



**MUSAMI**  
OPERAÇÕES MUNICIPAIS DO AMBIENTE E.A.M., S.A.

*Geramos valor para a natureza*



RELATÓRIO DE PROGRESSO Nº4

INCORPORAÇÃO NO SOLO DE DOSE  
MACIÇA DE **SO-MUSAMI** NA CULTURA  
DO MILHO FORRAGEIRO



**MARÇO 2024**



**Projeto financiado pela: MUSAMI - OPERAÇÕES MUNICIPAIS DO AMBIENTE, EIM, SA**

**TRABALHO COORDENADO POR:**

**Carlos Manuel de Arruda Pacheco**

Doutorado em Engenharia Agronómica

**COM A COLABORAÇÃO DE:**

**André Miranda Oliveira**

Mestre em Engenharia Agronómica



# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	4
2. OBJETIVOS.....	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	4
3.1 Fertilização orgânica e mineral.....	5
3.1.1. Fertilização orgânica (TB): incorporação de 40kg/m <sup>2</sup> do SO .....	5
3.1.2. Fertilização mineral (TA).....	6
3.1.3. Comparação de resultados entre TA e TB a 30 de junho e a 7 de outubro de 2020.....	6
3.2. Variação temporal do carbono e nutrientes no solo .....	7
3.2.1. Variação temporal do carbono no solo .....	7
3.2.2. Variação temporal dos nutrientes NPK e pH no solo.....	8
3.3. Produção de milho forrageiro.....	9
3.4. Avaliação da capacidade produtiva do solo após 4 anos de produção .....	11
4. CONCLUSÕES.....	13



# INCORPORAÇÃO MACIÇA NO SOLO DO SUBSTRATO ORGÂNICO SO-MUSAMI: ENRIQUECIMENTO E RESILIÊNCIA EM CARBONO E NUTRIENTES E SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo, com a duração de 4 anos (2020 a 2023), foi realizado no sistema de cultivo “milho forrageiro x azevém”, com incorporação de 40kg/m<sup>2</sup> do substrato orgânico (SO) da MUSAMI (Operações Municipais do Ambiente) à profundidade de 0,30m, resultando na formação dos horizontes culturais Ap1(0-0,15m) e Ap2 (0,15-0,30m).

No terreno com 1,5ha, topografia de morfologia convexa, declive moderado (10 a 15%), solos de perfil ApC, com algum a bastante elementos grosseiros (EG≈20 a 30%), classe textural franca (argila≈12 a 14%), classificados de Antrossolos Pardacentos derivados de cinzas e materiais vulcânicos de natureza pomítica, foram implantados os tratamentos A (TA) e B (TB), tendo o primeiro recebido todos os anos fertilização mineral e o segundo fertilização orgânica só no primeiro ano. TA e TB foram distribuídos em dois blocos divididos cada um em duas parcelas.

Duas semanas após a sementeira do milho e todos os anos após a colheita, foram abertos oito perfis nos tratamentos A e B, com 1,5m de comprimento e 0,5m de profundidade, para estudo da distribuição do SO nos horizontes culturais e colheita de amostras representativas para efeitos analíticos.

As variáveis biométricas e a biomassa verde do milho forrageiro à colheita foram quantificadas, com recolha das plantas em duas linhas contíguas ao longo de dois metros, área de 2,8m<sup>2</sup>.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar, comparando fertilização mineral (TA) versus fertilização orgânica (TB), a dinâmica do carbono, pH e nutrientes NPK no solo, a sustentabilidade e rendimento da produção do milho forrageiro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

- ▶ Nos pontos 3.1.1 a 3.1.3 são apresentados os dados relativos ao enriquecimento do solo em carbono total e nutrientes;
- ▶ Nos pontos 3.2.1 a 3.2.3 são apresentados os dados relativos à dinâmica do carbono total e dos nutrientes no solo;
- ▶ No ponto 3.3. é analisada a produção forrageira ao longo dos 4 anos;
- ▶ No ponto 3.4. é feita a avaliação da capacidade produtiva do solo após 4 anos de produção.





## 3.1 Fertilização orgânica e mineral

### 3.1.1. Fertilização orgânica (TB): incorporação de 40kg/m<sup>2</sup> do SO

**DADOS:** Composição do SO-MUSAMI em 2020

- › Matéria orgânica (MO)=18%;
- › Azoto total (N)=0,6%;
- › Fósforo (P) expresso em P2O5=0,6%;
- › Potássio (K) expresso em K2O=3907mg/kg
- › Humidade=40%.

#### CONVERSÕES:

**Nota:** Todos os dados laboratoriais são expressos m/m, isto é, massa/massa, da amostra de terra fina (Tf: fração de diâmetro menor que 2mm) seca a 105°C. A terra total (Tt) é igual ao somatório da Tf mais os elementos grosseiros (EG fração de diâmetro > 2mm e <50mm). Assume-se, em teoria, que os EG são quimicamente inertes.

- › 18% de MO é equivalente a 180g/kg e a 105,88g/kg de Ct, ou seja, teor de Ct por kg de solo seco;  
(Equação para conversão da MO em Ct, %MO=%Ct $\times$ 1,7; logo %Ct=%MO/1,7)
- › 0,6% N é equivalente a 6g/kg;
- › 0,6% de P2O5 é equivalente a 6g/kg de P2O5 e a 2,616g/kg de P;
- › 3907mg/kg de K2O é equivalente a 3242,81mg/kg de K, logo a 3,24g/kg de K;
- › 40kg/m<sup>2</sup> de SO com 40% de humidade é equivalente a 24kg/m<sup>2</sup> de SO seco;

**Coefficientes de conversão** para o fósforo e potássio: P=P2O5 $\times$ 0,436 e K=K2O $\times$ 0,83.

Assim, 24kg/m<sup>2</sup> de SO seco encerram, de acordo com os dados analíticos:

- › 2,541kg/m<sup>2</sup> de Ct;
- › 144g /m<sup>2</sup> de N;
- › 144g/m<sup>2</sup> de fósforo expresso em P2O5 equivalente a 62,784g/m<sup>2</sup> de fósforo em P;
- › 93,768g/m<sup>2</sup> de potássio expresso em K2O equivalente a 77,827g/m<sup>2</sup> de potássio em K.

Os 24kg/m<sup>2</sup> do SO seco foram incorporados no solo, à profundidade de 0,30m (medidos imediatamente após o afofamento do solo), utilizando uma charrua de dois ferros, seguida de destorroamento e uniformização do terreno com roto terra.

Duas semanas após a sementeira do milho foi feita a primeira amostragem do solo para fins analíticos. Neste intervalo de tempo a espessura do solo mobilizado reduziu-se cerca de 0,03m. A massa volúmica (Mv) do solo (horizonte Ap (0-0,27m) foi estimada em 0,9kg/dm<sup>3</sup> por comparação com Mv=1,0 kg/dm<sup>3</sup> do solo calculada no pós colheita do milho, ou seja, a massa do solo seco afetada pela incorporação de 24kg/m<sup>2</sup> de SO é de 243kg (massa do solo=massa volúmica  $\times$  0,27m  $\times$  1m<sup>2</sup>), donde se conclui que o enriquecimento em CNPK por kg de solo seco é de:

- › 10,46g/kg de Ct;
- › 592,59mg/Kg de N;
- › 258,37mg/kg de P;
- › 320,28mg/kg de K.

**Nota:** A lavoura com charrua distribuiu 3 vezes mais SO no Ap2 comparativamente a Ap1. Trata-se de uma distribuição em bandas intercaladas por zonas do solo sem SO, na proporção percentual de 60:40, respetivamente com e sem SO.



### 3.1.2. Fertilização mineral (TA)

A fertilização mineral do TA no 1º ano foi de 238:33:54 Kg/ha de NPK, equivalente a 23,8:3,3:5,4 g/m<sup>2</sup> de NPK, incorporados em 243Kg solo seco a que corresponde em mg de NPK por kg de solo seco a:

- 97,94mg/kg de N;
- 13,58mg/kg de P equivalente a 31,147 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;
- 22,22mg/kg de K equivalente a 26,771 mg/kg de K<sub>2</sub>O.

### 3.1.3. Comparação de resultados entre TA e TB a 30 de junho e a 7 de outubro de 2020

No quadro 1, compara-se os resultados analíticos obtidos nos tratamentos fertilização mineral (TA) e fertilização orgânica (TB) a 30 de junho de 2020.

**Quadro 1. Dados analíticos relativos à data de 30 de junho de 2020**

Variáveis químicas	TA	TB	TB-TA
Ct (g/kg)	29,57±4,74	40,25±9,47	+10,68
N (g/kg)	2,41±0,31	2,38±0,37	+0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	81,75±29,83	166,53±95,61	+84,78
K <sub>2</sub> O (mg/kg)	265,37±104,70	833,88±554,02	+568,51
pH <sub>H2O</sub>	5,46±0,21	6,00±0,22	+0,54

Verifica-se que o enriquecimento do TB, comparativamente a TA, foi de +10,68g/kg de Ct, O equivalente a +18,16g/Kg de MO, ou seja, +1,82% de MO, valores em N semelhantes em TA e TB, e valores muito superiores em P (+84,78), K (+568,51) e pH (+0,54). Conclui-se que 2 semanas após a incorporação do SO a disponibilidade em NPK e o pH do solo são muito favoráveis ao crescimento do milho forrageiro.

A elevada dispersão em relação ao valor médio no TB comparativamente a TA explica-se pela elevada heterogeneidade na distribuição do SO sobre o terreno (arrasto com pá frontal do trator) e morfologia em bandas (com e sem SO) no Ap2, o que dificulta a colheita de amostras do solo representativas.

No quadro 2, compara-se os resultados analíticos entre TA e TB, no pós colheita do milho.

**Quadro 2. Dados analíticos relativos à data de 7 de outubro de 2020**

Variáveis químicas	TA	TB	TB-TA
Ct (g/kg)	27,99±4,87	44,13±16,28	+16,14
N (g/kg)	1,94±0,27	2,30±0,32	+0,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	75,64±18,94	234,32±205,72	+158,68
K <sub>2</sub> O (mg/kg)	250,29±134,58	1066,09±693,56	+815,80
pH <sub>H2O</sub>	5,38±0,43	6,09±0,40	+0,71

Verifica-se que as diferenças entre TB e TA se acentuaram em todas as variáveis analisadas e que os valores registados em TB são superiores à colheita comparativamente à sementeira. Dos resultados em NPK no solo, conclui-se que o conforto nutricional foi elevado no TA e significativamente muito mais elevado no TB.



## 3.2. Variação temporal do carbono e nutrientes no solo

### 3.2.1. Variação temporal do carbono no solo

Conhecendo a variação temporal do carbono do solo, podemos inferir sobre a taxa da decomposição da MO pela atividade microbiana e, conseqüentemente, sobre a resiliência do carbono e liberação de nutrientes. Nos quadros 3 e 4, apresenta-se a variação do Ct no período de 98 dias (30/6 a 7/10 de 2020) e ao longo dos 4 anos (7/10/2020 a 16/09/2023), no horizonte Ap (0-27cm), comparando os tratamentos A e B.

**Quadro 3. Variação do Ct em TA e TB no período de 98 dias**

Variável	30 junho 2020 (D1)		7 outubro 2020 (D2)		D1-D2	
	TA	TB	TA	TB	TA	TB
Ct (g/kg)	29,57±4,74	40,25±9,47	27,99±4,87	44,13±16,28	-1,58	+3,88

Verifica-se uma perda em TA de -1,58g/kg e um ganho em TB de +3,88g/kg em Ct.

**Quadro 4. Variação do Ct em TA e TB ao longo dos 4 anos**

Anos	TA	TB	Variação TA(D1-D4)	Variação TB(D1-D4)
	Ct (g/kg)			
Pós colheita	Ct (g/kg)			
2020 (D1)	27,99±4,87	44,13±16,28		
2021 (D2)	28,06±2,96	48,28±9,82	-0,05	-0,94
2022 (D3)	27,27±3,66	41,89±7,01		
2023 (D4)	28,04±3,55	43,19±8,11		

Verifica-se que ao longo dos 4 anos o Ct no TA apresenta uma variação estatisticamente não significativa ((p-value=0,971>0,05), enquanto o TB apresenta ao longo dos 4 anos uma flutuação e uma dispersão em relação ao valor médio muito superior a TA, consequência da grande heterogeneidade da distribuição do SO no solo. A diferença em Ct entre o 1º e último ano é negativa (-0,94 g/kg) mas não significativa (p-value=0,843>0,05). Conclui-se que ao longo dos 4 anos do cultivo da rotação "milho forrageiro x azevém", mobilização com charrua e destorroamento com rototerra, não se registaram perdas de MO com significado estatístico.



### 3.2.2. Variação temporal dos nutrientes NPK e pH no solo

No quadro 5, apresenta-se a variação de nutrientes NPK e pH do solo ao longo dos 4 anos de ensaio, com amostras do solo colhidas no pós colheita.

**Quadro 5. Variação dos nutrientes NPK e pH**

Anos	Variáveis	TA	TB	TB-TA	Diferença	
2020 (D1)	N (g/kg)	1,94±0,27	2,30±0,32	+0,36		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	175,90±44,13	544,93±478,41	+369,03		
	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	301,55±162,14	1284,45±835,61	+982,90		
	pH <sub>H2O</sub>	5,38±0,47	6,09±0,65	+0,71		
Fertilização	NPK/ha	238:33:54	Zero de mineral		TA	TB
					<b>D2-D1</b>	
2021 (D2)	N (g/kg)	2,29±0,60	3,52±1,11	+1,23	+0,35	+1,22
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	333,87±138,28	862,41±382,89	+58,54	+157,97	+317,48
	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	273,92±97,56	980,72±299,49	+706,80	-27,63	-303,73
	pH <sub>H2O</sub>	5,50±0,27	6,67±0,51	+1,17	+0,12	+0,58
Fertilização	NPK (Kg/ha)	175:51:93	Zero de mineral		<b>D3-D2</b>	
2022 (D3)	N (g/kg)	1,82±0,49	2,93±0,77	+1,11	-0,47	-0,59
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	136,49±37,59	281,25±62,19	+144,76	+197,38	-581,16
	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	412,85±129,54	1055,11±210,74	+642,26	-138,93	+74,39
	pH <sub>H2O</sub>	5,28±0,37	6,36±0,29	+1,08	+0,22	-0,31
Fertilização	NPK (Kg/ha)	105:53:35	Zero de mineral		<b>D4-D3</b>	
2023 (D4)	N (g/kg)	1,75±0,63	3,08±0,77	+1,33	-0,07	+0,15
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	157,43±41,52	414,70±222,56	+257,27	+20,94	+133,45
	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	149,56±48,44	421,78±134,71	+272,22	-263,29	-633,33
	pH <sub>H2O</sub>	5,39±0,20	6,22±0,31	+0,83	+0,11	-0,14
Fertilização	NPK (Kg/ha)	105:53:35	Zero de mineral			

Da análise dos dados do solo ao longo dos 4 anos, podemos extrair as seguintes ilações:

- ▶ A fertilização mineral do TA foi ajustada do 1º para o 2º ano e deste para o 3º e 4º anos, com redução do NK e aumento do P;
- ▶ Os teores elevados em NPK no solo, ao longo dos 4 anos, são reveladores do elevado conforto nutricional da cultura do milho forrageiro ao longo do ciclo cultural, bem como da cultura subsequente o azevém;
- ▶ A incorporação de 40Kg/m<sup>2</sup> do SO-MUSAMI proporcionou à rotação "milho x azevém", ao longo dos 4 anos, no TB, um conforto nutricional muito superior ao registado no TA;
- ▶ A diferença (TB-TA) em nutrientes NPK e pH é muito positiva e muito significativa ao longo dos 4 anos, e ainda muito alta e significativa no 4º ano;
- ▶ A diferença (TB-TA) no pH<sub>H2O</sub> cresceu do 1º para o 2º ano de 0,71 para 1,17, decrescendo depois no 3º e 4º anos para 1,08 e 0,83;
- ▶ A diferença nos teores em PK, entre datas no TA, revelam uma variação positiva muito forte no P e negativa muito forte no K;





- › A diferença nos teores em PK, entre datas, no TB revelam uma variação positiva forte no P (exceto entre D3-D2, que é fortemente negativa) e negativa muito forte no K (exceto entre D3-D2, que é positiva);
- › O forte decréscimo do K, entre datas, tanto no TA como no TB, são reveladoras da forte extração deste elemento pelo milho forrageiro;
- › Os dados do solo revelam que a fertilização do TA pode ser ajustada em função dos nutrientes PK exportados pela biomassa forrageira da rotação “milho x azevém”.

### 3.3. Produção de milho forrageiro

A produção de milho forrageiro é função, para além do maior ou menor conforto nutricional, de outros fatores, nomeadamente:

- › Da variedade selecionada e da duração do ciclo cultural;
- › Da precipitação total, bem como da sua distribuição nas diferentes fases do ciclo cultural;
- › Da eficácia dos herbicidas no controlo das infestantes;
- › De outros fatores culturais, como por exemplo, a incidência de pragas.

Ao longo dos 4 anos, a cultivar evoluiu da LimaGrain FAO 400 (1ºano), FAO 500 (2º ano) FAO 600 (3º ano) e *Syngenta Hydro* FAO 600 (4º ano), sabendo-se que quanto mais longo é o ciclo maior é a produtividade. A opção, quanto à duração do ciclo, depende do estado da cultura precedente (azevém), sujeito a pastoreio direto nos dois cortes iniciais e a corte mecânico no último para fenação. As condições climáticas prevaletentes no final do ciclo do azevém condicionam a data da sementeira.

A precipitação total ( $1L/m^2=1mm$ ) variou de 117 no 1º ciclo, 259,5 no 2º, 283,32 no 3º e 254,67 no 4º ano, com défice hídrico muito acentuado no 1º ano. Em todos os anos, a fase vegetativa do ciclo “milho joalheiro – floração” com a duração de 40 a 50 dias, foi aquela em que se registou a menor precipitação, entre 10 a 20mm, nos anos de precipitação >250mm. Por regra, os meses de julho e agosto são deficitários do ponto de vista hídrico.

O sistema radicular do milho apresenta uma distribuição agregada, ou seja, concentrada por zonas do volume do solo potencialmente explorável, o que determina uma eficácia do sistema radicular inferior a 1, muito provavelmente da ordem dos 0,6 a 0,8 no Ap2.

A reserva em água útil ( $Au \approx 16\%$ ) do Ap (0-27cm) é de 43,2mm. Em termos aproximados a taxa média diária de absorção de água pela planta, na fase “milho joalheiro – floração” é cerca de 1mm/dia, classificada de muito deficitária, para um adequado desenvolvimento do milho.

As variáveis biométricas número e altura das plantas em  $2,8m^2$  ( $2,0m \times 1,40m$ ), número de folhas e de maçarocas por planta, bem como os respetivos pesos em verde foram quantificados no campo, num total de oito repetições por tratamento.

Em 2023, o teor em água médio, num total de 3 repetições por tratamento, foi determinado para as componentes folhas, maçarocas e caules, por secagem na estufa a 80°C. A percentagem do peso médio dos caules, folhas e maçarocas relativamente á planta total foi calculado. Com base no teor em água dos diferentes componentes da planta calculou-se a matéria seca.



No quadro 6, apresenta-se a produção de matéria verde (MV) e seca (MS) relativa a 2023.

**Quadro 6. Produção de MV e MS de milho forrageiro em 2023**

Tratamentos	Produção de matéria verde e seca (kg/ha)	
	Produção matéria verde (kg/ha)	Produção matéria seca (kg/ha)
TA	41.040,18±7.559,32	13.549,69±2495,76
	Teor em água: 67,06%	
TB	41.040,18±7.559,32	20.867,22±2.055,56
	Teor em água: 73,81%	

Verifica-se que o TB apresenta, por comparação ao TA, quase o dobro da produção em MV. À colheita as plantas do TA apresentam menos 6,75% de água por comparação com TB.

No quadro 7 e 8, apresenta-se a produtividade (kg/ha) global e fracionada por maçarocas, folhas e caules e respectivos teores em água.

**Quadro 7. Produtividade global, percentual por frações e teores em água**

Tratamentos		Peso total	Peso maçarocas	Peso folhas	Peso caules
<b>Matéria verde (MV) em kg/ha</b>					
TA	Média	41.040,18	15.875,00	8.848,21	16.316,96
	DP	7.559,32	4.821,99	1.234,82	2.565,99
TB	Média	79.812,50	26.431,25	16.473,21	36.908,04
	DP	7.862,05	1.494,52	1.571,40	5.512,76
<b>MV: Representação percentual (%)</b>					
TA		100	38,68	21,56	39,76
TB		100	33,12	20,64	46,24
	Média		35,90	21,10	43,00
<b>MS: Representação percentual (%)</b>					
TA	Média	32,94	39,03	36,31	25,81
	DP	0,69	2,35	7,54	1,98
TB	Média	26,19	42,57	21,93	16,25
	DP	0,64	1,28	1,32	0,89

**Quadro 8. Teores em água na biomassa verde**

Teores em água (%)					
		Total planta	maçarocas	folhas	caules
TA	Média	67,06	60,97	63,69	74,19
	DP		2,35	7,54	1,98
TB	Média	73,81	57,43	78,07	83,75
			1,28	1,32	0,89



O valor forrageiro da fração maçaroca é superior às frações folhas e caules e a proporção entre frações varia com as cultivares. No caso da variedade *Syngenta Hydro* as frações maçaroca e caules estão proporcionalmente próximas entre si e muito superiores à fração folhas.

A produtividade global para os 4 anos é apresentada no quadro 9.

**Quadro 9. Produtividade do milho forrageiro ao longo dos 4 anos**

Tratamentos/Ano		Matéria verde: t/ha			
		2020	2021	2022	2023
TA	Média	36,00	58,10	71,29	41,04
	DP	6,39	7,74	10,39	7,56
TB	Média	45,70	72,53	90,60	79,81
	DP	8,22	5,27	5,41	7,86
TB-TA	Dif. Média	9,70	14,43	19,31	38,77

Verifica-se que a diferença na produtividade anual entre TB e TA é muito significativa e crescente ano após ano, culminando no 4º ano quase com o dobro da produção em MV.

### 3.4. Avaliação da capacidade produtiva do solo após 4 anos de produção

Em 2020, os solos da área de terreno submetida aos tratamentos TA e TB eram semelhantes, com diferenças de declive entre blocos. Ao longo dos 4 anos, ambos os tratamentos A e B foram submetidos às mesmas técnicas de preparação do solo, pastoreio direto do azevém e colheita mecânica do milho forrageiro.

Em 2023, os solos (horizontes Ap1 e Ap2) foram caracterizados quanto à partição do Ct em carbono humificado (Ch) e carbono particulado (Cp), granulometria da Tf, capacidade de troca catiónica (CTC), iões de troca, soma das bases de troca (BT) e constantes de humidade a -33kPa e -1500KPa. As diferenças, para todas as variáveis analisadas, entre Ap1 e Ap2 são pequenas, razão porque só são analisados os valores médios.

O Ct e o Cp foram determinados por via húmida (método da oxidação) e Ch por diferença. Os resultados são apresentados no quadro 10.

**Quadro 10: Partição do carbono total em humificado e particulado**

Tratamentos	Horizontes	Ct(g/kg)	Ch(g/kg)	Ch (%)	Cp (g/kg)	Cp (%)
TA	Ap1	9,74	5,66	58,11	4,08	41,89
	Ap2	9,43	4,00	42,28	5,46	57,72
	Média	9,60	4,83	50,31	4,77	49,69
TB	Ap1	21,55	5,93	27,52	15,62	72,48
	Ap2	20,67	4,10	19,84	16,57	80,16
	Média	21,11	5,02	23,68	16,10	76,32
Dif. média	TB-TA	+11,51	+0,19	-26,63	+11,33	+26,63

**Nota:** Na determinação analítica do carbono do solo o método da oxidação é mais preciso que o método da calcinação, este mais expedito sobreavalia significativamente o teor em Ct. A regressão encontrada é a seguinte:  $Y (Ct_{\text{calcinação}}) = 0,8104 X (Ct_{\text{oxidação}}) + 1,6267$ ,  $R^2 = 0,5855$  para  $n = 12$ .



Verifica-se que TB apresenta mais do dobro do Ct (+11,51g/kg) do que TA, mas a diferença em Ch é muito pequena (+0,19g/kg), em contraste com o Cp que é cerca de 3 vezes mais elevado em TB relativamente a TA. A partição Ch/Cp é cerca de 50:50 no TA e 24:76 no TB. Do exposto, conclui-se que a elevada resiliência do Ct no solo no TB está sobretudo associada à fração Cp e não à fração Ch, situação essa a clarificar em futuros estudos. A primeira é constituída por partículas físicas sem eletronegatividade, e a segunda por macromoléculas químicas com eletronegatividade.

A granulometria foi determinada pelo método internacional e as constantes de humidade na terra fina pelo método da placa de pressão.

No quadro 11 são apresentados a granulometria da Tf e as constantes de humidade a -33kPa e -1500kPa.

#### Quadro 11. Granulometria da terra fina e constantes de humidade

Tratamentos/ Horizonte Ap(0-0,27m)	Granulometria ( $\phi < 2\text{mm}$ )				Teor de humidade		Água útil %
	AG	AF	LI	AR	% (m/m)		
	g.kg <sup>-1</sup>				-33kPa <sup>(1)</sup>	-1500kPa <sup>(2)</sup>	Au=(1)-(2)
TA	327,05	293,85	255,10	124,05	24,71	8,76	15,95
TB	309,95	295,80	252,10	142,15	27,25	11,93	15,32

Verifica-se que o teor em argila (AR) é superior no TB, comparativamente ao TA, em 18,1g/kg. Esta diferença tanto pode ser atribuída à maior perda de solo por erosão hídrica, esta afeta sobretudo a terra fina, como ao facto da determinação da granulometria implicar a destruição prévia da matéria orgânica com água oxigenada. Como a diferença em Ct entre tratamentos é grande pode ocorrer um ligeiro erro analítico na destruição prévia do carbono do solo.

Regista-se que o TB retém muito mais água que TA, tanto a -33kPa como a -1500kPa, mas a diferença resulta em menos Au, diferenças essas explicadas pelo aumento da microporosidade resultantes do enriquecimento em Ct. Trata-se de um resultado laboratorial dissonante da avaliação de campo, na qual o tratamento B revelou maior retenção e eficiência no uso da água. A retenção de água no campo depende não apenas da granulometria da TF, mas da terra total (TF+EG), da MO e da estrutura do solo, a qual é influenciada pela maior ou menor atividade biológica.

No quadro 12, são apresentados os dados relativos à CTC e BT.

#### Quadro 12. Catiões de troca e capacidade de troca catiónica

Tratamentos/ Horizonte Ap (0-0,27m)	Catiões de troca					
	Ca	Mg	K	Na	BT	CTC
	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>					
TA	2,2	0,35	0,26	0,48	3,29	12,50
TB	9,80	2,90	0,23	1,22	14,15	19,94
TB-TA	+7,51	+2,55	-0,03	0,74	-10,86	+7,44
Relações	Ca/Mg	Mg/K	K/Na	(BT/CTC)x100		
TA	6,5	1,3	0,5	26,32		
TB	3,4	12,6	0,2	70,96		



Verifica-se que a CTC é significativamente superior no TB (classificada de média-alta) por comparação com TA (classificada de média-baixa), sendo a diferença de +7,44  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ . A CTC representa o balanço em cargas negativas proporcionadas pela fração argila (componente mais fina <1micron do milímetro) e pela fração húmica do solo. A diferença de + 18,1 g/kg na fração argila no TB não justifica o acréscimo de +7,44  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  da CTC, logo a fração húmica no TA e TB não podem ser semelhantes como foi anteriormente referido. Esta questão deve ser aprofundada em estudos futuros.

A diferença entre CTC e BT representa a concentração em hidrogeniões no complexo de troca. Os iões Ca, Mg, K e Na, cátions com caráter básico, e o hidrogenião com caráter ácido adsorvidos nas superfícies eletronegativas estão em equilíbrio dinâmico com os iões da solução do solo.

Nos solos em que na fração argila dominam argilas do tipo das alofanas, as quais se caracterizam por apresentarem ponto isoelétrico, abaixo deste predominam as cargas positivas e acima as negativas, o qual afeta os valores da CTC e BT quando determinados pelos métodos analíticos usados para solos normais. O pH dos solos dos tratamentos A e B diferem em cerca de uma unidade o que pode causar uma diferença em CTC e BT superior ao esperado.

Da análise dos dados ressaltam as seguintes ilações:

- ▶ O TA apresenta CTC classificada de média-baixa (12,5  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ ) e TB de média-alta (19,9  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ );
- ▶ O TA apresenta muito baixo valor em bases, grau de insaturação muito elevado (26%) e muito fraca proporção em Mg e K;
- ▶ O TB apresenta grau de saturação em bases elevado (70,96%), relação Ca/Mg equilibrada, Mg/k desequilibrada, e teor em Na elevado;
- ▶ Em ambos os tratamentos o teor em k de troca é muito baixo, embora os teores em  $\text{K}_2\text{O}$  no solo sejam altos em TA e muito elevados em TB.

## 4. CONCLUSÕES

No ambiente pedoclimático do local, com bons solos e elevado conforto nutricional mas com déficit hídrico nos meses de julho e agosto, a precipitação total e a sua distribuição são os fatores que mais podem influenciar a produtividade.

A cultura do milho é muito exigente em água, mas apesar dos solos serem profundos (profundidade >1m) o sistema radicular do milho só coloniza os primeiros 40cm. Admitindo que a camada entre os 40-80cm ceda alguma água por ascensão capilar à camada subjacente, a reserva hídrica máxima ronda os 100mm, mas a eficiência radicular é menor que 1, muito provavelmente da ordem dos 0,7.

A incorporação de 40kg/m<sup>2</sup> do SO-MUSAMI originou um enriquecimento do horizonte Ap (0-27cm) muito significativo em MO, cerca de 1,8%, e em nutrientes NPK, o qual se mantém, ao fim de 4 anos de cultivo do milho, sem diferenças estatisticamente significativas entre o 1º e o 4º anos.

As diferenças significativas na produção forrageira entre os tratamentos fertilização mineral versus fertilização orgânica apresentam um padrão crescente entre o 1º e o 4º anos, culminando o TB com um rendimento duplo do TA.

Não foram registados, em nenhum momento, disfunções no crescimento do milho e a muito elevada disponibilidade em nutrientes no meio.



