

## 6 Resultados e discussão

### 6.1 Determinação mineralógica dos solos

A determinação dos constituintes mineralógicos dos solos foi realizada por meio de difração de raios-X e também através das descrições das lâminas delgadas. Foi possível identificar a presença principalmente dos seguintes minerais: quartzo, microclínio, biotita, caulinita, gibbsita e muscovita (**Tabela 6.1**). Os sistemas apresentam um conteúdo mineralógico bem parecido, sem muita variação com a profundidade.

**Tabela 6.1.** Resultado da difração de raios-X com o conteúdo mineralógico dos solos dos Sistemas 1, 2, 3 e 4.

Sistema	Muscovita	Quartzo	Gibbsita	Biotita	Caulinita	Microclínio	Opacos
Sistema 1	x	x	x		x		x
Sistema 2		x	x		x		x
Sistema 3	x	x	x	x	x	x	x
Sistema 4	x	x	x	x	x	x	x

Na análise microscópica feita para o estudo micromorfoógico destes sistemas descreveu-se também a forma, grão de alteração e associação dos minerais presentes. Em geral em todos os sistemas os minerais apresentam-se iguais, com pequenas variações no grau de arredondamento e fraturamento.

O quartzo apresenta-se anédrico, com suas bordas sub-angulosas e bastante fraturadas para todos os sistemas. Os cristais de microclínio de maneira geral encontram-se em cristais pequenos, com alteração para sericita e gibbsita, mas localmente são vistos cristais bem preservados.

Os cristais de biotita são subédricos a anédricos, formam aglomerados, observa-se na maioria das vezes alteração para muscovita. Também como mineral de alteração foi constatada a presença oxi-hidróxido de ferro e alumínio.

Nos sistemas estudados observou-se a presença de caulinita e quartzo em todas as profundidades, já a muscovita e gibbsita estão presentes nos sistemas 1, 3 e 4. A biotita e microclínio encontram-se somente nos sistemas 3 e 4.

A presença de cristais bem preservados de microclínio e biotita nos sistemas 3 e 4 pode estar relacionado a proximidade destes solos com a rocha devido o relevo local, isto é confirmado no estudo micromorfológico e também no fracionamento físico dos solos, que demonstram nestes sistemas temos uma maior quantidade de esqueletos nas 3 profundidades estudadas, bem como um conteúdo da fração areia maior

As **Figuras 6.1** e **6.2** apresentam os difratogramas obtidos para identificação das argilas e dos outros minerais respectivamente nos solos dos diferentes sistemas.

Dentre as fases minerais identificadas por meio da difração de raios-X a caulinita é o mineral de maior importância para a fixação de contaminantes no solo em geral. Apesar de ser um argilomineral 1:1 de baixa capacidade de troca catiônica (CTC) aproximadamente de  $10\mu\text{eq./g}$  (microequivalente por grama), o que pode chegar até  $100\mu\text{eq./g}$  (Deer *et al.*, 1992). O que foi confirmado com os dados da análise de CTC *versus* carbono orgânico

A presença de caulinita em todos os sistemas estudados pode ser um fator importante, quando correlacionado com o conteúdo de matéria orgânica presente nos mesmos. Pesquisas citadas anteriormente na revisão bibliográfica, relatam a importância dos argilominerais e a sua relação com a matéria orgânica do solo. Quando estes minerais se ligam a M.O.S., formam uma só unidade, aumentando assim sua área superficial e seu poder de adsorção dos pesticidas.

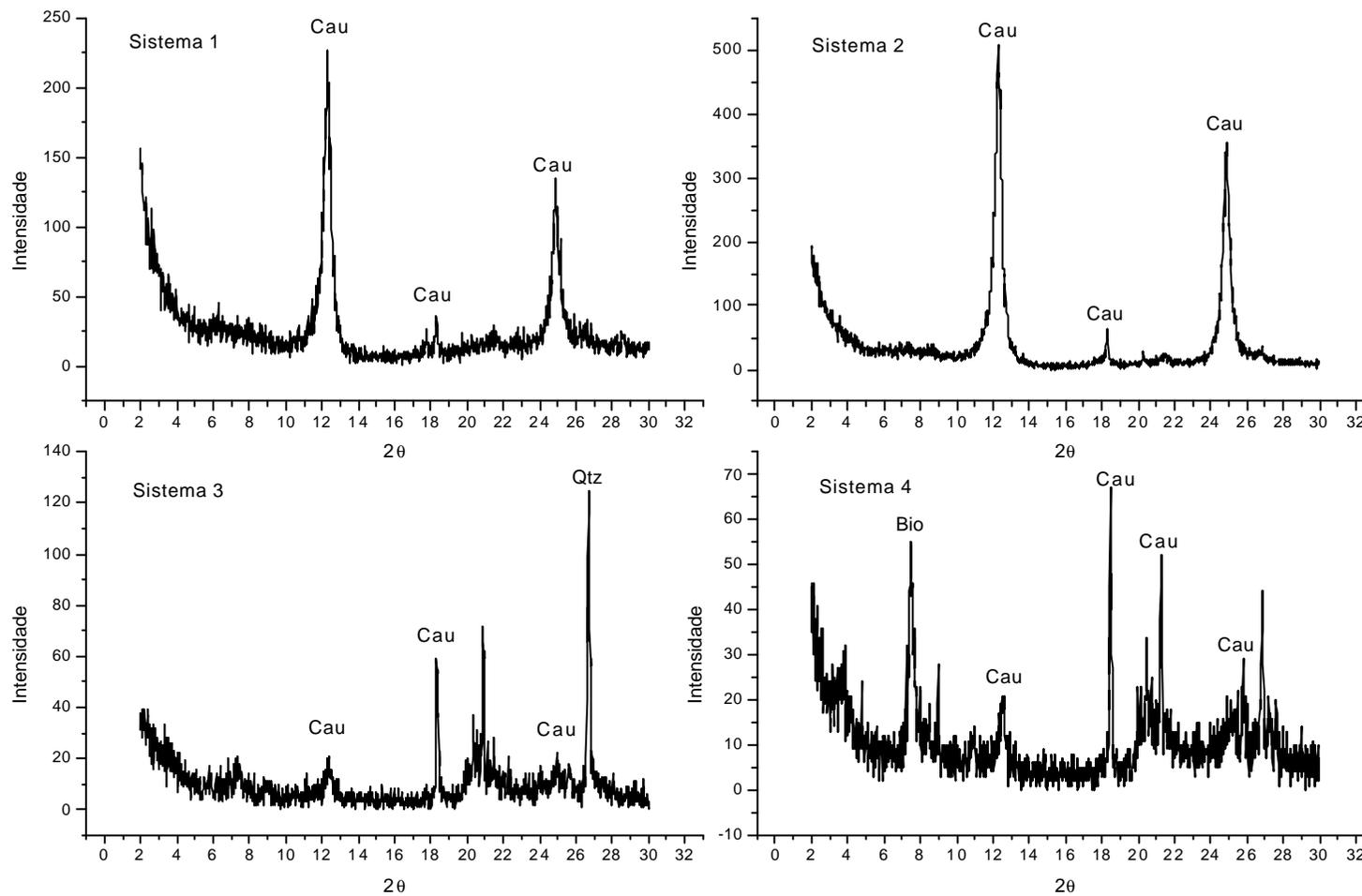


Figura 6.1- Difratomogramas da caulinita para os solos da área.

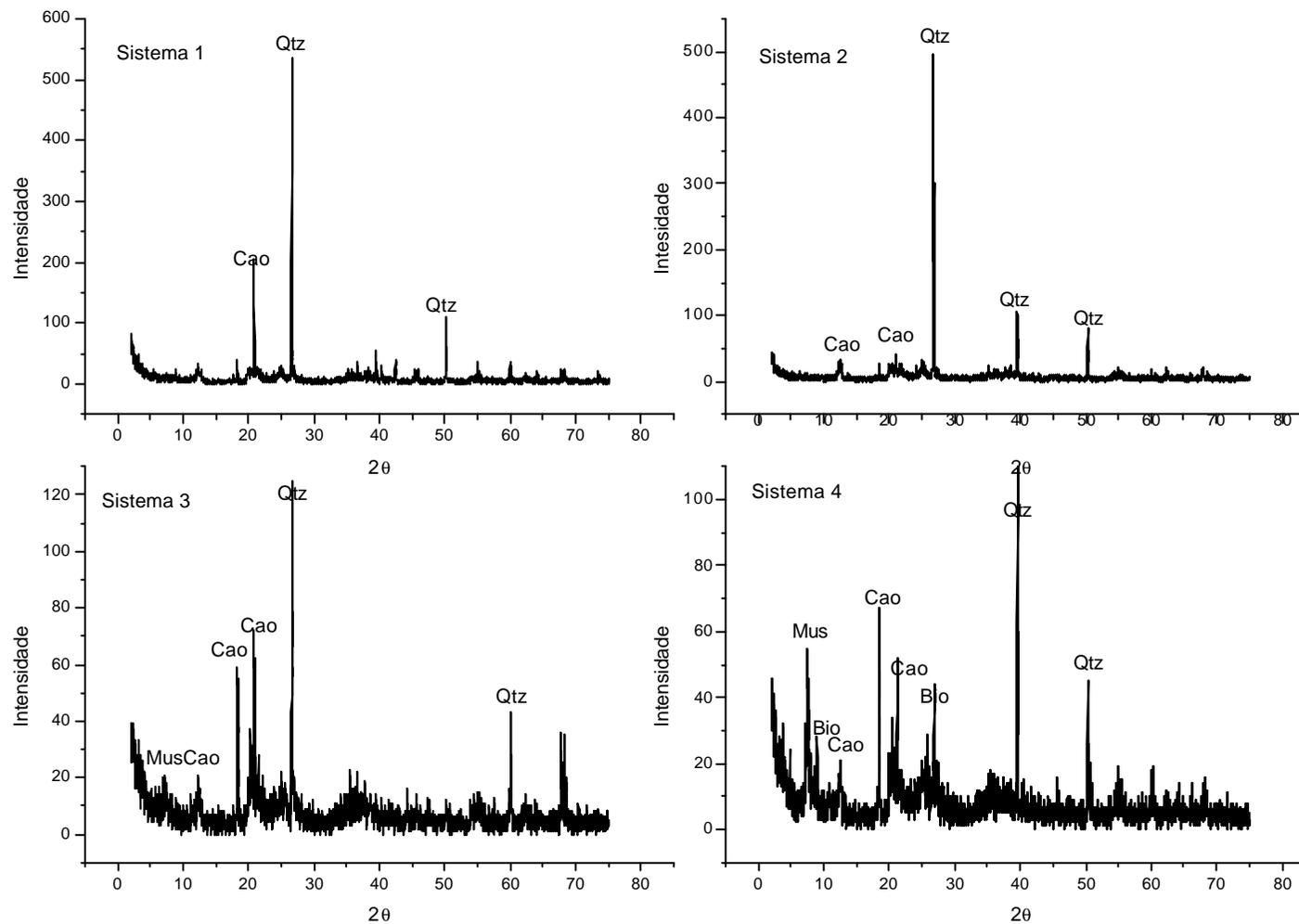


Figura 6.2- Difratogramas de todos os minerais para os solos da área.

## 6.2 Estudo micromorfológico dos solos

Neste item serão apresentadas as descrições micromorfológicas dos solos nos diferentes sistemas definidos na área em estudo, no que diz respeito aos constituintes e à estrutura destes solos. Além da caracterização da micromorfologia é apresentado também o resultado de análise da diferenciação do espaço poral pelo método de contagem de pontos, onde os vazios são representados por vários tons de azul. Foram descritas um conjunto de 12 lâminas delgadas grandes e 36 lâminas pequenas em três diferentes profundidades de cada sistema (**Apêndice 1**).

### 6.2.1 Descrição micromorfológica de cada sistema

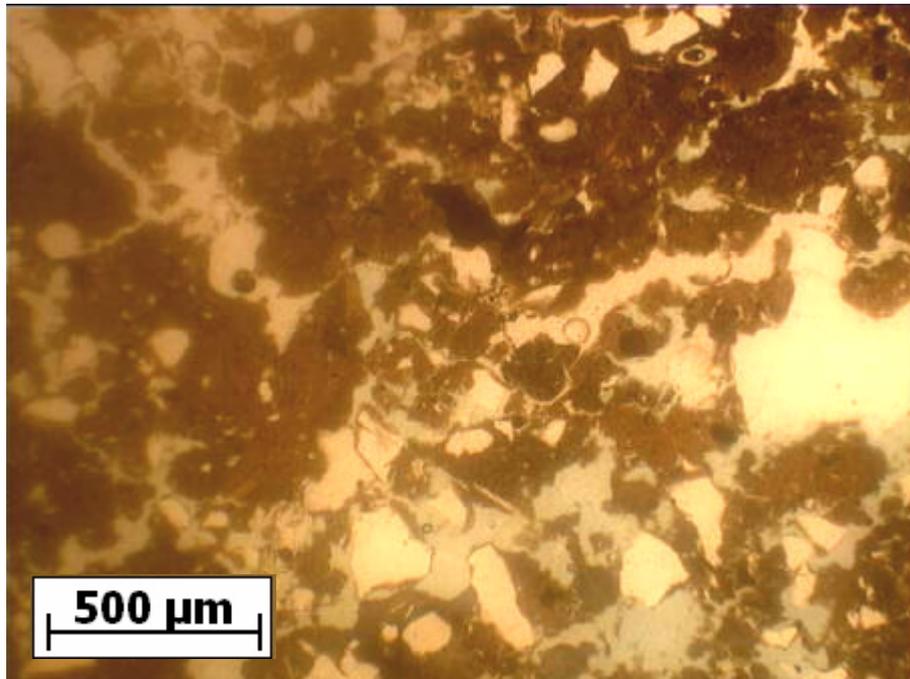
#### ➤ Descrição micromorfológica do Sistema 1

O sistema apresenta-se de modo geral na porção mais superficial (S1-1) homogêneo, com baixa frequência de zonas bem definidas, que são formadas normalmente por poros, pedotúbulos e aglomerados de material plasmático. Na porção intermediária (S1-2) estas zonas são bem mais marcantes, mas sem uma transição entre elas, são formadas principalmente por agregados de material argiloso de cor vermelho alaranjada. Observa-se também um aumento na porosidade tanto no tamanho dos poros, quanto na quantidade deles, em relação aos outros sistemas. Na porção que vai de (S1-3) a lâmina apresenta-se homogênea, sem zonas marcantes (**Figura 6.3**).

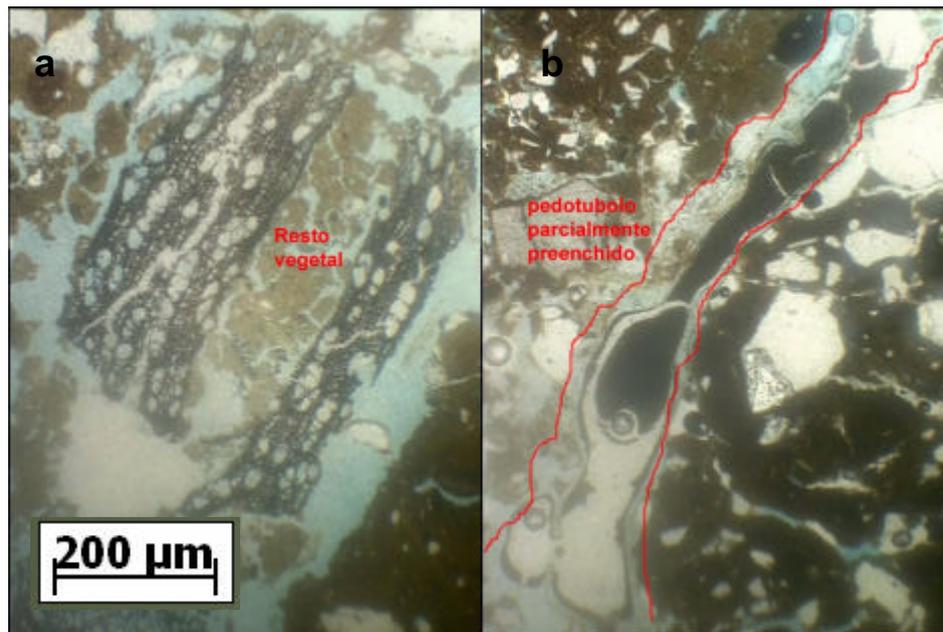
O esqueleto é mal selecionado nas três profundidades estudadas (S1-1, S1-2 e S1-3), com o tamanho dos grãos variando entre silte a areia grossa, onde estão distribuídos de maneira aleatória.

O material apresenta uma pedalidade com grau de desenvolvimento moderado. Os arranjos dos agregados vão desde não acomodados (S1-1) a parcialmente acomodados (S1-2 e S1-3). A forma geral dos agregados é classificada como poliedros, grumos e glóbulos, localmente blocos. O grau de arredondamento varia entre subangular a subarredondado e rugosidade superficial do tipo ondulada, exceto na profundidade de (S1-1) que é do tipo serrilhada a crenulada.

As feições pedológicas (**Figura 6.4**) são frequentemente (15-30%) observadas nas profundidades (S1-1 e S1-2) na forma de pedotúbulo, restos de raízes e folhas e grébulas agregada a argila. Já na profundidade de (S1-3) perfaz apenas 5% da lâmina e na forma de principalmente de resto vegetais (carvão).



**Figura 6.3-** Imagem mostrando o arranjo geral homogêneo de esqueleto, plasma e poros do Sistema 1 sob luz natural.



**Figura 6.4-** Imagem mostrando as feições pedológicas do Sistema 1 sob luz natural. a) Resto vegetal bem preservado e b) pedotúbulo parcialmente preenchido por plasma.

#### ➤ **Descrição micromorfológica do Sistema 2**

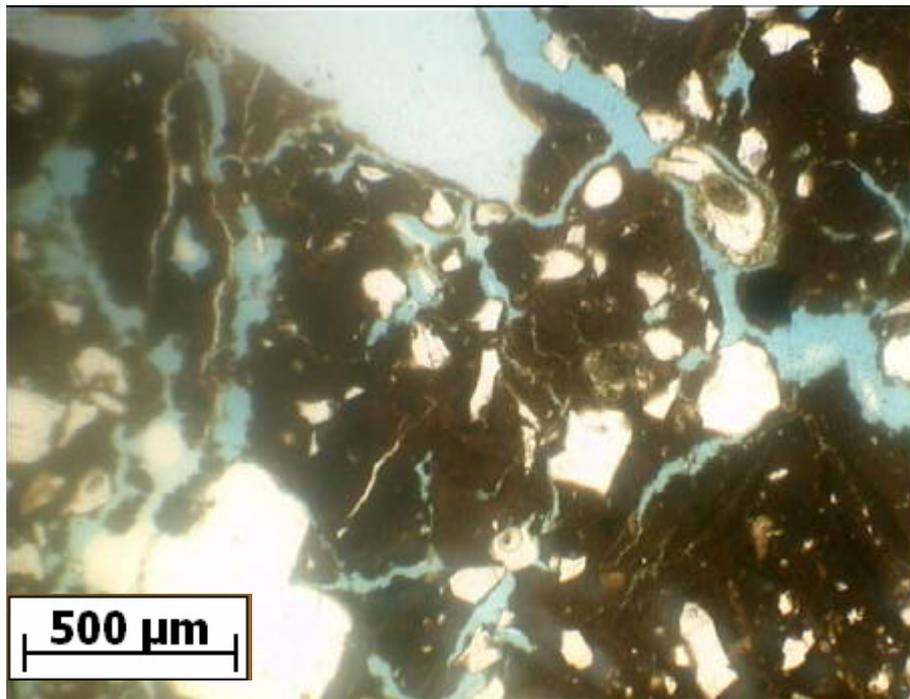
No Sistema 2 não são observadas zonas bem definidas superficialmente (S2-1), observa-se aglomerações constituídas de minerais (quartzo, plagioclásio) e caulinita, e com menor frequência aglomerações de matéria orgânica de origem vegetal. Já na profundidade de (S2-2) estas zonas são bem mais definidas e são formadas por aglomerados de argilominerais. Com aumento da profundidade na porção (S2-3) as zonas se tornam mais frequentes e marcantes, mas sem uma transição entre elas. Elas apresentam-se agrupadas e com formas de grumos e glóbulos, blocos, poliedros e cilindros curtos.

O esqueleto é constituído por minerais mal selecionados, com dimensão variando entre silte a areia muito fina (S2-1). Areia fina a grossa nas profundidades de (S2-2 e S2-3). A distribuição de base é aleatória nas três profundidades estudadas (**Figura 6.5**)

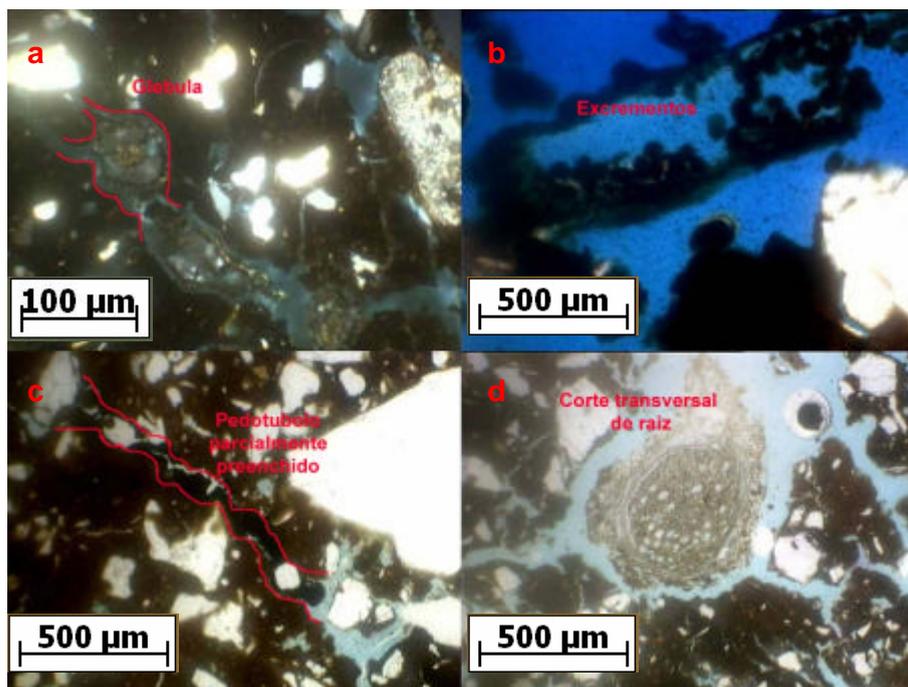
A pedalidade apresenta-se moderada nas 3 profundidades, mas localmente na profundidade de (0-10 cm) que varia entre moderada a fortemente desenvolvida. A forma dos agregados é de blocos, grumos e glóbulos, com grau de arredondamento variando entre subarredondado a subangular e rugosidade

superficial do tipo rugosa na porção de (S2-1) e ondulada nas outras profundidades (S2-2 e S2-3).

Pedotúbulos, pelotas fecais e restos de raízes perfazem de 15-30% da lâmina superficialmente (S2-1). Na profundidade de (S2-2) essa quantidade diminui (5%) composta de restos de raízes. Em S2-3 as feições pedológicas são mais freqüentes (15-30%) aparecendo como raiz, pedotúbulo e cutãs do tipo grãos englobados. **(Figura 6.6)**



**Figura 6.5-** Imagem mostrando a distribuição aleatória do arranjo dos constituintes para o Sistema 2-3 (Luz natural).



**Figura 6.6-** Imagens das feições pedológicas encontradas no Sistema 2.

a) Glóbula; b) Excremento demonstrando atividade biológica; c) Pedotúbulo parcialmente preenchido e d) Resto de raiz, corte transversal.



### Descrição micromorfológica do Sistema 3

Na porção mais superficial (S3-1) do plantio convencional as zonas são constituídas de aglomerados de material plasmático com esqueletos disseminados nele, mas são pouco definidas e sem transição aparente. Outros tipos de zonas formadas por poros rodeados com material plasmático e esqueleto também são observadas. Na porção intermediária (S3-2) não há zonas, apresentando-se mais homogênea. Na porção mais profunda (S3-4) também não são vistas zonas que se destaquem, só uma leve orientação dos poros e dos minerais numa direção preferencial.

O esqueleto é formado por cristais mal selecionados, com dimensão muito variada (silte a areia grossa). A distribuição geral é aleatória, mas por vezes levemente linear na porção de (S3-1), agrupada na porção (S3-2) e levemente linear em (S3-3) (**Figura 6.7**)

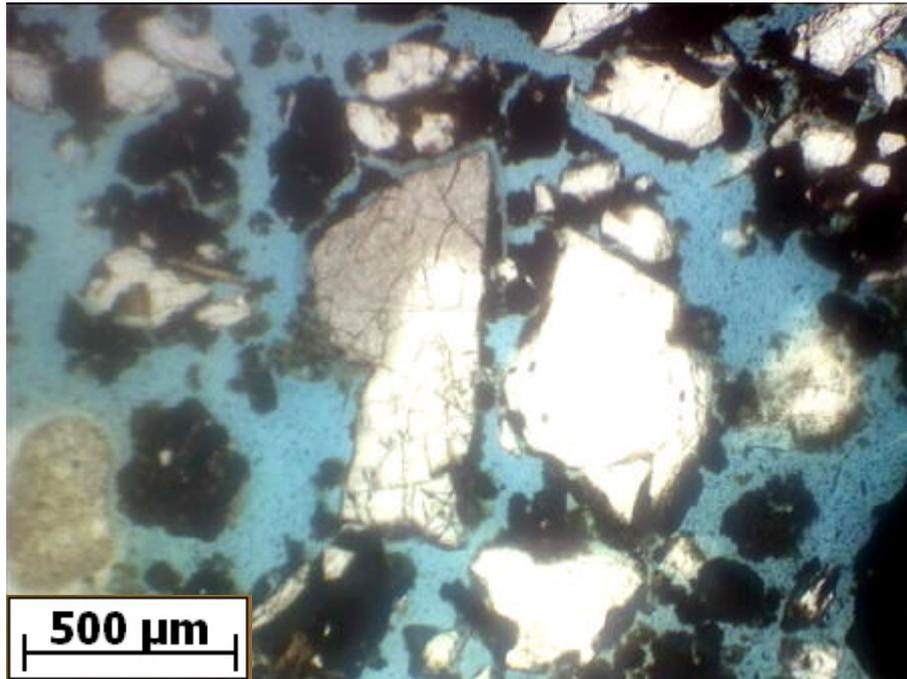
O material pédico apresenta pedalidade variando entre moderadamente a fortemente desenvolvida para (S3-1), pouco desenvolvida para (S3-2) e moderadamente desenvolvida para (S3-3). A forma dos agregados é de blocos, poliedros e cilindros curtos, com grau de arredondamento subangular a angular. A rugosidade superficial é ondulada, localmente rugosa na profundidade de (S3-1) e rugosa nas profundidades de (S3-2 e S3-3). Feições pedológicas são raras (resto de raízes e folhas) nas três profundidades estudadas perfazendo 5% da lâmina.

#### ➤ **Descrição micromorfológica do Sistema 4**

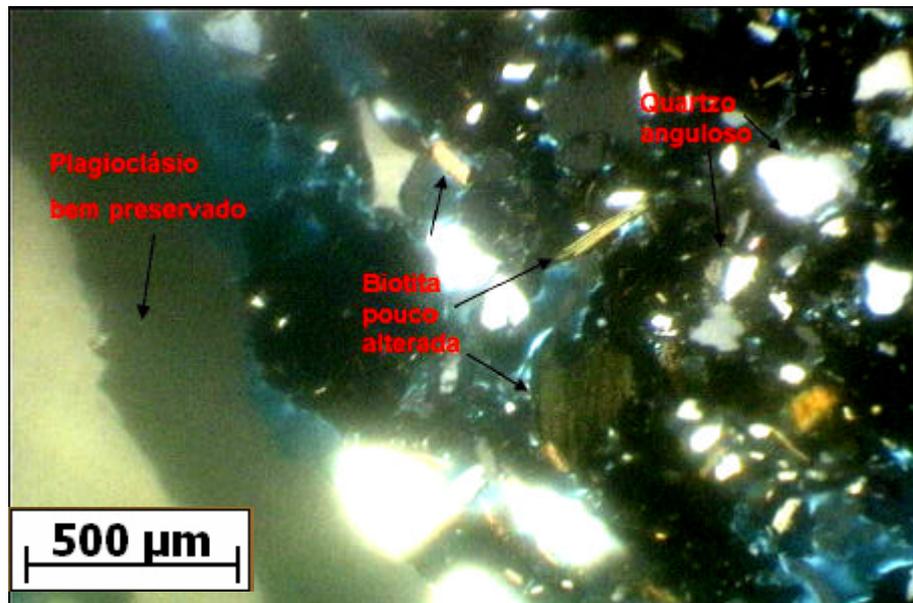
O sistema 4 não apresenta zonas bem definidas na porção mais superficial (S4-1), observam-se aglomerados de material argiloso (plasma) com minerais de variados tamanhos (esqueleto). Já na profundidade de (11-22 cm) de maneira geral é homogênea. Na porção de (S4-2) há zonas pouco frequentes formadas por aglomerados de plasma e minerais, delimitados por poros, mas sem transição entre elas.

O esqueleto é mal selecionado, com tamanho variando de silte a areia grossa. Apresenta distribuição aleatória, na profundidade de S4-3, por vezes agrupadas. Os agregados apresentam forma de blocos, poliedros, grumos e cilindros curtos, que vão de anguloso a subangulosos e a rugosidade superficial é do tipo ondulada em (S4-1) e rugosa nas profundidades de (S4-2 e S4-3). Destacamos a presença abundante de minerais de quartzo, feldspato, plagioclásio e aglomerados de biotita pouco alterados e alguns bem preservados, como abordado no tópico anterior (**Figura 6.8 e 6.9**).

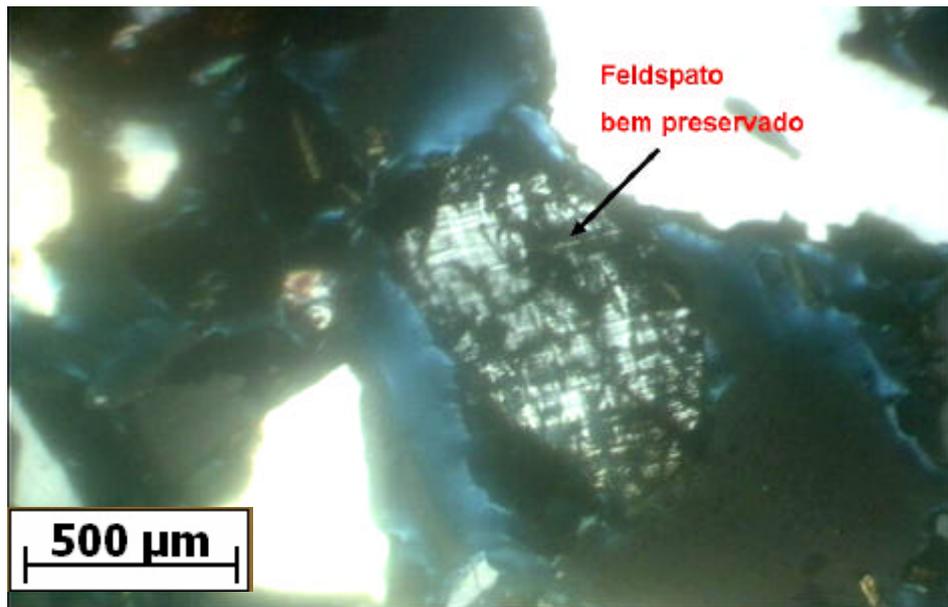
Dos quatros sistemas, o sistema 4 Floresta é o que apresenta feições pedológicas bastante frequentes de 30-50% nas 3 profundidades estudadas. As formas observadas são principalmente: excrementos, restos vegetais, raiz, folhas cutãs de grãos. (**Figura 6.10**)



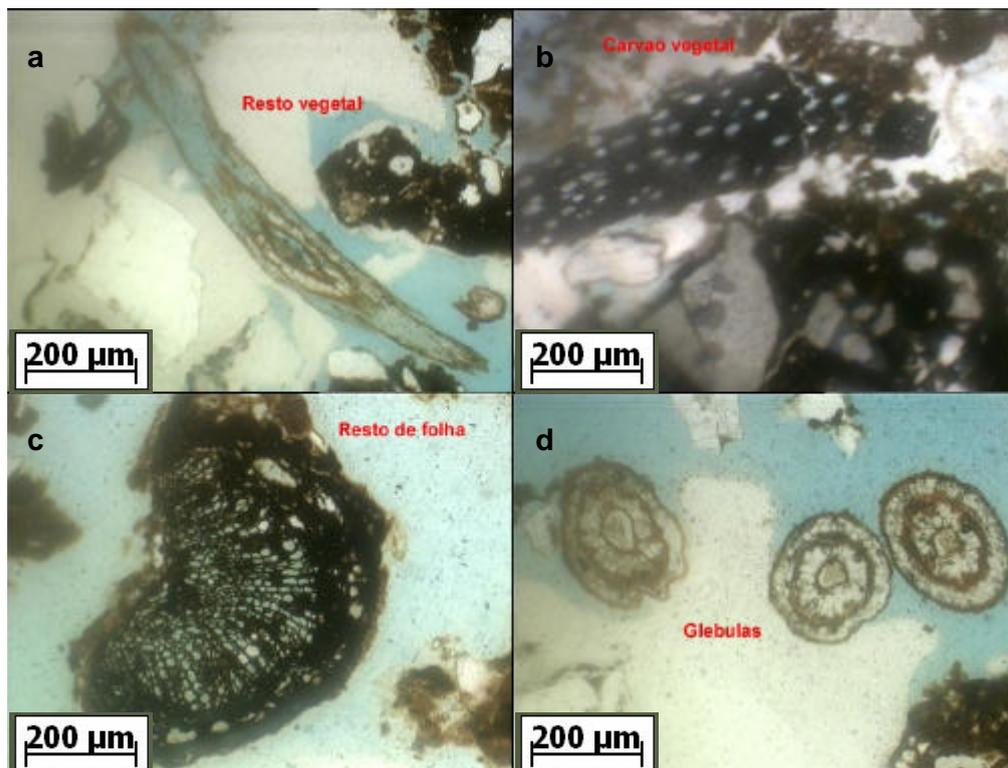
**Figura 6.7-** Imagem mostrando o arranjo geral do Sistema 3-1 e o esqueleto formado por cristais mal selecionados (Luz natural).



**Figura 6.8-** Imagem destacando cristais de quartzo, biotita, plagioclásio e feldspatos pouco alterados do Sistema 4, (Luz natural).



**Figura 6.9-** Imagem destacando cristal de feldspatos bem preservado no Sistema 4, (Luz natural).



**Figura 6.10-** Imagens mostrando as diversas feições pedológicas presentes no Sistema 4 (Luz natural). a) Resto vegetal em decomposição; b) Carvão vegetal; c) Resto de folhas preservadas e d) Glébulas em quantidades.

O **Apêndice 4** apresenta o resumo das descrições e a contagem dos poros, esqueletos e plasma dos Sistemas 1, 2, 3 e 4.

## 6.2.2

### Quantificação do plasma, esqueletos e poros dos solos estudados

#### ➤ Quantificação de esqueleto

O Esqueleto é constituído principalmente de grãos mal selecionados de quartzo, biotita e plagioclásio em estado avançado de alteração, mas ainda são vistos cristais bem preservados. No que diz respeito a variação do conteúdo de grãos detríticos de minerais primários presentes nos sistemas, podemos observar que em S1 e S2 há uma certa homogeneidade nas três profundidades, com uma quantidade em torno de 20% (**Figura 6.11**).

No sistema S3 é notada uma variação do conteúdo de esqueleto com um aumento na profundidade de 10-20cm. Este aumento pode estar associado ao revolvimento do solo durante o manejo (**Figura 6.11**).

O sistema S4 varia pouco o conteúdo de esqueleto com uma quantidade menor superficialmente (S4-1), aumentando com a profundidade, ficando com o conteúdo praticamente igual com os sistemas 1 e 2 (**Figura 6.11**). Isto pode ser devido à alteração mais intensa nos minerais constituintes.

Comparando os conteúdos de esqueleto com o S4, que seria o sistema mais estável em relação ao manejo do solo, observamos que S3 é o sistema que apresenta os maiores valores, nas profundidades de 0-11 cm e 11-22 cm. Na profundidade de 25-36 cm, S1 é que apresenta o maior valor (**Figura 6.12**).

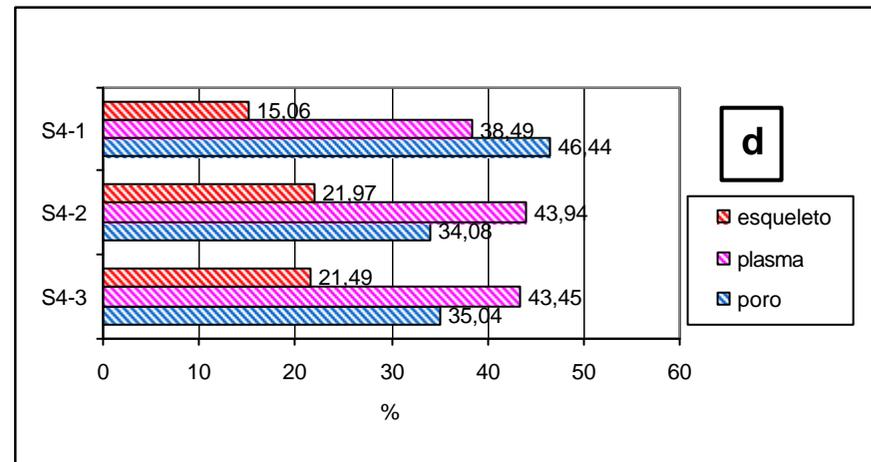
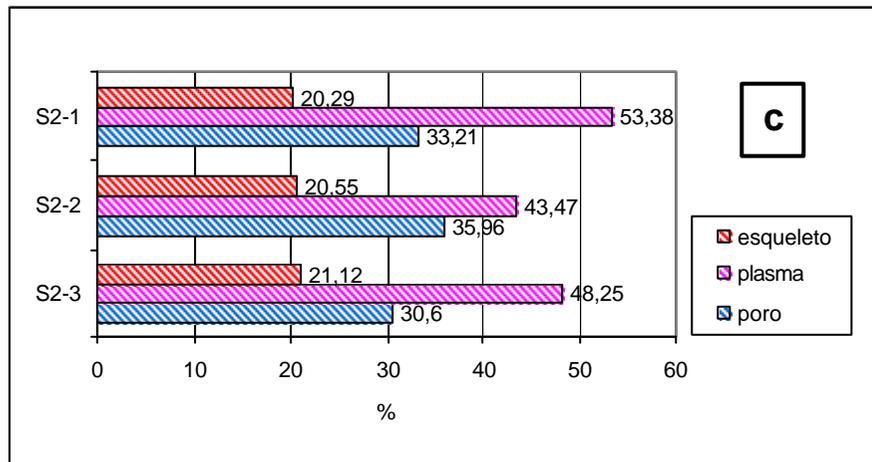
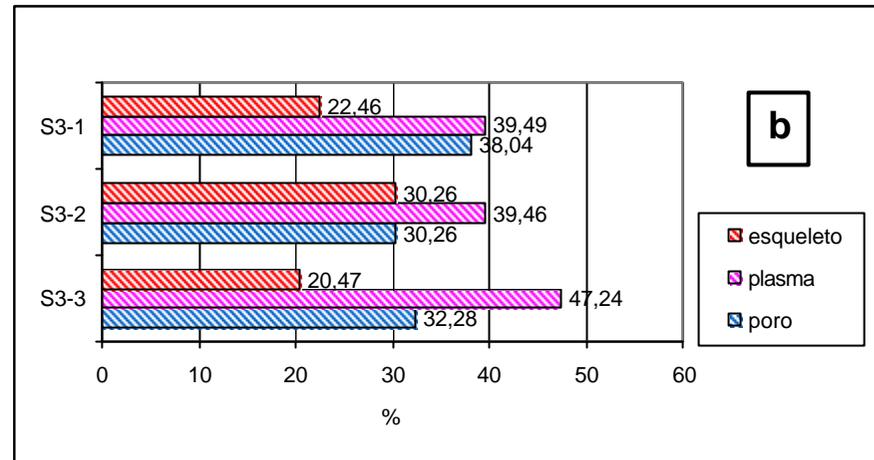
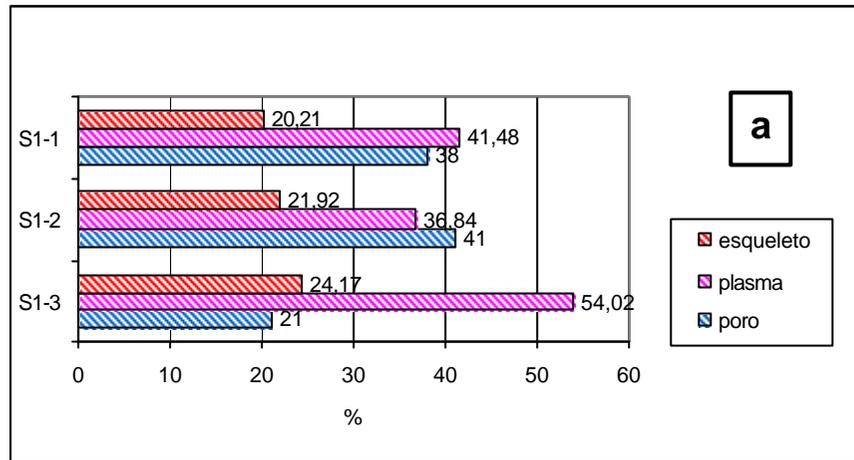
Na média geral (**Figura 6.13**), que leva em consideração a média dos valores de cada sistema nas três profundidades, temos quantidades de 19 a 25%, sempre S3 com os maiores valores e S4 com os menores.

#### ➤ Quantificação de plasma

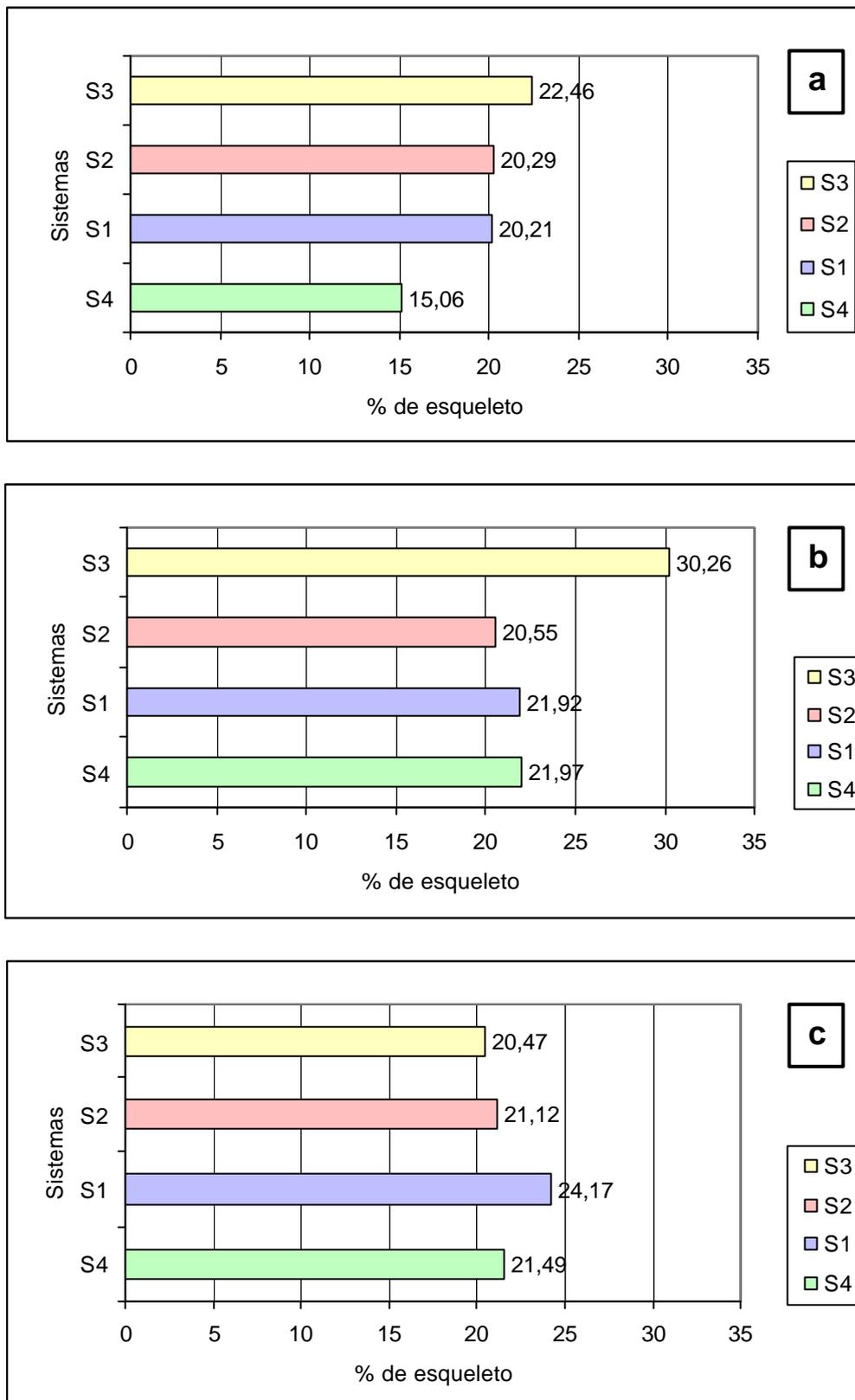
O plasma (argila) apresenta coloração que varia de marrom alaranjado a marrom escuro, provém da alteração dos minerais primários.

Foi possível observar para o conteúdo de plasma uma variação em todos os sistemas. Em S1 nota-se uma tendência de aumento com a profundidade, o que é evidenciado também para S3 e S4 (**Figura 6.11**). Já o sistema 2 tem um comportamento diferente na profundidade de 0-10 cm e nas outras profundidade obedece o aumento visto nos outros sistemas. O maior valor de plasma foi visto em S1-2, seguido de S2-1.

A comparação do conteúdo de plasma dos sistemas (**Figura 6.14**) demonstra que S2 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm tem os maiores valores, ressaltando o que foi visto antes. Já na profundidade de 25-40 cm quem tem o maior valor é S1. O sistema S4 apresenta os menores valores principalmente em 0-10cm e 10-20 cm.

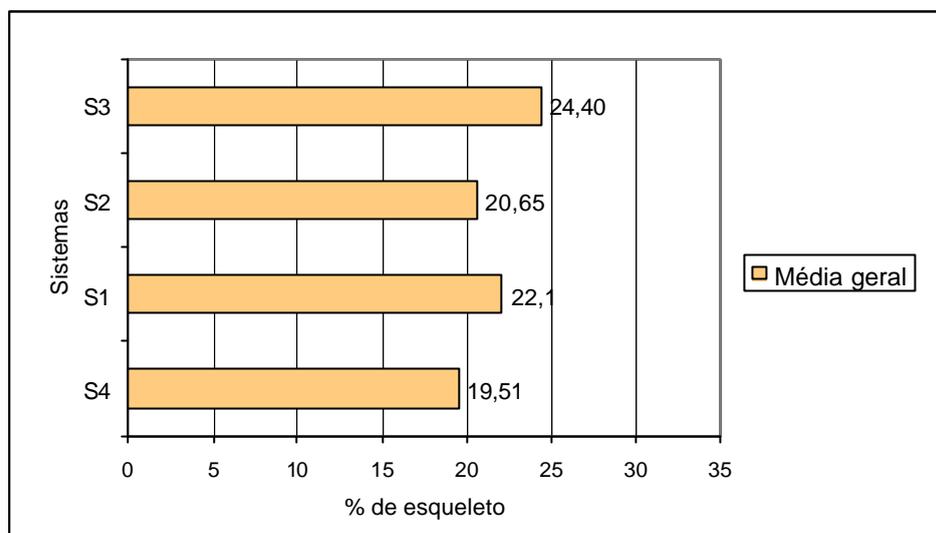


**Figura 6.11-** Variações dos constituintes esqueleto, plasma e poro de cada sistema nas profundidades estudadas de 1=(0-10cm), 2 = (10-20cm) e 3 = (25-40cm). a) Sistema S1, b) Sistema S2, c) Sistema S3 e d) Sistema S4.



**Figura 6.12-** Comparação do conteúdo de esqueleto para os sistemas S1, S2, S3 em relação a S4. a) na profundidade de (0-10 cm); b) na profundidade de (10-20 cm) e c) na profundidade de (25-40 cm).

Na média geral (**Figura 6.13**) temos uma uniformidade de valores de 40 a 43%, com exceção de S2 que apresenta um leve aumento.



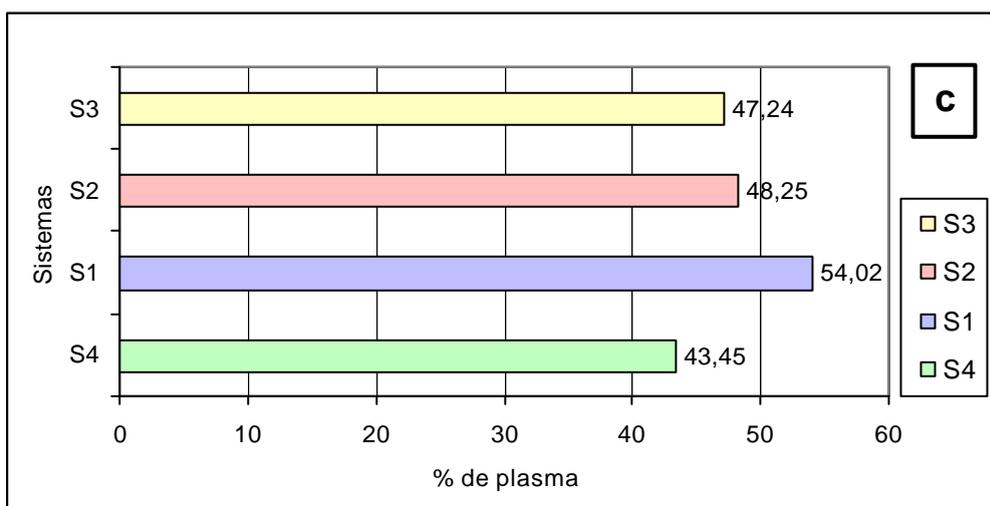
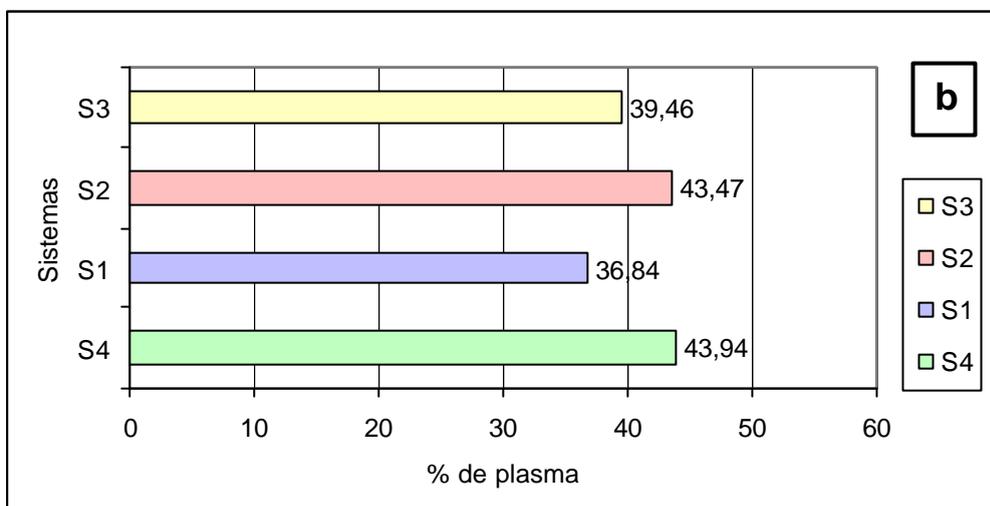
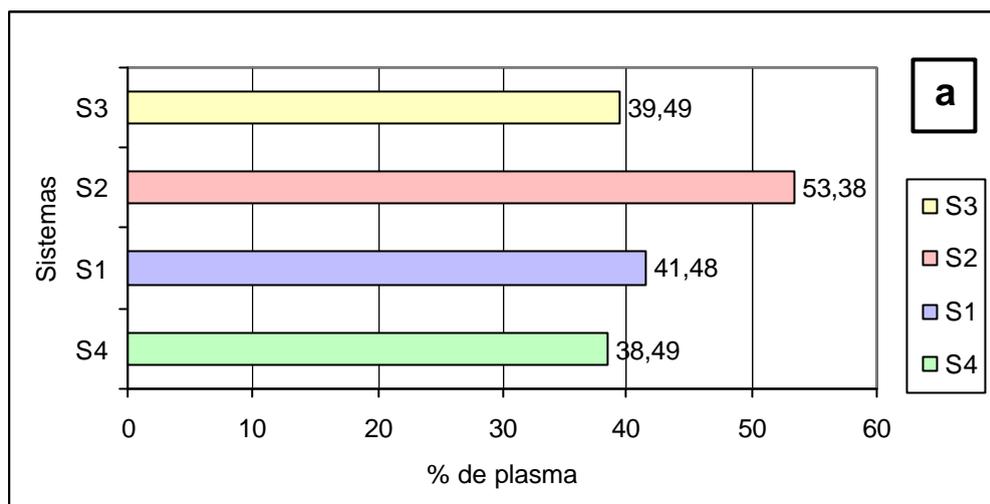
**Figura 6.13-** Média geral da porcentagem de esqueleto nos 4 sistemas em todas as profundidades.

### ➤ **Quantificação de poros**

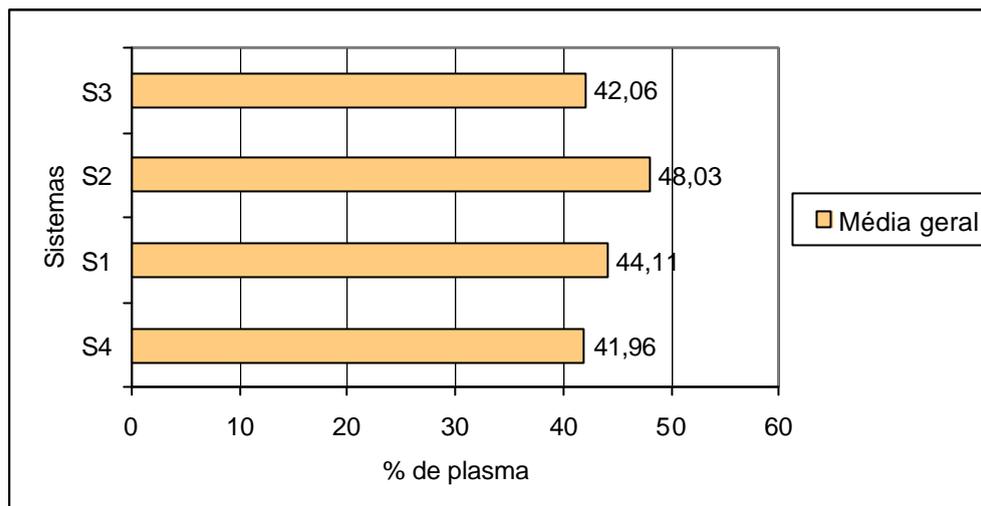
A organização dos constituintes do solo, que resulta na porosidade, varia de acordo com os tipos de solos. A avaliação dos poros é feita através da dimensão, forma e a distribuição, no plano da lâmina.

O comportamento da porosidade nos 4 sistemas estudados é similar com uma maior quantidade de poros nas porções mais superficiais (0-10 e 10-20 cm), diminuindo na profundidade de 25-40 cm.

No sistema S1 observa-se uma diminuição na porosidade de quase 50% das profundidades superficiais para sub-superficiais (**Figura 6.11**). Isto condiz com o que foi descrito nas lâminas, onde nas profundidades superficial tem uma predominância de macroporos interagregados e conectados, em quanto que, na profundidade de 25-40 cm predomina microporos intra-agregados parcialmente conectados ou não (**Apêndice 4**).



**Figura 6.14-** Comparação do conteúdo de plasma para os sistemas S1, S2, S3 em relação a S4. a) na profundidade de (0-11cm); b) na profundidade de (11-22cm) e c) na profundidade de (25-36cm).

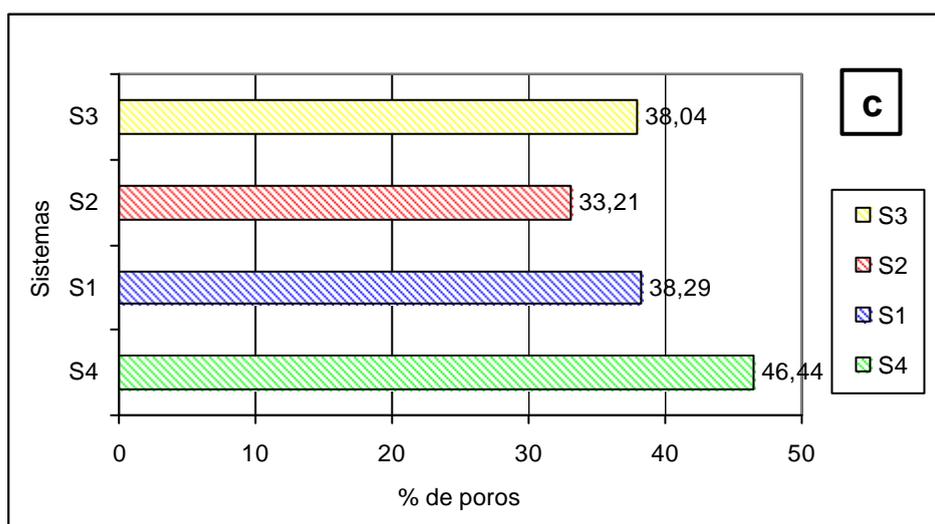
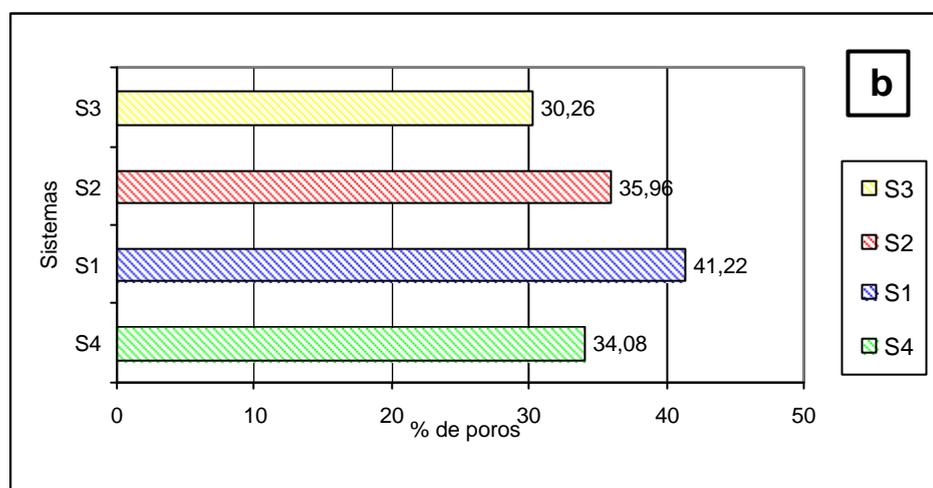
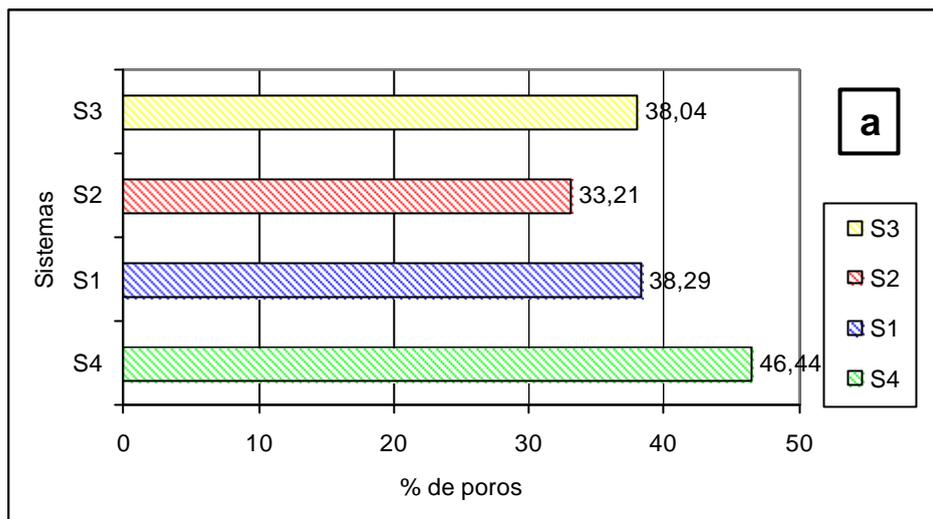


**Figura 6.15-** Média geral da porcentagem de plasma nos 4 sistemas.

O sistema S2 apresenta-se com pouca variação da porosidade com a profundidade ficando em torno de 30 a 35%. Os poros predominantes em S2-1, foram descritos como macroporos e estão conectados (**Figura 6.11**). Nota-se uma evolução destes poros em S2-2 com 50% de macroporos conectados interagrados e 50% de microporos intra-agregados nem sempre conectados, passando em S2-3 a predominar microporos (Intergranulares simples) intra-agregados (**Apêndice 4**).

Para S3 verificou-se que na porção mais superficiais (S3-1) tem uma maior porosidade em relação as profundidades S3-2 e S3-3 que tem valores bem próximos (**Figura 6.11**). Os macroporos predominam nas três profundidades, e são intergranulares com forma de câmaras, juntas e cavidade. A presença de poros em forma de juntas, pode ser indicativo do tipo de manejo, ou seja, do preparo da terra com pé de arado (**Apêndice 4**).

O sistema S4 foi o que apresentou a maior porosidade, principalmente em S4-1. As outras profundidades S4-2 e S4-3 apresentam uma diminuição dos valores (**Figura 6.11**). Os tamanhos dos poros variam muito de micro a mesoporos.



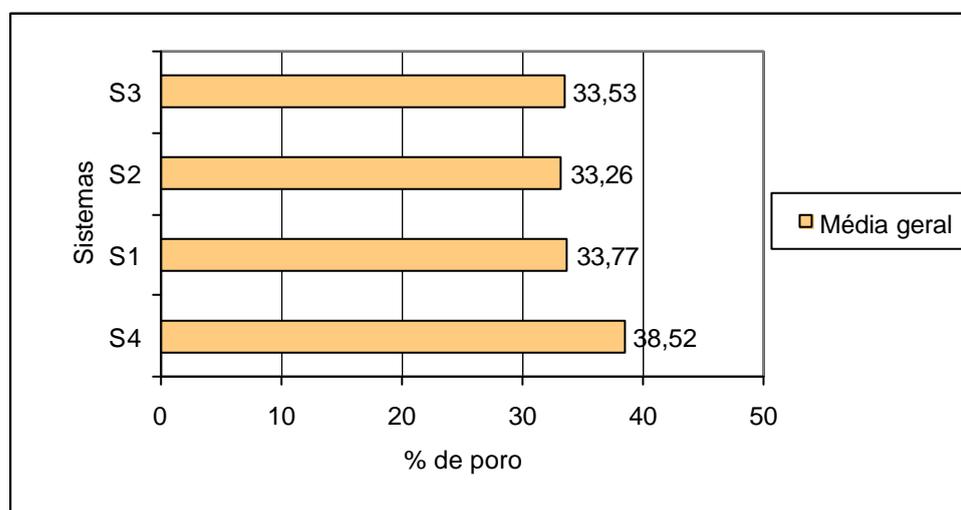
**Figura 6.16-** Comparação porosidade para os sistemas S1, S2, S3 em relação a S4. a) na profundidade de (0-11cm); b) na profundidade de (11-22cm) e c) na profundidade de (25-36cm).

Superficialmente predominam macroporos intra-agregados e conectados, observa-se também a presença de poros de tamanho intermediário (mesoporos 30-75  $\mu\text{m}$ ) e raramente de microporos. Com aumento da profundidade o que foi descrito coincide com a contagem dos pontos, pois há uma predominância de microporos e mesoporos intra-agregados parcialmente conectados formando fissuras, canais e câmaras.

Em S4-3 os microporos estão inter e intra-agregados e conectados (**Apêndice 4**). Fazendo a comparação dos sistemas em relação a S4 nas diferentes profundidades (**Figura 6.16**). Nota-se que na profundidade de (0-10 cm) os sistemas S1 e S3 têm porosidades parecidas, talvez relacionada a forma dos poros, predominância de feições pedológicas como pedotúbulos.

Para a profundidade de 10-20cm S1 e S2 se destacam por ter uma porosidade maior que S4. Em (25-40 cm) a porosidade diminui muito e S2 e S3 ficam bem próximas, mas menor que S4.

Na média geral da porosidade nos 4 sistemas temos uma homogeneidade para S1, S2 e S3, em torno de 30% de poros, e para S4 um leve aumento (**Figura 6.17**).



**Figura 6.17-** Média geral percentagem de poros nos 4 sistemas e nas 3 profundidades estudadas.

De maneira geral, a baixa ocorrência de grãos de minerais nos sistemas mostra que a sustentação da estrutura microagregada é feita principalmente pelo plasma.

Correlacionando os valores encontrados de conteúdo de esqueleto e plasma, observamos que no sistema com maiores valores de esqueleto temos valores baixos de plasma. E onde temos valores maiores de plasma temos valores relativamente baixos de esqueleto em relação aos demais sistemas, o que pode representar o processo de alteração mineral e transformação para argilominerais. Os sistemas S1 e S4 representariam uma fase de equilíbrio, onde este processo estaria no início e no final respectivamente. O sistema S3 é onde temos uma diversidade no tamanho dos agregados em função do manejo adotado neste sistema.

Nos horizontes mais superiores temos uma boa distribuição de microagregados, com a porosidade formando uma rede de vazios contínua e irregular.

Notam-se a presença de poros como canais, câmaras e poros tubulares, comuns nos sistemas S1, S2 e S4. Isso de certa maneira é uma vantagem para estes sistemas que a terra não é revolvida, pois há uma reestruturação do solo através da atividade biológica como citam os autores Miklós *et al.* (1999). A presença de pedotúbulos e restos de raízes reforçam a idéia de uma intensa atividade biológica, pois são formados pela movimentação de animais ou raízes depois de mortas e decompostas, favorecendo o transporte dentro do solo.

Nos horizontes mais profundos a compactação provoca uma aproximação dos microagregados e certa diminuição da porosidade em relação aos horizontes superiores. Percebe-se que a porosidade interagregados praticamente desaparece, predominando os poros intra-agregados.

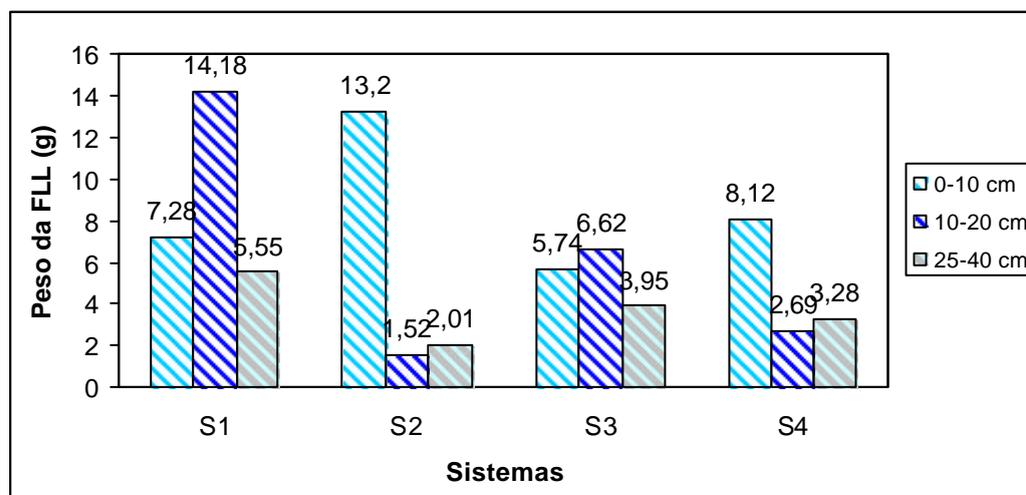
### 6.3 Fracionamento físico da matéria orgânica dos solos

Neste capítulo será abordada a relação entre a matéria orgânica do solo e seus agregados, que é importante para saber o comportamento da MOS sujeitas a influência de manejos. Serão apresentados os resultados das frações leve livre (FLL) e leve intra-agregada (FLI) obtida através do fracionamento físico por densidade. Os resultados dos teores de argila, silte e areia obtido através do fracionamento por granulometria nos diferentes sistemas. Bem como, os valores de pH obtido para os solos dos sistemas estudados (**Apêndice 6**).

#### ➤ Fração Leve livre (FLL) e Fração leve intra-agregada (FLI)

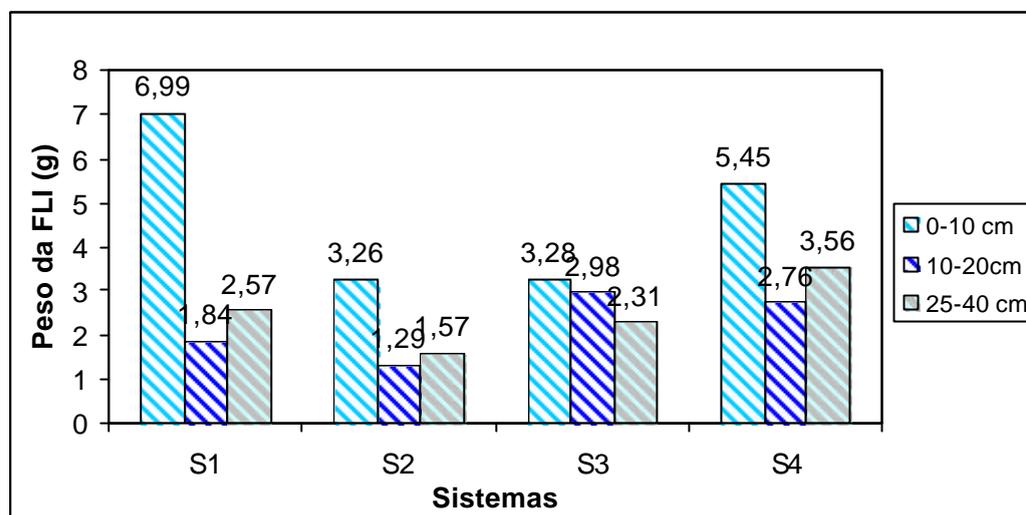
A fração leve livre apresenta comportamento semelhante nos sistemas 1 e 3, onde se observa um aumento da camada mais superior para a camada de (10-20cm), seguido de uma diminuição na camada mais profunda. Estes sistemas (1 e 3) são os que têm maiores concentrações de FLL nas camadas (10-20cm) e (25-40cm) (**Figura 6.18**).

Os sistemas 2 e 4 também podem ser agrupados com o mesmo comportamento em relação à FLL. Nas camadas mais superficiais observa-se uma maior concentração em relação às demais camadas e os outros sistemas. Há uma diminuição na camada intermediária e um posterior aumento na camada mais profunda. Nota-se que os sistemas 2 e 4 apresentam a menor concentração na camada mais profunda (**Figura 6.18**).



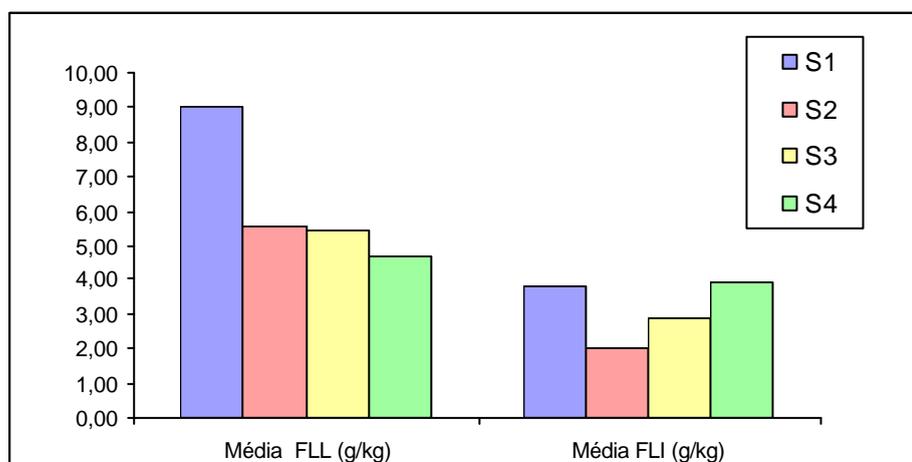
**Figura 6.18-** Distribuição da fração leve livre em cada sistema e nas profundidades de (0-10 cm), (10-20 cm) e (25-40 cm).

Para a fração leve intra-agregada (FLI), os sistemas 1, 2 e 4 tiveram na camada mais superior uma maior concentração, diminuindo na profundidade de (10-20cm) e um leve aumento na camada mais profunda. O sistema 3 teve um decréscimo com a profundidade. Nota-se que a profundidade de (0-10 cm) apresenta as maiores concentrações de FLI em todos os sistemas (**Figura 6.19**).



**Figura 6.19-** Distribuição da fração leve intra-agregada em cada sistema e nas profundidade de (0-10 cm), (10-20 cm) e (25-40 cm).

Fazendo uma comparação entre a média geral de FLL e FLI em cada sistema, nota-se uma que a fração leve livre tem as maiores concentrações que a fração leve intra-agregada, o que pode indicar que a atividade biológica está agindo fortemente para isto. Há uma diminuição progressiva da mesma do sistema S1, S2, S3 e S4 respectivamente. A fração leve intra-agregada apresenta teores próximos nos sistemas S1 e S4, diminuindo em S3 e S2 respectivamente (**Figura 6.20**).



**Figura 6.20-** Comparação entre médias das frações leve livre (FLL) e leve intra-agregada (FLI) em cada sistema estudado.

A diminuição da fração leve livre nas camadas mais superiores dos solos no sistema 3 pode estar relacionada as alterações sofridas em decorrência do cultivo e a retirada da cobertura natural, entretanto, nas camadas mais profundas (10-20 cm a 25-40 cm) há um aumento na concentração, que poderia estar relacionado ao efeito da incorporação dos resíduos vegetais pela aração.

Esta influência também está evidenciada no sistema 1, que apesar de demonstrar uma regeneração do solo apresentando as maiores concentrações de FLL, e ainda apresenta marcas do manejo agrícola. Nos sistemas 2 e 4 houve um acúmulo destas frações superficialmente, que pode estar relacionada a uma maior atividade biológica e assim um maior aporte de resíduos animais e vegetais, a diminuição em profundidade pode ser um reflexo da diminuição desta atividade biológica.

A fração leve intra-agregada tem uma ciclagem mais lenta, por estar ligada mais fortemente a fração mineral, deste modo sofre uma menor influência do manejo em comparação a FLL. O comportamento parecido das áreas de pousio (S1 e S2) e de floresta (S4) demonstram que naqueles sistemas os resíduos vegetais favorecem uma maior proteção física da fração leve. No plantio convencional (S3), devido o manejo esta fração pode estar mais facilmente liberada à medida que os agregados são destruídos, diminuindo assim com a profundidade.

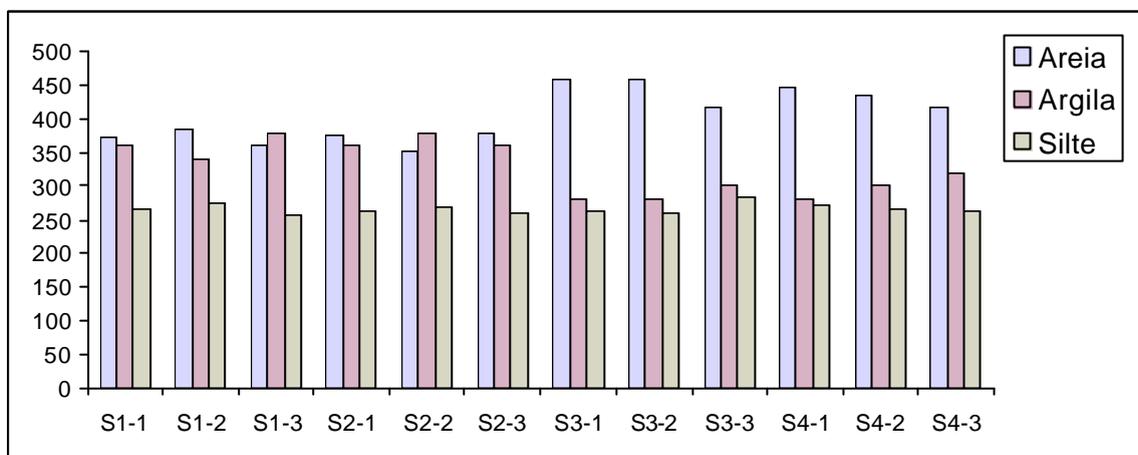
#### ➤ Teores de argila, silte e areia

A **Figura 6.21** apresenta os teores de argila, silte e areia, onde podemos observar um predomínio da fração areia em quase todas as profundidades dos sistemas, destacando-se os sistemas 3 e 4 que apresentam os maiores teores. Os valores do teor da fração areia nos sistemas 3 e 4 reforçam o que foi observado na micromorfologia, onde há uma maior percentagem de esqueleto e um menor grau de alteração da rocha mãe, com minerais ainda bem preservados.

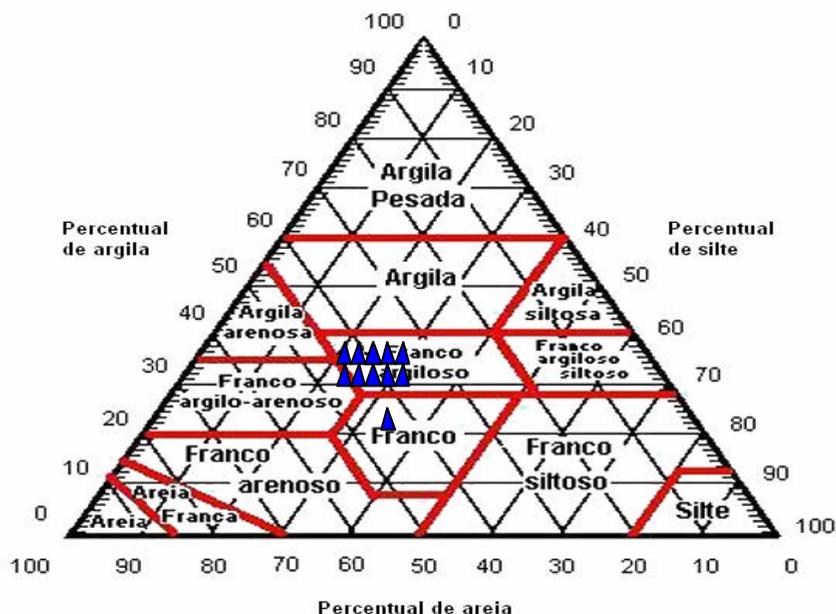
A fração silte apresenta seus maiores teores nos sistemas 1 e 2 e os menores nos sistemas 3 e 4. Já a fração argila encontra-se com teores parecidos em quase todos os sistemas. Este fato também é bem correlacionado com os dados da micromorfologia, onde os conteúdos de plasma são maiores nos sistemas 1 e 2 e um grau de alteração maior da rocha que deu origem ao solo local.

A textura influencia diretamente no controle hidrológico, sendo uma das características responsável pela infiltração do solo. Os solos estudados apresentam uma maior quantidade de partículas grossas o que facilita a infiltração de fluidos principalmente nos sistemas 3 e 4.

Os valores determinados dos teores de argila, silte e areia foram analisados utilizando o triângulo textural. A maioria dos solos da área, principalmente dos sistemas 1 e 2 foram classificados como franco argilosos. O sistema 3 também é classificado como franco argiloso, mas no limite do campo entre o franco argilo-arenoso. No sistema 4 nas camadas mais superficiais os solos foram classificados como franco argiloso e na camada mais profunda como franco (Figura 6.22).



**Figura 6.21-** Distribuição das frações argila, silte e areia para os quatro sistemas e nas três profundidades estudadas.



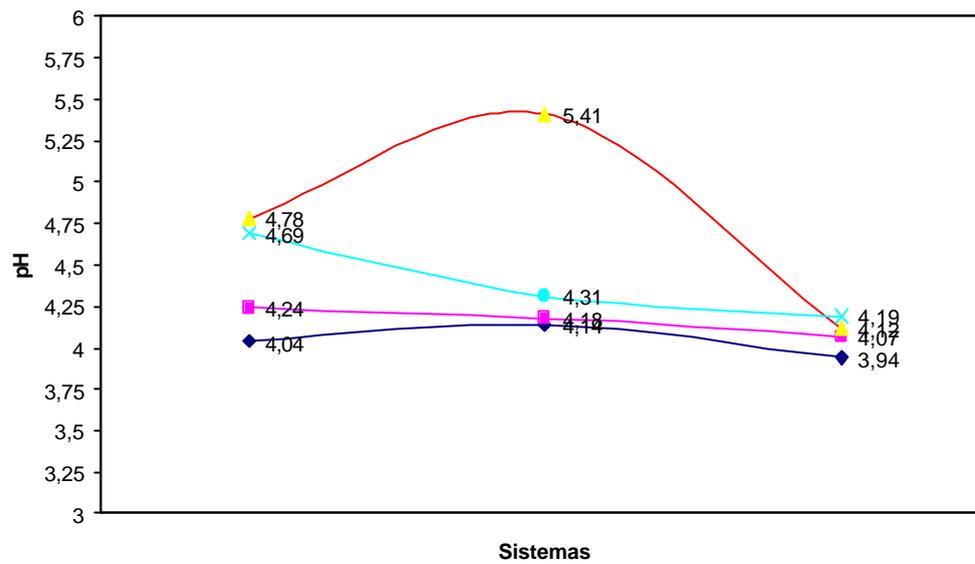
**Figura 6.22-** Triângulo textural, com a plotagem da textura predominante dos solos da área, classificados como franco argilosos.

### ➤ pH

Os valores de pH dos solos de todos os sistemas não variaram muito, em média  $\text{pH} = 4,3$ , um valor considerado fortemente ácido para solos (**Figura 6.23**). Os maiores valores de pH encontrados estão no sistema 3.

A literatura cita que a queima realizada no preparo do solo para o cultivo é um dos fatores que contribuem para elevação do pH, provavelmente em decorrência da incorporação das cinzas liberadas através da queima dos restos das culturas, sobre o solo para o preparo do plantio.

O pH desempenha um papel importante na retenção e na mobilidade do 2,4-D no solo. Para pH entre 4 e 6 o 2,4-D encontra-se na forma dissociada, o que poderia facilitar a sua mobilidade no solo.



**Figura 6.23-** Valores de pH extraídos em KCl 1N, determinados nas diferentes profundidades de cada sistema estudados.

Sistema 1 ◆, Sistema 2 ■, Sistema 3 ▲, Sistema 4 ●

## 6.4

### Fracionamento químico da matéria orgânica dos solos

O fracionamento químico da MOS consistiu na quantificação de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina presentes em cada sistema. Os dados deste fracionamento e de carbono orgânico estão apresentados no **Apêndice 9**. A partir destes dados foram selecionados os valores mais significativos e tirada a média deles para ácido fúlvico e húmico (**Tabela 6.2**).

Não foram satisfatórios os resultados da quantificação da fração humina, serão abordados no presente estudo os valores da substância não humificada + humina (SNH + H).

**Tabela 6.2.** Valores de AF, AH, carbono orgânico e (SNH +H) presente nos solos dos sistemas estudados e nas três profundidades.

Sistemas	AF (mg/g)	AH (mg/g)	AF+AH (mg/g)	C.Org. (mg/g)	AF+AH%	(SNH+H) (mg/g)
S1-1	4,00	4,84	8,84	17,2	51,4	8,4
S1-2	5,62	4,22	9,84	16,3	60,4	6,5
S1-3	6,35	5,16	11,51	14,8	77,8	3,3
S2-1	6,56	5,64	12,20	17,7	68,9	5,5
S2-2	3,39	4,65	8,04	12,7	63,3	4,7
S2-3	2,69	4,25	6,94	11,7	59,3	4,8
S3-1	2,78	4,83	7,62	13	58,6	5,4
S3-2	2,65	4,01	6,65	11,9	55,9	5,2
S3-3	3,68	3,98	7,67	8,5	90,2	0,8
S4-1	4,52	6,71	11,23	19,8	56,7	8,6
S4-2	3,56	3,48	7,03	11,8	59,6	4,8
S4-3	3,34	3,82	7,17	11,1	64,6	3,9

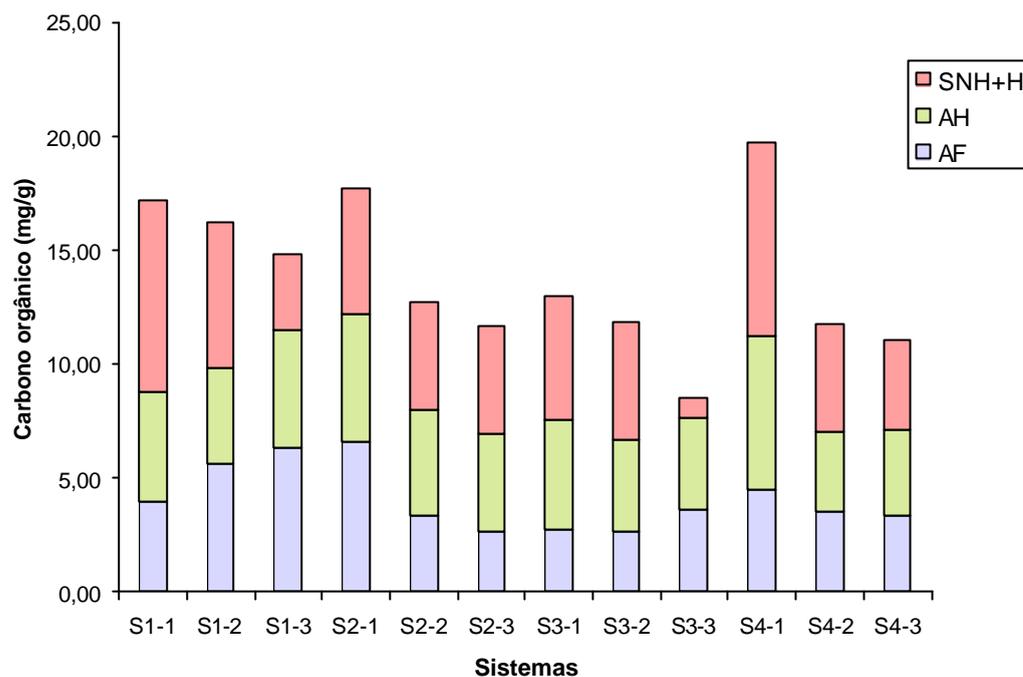
AF= ácido fúlvico; AH= ácido húmico; c.org.= carbono orgânico; (SNH+H)= substâncias não humificadas +humina

A **Figura 6.24** apresenta o conteúdo médio de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e outros presentes nas três profundidades dos solos dos sistemas. No sistema S1 observa-se que o ácido fúlvico tem um aumento com a profundidade, é o sistema com o maior conteúdo em comparação com os outros sistemas. Em S2 há um decréscimo com a profundidade. No sistema S3 as camadas mais superficiais apresentam-se mais estáveis, há um aumento no conteúdo de AF na camada mais profunda. Para o sistema S4, houve uma diminuição com a profundidade, este sistema apresenta um comportamento similar ao sistema S2.

Para o conteúdo de ácido húmico, os sistemas S2 e S3 apresentam concentrações bem próximas. O sistema S1 tem um leve decréscimo em S1-2 e aumento na profundidade de S1-3. No sistema S2 nota-se uma diminuição progressiva com a profundidade. Em S3 Há uma diminuição da concentração com a profundidade e uma estabilização nas camadas mais profundas. O sistema S4 tem uma diminuição brusca em S4-2, seguido de um leve aumento em S4-3.

O conteúdo estimado de (SNH + H), para o sistema S1 apresenta na camada mais superficial valores bem próximos em comparação a camada superficial do sistema de floresta (S4). Com o aumento da profundidade, observamos uma diminuição progressiva do conteúdo de “outros”. No sistema S2 o conteúdo de “outros” é homogêneo nas três profundidades. O sistema S3 apresenta valores bem próximos nas camadas mais superficiais e uma brusca diminuição do teor de “outros” na camada mais profunda. Observaram-se para o sistema S4 as maiores concentrações de “outros” na camada mais superficial, diminuindo nas camadas mais profundas, ficando com valores bem próximos.

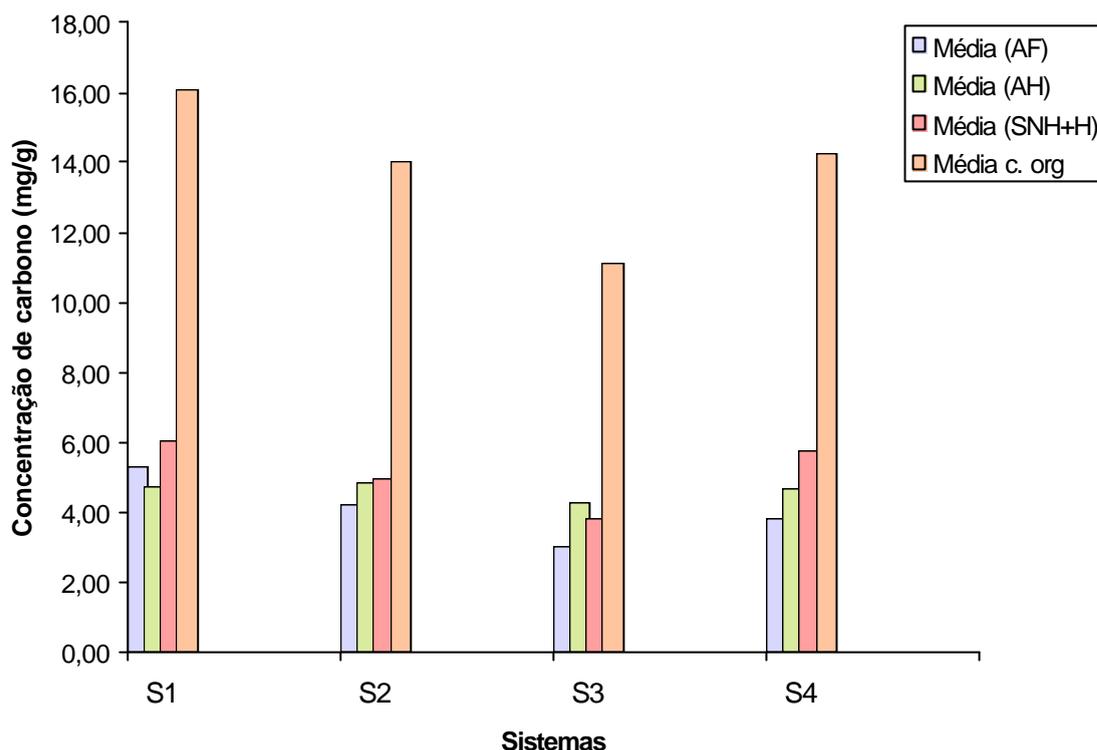
O carbono orgânico apresenta um comportamento similar em todos os sistemas, com um decréscimo do conteúdo das camadas mais superiores para as camadas mais profundas. Os sistemas S2 e S4 são bem parecidos em termos de concentração nas três profundidades. O sistema S1 é o que apresenta as maiores concentrações e o sistema S4 as menores concentrações, com exceção da camada mais superficial que apresenta a maior concentração em relação os outros sistemas .



**Figura 6.24-** Média do conteúdo de carbono orgânico por profundidade presente nas frações da matéria orgânica dos solos estudados (AH= ácidos húmicos; AF= ácidos fúlvicos; SNH + H= substâncias não humificadas +humina).

Fazendo uma comparação entre a média geral de ácido fúlvico, ácido húmico, outros e carbono orgânico evidenciam-se uma diminuição para AF na seguinte ordem S1>S2>S4>S3. Para AH a diminuição acontece na seguinte ordem S2>S1>S4>S3. Vale ressaltar que S1 e S4 têm quantidades de AH bem próximas. A concentração de (SNH+H) apresenta uma diminuição de S1>S4>S2>S3. Observa-se que o sistema S3 é o de menor conteúdo de AF e AH, fato que pode estar relacionado ao manejo, como já foi constatado no fracionamento físico.

Nota-se uma similaridade de comportamento entre os sistemas S2 e S4, com  $AF < AH < (SNH+H)$  e o carbono orgânico com concentrações bem próximas. Entre S1 e S3 temos um comportamento inverso, onde S1 apresenta as maiores concentrações de carbono orgânico e S3 as menores concentrações e em S1  $AH < AF < (SNH+H)$  e S3  $AF < (SNH+H) < AH$  (**Figura 6.25**).



**Figura 6.25-** Comparação da média do conteúdo de carbono presente nas frações da matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas (AH= ácidos húmicos; AF= ácidos fúlvicos; SNH + H= substâncias não humificadas +humina).

Os maiores valores de carbono nas substâncias húmicas foram encontrados nos sistemas S1, S2 e S4, sem muita diferença entre eles. Os menores foram obtidos no sistema S3. Ao se comparar os sistemas 1, 2 e 3 com o sistema S4, observa-se uma redução nas 3 frações AF, AH e outros em S4. O mesmo comportamento é evidenciado para os valores de carbono orgânico.

Segundo Stevenson (1982), a redução do conteúdo matéria orgânica e do carbono no solo não se deve unicamente à diminuição da quantidade de resíduos adicionados, mas também, ao aumento da atividade microbiana, causada por melhores condições de aeração, temperatura mais elevada e alternância mais freqüente de umedecimento e secagem do solo, além do uso contínuo de implementos e pelas perdas causadas pela erosão que é favorecida pelo sistema de manejo no plantio convencional.

Para S1, S2 e S4 os valores de matéria orgânica e do carbono obtidos permitem supor que o sistema radicular da vegetação, pode proporcionar o aumento na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, favorecendo o incremento do

teor das frações humificadas. Evidencia-se também que os sistemas de pousio e de floresta apresentam valores bem próximos, o que pode demonstrar uma regeneração dos sistemas S1 e S2 e que o tempo de pousio pode ser menor, demonstrado no sistema S1 (pousio de 4-7 anos) que apresenta valores bem próximos ao de floresta.

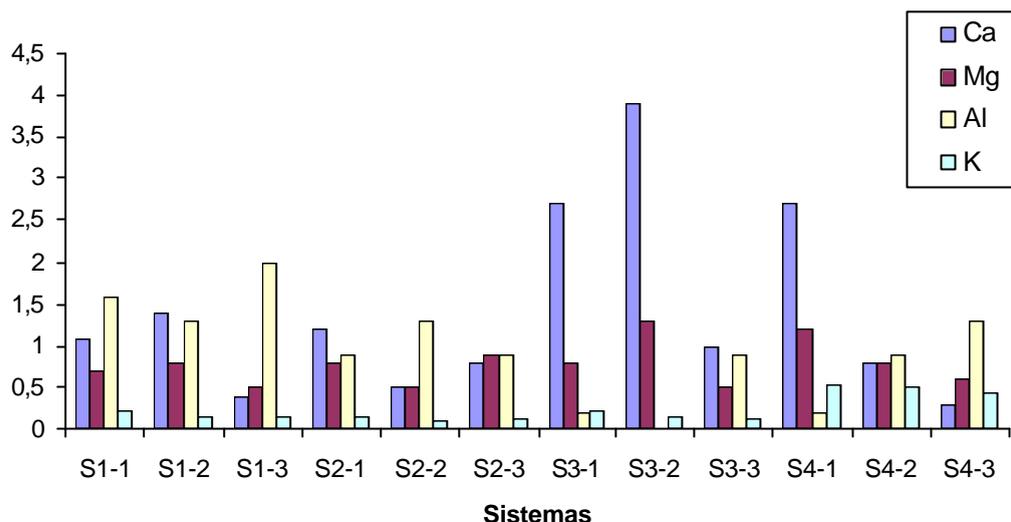
## 6.5 Propriedades Químicas dos solos estudados

Na análise das propriedades químicas os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram as maiores concentrações no sistema S3 e as menores concentrações no sistema S2. No sistema S1 há um leve aumento na profundidade de 10-20 cm, seguido de uma diminuição na profundidade 25-40 cm. Um comportamento parecido é observado no sistema S3. O sistema S2 mostra uma diminuição nos valores da camada mais superior para camada intermediária, e na camada mais profunda há aumento nos valores. Para o sistema S4 nota-se uma diminuição progressiva com a profundidade (**Figura 6.26**). A tabela com os resultados está apresentada no **Apêndice 9**.

A maior concentração de cálcio no sistema 3 provavelmente é devida a adubação e calagem praticada na área. O aumento desta concentração na profundidade de 10-20 cm, pode ser decorrente do processo de lixiviação, onde temos este elemento percolando no perfil do solo.

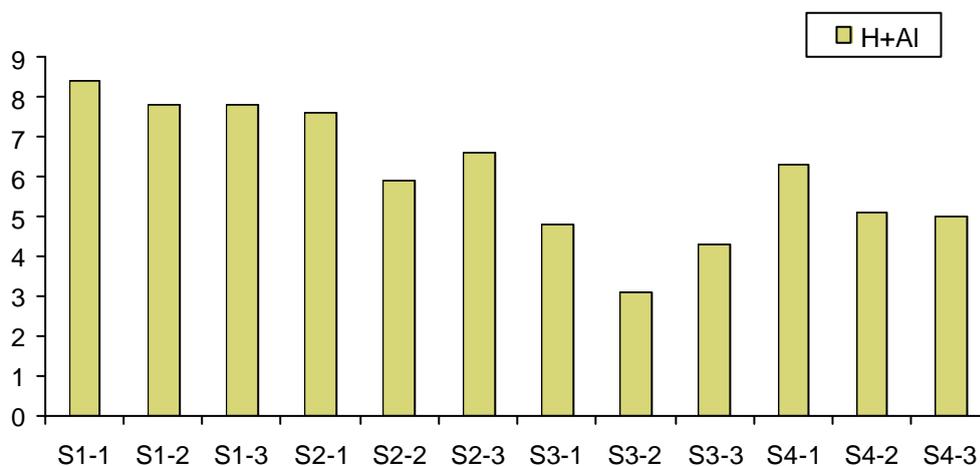
O elemento  $\text{Al}^{3+}$  tende a apresentar um comportamento muito variável de acordo com o tempo de descanso ao qual o solo é exposto. O sistema S3 é o que apresenta amostras com as menores concentrações deste elemento. No sistema S4 nota-se um aumento da concentração de  $\text{Al}^{3+}$  com a profundidade (**Figura 6.26**).

Em média os valores encontrados de  $\text{Al}^{3+}$  para todos os sistemas são considerados altos, sendo este um dos motivos para ter um solo com pH baixo, como foi constatado. De-Polli (1988), cita que teores de  $\text{Al}^{3+}$  acima de 0,3, há um indicativo de necessidade de correção da acidez do solo. Os valores de  $\text{K}^+$  nos sistemas S1, S2 e S3 diminuem com o aumento da profundidade. O sistema S4 apresenta as maiores concentrações, mas também obedece a tendência de diminuir com o aumento da profundidade (**Figura 6.26**).



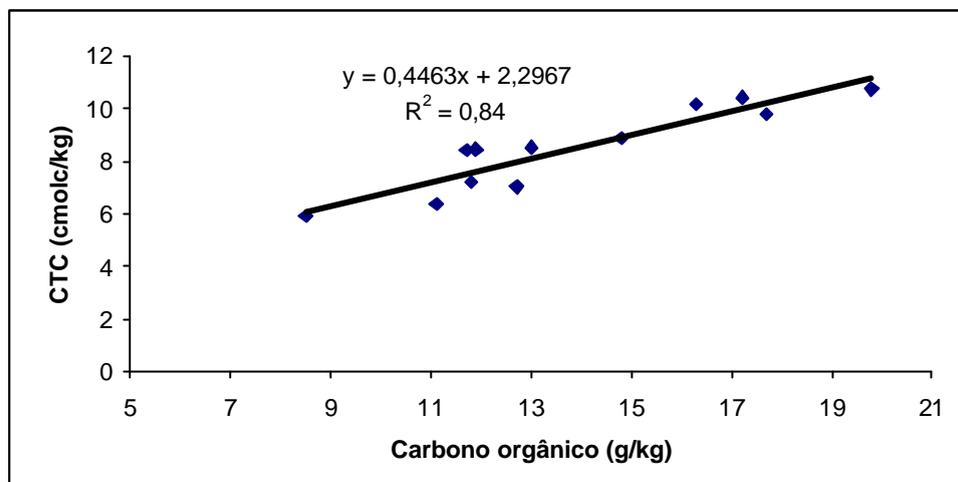
**Figura 6.26-** Distribuição dos elementos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  nos solos dos diferentes sistemas.

O valor de H (soma de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^+$ ), apresenta seus maiores valores no sistema 1, onde se observa uma certa homogeneidade destes valores nas três profundidade. Os sistemas 2 e 3 apresentam o mesmo comportamento, uma diminuição dos valores da camada superficial para a camada intermediária, seguido de um aumento na camada mais profunda. No sistema 4 o valor de H apresenta uma diminuição da camada mais superior para a camada intermediária e se matem estável na camada mais profunda (**Figura 6.27**).



**Figura 6.27-** Valor H, soma dos cátions  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^+$  nos solos dos diferentes sistemas.

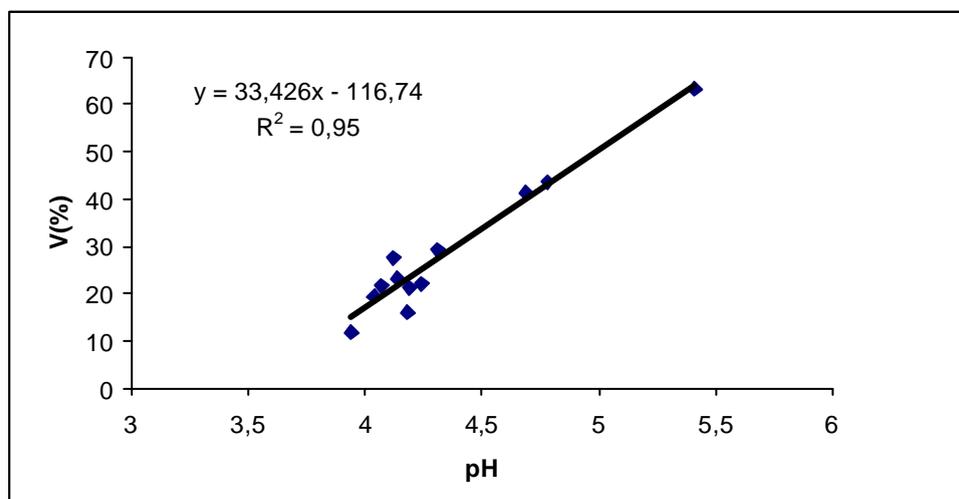
A relação entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e o carbono orgânico obtidos para os quatros sistemas, demonstra uma correlação linear. Onde temos um aumento da CTC com o aumento do conteúdo do carbono orgânico (**Figura 6.28**).



**Figura 6.28-** Correlação da CTC e carbono orgânico dos solos dos diferentes sistemas.

A relação entre a saturação de bases e pH também é linear, onde temos um aumento com o aumento do pH (**Figura 6.29**). A maioria das amostras apresentaram valores baixo de V e pH, com exceção das amostras S3-1 e S3-2, em que os valores de pH entre 5 e 5,5 tem uma saturação de base em torno de 50-60%.

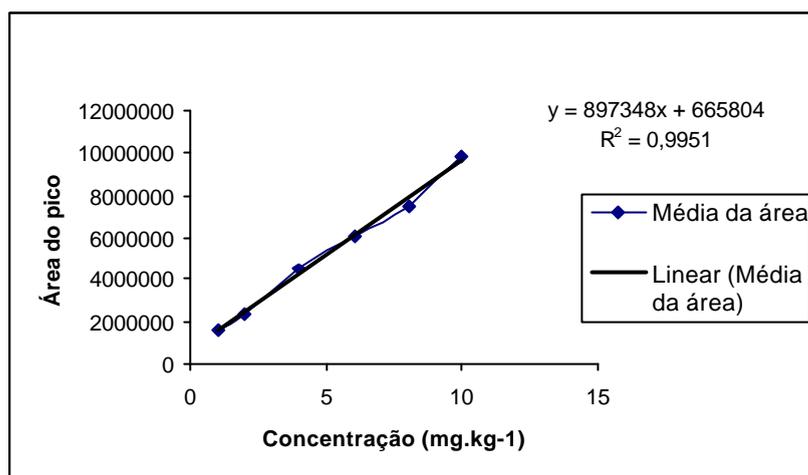
Os valores de saturação de bases revelaram que os solos dos quatros sistemas são distróficos com valores menores de 50%, sendo considerados solos de baixa fertilidade. Para S3-2 os valores de (V) foi maior que 50%, apresentando-se como eutrófico. A possível justificativa para o valor de (V) obtido neste sistema, seria a aplicação dos fertilizantes e adubos feitos na área de cultivo (**Apêndice 9**).



**Figura 6.29-** Correlação de saturação de bases e pH dos solos dos diferentes sistemas.

## 6.6 Análise de 2,4-D através de cromatografia líquida (CLAE)

Para a análise do herbicida 2,4-D nas amostras de solo através de cromatografia líquida de alta eficiência foram feitas previamente uma curvas de calibração com concentrações conhecidas. A concentração variou de  $1\text{mg.kg}^{-1}$  a  $10\text{mg.kg}^{-1}$ , com leitura em triplicata; a quantificação do herbicida nas amostras de solo foi calculada a partir delas (**Figura 6.30**)



**Figura 6.30-** Curva de calibração para o 2,4-D nas concentrações de 1 a 10 ( $\text{mg.k}^{-1}$ ).

O método proposto para a extração do 2,4-D em amostras de solos foi avaliado pelo teste de recuperação realizado para os sistema 4. Foram feitas fortificação das amostras em triplicata com solução padrão do 2,4-D (**Apêndice 10**).

A utilização de amostras do solo da própria área de estudo, teve como objetivo tentar simular condições reais, ou seja, que as interações que ocorrem entre o 2,4-D na mostra, não sejam mudadas com a utilização de outro tipo de matriz de solo (**Tabela 6.3**).

Os valores obtidos pelo teste de recuperação, estão de acordo com os definidos na literatura (Brito *et al.*, 2003), para a análise de resíduos de pesticidas, ou seja, valores de recuperação entre 70 e 120% e coeficiente de variação (CV) inferior a 20%. Baseado nos resultados de fortificação pode-se dizer que a metodologia de extração do 2,4-D do solo foi eficiente.

**Tabela 6.3-** Valores de recuperação e coeficiente de variação (CV) obtido em 5 níveis de fortificação.

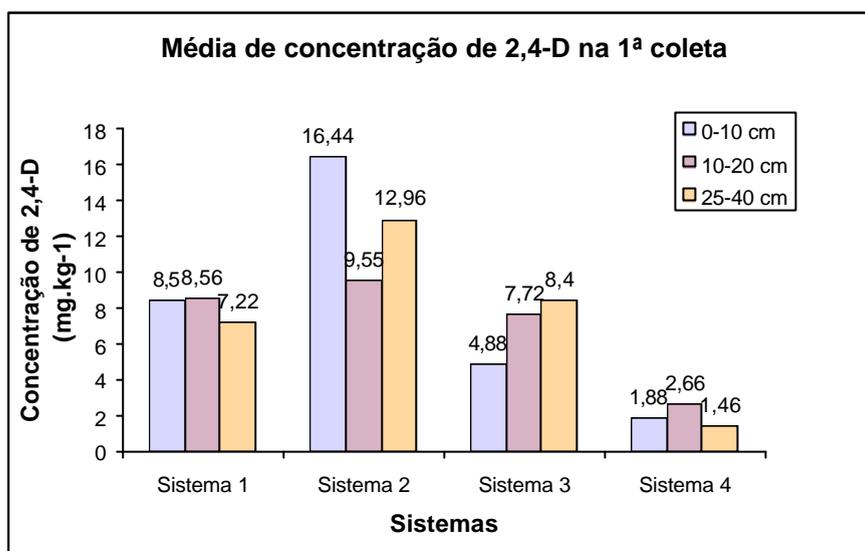
Fortificação (ppm)	Recuperação (%)	CV (%)
0,1	94	0,9
0,1	95	
0,1	96	
1	90	1,6
1	87	
1	88	
2	90	3,5
2	96	
2	96	
3	96	0,6
3	97	
3	97	
4	98	0,4
4	98	
4	98	

O conjunto de análises de 2,4-D nas amostras estudadas seguiu um planejamento estatístico, onde foram analisadas um total de 72 amostras representativas de cada sistema e nas três profundidades, sendo que cada amostra tiveram três repetições e duas leituras no cromatógrafo. A identificação do herbicida e subsequente quantificação, além de alguns cromatogramas obtidos estão apresentados no **Apêndice 11**.

Durante a análise cromatográfica das amostras os picos característicos do 2,4-D foram identificados na absorção de 228 nm e no tempo de retenção de aproximadamente 2,1 minutos, tanto para a primeira coleta, quanto para a segunda coleta. Também foram identificados outros picos característicos do metanol, no tempo de retenção de 3,17 minutos e de substâncias húmicas, no tempo de retenção de 2.4-2.5 minutos. A presença destes picos é justificável, pois o metanol faz parte da fase final de extração do 2,4-D do solo e no caso das substâncias húmicas (Amarante Jr. 2002), cita a ocorrência de co-extração da mesma com o 2,4-D.

Foi constatada a presença de concentrações do ácido diclorofenoacético (2,4-D) nas amostras de solos das duas coletas feitas, em todos os sistemas estudados. Segundo Amarante Jr. (2002), não há limite de tolerância legal estabelecido para 2,4-D nos solos, somente para água, que segue a Resolução COMANA 20.

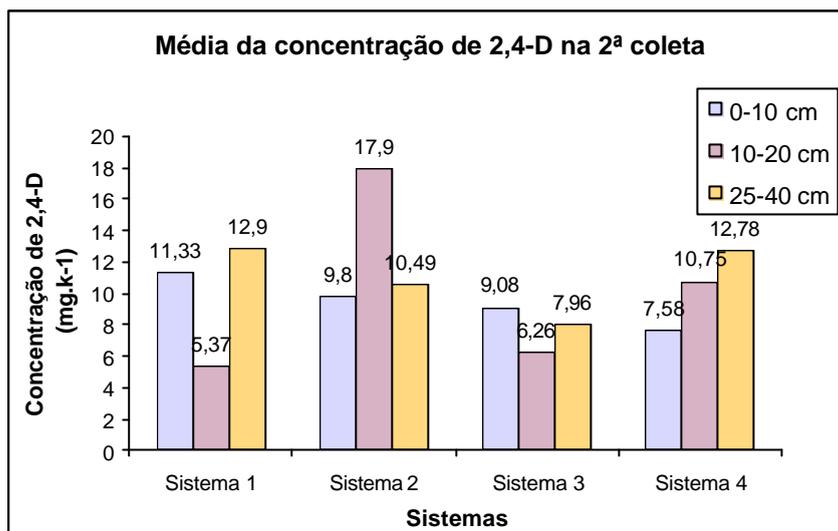
Na primeira coleta verificou-se que as maiores concentrações estão nos sistemas 1 e 2, sendo que nas camadas superficiais do sistema 1 há uma certa homogeneidade, enquanto que, no sistema 2 há uma diminuição da concentração na camada intermediária, seguida de aumento em profundidade (**Figura 6.31**). Os sistemas 3 e 4 apresentaram as menores concentrações. Para o sistema 3, há um aumento progressivo com a profundidade e para o sistema 4 observa-se um leve aumento na camada intermediária, seguido de uma diminuição na camada mais profunda (**Figura 6.31**).



**Figura 6.31-** Concentrações de ácido diclofenoxiacético 2,4-D em (mg.kg<sup>-1</sup>) determinadas por (CLAE) para as amostras de solos da primeira coleta.

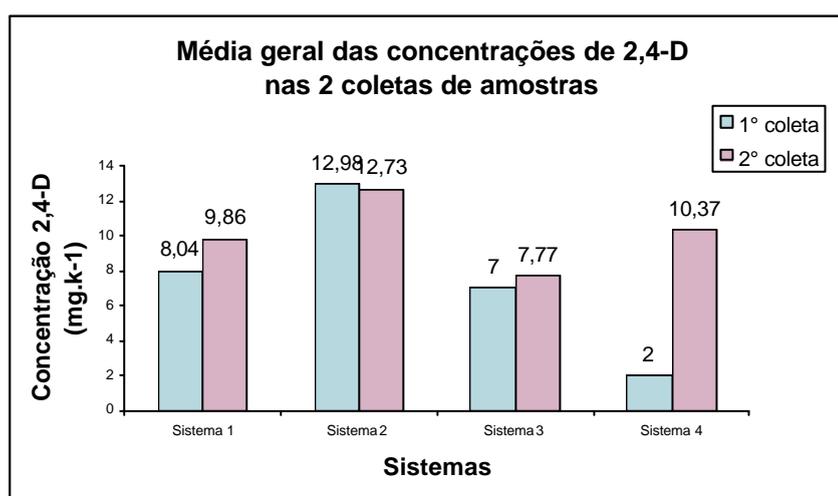
A análise da concentração de 2,4-D das amostras da segunda coleta mostrou que os sistemas estão de modo geral no mesmo patamar de concentração. O sistema 1 apresenta uma diminuição da camada superior para a camada intermediária, e na camada mais profunda há um aumento de mais que o dobro em relação à segunda camada (**Figura 6.32**).

O sistema 2 apresenta na sua segunda camada a maior concentração de todos os sistemas, que diminui na camada mais profunda. Para o sistema 3 temos um comportamento parecido com o sistema 1, com diminuição e leve aumento na camada mais profunda. S4 constata-se um progressivo aumento da concentração de 2,4-D com o aumento da profundidade (**Figura 6.32**).



**Figura 6.32-** Concentrações de ácido diclofenoxiacético 2,4-D em ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) determinadas por (CLAE) para as amostras de solos da segunda coleta.

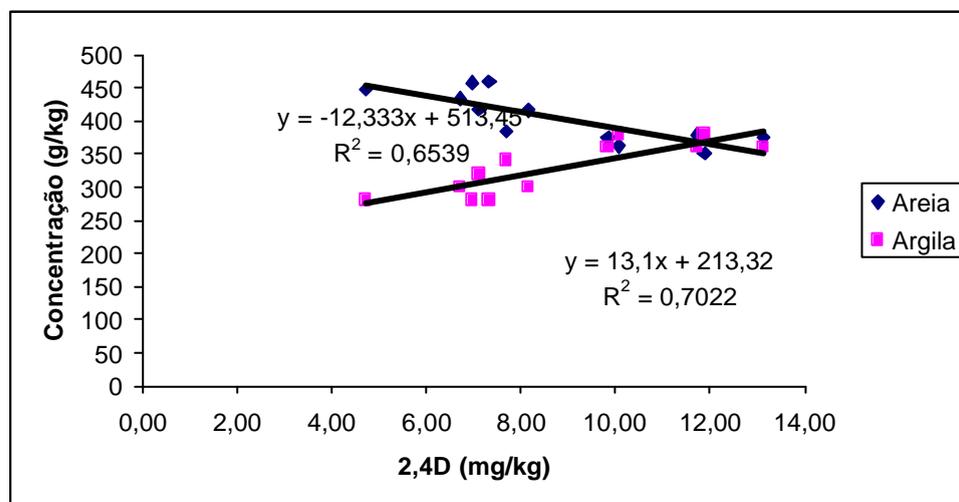
Fazendo uma comparação da média geral de concentração de 2,4-D nas duas coletas de amostras (**Figura 6.33**) nota-se uma leve tendência de diminuição da concentração com o tempo, com exceção do sistema 4, onde a diminuição é bem nítida. No sistema 2 a concentração do herbicida permaneceu praticamente estável com o tempo. Vera-Avila *et al* (1996), um tempo de meia-vida a o 2,4-D de aproximadamente 5 meses, este dado não é coerente com o observado na área de estudo, visto que as coletas de amostras tem entorno de 12 meses de diferença e a degradação do herbicida foi mínima, principalmente no sistema 2, em que temos um pousio de 10-12 anos.



**Figura 6.33-** Média das concentrações de ácido diclofenoxiacético 2,4-D nas duas coletas de amostras para todos os sistemas e nas três profundidades estudadas.

Realizou um teste de variância colocando como variável dependente a concentração de 2,4-D e variáveis independentes as duas coletas, os sistemas e as profundidades estudadas. Observou-se que houve significância, através de uma melhor interação entre os parâmetros sistemas e coletas, onde a coleta 2 teve um  $r^2$  melhor. Este fato se dá provavelmente por que na 1ª coleta houve uma precipitação maior na região, principalmente nos meses anteriores a coleta, o que não aconteceu na 2ª coleta, que também se deu em período chuvoso, mas com uma precipitação menor em relação ao período de fevereiro de 2007, quando ocorreu a primeira coleta.

Inicialmente avaliou-se os dados conjuntamente, a correlação simples obtida entre a concentração de 2,4-D com os resultados dos parâmetros estudados pela determinação mineralógica, pelo estudo micromorfológico e o fracionamento físico e químico dos solos (**Apêndice 11**). Mostrou-se uma correlação significativa para areia e argila, com uma correlação positiva para a argila, onde há um aumento da concentração de 2,4-D, com o aumento do teor de argila no solo, e uma correlação negativa para a areia (**Figura 6.34 e Tabela 6.4**).



**Figura 6.34-** Correlação significativa entre a concentração de 2,4-D e o teor de argila e areia.

**Tabela 6.5.** Coeficiente de correlação de Pearson (r) para correlação simples entre dados de solos e a concentração de 2,4-D considerando.

2,4- D (mg.kg)	
AF (%)	0,28
AH (%)	0,04
AF+AH	0,21
C.Org.(g.kg)	0,01
AF+AH%	0,19
Dif(SNH+HUMINA)	-0,18
pH	-0,49
Ca (cmolc/kg)	-0,48
Mg (cmolc/kg)	-0,41
Ca+Mg (cmolc/kg)	-0,48
Al(cmolc/kg)	0,46
H+Al (cmolc/kg)	0,46
Na(cmolc/kg)	0,69
K (cmolc/kg)	-0,69
CTC	0,00
Areia (g/kg)	-0,81
Argila (g/kg)	0,84
FL g/kg	0,01
FI g/kg	-0,31
poro(%)	-0,46
plasma (%)	0,68
esqueleto (%)	0,04
AF (g/kg)	0,28
AH (g/kg)	0,04
SNH+HUMINA (g/kg)	-0,18
AF+AH%	0,19
AF%	0,23
AH%	0,04

A correlação positiva com a argila e negativa com a areia são satisfatórias, já que estes parâmetros são inversamente proporcionais. Como foi observado anteriormente, todos os sistemas apresentaram a presença de caulinita e um teor de argila bem próximos, o que não seria um fator diferencial entre os sistemas para a maior ou menor concentração de 2,4-D.

Porém, observou-se que o teor de areia e a porosidade são maiores nos sistemas S3 e S4, onde os resultados mostraram as menores concentrações de 2,4-D. Este fato pode refletir uma maior facilidade de infiltração do herbicida para níveis mais profundos, devido uma maior quantidade de partículas grossa e poros, diminuindo assim a concentração de 2,4-D nas camadas estudadas destes sistemas. O mesmo

raciocínio é usado para os sistemas S1 e S2, em que a concentração do herbicida é maior, visto que temos os menores teores de areia e também uma menor porosidade, ou seja, uma capacidade de infiltração menor, que contribui para uma maior concentração do herbicida.

É curioso observar que na zona de floresta (sistema S4) encontramos concentrações de 2,4-D, um dos possíveis fatores que contribuem para isso é a sua posição topográfica, que fica logo acima da área do sistema 3. Onde, o herbicida pode ser levado por volatilização depois da aplicação e posteriormente depositado através da chuva ou efeito de deposição a seco, este efeito também foi observado em outras condições por Yao *et al.* (2006). O comportamento diferente do que se esperava no início para o sistema 4, mostrou que este sistema é pouco indicado como uma zona de referência. A área de floresta para ser ponto de referência deveria ser mais distante da área de plantio, mas preservando as mesmas características dos solos dos sistemas S1, S2 e S3.

A partir dos dados de regressão simples foi feita uma tentativa de se obter melhores resultados através de uma regressão múltipla segundo o modelo “stepwise”, que confirmou a correlação direta com a argila e verificou uma correlação indireta para o alumínio e o hidrogênio, os resultados estão apresentados no **Apêndice 11**.

O 2,4-D é uma molécula de características ácidas, de caráter ácido-base, em que o pH do meio definirá a sua forma de apresentação no solo. Em pH baixo (4,0) ocorre a dissociação, tornando uma espécie carregada negativamente, assim, o herbicida tem pouco atração pelos sítios negativos das substâncias húmicas e dos silicatos, o que favorece a sua lixiviação no solo (Amarante Jr. *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 1999).

Como os colóides minerais e orgânicos comuns em solos brasileiros têm carga variável, o teor de H determinado, significa a quantidade de cargas que o solo pode desenvolver do pH em que se encontra (pH natural) até o pH 7,0. Desta forma, pode se inferir que quanto mais H tem o solo, menos cargas de superfície terá o solo em sua condição natural. O aumento da concentração de  $Al^{3+}$  influencia diretamente no pH do meio.

Apesar da concentração do 2,4-D estar indiretamente correlacionado com a concentração de  $H^+$  e  $Al^+$ , num primeiro instante, parece incoerente, mas Stevenson (1994), relata que alguma adsorção do herbicida é possível através da ligação de H e forças de van Der Waals.

Spadotto *et al* (2003), relatam que a sorção de formas aniônicas de pesticida, pode teoricamente ocorrer em minerais com capacidade de troca aniônica. Embora a maioria dos solos tem carga negativa, devido as cargas negativas sobre alumínio-silicatos cristalinos e matéria orgânica, os solos que são compostos de alumínio-silicatos amorfos ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio podem apresentar carga líquida positiva em pH baixo.

Isto pode ser uma justificativa para o que acontece nos sistemas 1 e 2, pois apresentam na sua composição mineralógica a presença de óxido-hidróxidos de ferro e alumínio, embora possuem um pH mais baixo em relação aos outros dois sistemas, que facilitaria a lixiviação do pesticida no perfil do solo, estes sistemas apresentaram nas duas coletas de amostras as maiores concentrações de 2,4-D. E essa tendência fica mais forte se considerarmos a possibilidade de ocorrência de pontes metálicas entre as substâncias, principalmente, em decorrência dos elevados teores de cálcio e, possivelmente, alumínio presentes nas amostras (Tipping, 2002; Boivin *et al.*, 2005; Hyun & Lee, 2005).

Amarante Jr. *et al.*, (2002) relatam também que a elevada concentração de metais, tais como o ferro pode, diminuir a mobilidade do composto devido a formação de sais pouco solúveis. Nota-se por fim, que o comportamento do herbicida 2,4-D na matriz do solo é muito complexo, podendo ser mudado pelas propriedades físico-químicas e pelas interações com compostos orgânicos.