

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 25/01/2018.

**ABORDAGEM MULTIVARIADA EXPLORATÓRIA DA EMISSÃO
DE CO₂ DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS**

Vivian Aparecida Brancaglioni

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” para a obtenção do título de Mestre em Biometria.

BOTUCATU
São Paulo - Brasil
Janeiro – 2017

**ABORDAGEM MULTIVARIADA EXPLORATÓRIA DA EMISSÃO
DE CO₂ DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS**

Vivian Aparecida Brancaglioni

Orientador: Prof. Dr. **José Silvio Govone**

Coorientador: Prof. Dr. **Alan Rodrigo Panosso**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” para a obtenção do título de Mestre em Biometria.

BOTUCATU
São Paulo - Brasil
Janeiro – 2017

Ficha Catalográfica

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TEC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Brancaglioni, Vivian Aparecida.

Análise multivariada exploratória da emissão de CO₂ do solo em áreas agrícolas / Vivian Aparecida Brancaglioni. - Botucatu, 2017

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: José Silvio Govone

Coorientador: Alan Rodrigo Panosso

Capes: 90100000

1. Análise multivariada. 2. Atmosfera do solo. 3. Solos - Análise. 4. Agricultura. 5. Sistemas silviculturais. 6. Cultivo.

Palavras-chave: Análise multivariada; Atributos físicos e químicos do solo; Emissão de CO₂ do solo; Técnicas exploratórias.

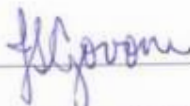
MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VIVIAN APARECIDA BRANCAGLIONI, INTITULADA "ABORDAGEM MULTIVARIADA EXPLORATÓRIA DE EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS", APRESENTADA AO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS, UNESP, CAMPUS DE BOTUCATU, SÃO PAULO, EM 25 de janeiro de 2017.

APROVADA PELA COMISSÃO JULGADORA:

Prof(a) Dr(a) JOSE SILVIO GOVONE

Instituição: IGCE / UNESP

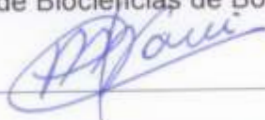
Assinatura:



Prof(a) Dr(a) CARLOS ROBERTO PADOVANI

Instituição: Instituto de Biociências de Botucatu

Assinatura:



Prof(a) Dr(a) CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS

Instituição: USP Piracicaba

Assinatura:



*Às melhores pessoas do mundo,
minha querida família, por acre-
ditarem em mim quando nem eu
mesma acreditava: Antônio Car-
los, Maria Luiza, Caren e Felipe.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por sustentar e guiar minha vida.

Aos meus pais Antônio Carlos e Maria Luiza que com amor sempre compreenderam minha ausência e fizeram de tudo para que eu chegasse até aqui, apoiando-me em minhas escolhas e rezando por mim.

A minha irmã Caren que é meu exemplo de dedicação e amor aos estudos, minha companheira para a vida.

Ao meu namorado Felipe, que com paciência e amor, esteve sempre ao meu lado, me confortando e acreditando em mim, tornando-se a cada dia mais essencial.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Silvio Govone pelas palavras de incentivo, por acreditar em minha capacidade e ter despertado em mim o interesse pela Bioestatística quando eu ainda estava na graduação e pelas contribuições para a realização deste trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso por sua amizade, motivação desde à época da iniciação científica e pela disponibilização dos dados para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Carlos Roberto Padovani e Carlos Tadeu dos Santos Dias membros da banca de qualificação e que muito contribuíram para o enriquecimento e desenvolvimento deste trabalho, tanto em seu mérito como em sua forma, com suas preciosas sugestões.

À Maria Elisa, que muito me auxiliou na interpretação biológica dos resultados sendo sempre solícita e gentil.

Aos amigos, que próximos ou distantes, contribuíram de alguma forma

para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, com palavras de apoio e incentivo. E particularmente aos amigos que fiz em Botucatu, em especial à Aiara, Cica, Farid, Fátima, Jacqueline, Livia, Magali, Márcio e sua família, Thomas e Vinícius.

Aos professores e funcionários do Departamento de Bioestatística da Unesp-Botucatu, em especial ao Professor Carlos Roberto Padovani, que sempre esteve disponível para sanar minhas dúvidas com muita gentileza e dedicação.

À CAPES pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento deste trabalho e à FAPESP (processo n° 2013/18726-8).

Conteúdo

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Análise Multivariada	4
2.2 Análise de Componentes Principais (ACP)	6
2.2.1 Biplot	10
2.3 Análise Fatorial (AF)	11
2.4 Análise de Correlação Canônica (ACC)	19
2.5 Relação entre a emissão de CO ₂ e atributos físicos e químicos do solo . .	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Descrição das áreas experimentais	30
3.2 Coleta de dados	33
3.3 Análise estatística	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 Experimento em área de cana-de-açúcar (2008)	41

	viii
4.1.1 Análise de Componentes Principais	47
4.1.2 Análise Fatorial	53
4.1.3 Análise de Correlação Canônica	60
4.2 Experimento em área de soja em 2013	68
4.2.1 Análise de Componentes Principais	74
4.3 Análise Fatorial	80
4.4 Análise de Correlação Canônica	84
5 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS	94

Lista de Figuras

	Página
1 Gradeado e área amostral de Guariba-SP para o experimento em cana-de-açúcar.	31
2 Gradeado e área amostral de Selvíria-MS para o experimento em soja. . .	32
3 (a) Sistema LI-8100 interligado à câmara de solos; (b) sensor de temperatura do solo e (c) câmara para solo inserida sobre o colar de PVC. . . .	34
4 TDR - “Hydrosense system”, sistema portátil utilizado para avaliação da umidade do solo.	35
5 Histogramas e curvas de distribuição das variáveis do experimento em área de cana-de-açúcar.	44
6 Gráfico de probabilidade <i>Q-Q Plot</i> multivariado para os dados do experimento em área de cana-de-açúcar.	45
7 Correlações das variáveis para o experimento em cana-de-açúcar.	46
8 “Scree-plot” das componentes principais (CP) para a área de cana-de-açúcar.	49
9 Biplot das associações entre CP1 e CP2 para o experimento em área de cana-de açúcar.	51
10 Biplot das associações entre CP1 e CP3 para o experimento em área de cana-de açúcar.	52
11 Biplot das associações entre CP2 e CP3 para o experimento em área de cana-de açúcar.	52
12 “Scree-plot” das componentes principais (CP) para experimento em área de cana-de-açúcar.	54

13	Gráfico de dispersão das cargas fatoriais de F1 e F2 para as variáveis avaliadas.	56
14	Gráfico de dispersão das cargas fatoriais de F1 e F3 para as variáveis avaliadas.	56
15	Gráfico de dispersão das cargas fatoriais de F2 e F3 para as variáveis avaliadas.	57
16	Gráfico de dispersão dos escores das variáveis canônicas U1 e V1, U2 e V2 para experimento em área de cana-de-açúcar.	67
17	Histogramas e curvas de distribuição das variáveis do experimento em área de soja.	70
18	Gráfico de probabilidade <i>Q-Q Plot</i> multivariado para os dados do experimento em soja.	71
19	Correlações das variáveis para o experimento em área de soja.	72
20	“Scree-plot” das componentes principais (CP) para o experimento em área de soja.	76
21	Biplot das associações entre CP1 e CP2 para o experimento em área de soja.	79
22	Biplot das associações entre CP1 e CP3 para o experimento em área de soja.	79
23	Biplot das associações entre CP2 e CP3 para o experimento em área de soja.	80
24	“Scree-plot” das componentes principais (CP).	81
25	Gráfico de dispersão das cargas fatoriais de F1 e F2 para as variáveis avaliadas.	83
26	Gráfico de dispersão dos escores das variáveis canônicas U ₁ e V ₁ , U ₂ e V ₂	90

Lista de Quadros

- 1 Informações das áreas onde foram conduzidos os experimentos de
 variabilidade espacial da emissão de CO₂ e atributos físicos e químicos
 do solo 33
- 2 Identificação e descrição dos atributos mensurados em cada experimento 38

Lista de Tabelas

		Página
1	Estatística descritiva das variáveis para o experimento em área de cana-de-açúcar	43
2	Variâncias, covariâncias (S) e correlações (R) das variáveis do experimento em cana-de-açúcar ¹	48
3	Autovalores (λ_i) e porcentagens da variação explicadas pelas componentes principais (VCP)	49
4	Coeficientes de ponderação das variáveis e suas correlações (entre parênteses) com as componentes principais para o experimento em cana-de-açúcar.	50
5	Cargas fatoriais (rotação Varimax), communalidades, variâncias específicas das variáveis, autovalores e percentual acumulado de explicação da variância da análise dos dados do experimento em área de cana-de-açúcar	55
6	Matriz residual da análise fatorial para atributos do solo em área de cana-de-açúcar	60
7	Matriz de correlações (R ²²) das variáveis físicas e químicas do solo.	61
8	Matriz de correlações (R ¹²) entre as variáveis relacionadas à dinâmica do carbono e os atributos físico-químicos do solo.	61
9	Autovalores, correlações canônicas e teste de significância para as correlações canônicas ($\alpha=0,05$).	62
10	Cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas das variáveis do experimento em cana-de-açúcar.	64
11	Estatística descritiva das variáveis para o experimento em área de soja	69

12	Variâncias, covariâncias e correlações das variáveis do experimento em soja ¹	75
13	Autovalores (λ_i) e porcentagem da variação explicada pelas componentes principais (VCP)	76
14	Coeficientes de ponderação das variáveis e suas correlações (entre parênteses) com as componentes principais.	77
15	Cargas fatoriais, comunalidades, variâncias específicas das variáveis, autovalores e percentual acumulado de explicação da variância da análise dos dados em soja	82
16	Matriz residual da análise fatorial para experimento em soja	84
17	Matriz de correlações ($\mathbf{R}^{22}$) das variáveis físico-químicas do solo.	85
18	Matriz de correlações ($\mathbf{R}^{12}$) entre as variáveis relacionadas à dinâmica do carbono e os atributos físico-químicos do solo.	86
19	Autovalores, correlações canônicas e teste de significância para as correlações canônicas ($\alpha=0,05$).	86
20	Cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas para experimento em área de soja.	88

ABORDAGEM MULTIVARIADA EXPLORATÓRIA DA EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS

Autora: VIVIAN APARECIDA BRANCAGLIONI

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ SILVIO GOVONE

Coorientador: Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

RESUMO

As atividades relacionadas à agricultura, silvicultura e outros usos do solo são responsáveis por cerca de um quarto das emissões antrópicas de gases do efeito estufa. Os solos estocam grandes quantidades de carbono nos ecossistemas naturais e o processo de perda de carbono do solo para a atmosfera ocorre na forma de emissão de CO₂, principal gás responsável pelo efeito estufa adicional. O objetivo deste trabalho consistiu em descobrir as possíveis relações existentes entre a emissão de CO₂ e atributos do solo, manejo em área agrícola e cultura cultivada, por meio da utilização de técnicas multivariadas. Para isso, considerou-se dois conjuntos de dados provenientes de experimentos conduzidos em áreas agrícolas nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, realizados em 2008 e 2013, respectivamente. O primeiro experimento foi obtido a partir de uma área comercial de cana-de-açúcar sob manejo de colheita mecanizada e o outro foi realizado em área experimental

da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), sob manejo de plantio direto com cultivo de soja. Ambos os experimentos são relacionados à dinâmica de carbono do solo e seus atributos físico-químicos. Dessa forma, buscou-se estudar a dinâmica do carbono em solos agrícolas, podendo indicar de forma mais informativa a importância de cada atributo físico-químico do solo em razão das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e/ou acúmulo de carbono, por meio das técnicas multivariadas empregadas em caráter exploratório: análise de componentes principais, análise fatorial e análise de correlação canônica. Os resultados obtidos, de maneira geral, indicaram haver maior associação da emissão de dióxido de carbono com os atributos físicos do solo, especialmente porosidade livre de água (PLA), densidade do solo (DS) e Macro (macroporosidade), em área de cana-de-açúcar; em área de cultivo direto com plantio de soja, o acúmulo de carbono apresentou relação com as mesmas propriedades físicas do solo, já a emissão de CO_2 associou-se aos atributos químicos do solo, como P (Fósforo) e SB (soma de bases).

Palavras-chave: análise multivariada, técnicas exploratórias, emissão de CO_2 do solo, atributos físico-químicos do solo.

MULTIVARIATE EXPLORATORY APPROACH OF SOIL CO₂ EMISSION IN AGRICULTURAL AREAS

Author: VIVIAN APARECIDA BRANCAGLIONI

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ SILVIO GOVONE

Co-adviser: Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

SUMMARY

Activities related to agriculture, silviculture and other uses of the soil account for about a quarter of the anthropogenic emissions of greenhouse effect gases. Soils store large amounts of carbon in the natural ecosystems and the process of carbon loss from the soil to the atmosphere occurs in the form of CO₂ emission, the main gas responsible by the additional greenhouse effect. The aim of this study is to find out the possible relationship between CO₂ emission and soil attributes, management in agricultural area and cultivated culture, through the use of multivariate techniques. For this, were considered two sets of data from experiments conducted in agricultural areas in the states of São Paulo and Mato Grosso do Sul, Brazil, carried out in 2008 and 2013, respectively. The first experiment was obtained from a commercial area of sugarcane under management of mechanized harvest and

the other was carried out in an experimental area of the Teaching, Research and Extension Farm - Vegetal Production Sector, Faculty of Engineering of Ilha Solteira (FEIS/UNESP), under no-till management with soybean cultivation. Both experiments are related to dynamics of soil carbon and their physical-chemical attributes. Thus, we sought to study the dynamics of carbon in agricultural soils, it could indicate in a more informative way the importance of each physical-chemical attribute of the soil due to carbon dioxide (CO_2) emissions and/or carbon accumulation, through multivariate techniques used in exploratory character: principal components analysis, factorial analysis and canonical correlation analysis. The results obtained, in general, indicate that there is a greater association of the emission of carbon dioxide with the physical attributes of the soil, especially free water porosity (PLA), soil density (DS) and Macro (macroporosity), in the area of sugarcane; in direct cultivation area with soybean planting, the carbon accumulation presented a relation with the same physical properties of the soil, since the CO_2 emission was associated to the soil chemical attributes, such as P (Phosphorus) and SB (sum of bases).

Keyword: multivariate analysis, exploratory techniques, soil CO_2 emission, physical-chemical attributes of the soil.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas multivariadas, cujo desenvolvimento ocorreu a partir do início do século passado, não tiveram seu uso difundido, por exigirem cálculos trabalhosos, impossíveis de serem realizados sem o auxílio computacional, exceto para conjuntos de dados com pequenas dimensões. Somente nas últimas décadas, com a evolução dos computadores e desenvolvimento de softwares estatísticos, muitas análises puderam ser realizadas e, dessa forma, as limitações metodológicas operacionais deixaram de ser uma preocupação para o pesquisador.

A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos aplicados quando há múltiplas variáveis obtidas simultaneamente a partir de uma mesma unidade amostral ou observacional que, em geral, são correlacionadas entre si.

Neste contexto, a utilização de técnicas univariadas, ou seja, o estudo de variáveis de maneira isolada, não é uma abordagem adequada para a análise estatística de tais conjuntos de dados. Logo, em situações em que há interdependência de variáveis, utilizar técnicas multivariadas constitui-se na melhor alternativa para a análise exploratória e/ou procedimento inferencial.

Dessa forma, a estatística multivariada tem seu propósito para ser utilizada como uma alternativa à interpretação de dados de natureza biológica, procurando medir, explicar e prever as relações de inter e intradependência de variáveis de uma mesma unidade amostral ou observacional. Um exemplo de aplicação das técnicas multivariadas em dados multidimensionais, consiste no estudo da dinâmica do carbono em solos agrícolas, podendo estas técnicas indicar de forma mais informativa a importância de cada atributo do solo em razão das emissões de dióxido de

carbono (CO_2) e/ou acúmulo de carbono.

Atividades relacionadas à agricultura, silvicultura e outros usos do solo são responsáveis por cerca de um quarto das emissões antrópicas de gases do efeito estufa, equivalente a cerca de 10 à 12 Gt CO_2eq por ano, para os anos de 2000 à 2010, provenientes principalmente do desmatamento, manejo do solo e seus nutrientes e pecuária (IPCC, 2014). No Brasil, atividades agrícolas associadas às mudanças no uso da terra são responsáveis por 70% das emissões totais de CO_2 , como por exemplo, o uso de áreas desflorestadas para o cultivo agrícola (Sartori et al., 2006).

Alterações alarmantes no clima do planeta também vêm sendo causadas devido a elevação das concentrações dos gases do efeito estufa na atmosfera, tais como, o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Embora os gases CH_4 e N_2O tenham potencial de aquecimento global muito mais expressivo que o CO_2 , sendo respectivamente 25 e 298 vezes maior, o dióxido de carbono devido a sua grande quantidade emitida, apresenta a maior contribuição em termos relativos para o efeito estufa adicional (IPCC, 2007).

Além disso, os solos estocam grandes quantidades de carbono nos ecossistemas naturais, o processo de perda de carbono do solo para a atmosfera ocorre na forma de emissão de CO_2 , que se dá por meio da oxidação química da matéria orgânica do solo promovida pela atividade microbiana e respiração das raízes. Apesar de todos os esforços, ainda existem grandes incertezas na quantificação de emissão de CO_2 em áreas agrícolas e a sua relação com fatores ambientais e variáveis físicas e químicas do solo que controlam sua magnitude e estrutura de variação espaço-temporal (Graf et al., 2012).

Assim, a presente pesquisa considera um conjunto de dois experimentos relacionados à dinâmica de carbono do solo e seus atributos físico-químicos, envolvendo dados multidimensionais submetidos a algumas técnicas multivariadas: análise de componentes principais, análise fatorial e análise de correlação canônica.

Tem-se como hipótese para a pesquisa, que a análise das estruturas multivariadas dos atributos do solo auxilie e propicie ganho de informações quanto

a detecção de relações da emissão de CO_2 com variáveis físicas e químicas do solo, com o tipo de manejo realizado na área agrícola e cultura cultivada.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa consiste em descobrir as possíveis relações existentes entre a emissão de CO_2 e atributos do solo, manejo em área agrícola e cultura cultivada, por meio da utilização de técnicas multivariadas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados das análises estatísticas multivariadas permitem as seguintes conclusões a respeito da relação existente entre a emissão de CO_2 e as propriedades físicas e químicas do solo, para dois conjuntos de dados, de regiões brasileiras distintas, sob culturas e manejos diferentes:

Para o experimento realizado em área de cana-de-açúcar tem-se que:

A análise de componentes principais caracterizou a área por meio de três componentes, que juntas explicaram 74,65% da variabilidade total das variáveis, identificando que a emissão de CO_2 pode ser relacionada aos atributos físicos do solo. Dessa forma houve uma redução na dimensão paramétrica para três componentes.

Na análise fatorial envolvendo as variáveis relativas a dinâmica do carbono e os atributos físicos e químicos do solo foram estabelecidos três fatores que explicaram acumuladamente cerca de 82,14% da variabilidade total dos dados. O primeiro fator envolve as variáveis emissão de CO_2 do solo, porosidade livre de água, densidade do solo e macroporosidade; o segundo, pH e soma de bases e o terceiro fator compreende apenas a variável fósforo.

Dessa forma, por meio da análise fatorial também concluiu-se que a emissão de CO_2 relacionou-se com as variáveis físicas do solo. Ambas as áreas apresentaram emissões CO_2 baixas quando comparadas com os valores apresentados nos trabalhos presentes na literatura, e para este caso pode-se indicar uma restrição relativa a macroporosidade, que possuiu baixos valores para o experimentos em cana-de-açúcar.

Em estudo da associação dos grupos de variáveis, por meio da análise de correlação canônica, foram obtidas duas correlações canônicas significativas, de

acordo com o teste aplicado. Relativamente às cargas canônicas, para o primeiro par canônico, a variável que se destacou na componente relacionada à dinâmica do carbono no solo foi a emissão de CO_2 do solo e para a componente físico-química teve-se destaque para as variáveis PLA, DS, Macro e pH. Os pontos amostrais com altos valores para porosidade livre de água, macroporosidade, maiores concentrações de pH em amostras com solos menos densos estão associados a níveis mais elevados de emissão de CO_2 do solo.

Para o experimento realizado em área de soja tem-se que:

A análise de componentes principais caracterizou a área por meio de três componentes, que acumularam 73,85% da variabilidade total das variáveis, indicando que a emissão de CO_2 relacionou-se aos atributos químicos do solo (P e SB). Dessa forma houve uma redução na dimensão paramétrica para três componentes.

De acordo com a análise fatorial foram obtidos dois fatores explicando 67,43% da variabilidade dos dados. O primeiro fator associou-se aos atributos físicos do solo e ao estoque de carbono, já o segundo fator representou a relação existente entre a emissão de CO_2 do solo, fósforo e soma de bases. Assim, para essa área a emissão de CO_2 do solo foi limitada pelos atributos químicos do solo, ou seja, aquelas variáveis relacionadas ao processo de produção do gás no interior do solo.

A análise de correlação canônica novamente forneceu duas correlações significativas, por meio do teste aplicado. No contexto das cargas canônicas, para o primeiro par canônico, a variável que foi evidenciada pela componente relacionada à dinâmica do carbono no solo foi a variável estoque de carbono do solo e para a componente físico-química teve-se destaque apenas os atributos físicos do solo, tais como: PLA, DS e Macro. Dessa forma, pontos amostrais com baixos valores para porosidade livre de água e macroporosidade em amostras de solos mais densos estão associados a níveis mais elevados de estoque de carbono do solo. A emissão relacionou-se a variável que compõe o segundo par canônico, indicando que maiores valores a esta variável estão associados a maiores valores para PLA, Macro, P e SB e solos menos densos.

Por meio das análises em ambas as áreas, conclui-se que não foi possível verificar relação direta entre a emissão de CO₂ e o estoque de carbono no solo, podendo assim, áreas com maior acúmulo de carbono não serem responsáveis por maiores emissões de dióxido de carbono, sendo um possível indicativo de que o manejo do solo possa ter influência na dinâmica do carbono do solo.

Comparando os resultados fornecidos pelas análises, pode-se verificar que embora ACP e AF sejam análises distintas aplicadas com objetivos diferentes, neste trabalho ambas forneceram resultados muito semelhantes. Este fato é reforçado a partir da pesquisa empírica que tem demonstrado resultados análogos em muitos casos. Na maioria das aplicações as análises chegam a resultados essencialmente idênticos se o número de variáveis exceder 30 ou se as comunalidades excederem 0,60 para a maioria das variáveis (Hair Jr. et al., 2009).

Portanto, foi possível detectar a importância de cada variável físico-química em relação a emissão de CO₂, bem como, quais variáveis que não mostraram influência. Deve-se salientar que as duas aplicações realizadas referem-se a conjuntos de dados coletados para outros objetivos de pesquisa, sendo utilizados, no presente trabalho, como estudo de casos, não sendo possível comparar os resultados das duas culturas (cana-de-açúcar e soja), nem mesmo inferir as conclusões para todas as culturas de cana-de-açúcar ou de soja. Destaca-se que a amostragem deu-se em dois diferentes tipos e manejos de solo, diferentes anos e condições climáticas.

Sendo assim, conclui-se que as técnicas multivariadas são ferramentas muito importantes, no sentido de evidenciarem relações não visualizadas por meio de outras técnicas estatísticas, sugerindo-se o uso mais intenso dos métodos multivariados em diferentes aplicações.

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; DE CAMPOS, B.-H. C.; DA VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v.35, n.4, p.1599–1607, 2006.

ARAÚJO, M.; TORMENA, C.; SILVA, A. D. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Bras. Ci. Solo**, v.28, p.337–345, 2004.

BARROW, N. Comparing the effectiveness of fertilizers. **Fertilizer Research**, v.8, n.1, p.85–90, 1985.

BARTLETT, M. S. A Note on test of significance in multivariate analysis. **Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, v.35, p.180–185, 1939.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, v.54, n.1, p.101–109, 2000.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V.; PEREIRA, G. T.; N LA SCALA JR. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.189, p.206–215, 2014.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. v.7, p.221–278, 2011.

BRANCAGLIONI, V. A.; TERÇARIOL, M. C.; MONTANARI, R.; LA SCALA JR, N.; FERRAUDO, A. S.; PEREIRA, G. T.; PANOSSO, A. R. Geoestatística multivariada da emissão de CO₂ em área agrícola. **Blucher Mathematical Proceedings**, v.1, n.1, p.357–364, 2015.

BRITO, L. F.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agricola**, v.66, n.1, p.77–83, 2009.

CAIRES, E.; KUSMAN, M.; BARTH, G.; GARBUIO, F.; PADILHA, J. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.125–136, 2004.

CALONEGO, J. C.; DOS SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.128–135, 2012.

COOLEY, W. W.; LOHNES, P. R. **Multivariate Procedure for the Behavioral Sciences**. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1962. 211p.

D'ANDREA, A.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D.; CURI, N.; SILVA, C. A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo**, v.30, n.62, 2010.

EDEN, M.; SCHJØNNING, P.; MOLDRUP, P.; DE JONGE, L. W. Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content. **Soil Use and Management**, v.27, n.3, p.340–349, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2006. 412p.

FERNANDES, F.; DA SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de bi-ossólidos. In: **Manual prático para a compostagem de biossólidos**, PROSAB, 1999.

FERNANDES, L. A.; SIQUEIRA, J.; GUEDES, G. A. A.; CURI, N. Propriedades químicas e bioquímicas de solos sob vegetação de mata e campo cerrado adjacentes. **Ciência e Agrotecnologia**, v.21, n.1, p.58–70, 1997.

FERREIRA, A. D. S.; OLIVEIRA, R. S. D.; SANTOS, M. A. D.; BORGES, E. N. Respiratory activity of soil microbiota and glucose content in response to phosphorus addition in Cerrado soil-Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1891–1897, 2008.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras, MG: UFLA, 2008. 661p.

FOLLETT, R. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research**, v.61, n.1, p.77–92, 2001.

FRANZLUEBBERS, A. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.66, n.2, p.95–106, 2002.

FREDDI, O. D. S.; CENTURON, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L.; SILVA, Á. P. D. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. **Bragantia**, p.477–486, 2007.

GODOI, D. R.; HONGYU, K.; DIAS, C. T. S. Os métodos Biplot de Gabriel na análise multivariada. In: 57º REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2012. ; resumos. Piracicaba: , 2012.

GRAF, A.; HERBST, M.; WEIHERMÜLLER, L.; HUISMAN, J. A.; PRO-LINGHEUER, N.; BORNEMANN, L.; VEREECKEN, H. Analyzing spatiotemporal variability of heterotrophic soil respiration at the field scale using orthogonal functions. **Geoderma**, v.181, p.91–101, 2012.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TAHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre - RS: Bookman, 2009. 688p.

HALL, J.; PATERSON, E.; KILLHAM, K. The effect of elevated CO₂ concentration and soil pH on the relationship between plant growth and rhizosphere denitrification potential. **Global Change Biology**, v.4, n.2, p.209–216, 1998.

HAYNES, R. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p.249–315, 1984.

HOTELLING, H. Relations between two sets of variates. **Biometrika**, v.28, n.3/4, p.321–377, 1936.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers**. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat, 2007.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge University Press, 2014. 3v.

JOBSON, J. D. **Applied Multivariate Data Analysis; Volume II: Categorical and Multivariate Methods**. New York: Springer-Verlag, 1992. 731p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2007. 773p.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. New York: Springer, 2002. 487p.

JORGE, R. F.; DE ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, v.28, n.1, p.159–169, 2012.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, n.3, p.187–200, 1958.

- KLEFENS, P. C. O. O Biplot na análise fatorial multivariada. Piracicaba, 2009. 102p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest ecology and management**, v.220, p.242–258, 2005.
- LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2011. 455p.
- LEAL, F. T.; FRANÇA, A. B. C.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B.; MARQUES JR, J.; LA SCALA JR, N. Characterization of potential CO₂ emissions in agricultural areas using magnetic susceptibility. **Scientia Agricola**, v.72, n.6, p.535–539, 2015.
- MAESTRE, M. R.; SARTORIO, S. D.; MARCIANO, C. R.; OLIVEIRA, F. C.; PIEDADE, S. M. S.; LIMA, C. G. Aplicação da análise de componentes principais na seleção de características de solo. In: 19º SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 2010. ; resumos. Campinas: , 2010.
- MANLY, B. J. F. **Multivariate Statistical Methods: Primer**. USA: CHAPMAN and HALL/CRC, 2004. 207p.
- MARTINS, A. Dinâmica do carbono do solo. In: FIEDLER, N. C.; LOUSADA, J. L. P. C.; CARMO, F. C. A. (Ed.). **Emissão de gases e sequestro de carbono em sistemas florestais**. Alegre: CAUFES, 2016. p.193–211.
- MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: uma Abordagem Aplicada**. Belo Horizonte - MG: Editora UFMG, 2005. 295p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Ufla, 2006. 744p.
- MORRISON, D. F. **Multivariate statistical methods**. EUA: McGraw-Hill, 1967. 338p.

NOGUEIRA, S. F.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; GIMENES, F. M. A.; FURTADO, A. L. S.; BRANCALIAO, S. R.; DEMARCHI, J. J. A. A. Análise espacial de atributos do solo e correlações com fluxos de gases em diferentes sistemas de produção agrícola. In: , 2013. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBS**; resumos. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

NORDGREN, B. A method for determining microbially available N and P in an organic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.13, n.4, 1992.

NOVAIS, R. F. Fósforo, 2016. Notas de aula da disciplina Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Disponível em: <<http://www.passeidireto.com/arquivo/5751171/fosforo>> Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

OLIVEIRA, G. C. D.; DIAS JR, M. D. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.291–299, 2003.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. Piracicaba: Agronomica CERES Ltda, 1981. 425p.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA, G. M.; TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H. Organic fertilizer as phosphorus supplier for Brachiaria Brizantha cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.2, 2010.

PANOSSO, A. R. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ e sua relação com propriedades do solo em área de cana-de-açúcar no Sudeste do Brasil. Jaboticabal, 2011. 107p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; N LA SCALA JR. Soil CO₂ emission and its

relation to soil properties in sugarcane areas under slash-and-burn and green harvest. **Soil and Tillage Research**, v.111, n.2, p.190–196, 2011.

PARIENTE, S.; LAVEE, H. Soil Organic Matter and degradation. **SCAPE – Soil conservation and Protection for Europel**, 2000.

PEREIRA, G. T.; TEIXEIRA, D. B. B.; BICALHO, E. S.; L, A.; LA SCALA JR, N. Incertezas na predição espacial da respiração do solo e propriedades relacionadas. In: 57º REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2012. ; resumos. Piracicaba: , 2012.

PINTO JR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta amazonica**, v.39, n.4, p.813–821, 2009.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de média da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.1, p.161–170, 2011.

POSNER, A.; BOWDEN, J. Adsorption isotherms: should they be split? **Journal of Soil Science**, v.31, n.1, p.1–10, 1980.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RAIJ, B. V. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas - SP: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Bulk density critical limits for normal root growth of cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1805–1816, 2008.

REIS, E. **Estatística Multivariada Aplicada**. Lisboa: Edições Sílabo, 2001. 343p.

RENCER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. New York: John Wiley, 2002. 708p.

RODRIGUES, V. A.; FENNER, P. T.; SANSÍGOLO, C. A.; MORAES, M. H. Estimativa Da Água No Solo Em Floresta de Eucalyptus Grandis. **Irriga**, v.17, n.4, p.523, 2012.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2010.

DOS SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.576–586, 2008.

SARTORI, F.; LAL, R.; EBINGER, M. H.; PARRISH, D. J. Potential soil carbon sequestration and CO₂ offset by dedicated energy crops in the USA. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.25, n.5, p.441–472, 2006.

SCHARLEMANN, J. P. W.; TANNER, E. V. J.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v.5, n.1, p.81–91, 2014.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**, v.64, n.1, p.111–128, 2003.

SILVA, E. F. Variabilidade espaço-temporal da emissão de CO₂ do solo em curto período sob influência de eventos de precipitação. Jaboticabal, 2016. 58p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP).

SILVA, E. F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission associated with liming in area of conversion of orange for sugar cane. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.885–898, 2014.

SILVA, N. R.; PADOVANI, C. R. Utilização de componentes principais em experimentação agronômica. **Revista de Energia na Agricultura**, v.21, n.4, p.98–113, 2006.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. D. C.; FEIGL, B. J.; VENZKE FILHO, S. D. P.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Crop rotation under no-tillage in Tibagi (Paraná State, Brazil): II-CO₂ and N₂O emissions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.1023–1029, 2009.

SIX, J.; MERCKX, R.; KIMPE, K.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. **European Journal of Soil Science**, v.51, n.2, p.283–293, 2000.

SMART, D. R.; PENUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, v.28, n.3, p.247–257, 2005.

SOUZA, E. C. Os métodos biplot e escalonamento multidimensional nos delineamentos experimentais. Piracicaba, 2010. 134p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia (Arica)**, v.30, n.1, p.7–15, 2012.

SPEARMAN, C. "General Intelligence", objectively determined and measured. **The American Journal of Psychology**, v.15, n.2, p.201–292, 1904.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using Multivariate Statistics**. USA: Pearson Education, Inc, 2007. 980p.

TAVARES, R. L. M. Emissão de CO₂ e atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em sistemas de manejo de cana-de-açúcar. Campinas, 2014. 100p. Tese (Doutorado) - Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

TAVARES, R. L. M.; SIQUEIRA, D. S.; PANOSSO, A. R.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, Z. M. D.; SCALA JR, N. L. Soil management of sugarcane fields affecting CO₂ fluxes. **Scientia Agricola**, v.73, n.6, p.543–551, 2016.

TAVARES, R. L. M.; DE SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; LA SCALA JR, N.; PANOSSO, A. R.; CAMPOS, M. C. C. Soil CO₂ emission in sugarcane management systems. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v.65, n.8, p.755–762, 2015.

TEBRÜGGE, F.; DÜRING, R.-A. Reducing tillage intensity — a review of results from a long-term study in Germany. **Soil and tillage research**, v.53, n.1, p.15–28, 1999.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scientia Agricola**, v.70, n.3, p.195–203, 2013.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1466–1475, 2012.

TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, v.345, n.1-2, p.187–194, 2011.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.5, p.466–477, 2013.

TREVISAN, R.; MATTOS, M.; HERTER, F. Atividade microbiana em argissolo vermelho-amarelo distrófico típico coberto com aveia preta (*Avena* sp.) no outono, em um pomar de pessegueiro. **Científica Rural, Bagé**, v.7, n.2, p.83–89, 2002.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Editora Agronômica Ceres, 1991.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Applications of soil physics**, p.319–344, 1980.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; DE OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto = Density, porosity and soil aggregation in areas of cerrado conversion in pine forest, pasture and no-tillage. **Bioscience Journal**, v.28, n.1, 2012.

XU, M.; QI, Y. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, v.7, n.6, p.667–677, 2001.

ZANINI, J. R.; BARRETO, A. K.; LA SCALA JÚNIOR, N. Taxa de emissão de CO₂ de um latossolo fertirrigado com ácido fosfórico por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.179–188, 2005.