

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS
DE SOLOS NA REGIÃO OESTE PAULISTA**

GIOVANA CRISTINA MASCHIO PELÁGIO VICENTE

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS
DE SOLOS NA REGIÃO OESTE PAULISTA**

GIOVANA CRISTINA MASCHIO PELÁGIO VICENTE

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador:
Prof. Dr. Fabio Fernando de Araújo

631.46
V633a

Vicente, Giovana Cristina Maschio Pelágio
Atributos microbiológico, granulométrico e de
fertilidade na avaliação de solos na Região Oeste
Paulista/ Giovana Cristina Maschio Pelágio Vicente –
Presidente Prudente, 2010.
38 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) –
Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE: Presidente
Prudente – SP, 2010.

Bibliografia.

Orientador: Fabio Fernando de Araújo

1. Microbiologia do solo. 2. Fertilidade do solo. 3.
Desidrogenase. I. Título.

GIOVANA CRISTINA MASCHIO PELÁGIO VICENTE

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS
DE SOLOS NA REGIÃO OESTE PAULISTA**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 03 de setembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Fernando de Araújo
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente - SP

Prof. Dr. Alexandre Martin Martines
Universidade de São Paulo, Escola Superior
de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ
Piracicaba - SP

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente - SP

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

A Maria Santíssima pela especial proteção.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fabio Fernando de Araújo, por acreditar em mim, pelo carinho, atenção pelo seu exemplo profissional e por contribuir para o meu crescimento profissional.

Aos professores Doutores Carlos Sergio Tiritan e Nelson Barbosa Machado Neto, pela atenção e força.

Aos meus pais Edson e Vera Lucia, pelo carinho, força, incentivo, participação e exemplo. A vocês amor eterno.

Ao meu irmão Danilo Augusto pela amizade, ajuda, companheirismo, sem medidas, amo você!

Ao meu marido Eduardo Vicente pela compreensão e carinho.

A minha cachorra Pitucha, pelo amor incondicional.

As minhas tias Irmã, Cida e Terezinha pelo carinho e suas orações.

Aos amigos do mestrado Isa, Rodrigo, Marco Suriani, Eduardo, que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

Aos meus chefes Sergio e Antonio pela compreensão e amizade.

A amiga Maria José pelo carinho e incentivo.

Aos colegas da Unoeste Jacqueline, Eliezer pelo incentivo, contribuição e amizade.

Aos técnicos de laboratório de solos (Unoeste) Rafael, Lindalva que participaram diretamente deste trabalho e me ajudaram em todos os momentos.

A professora Dr^a. Rebeca pelo apoio e colaboração na realização deste trabalho.

A todos os professores da Pós-Graduação em Agronomia pelo convívio e aprendizado acrescentados em minha vida.

"Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer."

Mahatma Ghandi

RESUMO

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS NA REGIÃO OESTE PAULISTA

A fertilidade e a atividade microbiana em solo têm sido utilizadas com frequência para indicar mudanças na qualidade do solo. A atividade microbiana interage diretamente com as condições ambientais, classes de solo e diferentes sistemas de produção agrícola utilizados. Apesar dos avanços nesta área ainda é um grande desafio a definição de bons indicadores de qualidade do solo, suas interações e comportamento ao longo do tempo. Desta forma, o objetivo desse estudo foi verificar o estado atual de solos sob pastagens na região oeste paulista utilizando-se da avaliação e correlação de atributos microbiológicos e de fertilidade do solo. Foram realizadas em 108 amostras de solos, coletadas em áreas de pastagens estabelecidas, análises de treze variáveis em laboratório, dentro dos atributos microbiológicos, de fertilidade e granulométrico do solo. Os resultados encontrados na avaliação dos atributos microbiológicos demonstraram que a biomassa microbiana apresentou o menor coeficiente de variação, distribuição normal de frequência e correlação significativa com a maioria das variáveis analisadas, por outro lado dentro dos atributos de fertilidade do solo o pH apresentou o menor coeficiente de variação enquanto que o teor fósforo apresentou grande variação com frequência desproporcional indicando junto com outras variáveis o estado atual de degradação do solo. A biomassa microbiana do solo pode ser considerada como bom indicador para avaliação microbiológica nestes solos. A análise de componentes principais apresentou que 51% da variação concentrou-se dentro do eixo 1 e 2 o que é considerado representativa para avaliação ambiental multivariada.

Palavras-chave: Biomassa microbiana, fertilidade do solo, qualidade do solo.

ABSTRACT

MICROBIOLOGICAL, PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN THE WESTERN REGION OF SÃO PAULO STATE

The fertility and microbial activity in soil have been often used to indicate changes in soil quality. The microbial activity directly interacts with environmental conditions, soil types and different agricultural production systems used. Despite advances in this area, it is still a great challenge to define good indicators of soil quality, their interactions and behavior over time. Thus, the aim of this study was to assess the current state of soils under pastures in the western region of São Paulo using the evaluation and correlation of the microbial attributes and soil fertility. We performed on 108 soil samples, collected in settled pastures, analysis of thirteen variables in a laboratory within the microbial attributes, fertility and soil texture. The findings of the evaluation of the microbial demonstrated that microbial biomass had the lowest coefficient of variation, normal distribution of frequency and significantly correlated with most variables analyzed, on the other side, within the attributes of fertility of the soil, pH had the lowest rate variation while the phosphorus content demonstrated large variations with disproportionately high frequency among other variables, indicating the current status of soil degradation. The soil microbial biomass can be considered a good indicator for microbiological evaluation in these soils. The principal component analysis demonstrated that 51% of the variation was concentrated in the axis 1 and 2, which is considered representative for multivariate environmental assessment.

Keywords: Microbial biomass, soil fertility, soil quality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3. OBJETIVOS	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O Oeste Paulista, área que inclui a região de Presidente Prudente e o Pontal do Paranapanema, é composto por 32 municípios que ocupam cerca de 18.000 km² onde vivem aproximadamente 500.000 habitantes. Caracteriza-se por condições climáticas que denotam uma forte concentração pluvial nos meses de primavera/verão e consequente estiagem de outono/inverno, associada a um uso do solo predominantemente destinado à pecuária extensiva e ao cultivo de cana-de-açúcar, tem apresentado graves problemas de erosão do solo e assoreamento dos rios. Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo Cwa (mesotérmico com inverno seco) com temperaturas médias ligeiramente inferiores a 18 °C e superiores a 22 °C. Em termos geológicos, predominam as rochas do grupo Bauru, nas formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá, com arenitos de granulação de médio a fino, muito suscetíveis a processos erosivos. O relevo é ondulado com altitudes que variam de 250 a 500 metros.

Os solos predominantes na região apresentam baixo teor de argila uniforme ao longo do perfil, ressecam facilmente e podem ser considerados de textura mais arenosa. As propriedades químicas e biológicas destes solos têm sido estudadas utilizando-se de forma geral como indicadores: Teor de argila, respiração, biomassa, atividade da desidrogenase, coeficiente metabólico (qCO_2), pH, C orgânico, Ca, Mg, K, P, CTC, V%. Estas avaliações contribuem para definição de indicadores de qualidade e recomendação de uso do solo. Atualmente, os atributos microbiológicos do solo têm sido bastante explorados visando encontrar metodologias mais adequadas para uso futuro em programas integrados de avaliação da qualidade do solo. A avaliação conjunta dos diferentes parâmetros do solo pode contribuir para maior entendimento da dinâmica desses solos visando intervenções agrônômicas mais adequadas dentro deste ecossistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Solo como habitat é um sistema heterogêneo, descontínuo e estruturado, formado por micro-habitats. O micro-habitat ou microssítio é local particular ou volume do solo onde células, populações ou comunidades microbianas são encontradas e cujo status físico químico (microambiente) influencia seu comportamento, que, por sua vez, também influenciam o ambiente dentro deste espaço (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O solo é formado por três fases: líquida (água com materiais dissolvidos), gasosa (os mesmos gases da atmosfera, porém com diferentes proporções) e sólida, que é composta de partículas minerais, raízes de plantas, populações de organismos, macro e microscópicos vivos e com metabolismo ativo ou dormente, e matéria orgânica em vários estágios de decomposição.

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre, e representa um balanço entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Os principais componentes do solo incluem minerais inorgânicos, partículas de areia, silte, argila, formas estáveis da matéria orgânica, minhocas, insetos, bactérias, fungos, algas, nematóides e gases como O_2 , CO_2 , N_2 e NO_x (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

Um solo fértil fornece nutrientes para o crescimento de plantas, auxilia uma comunidade biótica diversa e ativa, exibe uma típica estrutura de solo, e permite uma decomposição sem problemas (MADER et al., 2002).

Sendo o solo um recurso natural, o uso de indicadores da sua qualidade para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande importância. A qualidade do solo pode ser definida como sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

A matéria orgânica do solo influencia em largo alcance propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo considerado por alguns autores o mais importante indicador de qualidade do solo (BOLINDER et al., 1999). A extensão a qual a matéria orgânica contribui para a qualidade do solo depende não somente da qualidade da matéria orgânica, mas também da atividade da fauna do solo e

condições do meio ambiente; em particular temperatura e umidade, a qual condições de mineralização se processa diretamente seus efeitos na atividade microbiana do solo (QUÉDRAOGO et al., 2001). Mudanças pequenas na matéria orgânica do solo (MOS) podem ser detectadas somente por monitorização da fração ativa da MOS, tal como a fração do carbono lábil e o C da biomassa microbiana. MOS é considerada uma das principais fontes de energia e nutrientes ao sistema, capaz de manter a produtividade dos solos em geral. Dentre outros benefícios gerados pela MOS, destacam-se a melhoria das condições físicas do solo e o fornecimento de energia para o crescimento microbiano (SILVA; RESCK, 1997), o que resulta em maior ciclagem de nutrientes e aumento da CTC do solo (PAES et al., 1996). Estes e outros benefícios conferem à MOS um papel fundamental na avaliação da qualidade do solo (MIELMICZUK et al., 2003).

Dentre os atributos relacionados com a MOS, o carbono da biomassa microbiana do solo, embora represente uma pequena fração (< 5%), também é considerado um sensível indicador da qualidade do solo (VARGAS; SCHOLLES, 2000). Desde o estudo pioneiro de Jenkinson (1966), dezenas de trabalhos comprovam que a determinação da biomassa microbiana do solo pode fornecer informações relevantes sobre o funcionamento dos ecossistemas e sobre a qualidade do solo, havendo, inclusive, indicações de que os atributos microbiológicos apresentam maior sensibilidade do que os químicos e físicos, refletindo rapidamente alterações pelo manejo do solo ou das culturas (WARDLE, 1992, 1998; BALOTA et al., 1998, 2003; FRANCHINI et al., 2007). Dentre os fatores limitantes à atividade microbiana estão a disponibilidade de água, energia e nutrientes, a temperatura, a radiação e a distribuição dos agregados do solo (STOTZKY, 1997; HUNGRIA, 2000).

O crescimento microbiano é limitado, muitas vezes, pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono ou nitrogênio ao solo pode aumentar a biomassa e com isso imobilizá-los na sua constituição celular (GRAHAM et al., 2002). A biomassa microbiana representa o compartimento central do ciclo de carbono no solo e, de acordo com as condições edafoclimáticas do ecossistema da composição dos resíduos vegetais sobre a superfície, pode funcionar como compartimento de reserva (nutrientes facilmente disponíveis) ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica (MERCANTE, 2001). A importância dos microrganismos no funcionamento do ecossistema tem induzido um

aumento no interesse na determinação de biomassa microbiana do solo (AZAM; FAROOQ; LODHI, 2003).

A biomassa é a fração viva da matéria orgânica do solo e representa um reservatório de nutrientes para as plantas; pelo processo de decomposição da matéria orgânica, promove a sustentabilidade biológica e a produtividade nos ecossistemas (PEREZ et al., 2005). Medidas de certas características da fração ativa da matéria orgânica e atividades metabólicas em solo têm sido usadas para indicar mudanças na qualidade do solo (AJWA et al., 1998). O tamanho, composição e atividade da microbiota do solo têm sido frequentemente utilizados em estudos de monitoramento das alterações ambientais decorrentes da exploração agrícola. No entanto, verifica-se que essas variáveis isoladamente não expressam adequadamente os processos biogeoquímicos que ocorrem nos ecossistemas, devendo ser combinados entre si, de forma a produzir relações (ANDERSON, 2003; HARRIS, 2003).

Por exemplo, trabalhos têm demonstrado que os quocientes microbianos ($qMIC$) e metabólicos (qCO_2) são sensíveis aos efeitos ambientais e antropogênicos, podendo ser considerados indicadores de perturbações dos ecossistemas (ANDRÉA et al., 2002; HARRIS, 2003). Gama-Rodrigues (1997) verificaram que o qCO_2 foi um indicador sensível para estimar o potencial de decomposição da MOS.

Os resultados de C e N da biomassa microbiana do solo, quando associados aos resultados da atividade microbiana (CO_2 liberado) e atributos químicos, como C orgânico e N total, possibilitam a obtenção de índices microbianos que expressam a dinâmica do C e N de maneira mais adequada que os valores absolutos (MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004). A relação entre C da biomassa microbiana e a C orgânica do solo reflete a qualidade da MOS, assim como a eficiência de conversão do C do solo em C microbiano. Da mesma maneira, a relação entre N da biomassa microbiana e o N total do solo indica a eficiência de conversão do N do solo em N microbiano (SPARLING, 1992).

A quantificação do C da biomassa microbiana (CBM), respiração basal ($C-CO_2$) e suas relações como, por exemplo, quociente metabólico (qCO_2), tem sido utilizado para estudar os processos de ciclagem e transformação de nutrientes (MALUCHE-BARETTA et al., 2006), bem como avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999; ANDERSON, 2003).

A respiração do solo é largamente entendida como a soma da respiração das raízes (autotróficas) e microbiana (heterotróficas) de composição de matéria orgânica do solo, é uma parte importante do ciclo global do carbono (RAICH; SCHLESINGER, 1992; RAICH; POTTER, 1995; RISK et al., 2002). A respiração microbiana representa a oxidação da matéria orgânica (MO) por organismos aeróbios que utilizam O_2 comoceptor de elétrons até CO_2 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002), constituindo um método prático para estimativa da quantidade de microorganismos vivos no solo (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A respiração pode ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 como pela produção de CO_2 , por titulação ou condutividade elétrica (quando é capturado por NaOH ou KOH). Pode se medir a respiração basal da amostra (com a matéria orgânica pré-existente) ou com indução por substrato, adicionando-se uma fonte orgânica específica, e.g., glicose. (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As transformações mediadas pela biomassa microbiana são catalizadas pelas enzimas que exercem também um importante papel na funcionalidade dos processos no solo. Por isso, a quantificação da atividade de enzimas do solo pode fornecer indicações das alterações nos processos metabólicos (NANNIPIERI et al.; 1990; DICK et al.; 1996) e, juntamente com outras avaliações, como o teor de carbono orgânico, nitrogênio total e biomassa microbiana, podem contribuir para melhor compreensão do efeito da interferência antrópica no solo e servir como um estratificador de ambientes (KULINSKA et al., 1982; KLEIN et al., 1985).

O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade é com relação ao desenvolvimento de métodos para avaliação da qualidade do solo e do ambiente sob a interferência do homem. As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, tais como: a atividade enzimática, a taxa de respiração, a diversidade e a biomassa microbiana são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (TURCO et al., 1994; SANTANA; BAHIA FILHO, 1998; DORAN; PARKIN, 1996).

Atualmente existe um esforço multidisciplinar, tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo. Segundo Tótola e Chaer (2002), um indicador de qualidade do solo pode ser simplesmente uma variável mensurável

(temperatura do solo), um processo (taxa de mineralização do N) ou um índice, no qual se incluem inúmeras medidas do solo (densidade, porosidade, matéria orgânica e outros).

A deficiência ou falta impossibilita a planta de completar seu ciclo biológico, sendo específica para o elemento em questão, onde o elemento deve estar envolvido diretamente na nutrição da planta (metabólito essencial), ou requerido na ação de um sistema enzimático (RAIJ, 1991). Para que uma planta complete seu ciclo de vida são necessários, além de C, H, O, macro e micronutrientes, sendo os macro divididos em primários e secundários, os primários (N, P, K) e secundários (Ca, Mg, S), os micro (B, Cl, Cu, Fe, Mg, Zn, Mo), sendo os primeiros absorvidos em maior quantidade pelas plantas.

Nos Latossolos, a maior parte do fósforo supostamente se encontra ocluída ou fortemente adsorvida nos compostos de ferro, tornando-se, assim, pouco disponível para as plantas, o aumento no conteúdo de matéria orgânica exerce papel extremamente importante na redução da sorção de fosfatos desses solos (ALMEIDA; TORRENTI; BARRÓN, 2003).

Dessa forma, se justificam estudos específicos sobre a atividade microbiana, como componente do estudo da qualidade dos solos da região oeste paulista, fornecendo subsídios para definições de indicadores de qualidade e de fertilidade do solo na região.

3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar e correlacionar os atributos microbiológicos, de fertilidade e textura de solos para que possam ser utilizados na aferição do estado atual dos solos na região Oeste Paulista.

Avaliação textural do solo

A análise textural do solo, ou, análise granulométrica, foi efetuada pelo método da pipeta (DAY, 1965), após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação (40 rpm) por 12 a 16 horas.

Avaliação da fertilidade do solo

As análises de fertilidade do solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2000). O carbono orgânico no solo foi determinado por meio de oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio a 0,2 M em meio ácido (EMBRAPA, 1997).

Procedimentos para correção de umidade do solo

As amostras de solo foram destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de malha e homogeneizadas, retirando-se as raízes e os resíduos visíveis de plantas e animais do solo. De cada amostra foi retirada uma subamostra onde foi calculado o teor de umidade do solo, com o seguinte procedimento: Em um béquer de 50 ml tarado foi colocado 20g de solo, anotando-se o peso do recipiente com o solo úmido, deixou-se o béquer 24 horas na estufa a 110 °C, onde em seguida o mesmo foi pesado anotando-se o peso do solo seco. Foi calculado então o índice de umidade do solo através da fórmula:

$$\frac{P_{\text{solo úmido}} - P_{\text{solo seco}}}{P_{\text{solo seco}} - \text{béquer}} \times 100.$$

Foi calculada também a capacidade máxima de retenção de água do solo, para isto cada porção da amostra de solo foi colocada em anel de alumínio de volume conhecido de forma que ficasse coberta de solo. Os anéis foram colocados em bandejas de alumínio com água pela metade e deixados 24 horas. Após este período, foram retirados, secados com papel toalha e pesados. Tem-se então a massa do solo saturado. Este anel foi transferido para a estufa a 110 °C por 24

horas, e após, retirado da estufa e pesado, para determinação da massa do solo seco. A porosidade total foi então calculada através da fórmula:

$$PT(\%) = \frac{M_{\text{solosaturado}} - M_{\text{solo seco}}}{\text{volumedaamostra}}$$

Com base na porosidade total a umidade das amostras, antes da análise microbiológica, foi corrigida para 50% da capacidade máxima de retenção de água do solo, utilizando-se como referência o valor da porosidade total dividido por dois subtraindo-se o valor de umidade natural encontrada do solo. A partir disto seria indicado a quantidade de água a ser colocada nas amostras para correção de umidade. A partir da correção da umidade do solo foram realizadas as análises de respiração basal e induzida e análise enzimática nas amostras de solo.

Avaliações biológicas no solo

Respiração no solo: A respiração do solo foi avaliada pelo método condutimétrico (RODELLA; SABOYA, 1999). Foi determinada a respiração basal e induzida, onde para isto cada amostra foi subdividida em quatro subamostras, onde duas subamostras receberam 4,0mg de glicose g solo⁻¹. Estas amostras foram homogeneizadas e adicionadas dentro de frasco hermético com capacidade para um litro. Sobre a superfície do solo, em cada frasco foi colocado um Becker de 50 ml contendo 40 mL de solução de NaOH de concentração 0,5 mol L⁻¹ para absorver o CO₂ liberado do solo pelo processo de retenção passiva. Os frascos com e sem adição de glicose ficaram incubados pelo período de 72 horas (ALEF e NANINPIERI, 1995), onde foram feitas leituras da condutividade elétrica na solução de NaOH a cada 24 horas em aparelho condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração induzida (com adição de glicose) e pela respiração basal (subamostras de solo que não receberam glicose), foram calculados utilizando fórmula definida por Rodella e Saboya (1999). Os valores, então, expresso em mg de C-CO₂ g h⁻¹.

Biomassa microbiana no solo: A partir dos dados da quantidade de CO₂ produzido pela respiração induzida foi calculada a biomassa microbiana,

utilizando-se a fórmula proposta por Harden et al. (1993): $C\text{-mic}$ ($\mu\text{g de C g de solo}^{-1}$) = ($\mu\text{L de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ de solo h}^{-1}$) x 30.

Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$): Foi obtido partir da relação entre a respiração basal do solo e a biomassa microbiana no solo.

Atividade enzimática no solo (Desidrogenase): A atividade da enzima desidrogenase foi estimada, de acordo com a metodologia descrita por Van Os e Ginkel (2001). Após o peneiramento (2mm) alíquotas de 5g de solo, de cada amostra, foram saturadas com 2 mL de solução de TTC (2,3,5–cloreto de trifeniltetrazólio) a 1% em tampão tris 0,1M (pH 7,6) e 1 ml de glicose (0,1%). Seis sub-amostras de cada amostra de solo, coletada em cada localidade foram utilizadas no ensaio, sendo três com adição de TTC e três sem adição (controle). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a 30 °C, por 18 horas. Após incubação, 9 mL de metanol foram adicionados a cada tubo, o conteúdo foi agitado manualmente e filtrado em filtro tipo Whatman Nº 1. A intensidade da cor vermelha no filtrado (formação de trifeniltetrazólio formazan - TTF) foi determinada espectrofotometricamente a 530 nm. O resultado final foi calculado para miligrama de TTF formado por grama de solo seco.

Análise Estatística dos Dados

Os resultados das diferentes análises realizadas nas 108 amostras coletadas em 28 municípios da região Oeste Paulista foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) por meio do programa ADE-4 (THIOULOUSE et al., 1997), utilizando uma matriz com 108 pontos x 13 variáveis microbiológicas, físicas e químicas dos solos, a fim de analisar as inter-relações entre as diferentes variáveis. A análises de estatística descritiva e os coeficientes de correlação de Pearson, utilizados como medida de dependência entre as variáveis estudadas, foram estimados por meio do aplicativo Sigmaplot.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um aspecto importante no estudo descritivo de um conjunto de dados é o da determinação da variabilidade ou dispersão desses dados relacionados à medida de localização do centro da amostra. Como a média aritmética é considerada a medida de localização de maior estabilidade, então as medidas de dispersão são todas relacionadas a ela (CRESPO, 2009). Em estatística, o desvio-padrão é uma medida de dispersão relativa à média, porém quando duas distribuições possuem médias diferentes, o desvio não é comparável. A solução é usar o coeficiente de variação (CV), que é definido como o desvio-padrão dividido pela média (CRESPO, 2009). O erro padrão é muito usado como um indicador para verificar a confiabilidade da média da amostra, ou seja, quanto menor for o erro padrão, melhor será a estimativa da média da amostra (BUSSAB, 2008).

A média, o desvio-padrão, o erro padrão e o coeficiente de variação de todas as variáveis, ou seja, variável física (teor de argila), variáveis biológicas (respiração, biomassa e desidrogenase) e variáveis químicas (CO_2 , pH, Corg, Ca, Mg, K, P, CTC e V%) analisadas nas 108 amostras de solos, estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que as médias encontradas nos valores de pH, V% e de alguns nutrientes como o fósforo caracterizam bem os solos da região como ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Nas variáveis biológicas observou-se que a menor porcentagem do coeficiente de variação foi o apresentado pela variável biomassa. O valor médio da biomassa de 345 μg de C por g de solo foi similar ao encontrado por Oliveira et al. (2001) e Souza et al. (2006) em análise de biomassa microbiana em Latossolos cultivados com pastagens, utilizando-se métodos analíticos diferentes. Isto pode comprovar que a metodologia de determinação da biomassa neste trabalho pode ser utilizada em avaliações microbiológicas em solos.

De forma geral, tais resultados podem sugerir preliminarmente que a biomassa possui características para ser usada como indicador biológico para estes solos, pois pela sua maior uniformidade encontrada pode refletir com mais segurança distúrbios mais agudos nos solos da região.

Tabela 1: Valores de média, desvio-padrão, erro padrão e a média em termos de porcentagem dos 13 variáveis química, física e microbiológica das 108 amostras de solos analisadas.

Variáveis	Média	Desvio padrão	Erro padrão (\pm)	Coef. de variação (%)
Teor de argila (g kg^{-1})	111,01	44,12	4,24	39,7
Respiração basal ($\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$)	9,52	5,78	0,556	60,7
Biomassa ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	345,46	136,93	13,17	39,6
Desidrogenase (mg TTF g^{-1})	0,085	0,078	0,008	91,8
$q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ C h}^{-1}$)	0,028	0,013	0,001	46,4
pH (CaCl_2)	4,96	0,594	0,057	12,0
Corg (g dm^{-3})	8,92	5,237	0,504	58,7
Ca (mmol dm^{-3})	10,08	10,65	1,02	105,7
Mg (mmol dm^{-3})	5,43	8,34	0,802	153,7
K (mmol dm^{-3})	1,53	1,04	0,101	68,6
P (mg dm^{-3})	13,96	24,85	2,39	178,0
CTC (mmol dm^{-3})	39,42	20,57	1,97	52,2
Saturação por bases (%)	39,21	17,67	1,70	45,1

Em avaliação da degradação de um Latossolo, Ruivo et al. (2006) afirmaram que a biomassa microbiana apresenta-se como um indicador sensível a pequenas mudanças no ambiente e capaz de indicar o estágio de recuperação ou degradação do solo. Pelos resultados encontrados neste trabalho pode-se também afirmar isto, pois esta variável apresentou baixo coeficiente de variação e correlação significativa com a maioria dos atributos de fertilidade. Souza et al. (2006) também concluíram que dentre os atributos que melhor indicaram as perdas na qualidade do solo, a biomassa microbiana e a fração leve do carbono podem ser consideradas os melhores indicadores da qualidade do solo e do declínio do carbono orgânico total em curto prazo. O carbono da biomassa microbiana geralmente compreende de 2 a 4% do carbono orgânico total (GAMA-RODRIGUES, 1999). No presente trabalho foi encontrado valor médio de 3,9% indicando então pouca perda de carbono no sistema. Os valores baixos de $q\text{CO}_2$ encontrados neste trabalho também reforçam a tese de que o carbono está sendo utilizado de forma mais eficiente pela microbiota do solo, pois quando são observados valores mais elevados neste parâmetro pode ser indicativo de condições ambientais mais estressantes onde ocorrem perdas de carbono do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

As figuras 3, 4 e 5 apresentam a distribuição de frequências para os diferentes atributos físicos, químicos e microbiológicos avaliados neste trabalho. No tocante aos teores de argila e atributos microbiológicos (Fig. 3) observa-se que na avaliação da biomassa foi onde se encontrou a maior amplitude de classes de resultados e que a distribuição pode ser ajustada como normal. Com relação aos atributos de fertilidade do solo pode ser observado que os teores de P, Ca e Mg concentraram-se em poucas classes que representavam os menores teores dos elementos no solo (Fig. 4).

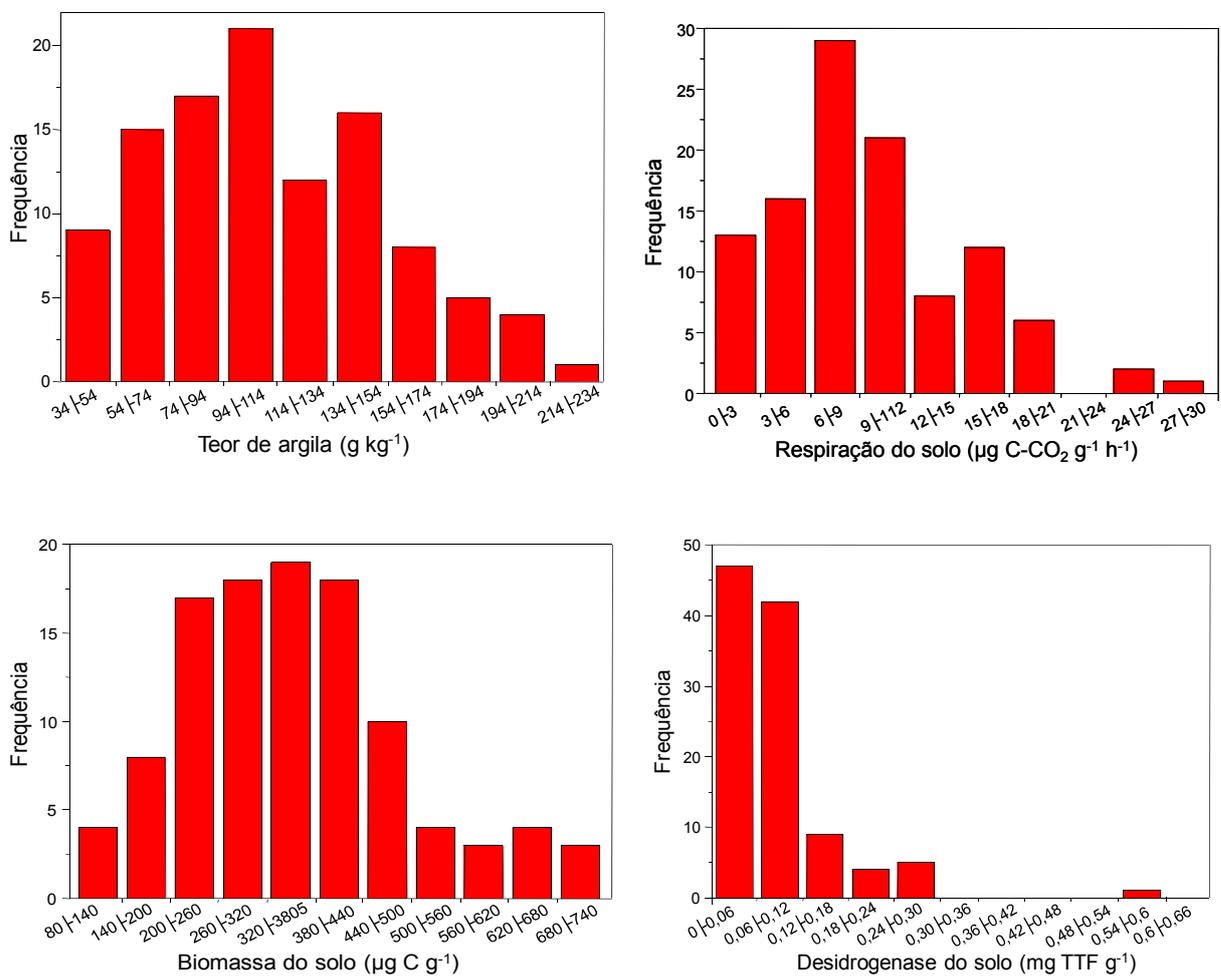


Figura 3. Distribuição de frequência dos teores de argila e de resultados das análises biológicas em 108 amostras de solos da região Oeste Paulista

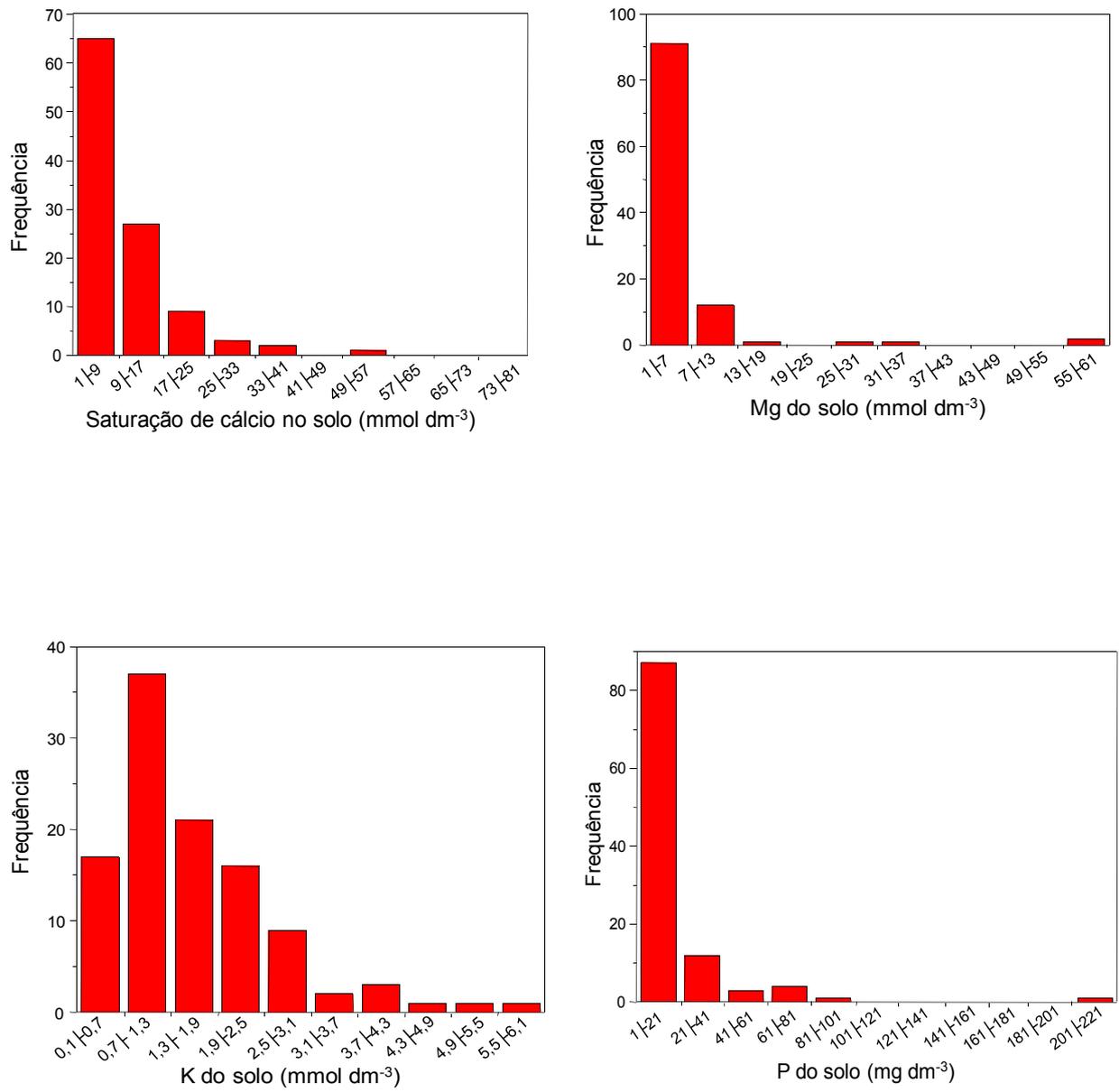


Figura 4 Distribuição de frequência dos resultados de Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo em 108 amostras de solos da região Oeste Paulista

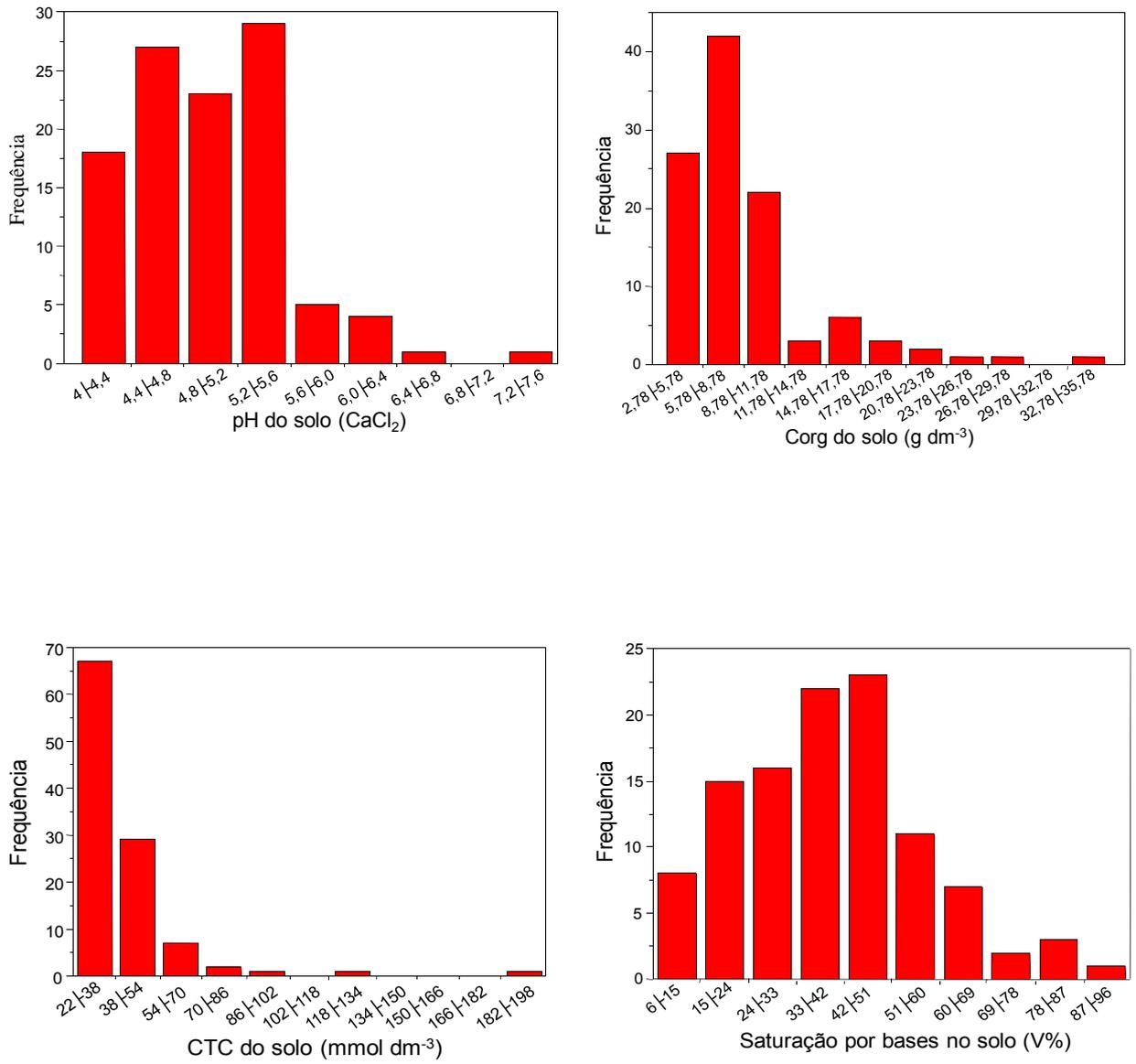


Figura 5. Distribuição de frequência dos resultados de pH, Corg, CTC, Soma de bases em 108 amostras de solos da região Oeste Paulista

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson é obtido dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão e normalmente é representado pela letra r .

A Tabela 2 apresenta o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas, físicas e químicas. De modo geral os resultados apresentaram correlações positivas (Tabela 2). Porém ao nível de precisão de $p < 0,01$ as correlações da biomassa com a maioria das variáveis apresentaram resultados considerados mais significativos. Vale a pena ressaltar que os teores de cálcio e magnésio apresentaram correlações significativas ($p < 0,01$) com as variáveis biomassa e desidrogenase. Enquanto que o carbono orgânico apresentou baixa correlação com estes parâmetros biológicos. Por outro lado foi encontrado correlações significativas a ($p < 0,01$) do teor de argila com a CTC e o carbono orgânico fato este que reafirma o que foi concluído por Nogueira Jr. (2000) sobre a correlação positiva das mesmas variáveis em solos com textura arenosa.

Tabela 2: Correlação de Pearson (r) entre diferentes variáveis biológicas, físicas e químicas em amostras de solo na região Oeste Paulista.

Variáveis	C-mic	C-CO ₂	Desidrogenase	Teor de argila
Biomassa	-	0,64**	0,23*	0,19*
Respiração	0,64**	-	0,21*	0,15 ^{NS}
Desidrogenase	0,23*	0,21*	-	-0,04 ^{NS}
C-orgânico	0,21*	0,22*	0,10 ^{NS}	0,52**
Teor de argila	0,19*	0,15 ^{NS}	0,04 ^{NS}	-
Ca	0,32**	0,14 ^{NS}	0,51**	-0,08 ^{NS}
Mg	0,26**	0,11 ^{NS}	0,62**	0,02 ^{NS}
K	0,14 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,05 ^{NS}	-0,01 ^{NS}
P	0,27**	0,29**	0,08 ^{NS}	0,23*
CTC	0,30**	0,32**	0,28**	0,35**
Saturação por bases (%)	0,32**	0,23*	0,42**	-0,02 ^{NS}

*Significativo (P<0,05); ** Significativo (P<0,01); Não significativo (^{NS})

A baixa correlação do C orgânico total com atributos microbiológicos, mesmo que significativa a 5%, prova que além do C orgânico total, outros fatores (propriedades físicas e químicas; condições ambientais; cobertura vegetal no solo, etc.) podem estar influenciando a biomassa microbiana nesta área. Resultado similar também foi encontrado por Nogueira Jr. (2000).

Devido ao grande número de variáveis analisadas dentro das três propriedades do solo, optou-se pela realização de uma análise multivariada. Neste caso, a análise de componentes principais (ACP). Esta análise baseia-se na transformação linear de “n” variáveis originais em “n” variáveis produzidas pelo sistema. Os eixos x e y, denominados componentes principais, podem ser vistos como “supervariáveis”, construídas pela combinação da correlação entre as variáveis, estes são extraídos em ordem decrescente de importância de acordo com sua contribuição para a variação total dos dados. Os componentes principais,

dispostos num espaço de duas dimensões, representam variabilidade suficiente que possa indicar algum padrão a ser interpretado. Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficiente de correlação que varia de -1 a +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo (GOMES et al., 2004; TINO, 2005).

Na Tabela 3 é demonstrada a análise de variância dos componentes principais. Alguns trabalhos consideram os três primeiros componentes (representados pelos eixos 1 a 3) como mais importantes para avaliação (FACCHINELLI et al., 2001; BORUVKA et al., 2005), contudo no presente estudo a variância total dos dados foi explicada em aproximadamente 51% nos eixos 1 e 2, contabilizando 34,48% no eixo 1 e 16,57% no eixo 2. Esse valor é considerado satisfatório em estudos de dados ambientais pois Costa (2009) considerou a variância de 34% nos eixos 1 e 2 como boa em razão do elevado número de fatores que podem contribuir para uma determinada observação significando que os dados que participam das matrizes estão explicando relativamente bem a “realidade amostrada” em campo. Melem Júnior et al. (2008) encontraram aproximadamente 70% de variância total nos eixos 1 e 2 do ACP quando analisaram apenas variáveis de fertilidade em amostras de solos do Amapá.

Tabela 3: Eingevalue e % de variância pela análise dos componentes principais para as amostras dos solos estudados

	Eixo 01	Eixo 02	Eixo 03
Eingevalue	4,48	2,15	1,58
% Variância	34,48	16,59	12,20
% acumulada	34,48	51,04	63,32

Pela análise de correlação dentro da ACP pode-se observar que a maioria das variáveis analisadas, com exceção apenas do quociente metabólico e teor de argila, apresentaram maior correlação com o eixo 1, que expressa 34,48% da variância total dos dados (Tabela 4). Observa-se que no eixo 1 todas as variáveis se correlacionaram negativamente indicando que o aumento no valor de uma determinada variável influencia no aumento da outra variável. Considerando a avaliação simultânea dos eixos 1 e 2, que representam cerca de 51% da variância, pode ser observado que as variáveis que mais se correlacionaram com valores

elevados nos dois eixos foram: respiração, atividade enzimática, carbono orgânico, cálcio, magnésio, fósforo e capacidade de troca catiônica do solo.

Tabela 4 - Correlação das variáveis física, microbiológica e fertilidade com os eixos de ordenação da análise multivariada (ACP).

Variáveis	Eixo 01	Eixo 02	Eixo 03	Eixo 04	Eixo 05	Eixo 06
Teor de argila	-0,1006	-0,3821	0,2436	-0,4700	0,1422	-0,0835
Respiração	-0,2328	-0,3015	-0,5713	-0,0761	-0,1336	0,0028
Biomassa	-0,2548	-0,1261	-0,2157	-0,2840	0,7183	0,1528
Desidrogenase.	-0,2727	0,2788	-0,1498	-0,2209	0,2604	0,1240
qCO ₂	-0,0561	-0,2412	0,6111	0,1546	0,4629	-0,1688
pH	-0,3286	0,1433	0,0080	0,2718	0,1648	0,5549
C-ORG	-0,2220	-0,3899	0,2852	-0,1862	0,2064	-0,0248
Ca	-0,3489	0,3412	0,0202	-0,1417	-0,0447	-0,3113
Mg	-0,3124	0,3856	-0,0264	-0,2938	0,1237	-0,2114
K	-0,2252	-0,0981	0,1061	0,5104	0,2091	0,6117
P	-0,2840	-0,2967	0,1842	0,2900	-0,0423	0,2887
CTC	-0,3599	-0,2218	0,1995	-0,0314	0,1681	-0,1022
Saturação por bases (%)	-0,3947	0,1632	0,0653	0,2437	-0,0548	0,0883

Pelo agrupamento das amostras de solo dentro de apenas um quadrante pode ser observada a relação próxima entre elas indicando relativa homogeneidade na sua origem como solos arenosos (Figura 5). Em análise de componentes principais em amostras de solo de diferentes origens no Estado de São Paulo, Valladares et al. (2009) encontraram que origem do solo foi determinante, para agrupar as amostras dentro dos diferentes quadrantes analisados.

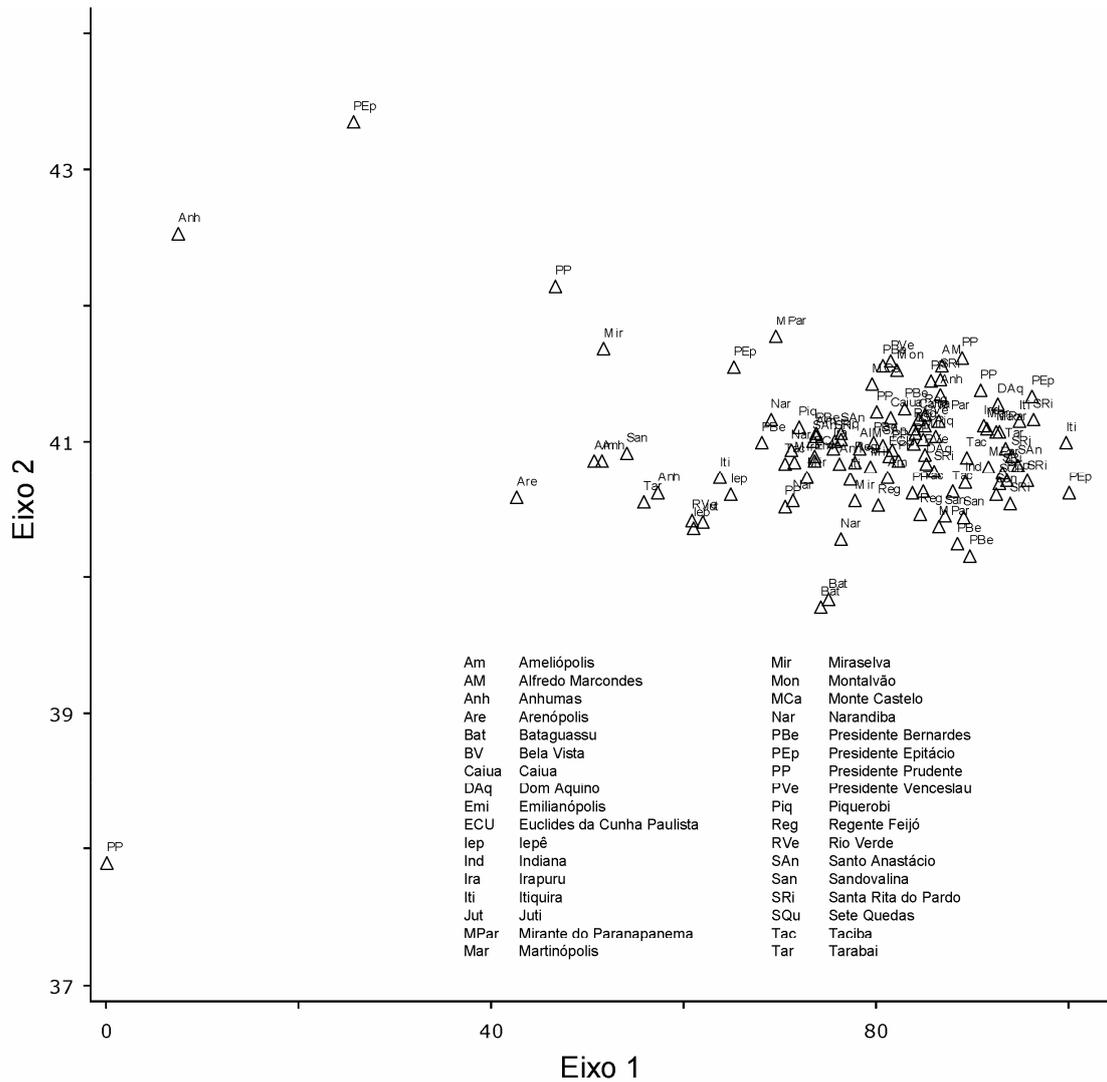


Figura 5: Análise de componentes principais para os atributos microbiológicos e químicos obtidos nas amostras de solos da região Oeste Paulista

Pelo grande número de correlações positivas significativas encontradas entre as diferentes variáveis pareadas pelo método de Pearson, pelo agrupamento das amostras e pela sintonia das correlações dos autovetores encontrados dentro da análise de componentes principais pode-se afirmar que as análises microbiológicas químicas e granulométrica em solos da região demonstraram maior proximidade entre elas com pouca dispersão. Este fato pode revelar também que nestes solos de textura predominantemente arenosa e relativo grau de degradação os impactos provocados principalmente pela ação antrópica têm afetado os atributos do solo de maneira geral, pois não foi possível identificar qual característica foi mais afetada.

Porém, pode-se afirmar, com base nos resultados encontrados, que as intervenções efetuadas para melhoria de um determinado atributo do solo podem refletir indiretamente na melhoria de outros.

6 CONCLUSÕES

- Os atributos microbiológicos e de fertilidade demonstraram baixo coeficiente de variação nos parâmetros microbiológicos, contudo os parâmetros de fertilidade revelaram o estado atual de degradação do solo.

- A biomassa microbiana do solo pode ser considerada como bom indicador biológico de solos.

- A análise de componentes principais com base nos atributos avaliados neste trabalho mostrou relativa uniformidade na avaliação de estado atual do solo, sob pastagens, na região Oeste Paulista.

REFERÊNCIAS

AJWA, H. A. et al. Carbon and Nitrogen Mineralization. in Tallgrass Prairie and Agricultural Soil Profiles. **Soil Science Am J**, v.62, p. 942-951, 1998.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.

ALMEIDA, J. A.; TORRENTI, J. ; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em latossolos desenvolvidos de basalto de extremo-sul do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.985-1002, 2003.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture Ecosystems Environmental**, Amsterdam, v. 98, n. 1/3, p. 285-293, 2003.

AZAM, F., FAROOQ, S.; LODHI, A.. Microbial biomass in agricultural soils- determination, synthesis, dynamics and role in plant nutrition. **Pakistan J. Biol. Sci.**, v.6, p. 629-639, 2003.

BALOTA, E. L. et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 15-20, 2003.

BALOTA, E. L. et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BOLINDER, M. A. et al. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 37-45, 1999.

BORUVKA, L. et al. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. **Geoderma**, v. 128, p. 289-300, 2005.

BUSSAB, W. M. P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2008. p.525.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 19. ed. atual. São Paulo: Saraiva, 2009.

COSTA, C. F. **Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaúba no Estado de São Paulo**. Campinas, 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agronômico de Campinas

D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

DICK, R. P. et al. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.247-272.

DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1. p.545-566.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Orgs.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 25-37.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Adv. Agron.**, v. 56, p.1-54, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Embrapa – CNPS. Documento, 1).

FACCHINELLI, A. et al. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. **Environmental pollution**, v.114, p.313-324, 2001.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 92, p.18-29, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo-ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-244.

GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

GOMES, J. B. V. et al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p.137-153, 2004.

GRAHAM, M. H. et al. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.93-102, 2002.

HARDEN, T. et al. Soil microbial biomass estimated by fumigation-extraction and substrate-induced respiration in two pesticide-treated soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 25, p. 679-683, 1993.

HARRIS, J. A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. **European Journal Soil Science**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 801-808, 2003.

HUNGRIA, M. Características biológicas em solos manejados sob plantio direto. In: REUNIÓN DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5., Florianópolis, 1999. **Anais...** Florianópolis: EPAGRI, 2000. (CD-ROM).

JENKINSON, D. S. Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. **European Journal of Soil Science**, v.17, p.280-302, 1966.

KLEIN, D. A. et al. Soil enzymes: A predictor of reclamation potential and progress. In: TATE, R. L.; KLEIN, D. A. **Soil reclamation processes: Microbiological analyses and applications**. New York, Dekker, 1985. p.141-171.

KULINSKA, D. et al. Enzyme activities in "Cerrado" soils in Brazil. **Pedobiologia**, v. 24, p.101-107, 1982.

MADER, P. et al. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. **Science** v. 296, n. 5573, p.1694-97, May 2002.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D. et al. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 41, p.1531-1539, 2006.

MELÉM JÚNIOR, N.J. et al. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina. Ciências Agrárias**, v.29, p.499-506, 2008.

MERCANTE, F. M. Biomassa e atividade microbiana: indicadores da qualidade do solo. **Direto no Cerrado**, p.9-10, 2001.

MIELMICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 209-248.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 819-826, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. 626 p.

MOREIRA, S. M. F.; SIQUEIRA, O. J. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.

NANNIPIERI, P. et al. Ecological significance of the biological activity in soil. **Soil Biochem.**, v. 6, p. 293-355, 1990.

NOGUEIRA JR., L. R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da mata atlântica**. 2000. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

OLIVEIRA J. R. A.; MENDES, I.C.; L. VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos decerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 863-871, 2001.

PAES, J. M. V. et al. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **R. Ceres**, v. 43, p. 337-392, 1996.

PEREZ, K. S. S. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p.137-144, 2005.

QUÉDRAOGO, E. A. et al. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v 84, p. 259-266. 2001.

RAICH, J. W.; POTTER, C. S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 9, p. 23–36, 1995.

RAICH, J. W.; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. **Tellus**, v. 44, p. 81–99, 1992.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 285 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RISK, D. et al. Carbon dioxide in soil profiles: production and temperature dependence. **Geophysical Research Letters**, v. 29, p. 1-4, 2002.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 2059-2060, 1999.

RUIVO, M. L. P.; BARROS, N. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Relações da biomassa microbiana do solo com características químicas de frações orgânicas e minerais do solo após exploração mineral na Amazônia Oriental. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 1, n. 2, p. 121-131, 2006.

SANTANA, D. F.; BAHIA-FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: **World Congress of Soil Science**, 16., Montpellier, França. Proceedings. Montpellier, ISS, 1998.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gêneses, 1999. 508 p.

SÃO PAULO (Estado) Secretaria de Economia e Planejamento. **Mapas das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI**. 1996. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/copm_ugrhi.htm>. Acesso em: 10 abr. 2010.

SAS Institute. **Proprietary of software**. Version 6. 4. ed. Cary, 1999.

SCHWERTMANN, U.; KODAMA, H.; FISCHER, W. R. Mutual interactions between organic and from oxides. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (eds.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Maddison: Soil Science Society of America, 1986. p.223-250. (ISSA Special Publication, 17).

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997, p.467-524.

SOUZA, E. D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Sci. Agron.**, v.28, p.323-329, 2006

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, n. 2, p.195-207, 1992.

STOTZKY, G. Soil as an environment for microbial life. In: van ELSAS, J.D.; TREVORS, J. T.; WELLINGTON, E. M. H. **Modern soil microbiology**. New York: Marcel Dekker, 1997. p.1-20.

THIOLOUSE, J. et al. Ade-4: a multivariate analysis and graphical display software. **Statistics. Comp.** v. 7, p. 75-83, 1997.

TINO, V. F. **Utilização da análise de componentes principais para a regulação de máquinas de injeção plástica**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p.195-276.

TURCO, R. F. et al. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 73-90.

VALLADARES, G. S. et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1105-1114, 2009.

VAN OS, G. J.; VAN GINKEL, J. H. Suppression of *Pythium* root rot in bulbous *Iris* in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, London, v. 33, n. 11, p. 1447-1454, set. 2001.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, v. 67, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p.1627-1637, 1998.