secagem em estufa as amostras de terra foram sujeitas ao processo de crivação manual, com separação da terra fina (Tf) dos elementos grosseiros (EG) e quantificação das frações saibro e cascalho. Porque estas frações apresentam ainda quantidades elevadas de fragmentos orgânicos, sobretudo no caso do tratamento B, procedeu-se ao esmagamento da fração saibro com colheita da fração fina ($\varnothing < 2$ mm), destinada à determinação do azoto total (Nt) e do carbono total (Ct). Os resultados são apresentados no item 4.4.2.

A precipitação ocorrida ao longo do ciclo cultural foi analisada por fases do ciclo cultural da planta. Os dados são apresentados no item 4.4.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.1. Tipo de Perfil Pedológico

Foram abertos 2 perfis representativos dos 0,6ha de terreno útil, dos quais apresentamos a morfologia do perfil do solo, espessura dos horizontes, padrão de distribuição do SO e principais características físicas e químicas.

Perfis 1 e 2: abertos nos tratamentos B (bloco 1) e A (bloco 2) até à profundidade de 1,60 m.

O **perfil 1** apresenta a seguinte sequência de horizontes e camadas: Ap1(0-15 cm) Ap2(15-25 cm) C(25-45/50 cm) IIC1(45/50-90/100 cm) IIC2(90/100-160 cm).

Ap1(0-15 cm) - com acumulação de SO, compacidade pequena, agregação anisoforme subangulosa fina média fraca, com bastantes raízes coronárias médias e finas de milho, estas últimas regularmente distribuídas, transição evidente e plana;

Ap2(15-25 cm) – com acumulação de SO, compacidade média nas zonas sem SO e pequena nas zonas com SO, agregação anisoforme subangulosa média fina fraca, com bastantes raízes médias e finas de milho concentradas nas zonas com SO, transição ondulada e irregular;

C(25-45/50 cm) – camada de cor parda acinzentada com pouco material amarelado constituído por cinzas e pedra pomes, compacidade grande, transição plana e evidente;

IIC1(45/50-90/100 cm) – camada soterrada constituída por pedra pomes com rara terra fina de cor pardo amarelada, compacidade média-grande, transição plana;

IIC2 (90/100-160 cm) – camada de cor acinzentada constituída por cinzas com algum saibro e cascalho de pedra pomes.

Perfil 2: Difere do P1 porque não apresenta acumulação de SO nos horizontes Ap1 e Ap2, estes apresentam-se mais compactos, menos raízes com distribuição mais irregular e também quanto à profundidade da camada de pedra pomes, que neste caso se localiza à profundidade dos (80/85-105/110 cm).

4.1.2. Granulometria da Terra Fina e Elementos Grosseiros

A terra total (Tf+EG) após secagem foi submetida ao processo da crivação manual com separação da Tf e quantificação dos EG totais. As 8 amostras por tratamento dos EG foram posteriormente agrupadas em 2 amostras compostas para quantificação das frações saibro e cascalho. A granulometria da Tf foi posteriormente analisada em laboratório em 2 amostras compostas.

Na **tabela 2**, apresentamos os resultados médios da granulometria da Tf e percentagem de saibro e cascalho.

Tabela 2 – Granulometria da terra fina, classe textural e percentagem de saibro e cascalho

Tratamento/ amostras	Horizonte	Granulometria (Ø<2 mm)				2 mm<EG<20 mm		
	Ap	AR	AF	Li	AR	Total	Saibro	Cascalho
		g.kg ⁻¹						
A/1	(0-25 cm)	308,58	352,69	225,62	113,12		%	
A/2		322,91	333,43	234,52	109,15			
	Média	315,75	343,06	230,07	111,14	15,37	9,44	6,12
	DP	10,13	13,62	6,29	2,81	2,36		
Classe textural		Na fronteira entre franca e franca - arenosa com algum saibro e pouco cascalho						
A/3	C - A camada C apresenta classe textural ao tato semelhante a Ap					15,3	9,9	5,4
	Média					15,3	9,9	5,4
	DP					0,3		
B/1		402,84	278,51	205,17	113,47			
B/2		322,50	333,71	226,43	117,36			
	Média	362,67	306,11	215,80	115,42	16,86	9,77	7,09
	DP	56,81	39,03	15,03	2,75			
Classe textural		Na fronteira entre franca e franca - arenosa com algum saibro e pouco cascalho						
B/3	C - A camada C apresenta classe textural ao tato semelhante a Ap							
	Média					22,4	13,3	9,1
	DP					5,4		

As diferenças granulométricas entre os perfis do solo abertos nos limites dos tratamentos A e B são muito pequenas e não afetam a classificação textural nem os EG do solo.

4.1.3. Caracterização química dos horizontes Ap1, Ap2 e camada C

Na **tabela 3**, apresentamos as variáveis químicas dos horizontes culturais Ap1, Ap2 e camada C dos perfis 1 e 2, localizados nos tratamentos B e A.

Tabela 3 - Variáveis químicas dos perfis do solo

Tratamento	Horizontes/camada	pH		N total	C total
		H2O	KCl	g.kg ⁻¹	
A	Ap1	5,26	4,30	1,32	13,37
	Ap2	5,50	4,40	1,26	13,24
	C	5,70	5,06	0,92	10,16
B	Ap1	6,15	5,17	2,02	21,44
	Ap2	6,39	5,43	2,53	25,52
	C	6,13		0,91	10,03
B-A	Ap1	0,89	0,87	0,70	8,07
	Ap2	0,89	1,03	1,27	12,28
	C	0,43		-0,01	-0,13

Quanto às variáveis químicas analisadas, as grandes diferenças estão entre o tratamento B e A em todo o perfil ApC. No tratamento A as diferenças entre Ap1 e Ap2 são muito pequenas, mas no tratamento B, Ap2 apresenta valores superiores a Ap1 em todas as variáveis. As diferenças entre B e A são positivas e significativas para todas as variáveis analisadas. De salientar que a camada C no tratamento B apresenta pH em água superior (+0,43) à mesma camada do A. Isto significa que a maior riqueza em carbono do Ap do tratamento B originou, no período de 6 anos, lixiviação de iões básicos que elevaram o pH da camada C de modo muito significativo.

4.2. Caraterização Química e Físico-química dos Horizontes Culturais

4.2.1. Horizontes Culturais Ap1 e Ap2

Relativamente à amostragem robusta do solo ao fim de 6 anos de estudo as variáveis analisadas nos tratamentos A e B foram: pH em água e cloreto de potássio (KCl), azoto total (Nt), carbono total (Ct), fósforo (P2O5) e potássio (K2O) extraíveis pelo método de Egner-Riehm.

Os valores, média e desvio padrão, das 8 repetições são apresentados para os horizontes culturais Ap1, Ap2 e $Ap = (Ap1 + Ap2) / 2$ nas **tabelas 4 e 5**:

Tabela 4: Valores médios e desvio padrão das variáveis químicas do solo, tratamentos A e B

Tratamento		pH		Totais		Extraíveis	
		H2O	KCl	Nt	Ct	P2O5	K2O
				g.kg ⁻¹		mg.kg ⁻¹	
Horizonte Ap1 (0-15 cm)							
A	Média	5,24	4,30	1,81	16,75	76,86	143,94
	DP	0,31	0,11	0,28	2,71	20,31	15,76
B	Média	6,16	5,32	2,81	30,62	183,12	316,84
	DP	0,20	0,24	0,32	5,34	62,40	69,98
B-A	Médias	0,92	1,02	1,00	13,87	106,26	172,90
Horizonte Ap2 (15-25 cm)							
A	Média	5,39	4,30	1,78	16,05	74,75	126,58
	DP	0,14	0,08	0,28	1,64	15,54	17,92
B	Média	6,29	5,32	2,80	29,89	189,45	295,78
	DP	0,22	0,27	0,42	4,61	57,16	57,94
B-A	Médias	0,90	1,02	1,02	13,84	114,70	169,20

As diferenças entre os valores registados em Ap1 e Ap2 são muito pequenas para o mesmo tratamento e apenas significativas entre tratamentos.

4.2.2. Horizonte Cultural Ap (0-25 cm)

Na **tabela 5**, apresentamos a caraterização química e físico-química do horizonte Ap (0-25 cm).

Para uniformizar o tratamento dos dados ao longo dos vários anos de estudo, consideramos os valores de $Ap(0-25\text{ cm}) = (Ap1 + Ap2) / 2$. A forma de cálculo correto é: $Ap(0-25\text{ cm}) = (Ap1 \times 15\text{ cm} + Ap2 \times 10\text{ cm}) / 25$. Contudo, a diferença entre resultados afeta apenas a casa das décimas.

Na **tabela 5**, registamos os valores médios, desvio padrão das variáveis analisadas.

Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão caraterísticas do horizonte Ap, tratamentos A e B

Tratamento	pH		N total	C total	P2O5	K2O
	H2O	KCl	g/kg		mg/kg	
A	5,32	4,30	1,79	16,40	75,80	135,26
DP	0,25	0,10	0,28	2,27	18,11	18,97
B	6,23	5,32	2,80	30,25	186,29	306,31
DP	0,22	0,26	0,37	5,00	59,92	65,10
B-A	0,91	1,02	1,01	13,85	110,49	171,05

As diferenças entre os tratamentos B e A, horizonte Ap(0-25 cm), são muito significativas para todas as variáveis analisadas, sendo de destacar o acréscimo do pH em água (+0,91) e em carbono total (+13,85 g/kg), equivalente a 23,82 g/kg de matéria orgânica (MO), ou seja, 2,4% de MO. As diferenças em Nt, P₂O₅ e K₂O são também muito significativas, atendendo a que se trata de análises relativas ao final do 6.º ciclo cultural do milho.

Na **tabela 6**, apresentamos os valores das variáveis químicas à data de 30 de junho de 2020 (2 semanas após a sementeira do milho) e ao fim de 6 ciclos culturais do milho forrageiro (outubro de 2025).

Tabela 6: Comparação de valores das variáveis químicas às datas de 30 junho de 2020 e outubro de 2025

Horizonte Ap (0-25 cm): Variação ao fim de 6 ciclos culturais do milho						
Variáveis químicas						
Datas	Tratamentos	pH	Ct	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		H ₂ O	g/kg		mg/kg	
30 junho 2020 (D0)	A	5,46 ±0,21	29,57 ±4,74	2,41 ±0,31	81,75 ±29,83	265,37 ±104,70
	B	6,00 ±0,22	40,25 ±9,47	2,38 ±0,37	166,5 ±95,61	833,88 ±554,02
	B-A	+0,54	+10,68	+0,03	+84,78	+568,51
Outubro 2025 (D1)	A	5,32 ±0,25	16,40 ±2,27	1,79 ±0,28	75,80 ±18,11	135,26 ±18,97
	B	6,23 ±0,22	30,2 ±5,00	2,80 ±0,37	186,29 ±59,92	306,31 ±65,10
	B-A	+0,91	+13,85	+1,01	+110,49	+171,05
Variação						
D0-D1	A		-13,17		+5,95	-130,11
	B		-10,00		-19,76	-532,57
B-A	(D0)		+10,68		+84,78	+568,51
	(D1)		+13,85		+110,49	+171,05

Da análise da informação expressa na **tabela 6**, constatamos que no início (30 junho de 2020) do ensaio a diferença entre tratamentos (B-A) é positiva e significativa para todas as variáveis exceto para o Nt, com relevância para o Ct e K₂O. Na 2.ª data (outubro de 2025), após 6 ciclos culturais, as diferenças registadas entre tratamentos e para todas as variáveis é superior, exceto para K₂O, da observada no início do estudo. A diferença entre datas (D0-D1) no tratamento B relativamente a K₂O é muito elevada (-532,57), representando uma diminuição média de 88,76 mg/kg/ano de K₂O.

A diferença entre tratamentos em Ct, a 30 junho de 2020, era de 10,68 g/kg, em correspondência com a incorporação de 40 kg/m² de SO doseando 20% de MO e 40% de humidade. Ao fim de 6 ciclos culturais de milho forrageiro, inserido na rotação "azevém x milho" em sistema de mobilização intensa do solo, a queda do Ct em A foi de -13.17 g/kg, enquanto B apenas desceu -10,00 g/kg.

Em termos de sistema de cultivo a queda do Ct (expresso em g/kg) em A, de 29,57 ±4,74 para 16,40 ±2,27, leva-nos a concluir que a causa reside na intensa perda do solo por erosão hídrica, consequência da ocorrência de eventos meteorológicos de elevada precipitação nos meses de outubro de 2024, sementeira do azevém, e maio de 2025, sementeira do milho.

A existência de pequenos sulcos, resultantes do arrastamento do solo pela escorrência superficial (principal mecanismo da erosão hídrica), é muito elevada no tratamento A e bastante menor no tratamento B. Esta evidência pode ser observada a olho nú ao longo das fileiras do milho na fase emergência-milho joalheiro.

Em termos científicos, sabemos que os sistemas de cultivo assentes na mobilização do solo aceleram não só a decomposição da MO como a perda de solo fino por erosão hídrica.

Quanto ao P2O5 verifica-se uma estabilidade de valores (+5,95 e -19,76) entre datas para ambos os tratamentos, atendendo a que a dispersão em relação ao valor médio é elevada. Quanto ao K2O regista-se uma descida, entre datas, muito acentuada nos tratamentos A (-130,11) e B (-532,57). A análise da variação do K2O entre tratamentos e datas leva-nos a formular as seguintes ilações:

- a) A adubação potássica do tratamento A foi reduzida nos últimos anos, com o argumento comercial de que os solos são ricos em potássio;
- b) A forte variação (-532,57) do K2O entre as datas (D0-D1), tratamento B, revela-nos uma absorção do ião potássio muito intensa pela rotação "azevém x milho forrageiro";
- c) Ao fim de 6 ciclos culturais da rotação "azevém x milho" a diminuição média anual no solo do K2O foi de 88,76 mg/kg;
- d) No final do 6.º ciclo cultural do milho os teores em K2O extraível são classificados de médio-baixo no tratamento A e muito elevado-excedentário (isto em termos de conforto nutricional) no tratamento B;
- e) Se o excesso de K2O extraível do solo não originou nenhuma disrupção no desenvolvimento da planta e o rendimento em biomassa em B foi muito mais elevado do que em A, conclui-se que a ilação a) carece de fundamentação técnico científica.

Constatamos ainda, por comparação com os anos anteriores, que a queda em Ct num só ciclo cultural é muito acentuada, o que pode estar associado à perda do solo por erosão hídrica devido à intensidade das chuvas que ocorreram em outubro de 2024 e maio de 2025.

Outras variáveis físico-químicas e químicas do solo com interesse na análise da fertilidade dos solos são a capacidade de troca catiónica (CTC), catiões de troca, carbono orgânico total e particulado.

Na **tabela 7**, apresentamos as variáveis físico-químicas relativas ao complexo de troca do solo.

Tabela 7 - Complexo de troca do solo

	Catiões de troca					Capacidade Troca catiónica
	Ca	Mg	k	Na	Al	CTC
	cmol _c kg ⁻¹					
A	2,06	0,22	0,31	0,23	0,73	12,06
DP	0,32	0,06	0,04	0,10	0,12	0,88
B	10,81	2,15	0,27	0,61	0,20	18,38
DP	2,78	0,84	0,05	0,17	0,01	2,01
B-A	8,75	1,93	-0,04	0,38	-0,53	6,32

As diferenças entre B e A são positivas e muito significativas quanto à CTC (+6,32) e teores em cálcio (+8,75) e magnésio (1,93) de troca.

No que toca às concentrações de sódio (Na) e potássio (K) verifica-se que a maior concentração de Na em B é negativa porque afeta a concentração do k no complexo de troca no solo. Nos solos "ditos normais" a relação K/Na é de 5:1. Esta situação explica-se pela maior concentração do Na nos compostos de origem orgânica e à localização, nas ilhas a salugem do mar afeta o teor em Na dos solos.

A diferença entre as variáveis carbono orgânico total (Corgtotal) e carbono orgânico particulado (Corgpart) corresponde ao carbono humificado (Ch). A CTC dos solos corresponde, modelo simplificado, ao contributo da fração argila fina (<0,001 mm) e do Ch.

Na **tabela 8** apresentamos valores médios e o desvio padrão das variáveis Corg, Cpart e frações Areia grossa, Areia fina, Limo e Argila do solo.

Tabela 8 - Carbono orgânico total e particulado e análise granulométrica, tratamentos A e B

	Carbono orgânico		Análise granulométrica da terra fina ($(\phi < 2 \text{ mm})$) Escala de Atterberg			
	Corg	Cpart	AG ($0,2 < \phi < 2$)	AF ($0,2 < \phi < 0,02$)	LIMO ($0,002 < \phi < 0,02$)	ARGILA ($\phi < 0,002$)
	g.kg ⁻¹					
A	15,00	0,66	323,80	336,50	253,10	86,70
DP	1,52	0,10	16,73	26,05	27,21	17,68
B	25,9	1,91	333,10	320,20	244,6	102,10
DP	4,57	0,80	17,00	30,59	44,65	26,03
B-A	10,90	1,25	9,30	-16,3	-8,50	15,4

Quanto ao carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado as diferenças entre B e A são também positivas e significativas, com (+10,90) para o Corgtotal e (+1,25) para o Corpart. A diferença entre o Corgt e o Corpart dá-nos o carbono humificado (Ch), ou seja, 9,65 g.kg⁻¹ de Ch. Sendo os solos de A e B semelhantes quanto à natureza e teor em argila é este acréscimo de Ch do tratamento B que justifica um acréscimo de CTC de 6,32 cmol_c.kg⁻¹ de B relativamente a A. Ou seja, 1,5 g.kg⁻¹ de Ch contribui para a CTC com 1 cmol_c.kg⁻¹. O carbono orgânico particulado representa a fração com taxa de mineralização (desintegração total com libertação de CO₂, vapor de água e nutrientes) elevada.

Em síntese: Da análise dos dados destaca-se que os solos dos tratamentos A e B são semelhantes quanto à granulometria e estão na fronteira entre a classe textural franco-arenosa e franca e o tratamento B apresenta, 6 anos após a incorporação de 40 kg/m² de SO, valores significativamente muito superiores às do tratamento A para todas as variáveis relevantes para a fertilidade química e físico-química dos solos.

4.3. Variáveis Biométricas do Milho Forrageiro

No ciclo cultural de maio-outubro de 2025 semeou-se a cultivar LG30500, de ciclo 500, da LUSOSEM. O ciclo significa o somatório dos graus térmicos/dia exigidos pela cultivar.

A monitorização biométrica da cultura foi realizada à colheita com a quantificação do número e peso das plantas, peso dos caules, peso das maçaroras e peso das folhas, por unidade de amostragem com 2,8 m² (2 linhas adjacentes x 2 m de comprimento), bem como a altura média das plantas. Por tratamento foram selecionados 8 pontos de amostragem distribuídos espacialmente, com cálculo da média e do desvio padrão. Dos valores registados por unidade de amostragem extrapolou-se para a produção (kg)/ha e densidade de plantas/ha à colheita. O somatório dos pesos do caule, folhas e maçarocas é ligeiramente inferior ao peso das plantas (trata-se de pesagens independentes). Contudo, consideramos o peso das plantas a variável mais robusta, com base no qual calculamos a produção por ha.

Na **tabela 9**, apresentamos os valores médios e desvio padrão das variáveis acima referidas.

Tabela 9 - Variáveis biométricas, número plantas/ha e produção kg/ha

Unidade de Amostragem =2,8 m ²							
Variáveis							
Tratamentos		Número Plantas	Altura Média	Peso Caule	Peso Maçarocas	Peso Folhas	Peso Plantas
			m	kg			
A	Média	22,38	2,43	2,68	4,15	1,48	8,78
	DP	1,58	0,17	0,30	0,43	0,16	0,85
B	Média	24,50	2,98	4,79	5,96	2,40	13,67
	DP	1,87	0,06	1,06	0,74	0,27	1,32
B-A	Média	2,12	0,55	2,11	1,81	0,92	4,89
		Número Plantas/ha	Produção kg/ha		Produção kg/ m ²		
A	Média	79910,71	31.361,61		3,14		
	DP	5.629,25	3.043,50		0,30		
B	Média	87.500,00	48.816,96		4,88		
	DP	6.681,53	4.724,50		0,47		
B-A	Média	7.589,29	17.455,35		1,74		

Da análise dos valores expressos na **tabela 9**, podemos extrair as seguintes ilações:

- A diferença (B-A) de 7.589,29 plantas/ha à colheita é significativa e superior em B comparativamente a A;
- A produção à colheita de matéria verde é significativa e superior em B comparativamente a A, sendo a diferença B-A de 17.455,35 Kg/ha, ou seja, A representa apenas 64,24% de B, sendo a perda comparativa de 35,76%;
- A diferença B-A de 17.455,35 kg/ha em massa forrageira representa uma perda de 1309€ a 1.396€/ha (o preço de 1t milho para silagem oscila entre 75 a 80€);
- A diferença B-A é positiva e significativa para as componentes peso do caule, peso das folhas e peso das maçarocas;
- O somatório do peso dos caules mais o peso das folhas representa cerca de 50% do peso total das 3 componentes no tratamento A e cerca de 55% do tratamento B, sendo à colheita o teor em água superior em B comparativamente a A.

4.4. Outras Variáveis com Interesse Agronómico

4.4.1. Biomassa radicular e teores em carbono e azoto totais

Após o corte mecânico do milho e abertura do perfil do solo para amostragem do solo eram colhidos dois colmos de milho com raízes coronárias grossas e médias associadas. As raízes muito finas e finas quebram-se no arranque e a biomassa, negligenciável, não é quantificada.

Após lavagem e secagem o material orgânico era segmentado, esmagado, triturado e passado pelo crivo de 2 mm. O material fino enviado para o laboratório para a determinação do Ct e Nt.

Conhecida a biomassa seca produzida por ha, riqueza em Ct e Nt e razão C/N, passamos a dispor de informação com elevado interesse agronómico na programação do plano de fertilização da cultura seguinte.

Na **tabela 10**, são apresentados os resultados médios e desvio padrão das amostras colhidas em 2025.

Tabela 10 - Produção de biomassa de colmos e radicular/ha

Tratamentos		Biomassa seca / Amostra de 2 plantas		
		Colmos	Raízes	Total
		Peso líquido (g)		
A	Média	25,25	20,00	45,25
	DP	4,30	8,28	10,53
B	Média	32,23	26,17	58,50
	DP	11,15	7,73	17,06
Biomassa seca por ha				
		Densidade plantas/ha	Produção biomassa seca em kg/ha	
A		79910,71	1.807,98	
B		87500,00	2.559,38	
B-A		7589,29	751,40	
		Nt	Ct	Ct/Nt
		g/kg		
A		9,43	391,10	
A		8,53	331,70	
B		8,62	346,30	
B		7,81	318,50	
	Média	8,60	346,90	
	DP	0,66	31,58	40,34

O processo de lavagem de raízes é complexo, sendo quase impossível eliminar todas as partículas minerais adsorvidas nas superfícies orgânicas. Para obviar esta situação, podemos calcular o grau de pureza em Ct do material orgânico por comparação com os valores do intervalo teórico. Assim a percentagem de carbono no material é de 34,69%, valor muito afastado do teórico que se situa no intervalo 45-48%.

Da análise dos dados inscritos na tabela 10 podemos extrair as seguintes ilações:

- A biomassa seca dos colmos (com cerca de 15/20 cm de altura) é, em média, ligeiramente superior à das raízes do milho (coronárias, grossas e médias);
- A produção de biomassa total (colmos + raízes) seca é maior no tratamento B por duas razões:
 - A biomassa seca de 2 plantas (apenas colmos + raízes) é maior em B (58,50 g) comparativamente a A (45,25 g);
 - A densidade de plantas em B é superior a A em 7.589,29 plantas/ha;
- Se considerarmos que a biomassa seca de colmos + raízes apresenta teores em Nt e Ct semelhantes em ambos os tratamentos, com valores médios de 8,60 g/kg de Nt e 346,90 g/kg de Ct, podemos inferir que o contributo global em Nt e Ct para o enriquecimento do solo por tratamento é de:
 - Tratamento A:** 15,55 kg/ha de Nt e 627,19 kg/ha de Ct;
 - Tratamento B:** 22,01 kg/ha de Nt e 887,85 kg/ha de Ct;
 - A diferença B-A** é de +6,46 kg/ha de Nt e de +260,66 kg/ha de Ct;
- A razão Ct/Nt é de 40,34, classificada de muito alta, logo a taxa de mineralização (decomposição total da MO) é baixa, mas progressiva por tratar-se de material orgânico pouco lenhificado;
- À cultura do milho segue-se a do azevém, que ocorre em período muito húmido, a qual só irá beneficiar, pelas razões expressas na alínea d), dos constituintes libertos pela decomposição do material orgânico acima referido, muito provavelmente só após o 1.º corte.

4.4.2. Determinação do Ct e Nt existentes na fração granulométrica saibro

Todas as determinações analíticas correntes incidem sobre a terra fina, logo não são quantificadas as variáveis Ct e Nt contidos no saibro. Morfologicamente, as frações saibro e cascalho apresentam bastantes fragmentos orgânicos com origem no **SO-MUSAMI** cujo teor em Nt e Ct não é quantificado, mas cujo conhecimento é do maior interesse na interpretação da variação interanual do Ct.

Para este efeito criamos amostras compostas de saibro, de ambos os tratamentos, esmagamo-las, trituramos e passamos pelo crivo dos 2 mm, o qual é depois enviado para o laboratório.

Na **tabela 11**, apresentamos os dados registados em 2025.

Tabela 11 - Teores em Nt e Ct na fração saibro e contributo para a terra total

Tratamento		Teores em Nt e Ct na fração saibro	
		Nt	Ct
		g/kg	
A	Média	1,06	11,15
	DP	0,21	1,98
B	Média	1,28	18,11
	DP	0,28	3,12
Percentagem da fração saibro na terra total			
A	Média	9,44	
B	Média	9,77	
Contributo dos teores em Nt e Ct na fração saibro para a terra total (Tf+EG)			
		Nt	Ct
		mg/kg	
A		100,1	1.052,6
B		125,1	1.769,3
B-A		25,0	716,7

Da informação registada na **tabela 11** sobre os teores em Nt e Ct na fração saibro e respetiva percentagem podemos calcular o contributo reportado à terra total, executando os passos abaixo, tomando como exemplo o tratamento B:

- 9,77% de saibro significa 97,7 g de saibro em 1000 g de terra total (Tt);
- Se o teor em Nt é de 1,28 g/kg significa que em 1 kg de saibro existe 1,28 g de Nt;
- Para obtermos 1 kg de saibro necessitamos de 10,235 kg de terra total;
- Logo em 10,235 kg de Tt seca a 105 °C existem 1,28 g de Nt;
- Reportando Nt a 1 kg de terra total teremos 125,10 mg/kg.

Para o Ct os procedimentos são os mesmos. Os resultados finais, tratamentos A e B, são apresentados na **tabela 11**.

Da análise dos dados, concluímos que os tratamentos A e B apresentam teores em Nt e Ct distintos, sendo as diferenças B-A de 25,0 mg/kg para o Nt e de 716,7 mg/kg de Ct.

Se considerarmos que o volume rizosférico por excelência representa uma massa de solo de 275 kg (massa volúmica de 1,1 t/m³ igual ao quociente entre a massa do solo seco (t) e o volume do solo (1 m³x0,25 m), concluímos que os quantitativos em Nt e Ct são elevados, sendo as diferenças B-A de 6,88 g/m² de Nt e de 197,09 g/m² de Ct.

Se adicionarmos aos contributos em Nt e Ct da fração saibro os da fração cascalho, esta não quantificada em termos analíticos, mas com alguns fragmentos orgânicos observáveis a olho nu, concluímos que estes aspetos devem ser tomados em consideração quando analisamos os teores em Nt e Ct determinados na terra fina.

4.4.3. Precipitação ocorrida ao longo do ciclo cultural

A distribuição da precipitação por fases do ciclo é apresentada na **tabela 12**.

Tabela 12 - Duração e precipitação ocorrida durante o ciclo cultural

6.º ciclo cultural: ano de 2025				
Fases do ciclo	Início	Fim	Duração (dias)	Precipitação (mm)
Sementeira-emergência	29/05	06/06	9	5,87
Emergência-milho joalheiro	27/06	19/07	43	15,07
Milho joalheiro-floração	20/07	17/08	29	5,05
Floração-colheita	18/08	20/09	34	42,98
Total			115	68,97

Da análise dos dados apresentados na **tabela 12** concluímos que:

- Ciclo cultural teve início a 29/05 com a sementeira do milho e fim a 20/09 com a colheita para efeitos de monitorização, num total de 115 dias;
- Período cultural foi muito seco, tendo ocorrido no total 68,97 mm, com 34,43% nos dois dias anteriores ao controlo biométrico, logo a precipitação útil foi de apenas 45,22 mm.

Esta foi a precipitação mais baixa ocorrida ao longo de 6 ciclos culturais.

Indagando sobre a distribuição mensal da precipitação ocorrida desde a sementeira do azevém em outubro de 2024 e a colheita do milho em setembro de 2025, registamos os valores apresentados na **tabela 13**.

Tabela 13 – Precipitação mensal ocorrida entre outubro de 2024 (sementeira do azevém) e setembro de 2025 (colheita do milho)

Mês	Precipitação	Dias de média e grande pluviosidade (mm/dia)		
	mm	Média (5 mm<pluv<10 mm)	Grande (>10 mm)	*
Out/24	62,80	5,46	19,39; 13,32; 15,59	48,30
Nov/24	110,14	6,36; 5,63; 5,43; 6,06; 6,37	10,96; 26,63; 11,56	49,15
Dez/24	36,30	6,96	12,72	12,72
Jan/25	101,22	7,85; 5,50; 7,83; 8,45	22,80; 35,34	58,14
Fev/25	117,40	8,81; 6,28	11,89; 13,98; 19,93	48,39
Março/25	105,65	5,00; 6,18; 6,02; 8,87; 8,49; 6,85	13,07; 10,90; 10,85; 13,57	48,39
Abril/25	98,82	5,46	24,97; 10,63; 20,18; 10,23; 15,82	81,83
Mai/25	80,30	6,97; 7,1; 5,21	21,00; 13,92; 11,57	46,49
Subtotal-1	775,43			
Jun/25	5,74			
Jul/25	10,45			
Ag/25	12,95			
Set/25	46,83	7,32; 5,33; 5,89; 3,62	18,42	
Subtotal-2	75,97			
Total	851,40			

*Somatório mensal dos eventos meteorológicos de grande intensidade

Da análise dos dados da **tabela 13**, podemos extrair as **seguintes ilações**:

- a) O período chuvoso estende-se de outubro a maio, sendo os meses mais chuvosos os de novembro, janeiro, fevereiro, março e abril, podendo classificar-se os meses de outubro e maio moderadamente chuvosos, sendo estes últimos os meses em que ocorrem as sementeiras do azevém e do milho;
- b) Os meses de junho, julho e agosto, correspondem a um período muito seco;
- c) Dias de muito elevada precipitação ($P > 10$ mm) podem ocorrer em todos os meses muito e moderadamente chuvosos, mas os riscos maiores para a perda do solo por erosão hídrica ocorrem nos meses de outubro e maio, período de sementeiras por excelência;
- d) Em outubro de 2024 ocorreram precipitações (mm) diárias de 19,39, 13,32 e 15,59 e em maio de 2025 de 21,00, 13,92 e 11,57;
- e) Em sistema agrário com mobilização do solo no momento da sementeira a superfície do solo apresenta-se nua, logo desprotegida do impacto das gotas de chuva, as quais destroem os agregados com dispersão das partículas, promovendo a acumulação de água e o arrastamento daquelas por escorrência superficial, com formação de sulcos no terreno;
- f) Só a partir de 1 mês (aproximadamente) a partir da sementeira é que a superfície do solo oferece proteção contra a erosão, ou seja quando a cultura cobre todo o terreno;
- g) No presente caso de estudo, com rotação "azevém x milho forrageiro", este último após colheita mecânica é destruído com rototerra, seguindo-se a sementeira do azevém; este por sua vez é sujeito ao pastoreio animal uma vez/ciclo, sendo os últimos cortes mecânico, seguindo-se lavoura a 25 cm de profundidade com charrua e regularização da superfície do terreno com rototerra, depois a sementeira do milho com semeador de precisão;
- h) A movimentação do trator equipado com charrua ou rototerra fez-se sempre, erradamente, no sentido do maior declive, quando a parcela permitia uma adequada circulação segundo as curvas de nível;

- i) Se o milho for semeado no sentido do maior declive, é recomendado que o destroçamento no pós colheita seja feito com rototerra a trabalhar segundo as curvas de nível. O resultado é um destroçamento dos colmos do milho maior e melhor cobertura da superfície do solo com os restolhos, logo maior proteção contra a erosão hídrica;
- j) **Em síntese:** a fileira do milho forrageiro tem de refletir sobre as técnicas atualmente em uso e optar por sistemas mais conservativos do solo, nomeadamente pelo sistema de sementeira direta, para a qual a ilha já dispõe de parque de máquinas adequadas.

5. CONCLUSÕES

No 6.º ano do estudo comparativo entre produção de milho para silagem, inserido na rotação "azevém x milho", recorrendo à aplicação de fertilizantes minerais por ciclo cultural (tratamento A) versus incorporação de 40 kg/m² de **SO-MUSAMI** no início do ensaio (tratamento B), em sistema de mobilização intensiva do solo e elevado défice hídrico durante o ciclo cultural, podemos tirar as seguintes conclusões:

- a) O acréscimo de rendimento do tratamento B comparativamente ao tratamento A foi de 17,455 kg/ha de matéria verde, correspondendo a um ganho de 1.396€;
- b) O custo dos nutrientes NPK aplicados no tratamento A e não aplicados em B foi de 429€;
- c) O teor em carbono total, principal indicador da fertilidade dos solos, em 6 anos de ensaio, baixou 13,17 g/kg no tratamento A, ou seja, passou de um teor alto (50,86 g/kg) para um teor baixo (28,21 g/kg) de MO;
- d) O teor em carbono total no tratamento B para o mesmo período, baixou 10,00 g/kg, ou seja, passou de um teor muito alto (69,23 g/kg) para alto (51,94 g/kg);
- e) No final do 6.º ciclo cultural as diferenças no horizonte Ap (0-25 cm), entre os tratamentos B-A, são muito significativas para todas as variáveis analisadas, correspondendo a:
- $pH_{H_2O} = +0,91$ (muito efetivo e resiliente na correção da acidez do solo);
 - $Ct = +13,85$ g/kg (muito resiliente na mineralização da MO);
 - $Nt = +1,1$ g/kg (elevada disponibilidade para a cultura seguinte);
 - $P2O5 = +110,49$ g/kg (muito elevada disponibilidade para a cultura seguinte);
 - $K2O = +171,05$ g/kg (muito elevada disponibilidade para a cultura seguinte);
 - $CTC = +6,32$ cmol_c kg⁻¹ (aumento muito significativo na capacidade de retenção de iões de troca);
 - Ca^{2+} de troca = +8,75 cmol_c kg⁻¹ e Mg^{2+} de troca = 1,93 cmol_c kg⁻¹ (muito mais cálcio e magnésio de troca);
 - $Corg=10,90$ g/kg e $Cpart = 1,25$ g/kg (muito elevada (89,71%) percentagem de carbono humificado, muito resistente à mineralização por via biológica);
- f) Quatro conclusões relevantes podem ainda ser extraídas:
- A pauperização acelerada do solo do tratamento A, como consequência do sistema cultural adotado que favorece a erosão hídrica;
 - A muito elevada resiliência do **SO-MUSAMI** no solo, o qual funciona como melhorador das principais variáveis físicas (maior retenção de água e maior porosidade), químicas (pH e nutrientes NPK) e físico-químicas (complexo de troca) do solo, bem como promotor do desenvolvimento dos sistemas radiculares (quimiotropismo);
 - Ocorrendo a sementeira do azevém e do milho em meses moderadamente chuvosos (outubro e maio), mas com frequência com intensidades elevadas, a opção pelo sistema de sementeira direta recomenda-se;
 - Finalmente, sendo o período cultural do milho, junho a setembro, frequentemente de elevado défice hídrico, recomenda-se sistemas culturais não compactantes (o pisoteio animal compacta todo o Ap e a lavoura compacta a camada do fundo do rego) do solo e conservativos da água (a mobilização acelera a perda de água por evaporação), atributos que o sistema de sementeira direta reúne.

Como nota final recomendamos que no processo de distribuição do **SO-MUSAMI** sobre o terreno se utilize o distribuidor de estrumes e seja realizado em condições climáticas adequadas.



MUSAMI

Geramos valor para a natureza